



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**NÁVRH PŘÍDAVNÉHO POKLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ PRO
APLIKACI ROLÍ SKELNÉ GEOMŘÍŽE GLASGRID®**

DESIGN OF AN ADDITIONAL LAYING DEVICE FOR THE APPLICATION OF GLASGRID® GLASS GEOGRID
ROLLS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Mikl

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. Marek Míkl**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Lukáš Zeizinger, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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

Návrh přídatného pokládacího zařízení pro aplikaci rolí skelné geomříže GlasGrid®

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Konstrukční návrh zařízení pro aplikaci výztuže do asfaltové vozovky GlasGrid od společnosti ADFORS. Zařízení musí být co nejvíce všestranné a musí usnadňovat a zrychlit pokládku vzhledem k současné technologii pokládání. Aplikací zařízení musí být použitelné pro různé rozměry rolí, v závislosti na jejich průměru, délce a váze. Zařízení musí taktéž být schopno pokládat skelnou mříž všemi technologiemi pokládky tzv. „nasucho“ samolepícím způsobem i způsobem pokládky na asfaltový nástřik.

Cíle diplomové práce:

Kritická rešerše obdobných konstrukčních řešení.

Návrh konstrukce zařízení včetně všech konstrukčních celků, jejich popis a zhodnocení.

Pevnostní analýza konstrukce zařízení.

Celková sestava zařízení a podsestava rámu stroje.

Seznam doporučené literatury:

Hlavenka, B.: Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem, vyd. 4., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s., ISBN 978-80-214-3607-7.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

LEEMING, David John a HARTLEY, Reg. Heavy Vehicle Technology. 2nd edition. Leckhampton: Stanley Thomas, 1989. 260 s. ISBN 07-487-0275-X.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem konstrukce přídavného pokládacího zařízení pro aplikaci rolí skelné mříže GlasGrid®, pevnostními a funkčními výpočty. Práce byla vytvářena ve spolupráci s firmou Saint-Gobain ADFORS. Navržené zařízení musí být schopno pokládat všechny aktuálně vyráběné rozměry rolí, připojitelné na co nejširší spektrum pokládacích strojů a musí být umožněn jeho transport na delší vzdálenosti. Pokládací zařízení musí taktéž vyhovovat pevnostní analýze a funkčním výpočtům.

KLÍČOVÁ SLOVA

Skelná role, skelná mříž, GlasGrid®, pokládací zařízení, konstrukční návrh, pevnostní analýza, MKP, výpočet

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the design of an additional device for the application of glass grid rolls GlasGrid® and functional calculations. Diploma thesis was created in collaboration with company Saint-Gobain ADFORS. The designed equipment must be able to lay all the currently produced sizes of the rolls, connectable to the widest possible range of laying machines and must be possible to transport the equipment over a longer distance. The laying equipment must also comply with the strength analysis and functional calculations.

KEYWORDS

Glass roll, glass grid, GlasGrid®, laying device, laying equipment, technical design, strength analysis, FEM, calculation, construction engineering

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MIKL, M. *Návrh přídavného pokládacího zařízení pro aplikaci rolí skelné geomříže GlasGrid®*. Brno, 2021. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 103 s. Vedoucí diplomové práce Lukáš Zeizinger.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením pana Ing. Lukáše Zeizingera, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Bc. Marek Mikl



PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Lukáši Zeizingerovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a náměty, korektury, čas a technické rady, které mi při tvorbě diplomové práce poskytl.

Děkuji za všechny poskytnuté informace a příležitost tvořit diplomovou práci na zajímavé téma firmě Saint-Gobain ADFORS z Litomyšle, paní Janě Kaláškové a panu Václavu Jaščevskijemu, kteří firmu zastupovali.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům, za trpělivost a podporu, kterou mě po celou studia na VUT Brno poskytovali.

OBSAH

Úvod	11
1 Teoretická část	13
1.1 Historie technologie vyztužování asfaltových vozovek	13
1.2 Vznik trhlin a tvarových poruch v asfaltových vozovkách	13
1.2.1 Mrázové trhliny	14
1.2.2 Reflexní trhliny	15
1.2.3 Nepravidelné a mozaikové trhliny	15
1.2.4 Síťové trhlinky	15
1.2.5 Trvalé tvarové deformace vozovky	15
1.3 Současný stav vozovek v České republice	16
1.4 Technologie pokládky Sklovláknitých mříží GlasGrid	17
1.4.1 Požadavky pro správnou pokládku mříží	17
1.5 Technologický strom pokládky skelných geomříží	21
1.5.1 Pokládka Samolepícím způsobem	22
1.5.2 Pokládka Na asfaltový nástřik	23
1.6 Typy sklovláknitých mříží společnosti Saint-Gobain ADFORS	23
1.6.1 Geomříž GlasGrid® GG	24
1.6.2 Geomříž GlasGrid® CGL	25
1.6.3 Geomříž GlasGrid® PG	25
1.6.4 Geomříž GlasGrid® PM	26
1.6.5 Geomříž GlasGrid® TF	27
1.7 Způsoby pokládky a konstrukční řešení strojů pro aplikaci výztužných geomříží	27
1.7.1 Ruční pokládka	28
1.7.2 Ruční pokládka za pomoci manuálního vozíku	28
1.7.3 Strojní pokládka a konstrukční řešení	29
1.8 Vhodnost umístění pokládacího zařízení vzhledem k pokládacímu stroji	33
1.8.1 Před strojem	33
1.8.2 Za strojem	34
1.9 Současný způsob pokládky v České republice	34
2 Návrh koncepce vlastního konstrukčního řešení	36
3 Návrh konstrukce pokládacího zařízení	38
3.1 Nosná středová konstrukce	38
3.1.1 Lineární vedení	39
3.2 Patice pro připojení pokládacího stroje	42
3.3 Pojezdová přitlačná kola	44
3.4 přitlačné kartáče	45
3.5 Výsuvná ramena	46
3.6 Středící jehlany	46
3.6.1 Uložení středících jehlanů	47
3.7 Brzdný člen	48
3.7.1 Materiál brzdového obložení	50
3.8 Pohon výsuvných ramen	50
3.9 Nakládání rolí o malé šířce	53

4	Pevnostní a výpočtová analýza.....	54
4.1	Výpočet sil od role a rozklad na nakloněné rovině	54
4.2	Výpočet tlaku v závitech a tlaku ve vymeřovacích šroubech	57
4.2.1	Ohybové napětí	57
4.2.2	Napětí od krutu.....	58
4.3	Výpočet pojiřřovacích řepů	62
4.4	Výpočet brzděného řlenu a řředpětí v roli	69
4.5	Kontrola kluzných ložisek.....	75
4.7	Výpočet metodou konečných prvků – MKP	78
4.7.1	Příprava modelu pro výpočet – Střednicové plochy „mid-surface“	78
4.7.2	Příprava modelu pro výpočet – Sítřování „Meshing“	79
4.7.3	Příprava modelu pro výpočet – Vazby „Joints“	80
4.7.4	Náhrada pohybové vazby výsuvných ramen ve vnějším vedení	82
4.7.5	Náhrada vazby připojující pokládací zařízení k pokládacímu stroji.....	83
4.7.6	Příprava modelu pro výpočet – Zatěřující síly „Forces“	83
4.7.7	Příprava modelu pro výpočet – Materiál „Material“	85
4.8	Zátěřné stavy modelu pro výpočet.....	85
4.9	Výsledky výpočtu MKP	86
4.9.1	Bezpečnost vůči mezi kluzu.....	90
5	MOBILITA.....	91
	Závěr	92
	Seznam použitých zkratek a symbolů	99
	Seznam příloh.....	103



ÚVOD

Snaha o vyztužování asfaltových vozovek se objevila v první polovině 20. století, kdy se začala projevovat potřeba prodloužení životnosti a zvýšení kvality povrchů vozovek v průběhu jejich životnosti.

V současné době, s přihlédnutím k neustále rostoucí hustotě osobní i komerční přepravy a dopravování nákladů s vysokou hmotností nákladními automobily a kamionovou dopravou, se problém nedostatečné dlouhodobé výdrže a kvality povrchů vozovek projevuje stále více.

Na trhu jsou aktuálně dostupné různé technologie, které si kladou za cíl problém zkracující se životnosti vozovek co nejefektivněji vyřešit. Jedním z možných řešení je technologie vyztužení sklovláknitou geomříží, která je pokládána do konstrukční vrstvy vozovky a zabraňuje tak šíření reflexních trhlin a omezuje vznik trvalých deformací a poruch.

Sklovláknitou geomříž ve svém portfoliu výrobků nabízí i společnost Saint-Gobain-ADFORS, která je důležitým hráčem na trhu v tomto oboru. Výztužné geomříže jsou vyráběny v České republice ve výrobním závodě v Litomyšli a distribuovány do celého světa.

V České republice je technologie vyztužení asfaltových vozovek, na rozdíl od západních států poměrně málo známá a využívána. Jedním z důvodů může být fakt neexistujícího multifunkčního aplikačního zařízení, které by zrychlilo pokládku a bylo by ho možné prostřednictvím společnosti Saint-Gobain ADFORS nabídnout jejich partnerům k zapůjčení na místa realizací.

Návrhu a zkonstruování takového typu pokládacího zařízení se budu v této diplomové práci detailněji zabývat.

CÍLE PRÁCE

POŽADAVKY ZE STRANY FAKULTY:

KRITICKÁ REŠERŠE OBDOBNÝCH KONSTRUKČNÍCH ŘEŠENÍ

Je nutné nalézt existující podobná konstrukční řešení, popsat je a zhodnotit.

NÁVRH KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ VČETNĚ VŠECH KONSTRUKČNÍCH CELKŮ, JEJICH POPIS A ZHODNOCENÍ

Konstrukční části a celky musí být představeny, popsány včetně jejich funkce, aby bylo zřejmé, jak a proč byly vybrány.

PEVNOSTNÍ ANALÝZA KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ

Musí být proveden pevnostní výpočet MKP a vybrány důležité konstrukční prvky, které je nutné adekvátním výpočtem zkontrolovat.

VÝKRES CELKOVÉ SESTAVY ZAŘÍZENÍ A PODSESTAVY RÁMU STROJE

Na závěr musí být vykonaná konstrukční práce podložena výkresovou dokumentací.

POŽADAVKY ZE STRANY FIRMY:

MAXIMÁLNÍ KOMPATIBILITA ZAŘÍZENÍ

Konstrukce pokládacího zařízení musí být kompatibilní s maximálním možným počtem strojů běžně dostupných na místech realizace, určených pro stavby a opravy vozovek.

DOBŘÁ MOBILITA PRO PŘEPRAVU MEZI MÍSTY REALIZACÍ

Zařízení je nutné velmi často přemísťovat i na větší vzdálenosti, důležitá je skladnost, ideálně rozložitelnost na paletu 1x2 m.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Teoreticko-rešeršní část diplomové práce si klade za cíl, seznámit čtenáře s problematikou a technologickými postupy při vyztužování asfaltových vozovek s použitím sklovláknitých geomříží. Okrajově popsat základní typy poruch a vysvětlit mechanismy jejich vzniku.

Dále seznámit s aktuálně využívanými konstrukčními řešeními pokládacích zařízení, využívaných strojů a technologických postupů.

Uvést přehled typů a rozměrů aktuálně vyráběných skelných mříží a používaných technologií pokládky.

Na závěr je čtenář seznámen se způsobem aplikace geomříže používaným v praxi, který je v současné době v České republice používán při pokládce geomříží na povrch vozovky.

1.1 HISTORIE TECHNOLOGIE VYZTUŽOVÁNÍ ASFALTOVÝCH VOZOVEK

První snahy o vyztužování vozovek se datují do 30. let 20. století, kdy se v Jižní Karolíně v USA začalo používat vkládání tkaných textilií mezi asfaltové vrstvy. [15]

V 50. letech byla vyvinuta technologie kovových mříží uložených do vozovky, ale problematickou se stala složitá instalace a recyklovatelnost již vysloužilých povrchů. [15]

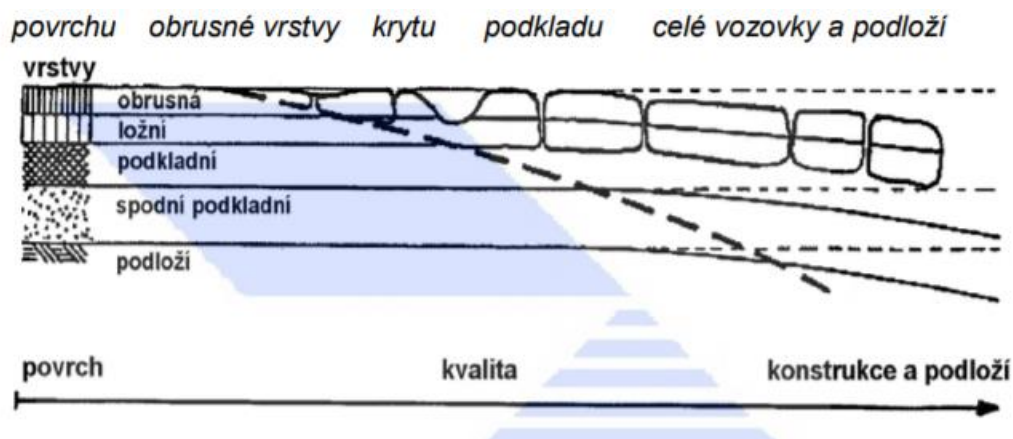
V 60. letech nastoupila technologie přidávání geotextilie mezi vrstvy asfaltu, které po umístění do vozovky nedegradovaly a umožnily částečnou relaxaci napětí, zároveň nepropouštěly vodu, ale nebyly schopny zachytit vývoj trhlin a postrádaly dostatečnou tuhost. [15]

Technologie sklovláknitých geomříží byla objevena na počátku 80. let ve Velké Británii, kdy byla vyvinuta biaxiální geomříž s otevřenou strukturou, na vývoji a testování se podílela Univerzita v Nottinghamu. Důležitou roli hrálo využití skla jako hlavní komponenty výztužné mříže. Skleněná vlákna dodala mříži vysokou tuhost s malou deformací a vysokou odolností proti dodatečnému protažení. Odolnost proti dodatečnému protažení je podstatná pro přenesení namáhání vzniklého teplotními změnami v krytu vozovky. Přidanou hodnotou skleněných geomříží se stala frézovatelnost a snadná recyklovatelnost. [15]

Společnost Saint-Gobain ADFORS vyrábí sklovláknité geomříže od roku 1984 pod obchodním názvem GlasGrid®. [15]

1.2 VZNIK TRHLIN A TVAROVÝCH PORUCH V ASFALTOVÝCH VOZOVKÁCH

Tvorba trhlin a poruch v asfaltovém betonu, neboli směsi asfaltu a kameniva využívaného pro stavbu silničních vozovek, nastává obecně důsledkem změny teplot a cyklickou zátěží. [16]



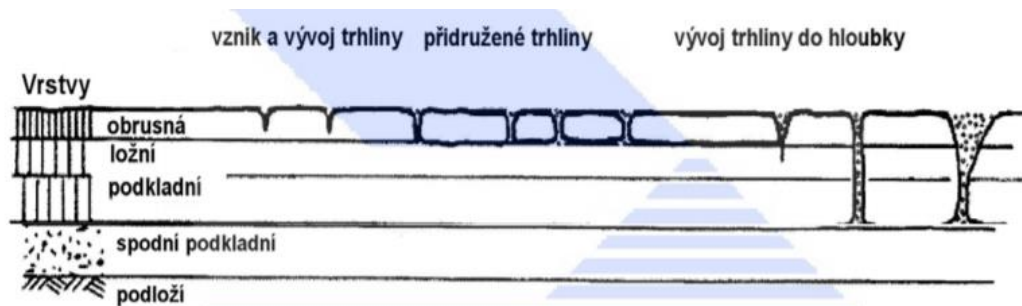
Obr. 1 Skladba vozovky a rozsah postižení poruchami; [16]

K poškozování a poruše povrchu vozovky a konstrukce vozovky vedou různé mechanismy porušování, které souvisí s návrhem vozovky, s dodržáním konstrukčních požadavků a s provedením vrstev (návrhem, použitím hmot, výrobou a položením). Poruchy mohou postihnout pouze povrch nebo až celou konstrukční skladbu viz. Obr. 1. [16]

Protože se ve většině případů jedná o poruchy asfaltových vrstev je třeba zmínit základní vlastnosti pojiva, tedy asfaltu, které jsou závislé na teplotě. Při nízkých teplotách v rozmezí 5 až 10 °C jsou asfaltové směsi pružné a jejich vlastnosti lze přirovnat k betonu. Při vysokých teplotách mezi 40 až 65 °C a dlouhodobém zatížení se asfaltové pojivo chová jako velmi hustá kapalina. Dochází k posunu zrn kameniva uvnitř asfaltové směsi, které se pohybují z míst s vysokým tlakem na místa mimo jeho působení. Na vzniku poruch se také podílejí kamenivo, konstrukce vozovky a úprava podloží. Dochází tak k tvarovým deformacím, praskání, vyjíždění kolejí a znehodnocování povrchu vozovky. [16]

1.2.1 MRÁZOVÉ TRHLINY

Pokud se rychle změní teplota na povrchu vozovky, nebo teplota klesne pod -20 °C, mohou se vytvořit na povrchu vozovky tzv. smršťovací trhliny viz. Obr. 2. Trhliny se při opakovaném smršťování dále šíří a mohou prorůst až do ložní nebo podkladní vrstvy vozovky, kde zapříčiní narušení spojení vrstev, což po určitém čase vede až k vytvoření mozaikových trhlin. Směr růstu mrazových (smršťovacích) trhlin je z povrchu do těla vozovky. [16]

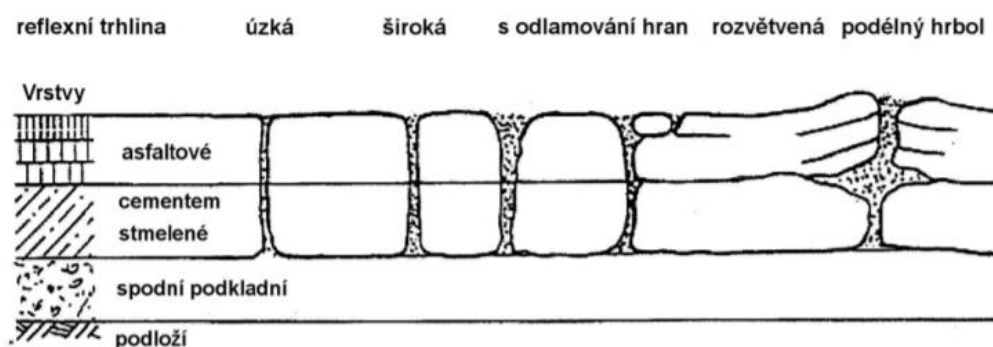


Obr. 2 Vznik a vývoj mrazových trhlin; [16]

1.2.2 REFLEXNÍ TRHLINY

Při výstavbě podkladů stmelených hydraulickými pojivy (pojivo, které tvrdne ve vodním prostředí, nejčastěji cement [25]), dochází při tvrdnutí podkladní vrstvy ke smršťování, podobně jako u betonu, které pokud vyvolá ve vrstvě tahové napětí vyšší, než je pevnost materiálu dané vrstvy, dojde ke vzniku příčných reflexních trhlin přes celou šířku vozovky viz. Obr. 3. Čím vyšší je pevnost betonu nebo stmeleného podkladu, tím menší je vzdálenost mezi trhlinami, která se pohybuje mezi 3 až 30 m. [16]

Po vzniku smršťovacích trhlin dochází k jejich rozevírání a uzavírání teplotní roztažností v závislosti na teplotě vrstvy. Pokud je podkladní vrstva překryta asfaltovými vrstvami, spojením se pohyby teplotní roztažnosti přenáší do asfaltových vrstev a trhlina začne prorůstat až na povrch vozovky. Rozšiřování a uzavírání trhlin pokračuje, trhlinami proniká voda a trhliny jsou vyplňovány pískem a nečistotami. [16]



Obr. 3 Vznik a vývoj reflexních trhlin; [16]

1.2.3 NEPRAVIDELNÉ A MOZAIKOVÉ TRHLINY

Vznikají nejčastěji z důvodu použití pojiva o nižší penetraci, nebo když byla použita nevhodná modifikační přísada elastomerního typu (nižší obsah pojiva než optimální). Dojde tak k vadnému spojení obrusné a ložní vrstvy. [16]

Za nízké teploty a spolu se zatížením dopravou vznikají nepravidelné trhlinky v místě nejvíce namáhaného průřezu a v místě oslabení vrstvy (špatná velikost kameniva, vysoká mezerovitost apod.). Trhlinky prorůstají vadnou vrstvou nejčastěji na okraji stopy vozidel. Trhliny se prodlužují a větví. Začíná se tvořit síť mozaikových trhlin, jejíž rozměry se přibližují tloušťce nespojených vrstev. [16]

Tento mechanismus vzniku trhlin má nejčastěji za následek vytváření výtlučků na vozovce. [16]

1.2.4 SÍŤOVÉ TRHLINKY

Cyklickým zatěžováním v místě největšího namáhání na spodním lici asfaltových vrstev dojde k narušení spojení mezi zrny kameniva a vzniku zárodku trhliny, která se následně šíří k povrchu. Dochází ke spojování trhlin v síť, která má menší hustotu než u mozaikových trhlin, následuje zatlačování vozovky do podloží a vytvoří se trvalá deformace vozovky. [16]

1.2.5 TRVALÉ TVAROVÉ DEFORMACE VOZOVKY

Trvalé deformace tvaru vozovky vznikají kumulací nepružných přetvoření jednak v asfaltových vrstvách, v nestmelených vrstvách vozovky a v podloží, vlivem objemových změn. K takovým

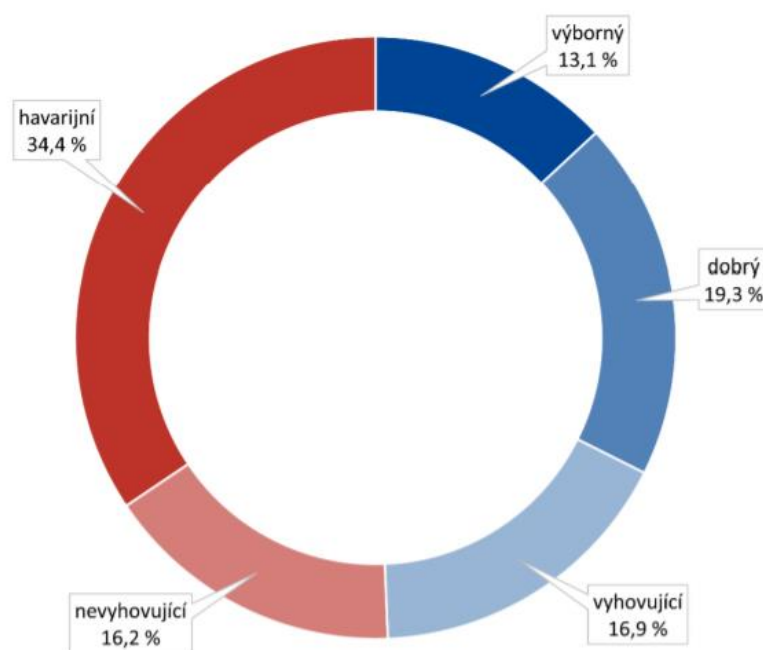
deformacím nejčastěji dochází při působení vysokých teplot (60 °C) a za současného působení statického a pomalého zatížení (autobusové zastávky, semaforey apod.), nebo pokud je zatížení soustředěno v jízdních stopách. [16]

Pozn. Rozsáhlý přehled vad s detailním popisem a specifikacemi včetně mechanismů jejich vzniku vydalo Ministerstvo dopravy pod názvem Katalog poruch netuhých vozovek, (viz. zdroj: [16])

1.3 SOUČASNÝ STAV VOZOVEK V ČESKÉ REPUBLICE

V České republice se k 1.7.2017 nacházela síť pozemních komunikací o celkové délce 55 769,9 km, které se dále člení na dálnice, silnice a místní komunikace. Z toho silnice II. a III. třídy tvořily významnou část (87,3 %). [26]

Základní přehled nám mohou poskytnout informace od Nejvyššího kontrolního úřadu (NKÚ), který prováděl šetření o stavu komunikací II. a III. tříd. Stav silnic hodnotil pětibodovou stupnicí, kdy z šetření vyplynulo, že stav komunikací je v průměru horší než 3, tedy nevyhovující až havarijní viz. Obr. 4. [26]



Obr. 4 Stav silnic II. a III. třídy v České republice 2017; [26]

Pokládání výztužných geomříží do krytu vozovky se v západních zemích stalo poměrně běžnou praxí, zvláště u důležitých a vytížených dopravních tras. V České republice je technologie sklovláknitých geomříží poměrně opomíjena a málo rozšířena, což může mít negativní vliv a zhoršovat aktuální situaci ohledně stavu asfaltových vozovek.

1.4 TECHNOLOGIE POKLÁDKY SKLOVLÁNITÝCH MŘÍŽÍ GLASGRID

Výběr správné technologie pokládky a dodržení specifických technických požadavků je základním předpokladem pro kvalitní spojení geomříže s přílehlými asfaltovými vrstvami. Neméně důležitý je i výběr správného typu geomříže v závislosti na stavu povrchu a způsobu pokládky, vhodný výběr podmiňuje správnou dlouhodobou funkci geomříže po položení, kdy dochází k efektivnímu pohlcování trhlin, napětí a prodloužení celkové životnosti vozovky.

Při pokládání geomříže na povrch vozovky je třeba dodržet technická specifika uvedená v technickém listu výrobku (teplota, počasí, vlhkost, překrytí, čistota povrchu apod.) a zvolit vhodnou technologii pokládky, tedy samolepicí pokládku nebo položení na asfaltový nástřik.

1.4.1 POŽADAVKY PRO SPRÁVNOU POKLÁDKU MŘÍŽÍ

Samotné zahájení pokládky je podmíněno splněním určitých technických požadavků a předpokladů, které musí být v průběhu aplikace kontrolovány a dodržovány. Při nesprávné a neodborné aplikaci může dojít k řadě instalačních vad s nutností demontáže nebo ztrátě významu přidání výztužné geomříže do konstrukce vozovky.

ČISTOTA POVRCHU A VYPLNĚNÍ TRHLIN

Před samotnou pokládkou je nezbytné, aby byl povrch maximálně čistý, vymeten, bez kamínků a prachu. Je nutné vyspravit trhliny větší než 6 mm vhodnou vysprávkovou hmotou. [19]

KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Musí být dodrženy místní normy a předpisy pro pokládku asfaltových povrchů (např. teplota, srážky, vlhkost). [19]

Teplota povrchu vozovky se musí pohybovat v rozmezí 5 až 60 °C a je nezbytné, aby byl povrch pro pokládku dokonale suchý, protože by mohlo docházet ke snížení adheze pokládaných geomříží. [19]

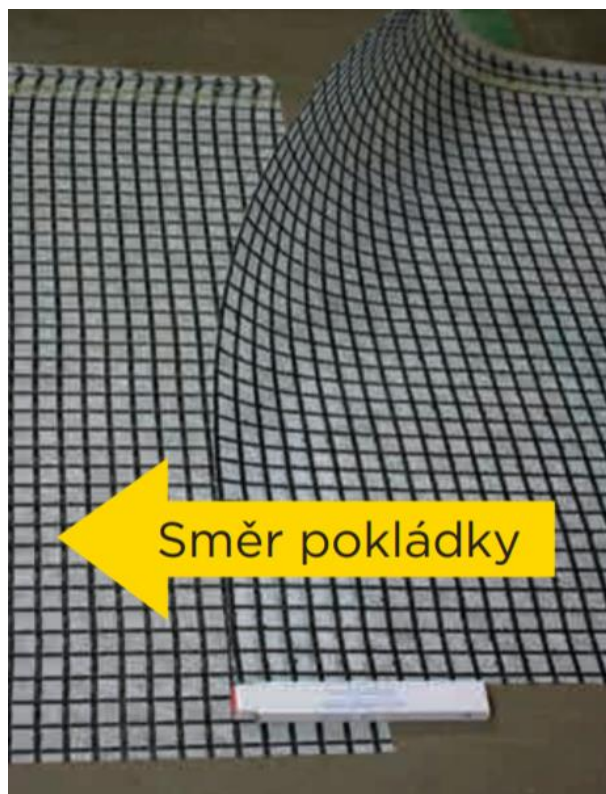
KVALITA SPOJOVACÍHO POSTŘIKU

Pro dokonalé spojení asfaltových vrstev se v obou případech používá spojovacího postřiku. Vhodný je polymerem modifikovaný spojovací postřik s minimálním obsahem asfaltu 60 % (např. C60BP1-S). Dávkování závisí na podmínkách projektu a pohybuje se v rozmezí 0,2 až 0,5 kg/m² zbytkového množství asfaltu v postřiku. [19]

Spojovací postřik musí být vyštěpen před aplikací asfaltové vrstvy, což znamená, že se z jeho obsahu odpaří optimální množství vody (v praxi se pozná podle změny barvy, ztmavnutí). [19]

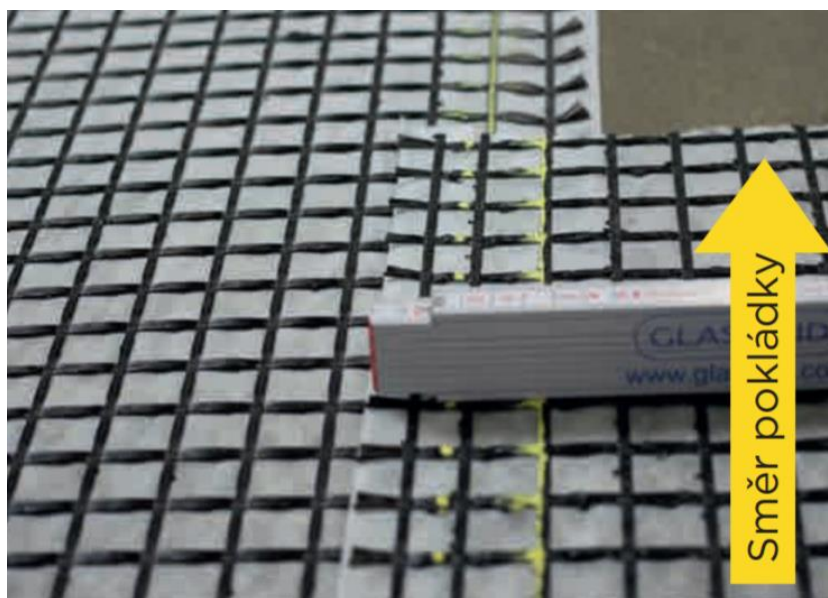
PŘEKRYTÍ A PŘÍZPŮBENÍ

Geomříž GlasGrid® musí být instalována bez zvlnění a zlomů. Dostatečné napnutí mříže při pokládce zabrání tomuto jevu. [19]



Obr. 5 Příčné překrytí 100 až 150 mm; [31]

Příčné překrytí mříží na koncích role musí být v rozmezí 100 až 150 mm viz. Obr. 5. [19]



Obr. 6 Podélné překrytí minimálně 50 mm; [31]

Podélné překrytí minimálně 50 mm viz. Obr. 6. Není vhodné překládat více než jednou na stejném místě, tzn. maximálně dvě vrstvy geomříže. [19]

Je vhodné vyříznout geomříž do potřebného tvaru, který kopíruje nerovnosti na komunikaci (např. propustky, kanalizační šachty atd.). Pro vyříznutí otvorů je dostatečný obyčejný zalamovací nůž. [19]

Při instalaci v zatáčkách se geomříž nepřizpůsobí změnám směru komunikace a musí být vždy v daném místě přeříznuty po celé šíři a dostatečně přeloženy v požadovaném novém směru. [19]

Překlady mříže musí být realizovány tak, aby nedocházelo ke spojům přímo v oblasti větších trhlin, pracovních spár (podélné i příčné) v podkladu, ale také s respektem k pokládce nových vrstev. Není vhodné překrytí mříže v oblasti podélné spáry v případě pokládky dvou komunikačních pruhů. Překlady by měly být provedeny minimálně 0,5 m od zmiňovaných oblastí. [19]

PROVOZ PO APLIKACI MŘÍŽE

Je dovoleno přejíždět pouze stavební technice, záchranným a bezpečnostním vozům s maximální rychlostí 20 km/h viz. Obr. 7. Vozy musí minimalizovat otáčení a prudké brzdění na instalované mříži. [19]



Obr. 7 Pojezd vozidel po aplikované samolepící mříži GlasGrid®; [29]

Pro snížení přenosu spojovacího postřiku na kola a pásy techniky je doporučeno aplikovat např. 1 až 1,5 kg/m² kameniva velikosti 1 až 3 mm nebo 2 až 5 mm. [19]



Obr. 8 Selhání instalace geomříže bez adhezni vrstvy; [30]

Při pojezdu v čerstvém a nevyštěpeném postřiku může docházet k jeho nadměrnému nalepování na kola vozidel a hrozí v krajním případě až zničení instalované geomříže viz. Obr. 8. [19]

TEST PŘILNAVOSTI

Provádí se pro kontrolu a ověření dostatečné přilnavosti geomříže k povrchu pomocí kalibrované měřicí váhy tzv. mincíře viz. Obr. 9. [19]



Obr. 9 Test přilnavosti; [27]

Dostatečně kvalitní propojení geomříže s povrchem vozovky ověříme tak, že zahákáme mincíř za aplikovanou geomříž v místě spoje čtyř ok viz. Obr. 9 a táhneme směrem vzhůru kolmo k povrchu vozovky. Jakmile se začne skelná mříž oddělovat od povrchu vozovky odečteme hodnotu na mincíři. Naměřená hodnota musí být minimálně 9 kg, test by měl být prováděn každých 300 m² a zanesen do protokolu. [19]

POKLÁDKA ASFALTOVÝCH VRSTEV

Po úspěšné instalaci geompříže a vyštěpení spojovacího postříku je nutné položit krycí asfaltovou vrstvu během 24 hodin s minimální tloušťkou po zhutnění 40 mm, ideálně aplikovat vrstvu o tloušťce 50 mm po zhutnění viz. Obr. 10. [19]



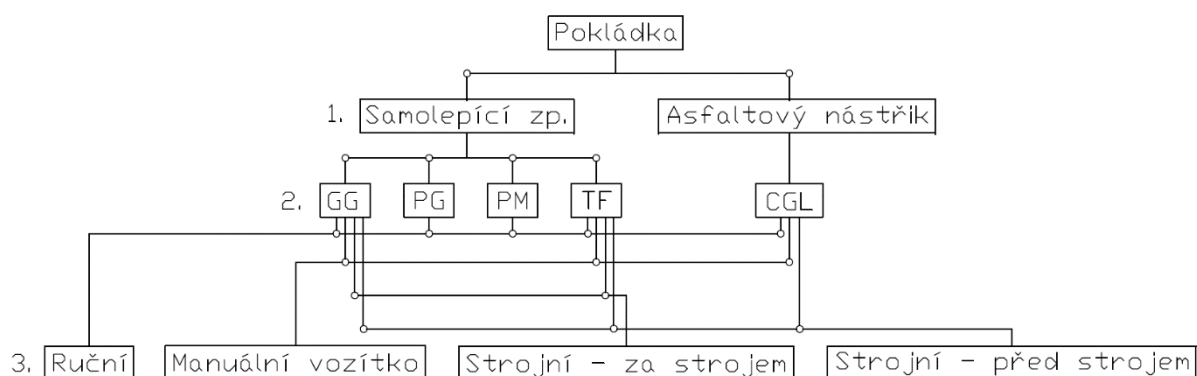
Obr. 10 Pokládka asfaltové vrstvy; [28]

Pokládka asfaltových vrstev na výztužné mříže v prudkých stoupáních a klesáních, prudkých zatáčkách a oblastech s možností výskytu zvýšených smykových sil působících na povrch komunikace je považována za problémovou. Pokud se mříž posouvá nebo vlní, je nutné zastavit pokládací proces a udělat nápravná opatření. [19]

1.5 TECHNOLOGICKÝ STROM POKLÁDKY SKELNÝCH GEOMŘÍŽÍ

Jelikož výběr vhodné technologie pokládky, typu geomříže a způsobu pokládky spolu souvisí, byl na následujícím obrázku vytvořen technologický strom, ve kterém jsou pro lepší přehled graficky znázorněny vztahy viz. Obr. 11.

Není například vhodné pokládat role typu CGL na asfaltový nástřik za strojem, jelikož by docházelo k pojezdu kol pokládacího stroje v čerstvém spojovacím postříku a jeho nalepování na kola.



Obr. 11 ; Možné řešení pokládky sklovláknitých geomříží; 1. Technologie pokládky; 2. Typy geomříží; 3. Způsoby pokládky;

1.5.1 POKLÁDKA SAMOLEPÍCÍM ZPŮSOBEM

Používá se pouze pro geomříže samolepící, které jsou z jedné strany obaleny speciální samoadhezní vrstvou, která zajišťuje dokonalé přilepení s podkladním asfaltovým povrchem. [18] [20]

Samolepící geomříž se pokládá pouze na hladký povrch stávající vozovky nebo na vyrovnávací asfaltovou vrstvu nově položeného asfaltu o minimální tloušťce 20 mm viz. Obr. 12. [18] [20]

Po aplikaci na povrch vozovky se samolepící vrstva aktivuje pojezdem pneumatikového válce (přitlačením k vozovce). Méně vhodnou variantou je ocelový válec, ale vzhledem k horší dostupnosti pneumatikových válců na místech realizace se v praxi volí i tato varianta. [18] [20]

Na povrchu vozovky s již položenou a aktivovanou samolepící mříží se aplikuje pouze jeden spojovací postřik za účelem perfektního spojení s horní asfaltovou vrstvou. Následuje položení poslední vrchní asfaltové vrstvy. [18] [20]



Obr. 12 Aplikace samolepící geomříže GlasGrid® typ GG; [19]

Společnost ADFORS pro tuto technologii samolepící pokládky vyvinula geomříže řady GlasGrid® GG a GlasGrid® TF. Výhodou je jednoduchá a rychlá pokládka, podmínkou je hladký povrch vozovky. [20] [24]

1.5.2 POKLÁDKA NA ASFALTOVÝ NÁSTŘIK

Jedná se o geokompozitní mříže opatřené netkanou textilií, které jsou určeny k pokládání na nedokonalý hladký povrch (odfrézovaný nebo již starší stávající povrch), nebo pokládce mezi ložní a podkladní vrstvu vozovky. [18][21]

Geokompozitní mříž je opatřena hustou netkanou textilií, která zajišťuje mimo výztužných vlastností i funkci hydroizolační a zamezuje průniku vody skrze konstrukční vrstvy vozovky. Hydroizolační funkce je podmíněná dokonalým nasáknutím geomříže spojovacím postříkem. [18] [21]

Bezprostředně před položením geokompozitní mříže se aplikuje spojovací postřík a do čerstvého postříku se postupně odmotává geokompozitní mříž, kterou je vhodné k povrchu přitlačit koly nebo košťaty, aby došlo k úplnému nasáknutí netkané textilie spolu s geokompozitní mříží viz. Obr. 13. Po vyštěpení spojovacího postříku je možno pokládat horní asfaltovou vrstvu [18] [21]



Obr. 13 Pokládka geomříže GlasGrid® CGL na asfaltový nástřík; [32]

Pro tuto technologii pokládky jsou vhodné geokompozitní mříže řady GlasGrid® CGL. [21]

1.6 TYPY SKLOVLÁKNITÝCH MŘÍŽÍ SPOLEČNOSTI SAINT-GOBAIN ADFORS

Společnost Saint-Gobain ADFORS je největším českým producentem skelného vlákna se sídlem a hlavním výrobním závodem v Litomyšli. Ze skelného vlákna jsou zde vyráběny různé produkty včetně výztužné geomříže do asfaltových vozovek dle certifikace ISO 9001:2015. Současně splňují všechny požadavky normy EN 15381. [48]

V současné době výrobce nabízí pět základních typů výztužných skelných mříží pod obchodním názvem GlasGrid®, které se liší svými vlastnostmi a vhodností způsobu použití. [48]

Všechny produktové řady se vyznačují velmi vysokou tuhostí a pevností v tahu. Povrch splétaných vláken je potažen speciálním patentovaným polymerem, který zajišťuje ochranu vláken a napomáhá optimálnímu spojení vrstev. [48]

Použitím výztužných geomříží do konstrukce vozovky by mělo být dosaženo oddálení vzniku reflexních trhlin, zpomalení nebo úplné zastavení růstu trhlin vzniklých teplotní roztažností cementobetonového podkladu a snížení míry vzniku tvarových deformací. Ve výsledku je možné dosáhnout až trojnásobného prodloužení životnosti povrchu vozovky. [48]

1.6.1 GEOMŘÍŽ GLASGRID® GG

Jedná se o geomříž, která je určena pro technologii pokládky samolepícím způsobem. Spodní strana geomříže je opatřena lepidlem aktivujícím se tlakem (přitlačení pneumatikovým válcem), které usnadňuje a také urychluje pokládku, zajišťuje polohu a spojení geomříže s okolními vrstvami vozovky viz. Obr. 14. [20]



Obr. 14 GlasGrid® GG; [33]

Geomříž GlasGrid® GG musí být instalována na rovný povrch stávající vozovky nebo častěji na vyrovnávací vrstvu nově položeného asfaltu. Při použití mříže pro sanaci cementobetonových povrchů je nutno nanést tenkou asfaltovou vrstvu, na kterou je následně možná pokládka geomříže řady GG. Nevhodná je pokládka na nedokonale rovný odfrézovaný povrch. [20]

1.6.2 GEOMŘÍŽ GLASGRID® CGL

Je kompozitní geomříž určená k vyztužování asfaltových vozovek, tvořena vysoce pevnou a tuhou skelnou geomříží spojenou spolu s netkanou textilií (plošná hmotnost netkané textilie je přibližně 35 g/m²). Povrch kompozitní geomříže je potažen speciálním polymerem. [21]

Lehká netkaná textilie zajišťuje dokonalé propojení asfaltových vrstev a vyznačuje se vynikající nasákavostí spojovacího postříku (bitumenu) viz. Obr. 15. [21]



Obr. 15 GlasGrid® CGL; [34]

Kompozitní geomříže řady CGL se používají především k pokládání na nerovný povrch vyfrézované vozovky a vyznačují se mírně složitější technologií pokládky na asfaltový nástřík. [21]

1.6.3 GEOMŘÍŽ GLASGRID® PG

Je výztužná geomříž s vrstvou modifikovaného asfaltu, určená k rychlé a účinné opravě horních asfaltových vrstev. [22]

Skládá se ze skelné geomříže potažené speciálním polymerem a tenké vrstvy modifikovaného asfaltu zajišťující dokonalou fixaci geomříže k povrchu viz. Obr. 16. [22]

Určena je k ruční pokládce a využívá se pro opravy jednotlivých trhlin a malých asfaltových ploch. [22]



Obr. 16 GlasGrid® PG; [35]

Před pokládkou je nutné odstranit krycí folii z povrchu vrstvy modifikovaného asfaltu, která chrání geomříž před slepením při uskladnění v nerozvinuté roli. [22]

1.6.4 GEOMŘÍŽ GLASGRID® PM

Je geomříž složená ze sklovláknité mříže potažené patentovaným polymerem s tenkou vrstvou z modifikovaného asfaltu viz. Obr. 17. [23]



Obr. 17 GlasGrid PM; [36]

Využívá se především pro snížení tvorby trhlin v blízkosti kovových konstrukcí a vyztužení v okolí kanalizačních vpustí. Určena je k ruční pokládce. [23]

1.6.5 GEOMŘÍŽ GLASGRID® TF

Je moderní geomříž vyvinutá společností Saint-Gobain ADFORS, která zároveň zajišťuje funkci spojovacího postříku. [24]

Geomříž se skládá ze skelné geomříže potažené speciálním polymerem a je opatřena speciálním filmem viz. Obr. 18, který nahrazuje funkci spojovacího postříku a odstraňuje běžně se vyskytující problémy při technologii pokládky na asfaltový nástřík. [24]



Obr. 18 GlasGrid TF; [37]

Geomříž řady TF se pokládá samolepícím způsobem lepidlovou vrstvou směrem k povrchu vozovky a speciálním filmem nahoru.

Následně se mříž přitlačí pomocí pneumatikového válce a zkontroluje se kvalita spojení, poté je možné položení vrchní asfaltové vrstvy. [24]

1.7 ZPŮSOBY POKLÁDKY A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ STROJŮ PRO APLIKACI VÝZTUŽNÝCH GEOMŘÍŽÍ

Návrh konstrukce aplikačního zařízení je podmíněn potřebou správného a kvalitního provedení pokládky (samolepícím způsobem nebo na asfaltový nástřík), která je dána výběrem vhodného typu výztužné geomříže, na základě stavu povrchu vozovky.

V současné době řeší realizační firmy tento problém odděleně a vyvinuly si řadu méně i více sofistikovaných způsobů pokládky a konstrukcí aplikačních zařízení.

1.7.1 RUČNÍ POKLÁDKA

Je prostou metodou aplikace skelných geomříží. Geomříž je pokládána pouze za použití fyzické síly pracovníků.

Princip spočívá v prostrčení ocelové tyče (osy) dutinkou středem role, která je následně nesena nad vozovkou ve směru pokládky, při přemísťování role dochází k odmotávání a pokládání geomříže na povrch vozovky.

V těsné blízkosti za dvojicí pracovníků nesoucích roli je geomříž přitlačována k povrchu košťaty, při pokládání technologií na asfaltový nástřík, nebo rozmotána v celé délce a následně přitlačena válci k povrchu z důvodu aktivace lepicí vrstvy v případě použití geomříže se samolepicí vrstvou.

Nevýhodou je velmi vysoká fyzická náročnost, nízká produktivita a omezená maximální šíře nesené role vzhledem k její vysoké hmotnosti u větších šířích rolí.



Obr. 19 Ruční pokládka geomříže GlasGrid® GG; [Saint-Gobain ADFORS]

Ruční způsob pokládky je vhodný pouze pro místní opravy malého rozsahu nebo v místech, kde není umožněn přístup pokládací technice.

K manuální pokládce jsou určeny geomříže řady PG a PM. V případě nutnosti lze manuálně pokládat i geomříže řady GG viz. Obr. 19. [20][22][23]

1.7.2 RUČNÍ POKLÁDKA ZA POMOCI MANUÁLNÍHO VOZÍKU

Vozík je ve většině případů svařen z hutních polotovarů a dokáže pokládat role skelné geomříže nejčastěji o maximální šířce 2 m technologií pokládky na asfaltový nástřík i samolepicí.

Dutinkou uprostřed role je prostrčena ocelová osa, stejně jako v případě ruční pokládky. Role je vyzvednuta a uložena do žlábků na pokládacím vozíku, ve kterých se otáčí a pohybem vozítka

nad vozovkou ve směru pokládky dochází k samovolnému odmotávání geomříže a pokládání na povrch vozovky.

K obsluze vozítka je za potřeby dvojice pracovníků, kteří spolupracují při vyzvednutí role i při samotné pokládce. Jeden z pracovníků tlačí vozítko a řídí jeho směr, druhý pracovník se pohybuje za vozítkem a kontroluje kvalitu pokládky mříže.

Při pokládání kompozitních geomříží s využitím technologie pokládky na asfaltový nástřik (pro tuto technologii se vozík nejčastěji využívá) následuje pracovník pokládací vozík s koštětem a zatlačuje položenou geomříž do čerstvého asfaltového nástřiku za účelem dokonalého propojení geomříže s asfaltovým nástřikem viz. Obr. 20.



Obr. 20 Pokládka manuálním vozítkem geomříží GlasGrid® TF; [Saint-Gobain ADFORS]

Mezi výhody vozíku patří jednoduchá a lehká konstrukce a snadný přístup do špatně přístupných míst v místě pokládky.

Nevýhodami je limitující faktor maximální šíře pokládaných rolí vzhledem k zvyšující se váze naložené role a rostoucí fyzická náročnost práce pro pracovníka, který vozík tlačí, dále omezená rychlost pokládky a celkově vysoká fyzická náročnost práce.

1.7.3 STROJNÍ POKLÁDKA A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Za strojní pokládku považují všechny technologie pokládání skelných rolí, kdy k pohybu pokládacího zařízení nad vozovkou není třeba vyvinutí fyzické práce.

Existují různorodá konstrukční řešení, kdy je využíváno nejčastěji upevnění pokládacího zařízení ke strojům běžně dostupným na většině realizací.

Konstrukce se liší především v rozdílné míře kompatibility a bezpečnosti spojení s běžně dostupnými stroji (bagry, traktůrky, nakladače, nákladní auta apod.) a využitelnosti pro technologie pokládání na asfaltový nástřik nebo samolepící.

KONSTRUKCE ZA NÁKLADNÍ AUTOMOBIL

Jedná se nejčastěji o konstrukci svařenou z ocelových obdélníkových jáklů, která je vyrobena na míru nákladního automobilu a určena k upevnění za zadní nápravu nebo ložnou plochu automobilu.

Dutinkou role je prostrčena ocelová osa, na které se role odvaluje a geomříž se odmotává na povrch vozovky.

Role jsou manuálně vyzdvihovány do pracovní výšky a upevněny. Pokládací zařízení je většinou zkonstruováno pro menší šíře rolí, které jsou současně uskladněny na ložné ploše automobilu viz. Obr. 21.



Obr. 21 Pokládka geomříže GlasGrid GG® aplikačním zařízením upevněným za strojem; [Saint-Gobain ADFORS]

Zařízení je dobře využitelné pouze pro pokládání samolepících geomříží, jelikož při technologii pokládání na asfaltový nástřik by automobil popojížděl v čerstvé asfaltové směsi a docházelo by k nalepování velkého množství asfaltu na kola.

Nevýhodou konstrukce je omezená maximální šířka role, nekompatibilita s ostatními vyráběnými šířkami rolí a nevhodnost použití zařízení pro pokládku technologií na asfaltový nástřik.

Výhodou konstrukčního řešení je určité zrychlení pokládky. Konstrukce je pravděpodobně vhodná pro firmu, která vůz s aplikačním zařízením pravidelně využívá.

KONSTRUKCE NA TRAKTORY A SAMOHYBNÉ VOZÍTKA

Využívá se připojení pokládacího zařízení na výložník traktoru (nakladače). Zařízení je zpravidla umístěno před strojem.

Pokládací zařízení bývá osazeno sérií přitlačných pneumatikových válců, košťat a napínacím mechanismem, který zajišťuje předepnutí geomříže, před položením na povrch vozovky.



Obr. 22 Strojní pokládka geomříže GlasGrid® GG za pomoci traktoru; [Saint-Gobain ADFORS]

Výhodou technologie pokládání za použití traktorů nebo samohybného vozítka spočívá v rychlosti a produktivitě pokládání, kdy toto řešení umožňuje plně rozvinout potenciál strojní pokládky, jelikož s pomocí traktoru a vhodné konstrukce pokládacího zařízení je možno s rolemi o vyšších šířkách a váze volně manipulovat v místě realizace.

Nevýhodou je minimální kompatibilita a univerzálnost použití zařízení na jiný druh pokládacího stroje a vzniká potřeba přemístit pokládací stroj spolu s pokládacím zařízením do místa příští realizace.

Za nejdokonalejší použití pokládacího zařízení a traktoru, které se mi podařilo dohledat považuji řešení firmy Asphalt Reinforcement services Ltd., z Velké Británie, která využívá kombinaci vlastního návrhu aplikačního zařízení a pokládacího traktoru s výložníkem, které dosahuje velmi vysoké produktivity práce, až 6 000 m²/hod viz. Obr. 23. [49]



Obr. 23 Pokládací zařízení firmy Asphalt Reinforcement services Ltd.; [39]

KONSTRUKCE NA LŽICI ČELNÍHO NAKLADAČE

Využívá se zavěšení pokládacího zařízení za lžici čelního nakladače. Zařízení je umístěno před strojem a uchycovací mechanismus musí být nastavitelný pro možnost přichycení na různé rozměry lžic viz. Obr. 24.



Obr. 24 Konstrukce přizpůsobená pro umístění na lžici čelního nakladače; [Saint-Gobain ADFORS]

Výhodou může být snadná dostupnost čelních nakladačů v místech realizace a použitelnost pro všechny technologie pokládky.

Nevýhodu spatřuji především ve složité konstrukci, složitém nastavování a přípravě zařízení před zahájením pokládky a obtížné kompatibilitě s různými šířkami rolí.

KONSTRUKCE PRO UPEVNĚNÍ NA PALETOVÉ VIDLE

Pokládací zařízení je upevněno na vidle, které jsou primárně určeny pro manipulaci s paletami viz. Obr. 25.



Obr. 25 Konstrukce pokládacího zařízení určená pro paletové vidle; [Saint-Gobain ADFORS]

Výhodu shledávám v rozšíření kompatibility se stroji osazenými paletovými vidlemi, jako jsou vysokozdvizné vozíky, nebo přídavné zařízení na bagry a nakladače. Instalace na vysokozdvizný vozík je možné si prohlédnout na videu viz. [38].

Aplikační zařízení musí být konstruováno tak, aby zajistilo kompatibilitu a zároveň pevnou aretaci k vidlicím stroje, které zamezí smýkání a volnému pohybu pokládacího zařízení po ploše paletizačních vidlic v průběhu pokládky.

Nevýhodou může být horší dostupnost stroje s paletizačními vidlemi v místě pokládky.

1.8 VHODNOST UMÍSTĚNÍ POKLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ VZHLEDEM K POKLÁDACÍMU STROJI

Umístění pokládacího zařízení vůči pokládacímu stroji přímo souvisí s možností výběru technologie pokládky, tedy na asfaltový nástřik nebo samolepící.

Při použití technologie nástřiku na asfaltový nástřik musí být zařízení umístěno před strojem, aby nedocházelo k pojezdu kol v čerstvém spojovacím postřiku.

Umístění před strojem je univerzální řešení, řidič stroje má dobrý výhled na svou práci, umístění za strojem je spíše vhodné k použití pro geomříže se samolepící vrstvou.

1.8.1 PŘED STROJEM

Je využíváno u většiny pokládacích strojů a traktorů určených pro pokládku geomříží. Je vhodné pro všechny technologie pokládky, protože při pokládce na asfaltový nástřik nedochází k pojezdu kol stroje v nevyštěpeném a čerstvém nástřiku.

Konstrukce pro umístění v přední části stroje umožňuje pokládat všechny typy mříží určených pro strojní pokládku, tedy GlasGrid® typ GG, TF a CGL.

U geomříží s netkanout textilií typu GlasGrid® CGL je vhodné při pokládce brzdící roli nebo omezit rychlost pojezdu stroje, jelikož tento typ rolí neklade při rozmotávání velký odpor. Při prudkém brždění pokládacího stroje by mohlo dojít vlivem kinetické energie rotující role a setrvačnosti k odmotání většího množství role, než je nezbytné a následnému nahromadění geomříže na vozovce.

1.8.2 ZA STROJEM

Aplikační zařízení umístěné za strojem se využívají především pro aplikaci geomříží samolepícím způsobem u jednoúčelových konstrukcí umístěných na korbu nákladních automobilů.

Umístění za strojem je použitelné především pro pokládku samolepících mříží typu GlasGrid® GG a TF.

1.9 SOUČASNÝ ZPŮSOB POKLÁDKY V ČESKÉ REPUBLICE

V září 2020 jsem byl přítomen spolu se zástupkyní firmy Saint-Gobain ADFORS na místě pokládky prováděné realizační firmou nedaleko Pardubic.

V současnosti je v České republice využíván způsob pokládky za pomoci manuálního vozíku, kdy si realizační firma sama zkonstruovala pokládací vozík svařovaný z obdélníkových žlábků.



Obr. 26 Pokládka nedaleko Pardubic září 2020 [autor];

Vozík je vidlicového tvaru a krajní části jsou opatřeny žlaby pro manuální naložení skelné role. Do žlabů jsou uloženy konce osy, která je prostrčena dutinkou, a role při nákladu na ose rotuje. Vozík je opatřen dvojicí pojezdových kol a dvěma oji, tlačným a tažným.

Pokládací vozík umožňuje pokládku na asfaltový nástřik kompozitních geomříží viz. Obr. 26, kdy je zařízení tlačeno pracovníkem a přitlačení geomříže k povrchu vozovky je realizováno manuálně koštětem.

Pokládání samolepícím způsobem je prováděno tažnou ojí, kdy je pokládací vozík připojen za tažné zařízení dodávky a pokládka je prováděna s pokládacím zařízením umístěným za strojem.

Výhodou je skladnost, vysoká mobilita navržené konstrukce pokládacího zařízení a nízká finanční náročnost výroby.

Nevýhodu spatřuji v omezené maximální šířce pokládané role, nižší produktivitě a vysoké fyzické náročnosti práce.

Při konstrukci vlastního pokládacího zařízení jsem se inspiroval současným stavem a snažil jsem se nalézt variantu, která by kombinovala výhody výše popsaných konstrukčních řešení a minimalizovala jejich nevýhody.

2 NÁVRH KONCEPCE VLASTNÍHO KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

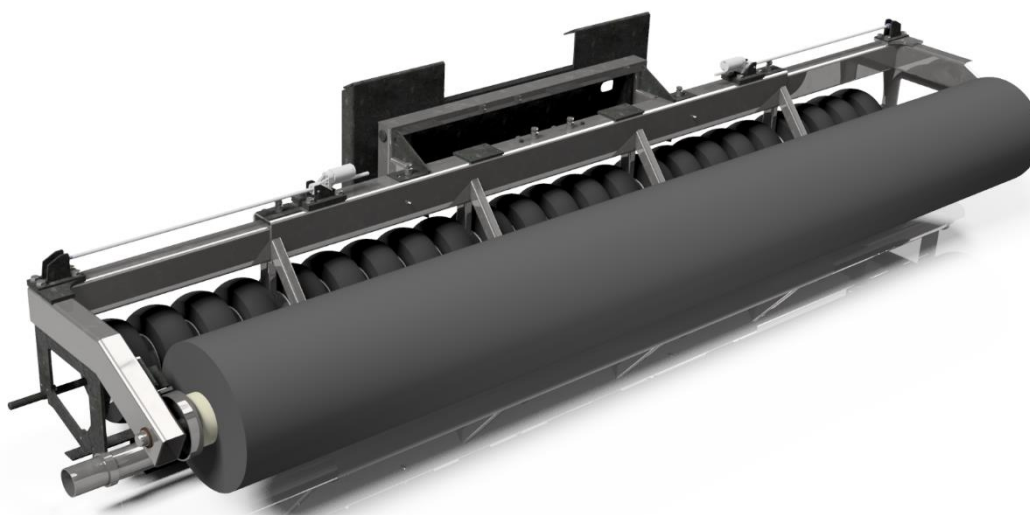
Z důvodu požadavku na možnost pokládky všech rozměrů rolí nabízených v portfoliu společnosti ADFORS bylo zařízení navrženo jako jeden funkční celek s možností změny rozteče a pokládky všech rozměrů, typů a hmotností rolí geomříže v současnosti vyráběných společností Saint-Gobain ADFORS.

Zařízení je schopno částečného teleskopického výsuvu pokládacích ramen, tedy změny rozteče v závislosti na šířce pokládaných rolí. Ramena mohou být stavitelná buď manuálně nebo elektromechanickým pohonem s pomocí zdvižné převodovky a pohybového šroubu. Uvažováno bylo i nad hydraulickým pohonem, kdy by bylo možné patice pro pohon výsuvných ramen nahradit paticemi pro hydraulický pohon a osadit hydromotory, ale z důvodu vysoké ceny a nízkých silových požadavků se s jeho využitím v praxi nepočítá.

Pro zajištění kompatibility s různými pokládacími stroji je pokládací zařízení opatřeno mezikusem, který se vkládá do patice přivařené na rámu pokládacího zařízení. Účelem mezikusu je minimalizovat nutnost individuálních úprav, popřípadě je omezit pouze na tuto vyměnitelnou část.

V základu je zařízení osazeno rychloupínací deskou QickTach viz. Obr. 27, která je přivařena na mezikus a celek je vložen do patice a pojištěn čepy. Tato varianta by měla zajistit kompatibilitu s většinou smykem řízených mininakladačů.

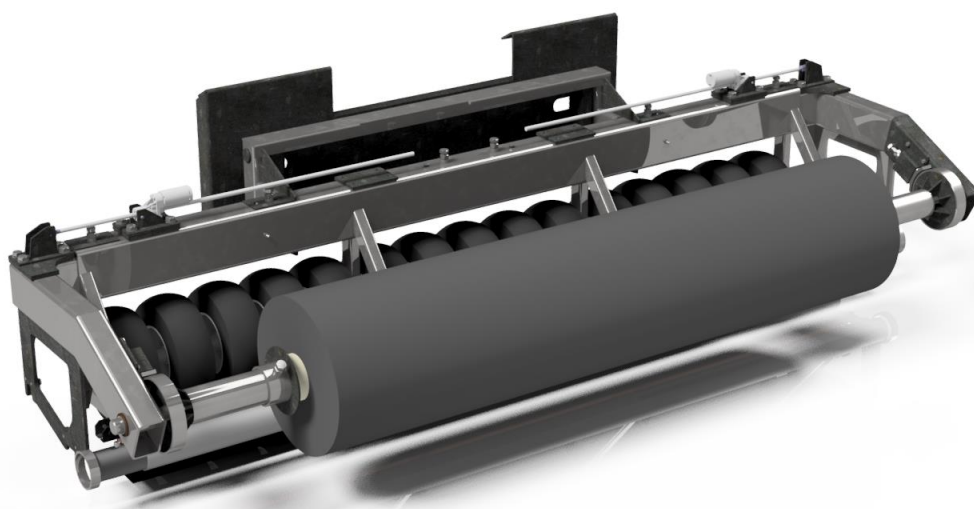
V případě nutnosti má možnost realizační firma si spojovací mezikus upravit na míru svého pokládacího stroje, přivařit oka nebo vyvrtat díry, které budou kompatibilní s upínacím zařízením na stroji, který firma sama využívá a následně vložit do patice a připojit pokládací zařízení k pokládacímu stroji.



Obr. 27 Vlastní návrh aplikačního zařízení pro pokládku skelných geomříží GlasGrid®;

Nakládání rolí se provádí s pomocí středících jehlanů a výsuvných ramen. Jehlany jsou vsunuty do dutinky ve středu role, současně s nakládáním dochází i k vystředění. Pro role šíře 1 m a 1,5 m není tento způsob možný z důvodu kolize výsuvných ramen uvnitř vnějšího vedení. Bylo zvoleno jednoduché řešení pomocí ocelové osy, která je prostrčena dutinkou. Zasunutí středících jehlanů se v tomto případě provádí dovnitř ocelové osy. Na ocelové ose jsou současně nasunuty aretační příruby, které zajišťují polohu role vůči ose viz. Obr. 28.

Způsob nakládání rolí na pokládací zařízení zasouváním středících jehlanů byl zvolen z důvodu možného použití i pro nabírání rolí například z ložné plochy nákladního automobilu, skládání a manipulaci s rolemi geomříže v místě pokládky.



Obr. 28 Vlastní návrh pokládacího zařízení, naložená geomříž šíře 1,5 m;

Pokládací zařízení společně s naloženou rolí geomříže o největším vyráběném rozměru má hmotnost přibližně 399 kg.

Pokud bude pokládací stroj splňovat základní požadavek dostatečné únosnosti, bude možné zařízení připojit s použitím vhodně upraveného mezikusu například na kloubové mininakladače, smykem řízené mininakladače, vysokozdvížné vozíky, čelní nakladače a další.

3 NÁVRH KONSTRUKCE POKLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ

V následující části práce bude představena konstrukce pokládacího zařízení a vysvětlena funkce jednotlivých částí.

Konstrukce je navržena jako svařenec, kdy z velké části byly využity hutní polotovary. Pro některé dílce a součásti bylo v případě nutnosti přistoupeno k vypalování specifických tvarů dílců nebo nákupu komponent, které budou dále popsány.

Zařízení je částečně schopno měnit rozteč mezi středícími jehlany, ve kterých při pojezdu stroje a pokládce geomříž GlasGrid® rotuje, odmotává se a pokládá na vozovku. Rozteč výsuvných ramen je nastavitelná pro role vyšší šíře 2 m a 3 m, zároveň je zde řešeno taktéž vymezení vůle ve vedení.

Pokládací zařízení má za úkol kromě rovnoměrného rozmotání a uložení mříže na povrch vozovky současně zajistit dostatečné přitlačení mříže k povrchu, z toho důvodu je pokládací zařízení osazeno přitlačnými pojezdovými koly, které naleznou využití především při pokládce mříží samolepícím způsobem. Pro fixaci mříže na povrchu vozovky při pokládce technologií na spojovací postřík rolí typu CGL je pokládací zařízení osazeno přitlačnými kartáči, kola mohou být demontována, nebo ponechána podle vhodnosti na základě posouzení aplikační firmy.

Pro vznik dostatečného předepnutí geomříže při odmotávání je zařízení osazeno dvojicí jednoduchých brzdných členů, které brzdí rotaci role a fungují na principu přitlačování brzdného špalíku s brzdovým obložením na třecí plochu středících jehlanů. Brzdný člen je stavitelný utahováním šroubu a přitlačná síla vzniká stlačením pružiny uvnitř těla brzdného členu.

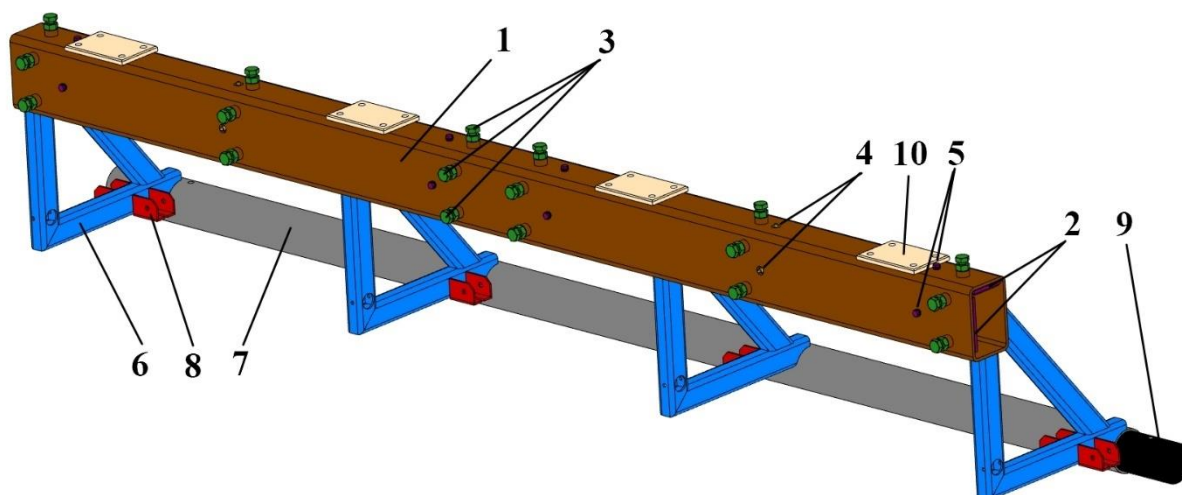
3.1 NOSNÁ STŘEDOVÁ KONSTRUKCE

Nosná středová konstrukce tvoří základní konstrukční prvek pokládacího zařízení. Zajišťuje správné uložení a vedení výsuvných ramen, vymezení vůle v posuvu a upevnění všech přilehlých komponent.

Středová konstrukce se skládá z vnějšího vedení, kluzných desek, nosné konstrukce kol, patic pro uchycení kartáčů, naváděcí trubky geo-mříže, spojovacího mezikusu a ocelových desek pro uchycení patic pro pohon výsuvných ramen viz. Obr. 29.

Ke středové konstrukci je následně přivařena patice pro připojení pokládacího stroje. Skrze díry v nosné konstrukci kol jsou prostrčeny osy pojezdových kol a uvnitř vnějšího vedení jsou umístěna výsuvná ramena, do patic pro přitlačné kartáče jsou následně upevněny přitlačné kartáče.

Středová konstrukce slouží jako pevný základ především pro konfiguraci rozteče mezi výsuvnými rameny.

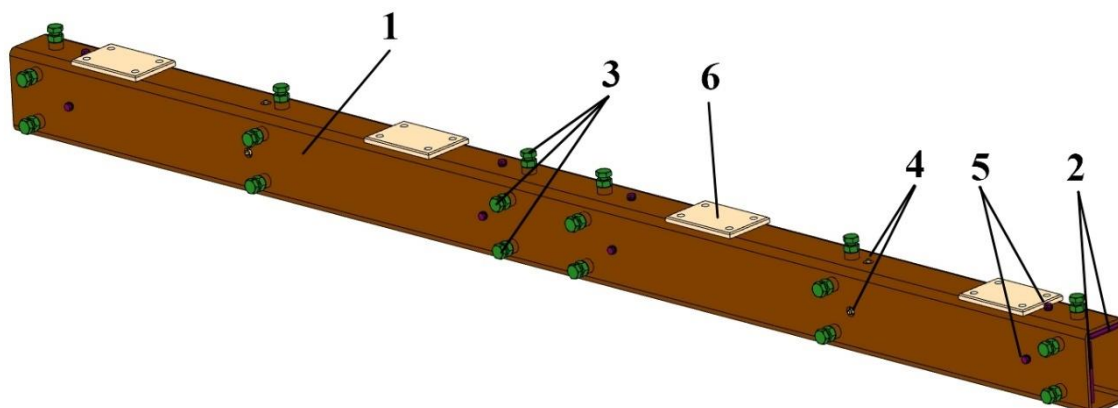


Obr. 29 Nosná středová konstrukce; 1 – vnější vedení; 2 – kluzné desky; 3 – aretační šrouby; 4 – maznice; 5 – upevnění kluzných desek; 6 – nosná konstrukce jezdových kol; 7 – třecí hrana; 8 – patice pro upevnění přitlačných kartáčů; 9 – spojovací mezikus pro třecí hranu; 10 – ocelová deska pro uchycení patice pro pohon výsuvných ramen;

V případě konfigurace zařízení pro role širší 3 m se na spojovací mezikus třecí hrany (třecí hranou je označována ocelová trubka umístěná před přitlačnými kartáči, která usměrňuje geomříž před uložením na vozovku viz. Obr. 29) připojí prodlužovací trubka a pojistí se šroubem, do otvorů ve spodní části nosné konstrukce kol se připojí přídavné segmenty jezdových kol a pojistí se čepem, do krajních patic pro přitlačné kartáče se připojí přídavné segmenty přitlačných kartáčů a pojistí se proti vypadnutí čepem se závlačkou.

3.1.1 LINEÁRNÍ VEDENÍ

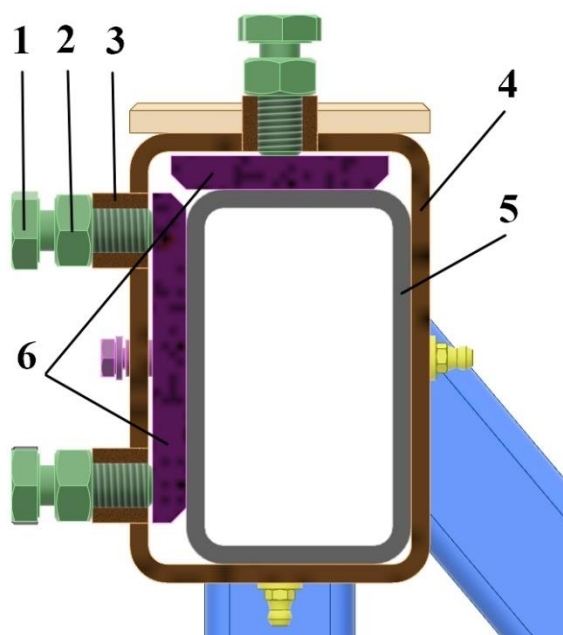
Je vyrobeno z hutního polotovaru obdélníkového jáklu dle ČSN EN 10219-2 o rozměrech 120x80x5 mm a délce 2000 mm.



Obr. 30 Lineární vedení; 1 – vnější vedení; 2 – kluzné desky; 3 – vymežovací šrouby; 4 – maznice; 5 – upevnění kluzných desek; 6 – ocelové desky pro připojení pohonu výsuvných ramen;

VYMEZENÍ VŮLE V LINEÁRNÍM VEDENÍ

Ve vnějším vedení je vyvrtáno 18 děr o průměru 20 mm, které jsou osazeny válečky z ocelové kulatiny s vyřezaným vnitřním metrickým závitem M12 pro šrouby sloužící k vymezení vůle ve vedení a jsou zavařeny. Zavařené válečky slouží k zvětšení nosné výšky závitu z původní hodnoty dané tloušťkou stěny jáklu, tedy z 5 mm na 15 mm a zvětšení plochy na vnějším vedení, do které se přenáší osově přes vymezovací šrouby síla z kluzných desek na stěnu vnějšího vedení. Do otvorů se závitem v ocelových válečcích je zašroubováno šest šroubů M12 vymezujících vůli ve vertikálním směru a 12 šroubů ve směru horizontálním, poloha šroubů je aretována pomocí kontrování maticemi o vnější plochu ocelového válečku viz. Obr. 31.

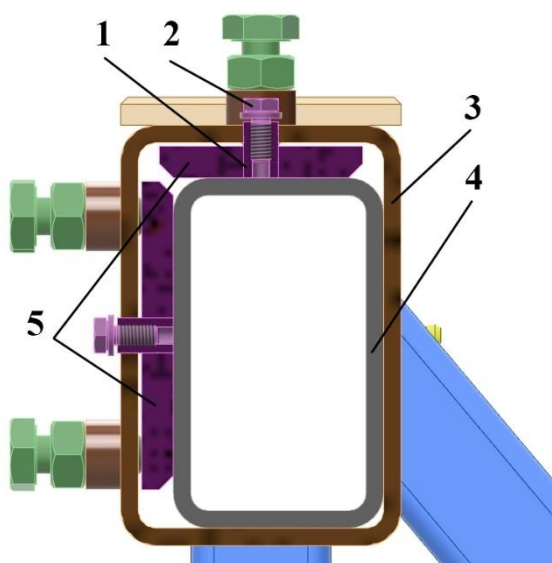


Obr. 31 Vymezení vůle (řez); 1 – vymezovací šroub; 2 – aretační matice; 3 – ocelový váleček s vnitřním závitem; 4 – vnější vedení; 5 – výsuvné rameno; 6 – kluzné desky;

UPEVNĚNÍ KLUZNÝCH DESEK

Ve vnějším vedení bylo dále vyvrtáno 8 děr o průměru 10 mm, které slouží pro ustavení kluzných desek. Při vložení kluzné desky dovnitř vnějšího vedení se kulatina vyčnívající z kluzné desky těmito děrami prostrčí a z vnější strany přišroubuje šrouby s metrickým závitem M6. Kluzná deska je tak ustavena ve své poloze již při montáži výsuvných ramen a zároveň kulatina procházející vnějším vedením pohlcuje případné posuvné axiální síly vznikající třením při vysouvání mezi kluznými deskami a výsuvnými rameny.

Mezi šroubem M6 pojišťujícím kluznou desku a vnějším povrchem vnějšího vedení je vůle, která dovoluje kluzné desce posun v radiálním směru kolmém na styčnou plochu kluzné desky a dovoluje tak vymezení vůle s pomocí vymezovacích šroubů viz. Obr. 32.

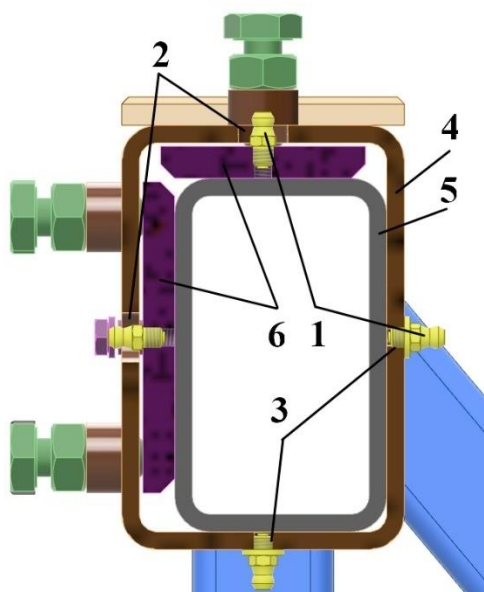


Obr. 32 Upevnění kluzných desek (řez); 1 – ocelový váleček s vnitřním závitem; 2 – upevňovací šroub M6; 3 – vnější vedení; 4 – výsuvné rameno; 5 – kluzné desky;

MAZÁNÍ VÝSUVNÝCH RAMEN

Poslední sada děr a závitů na vnějším vedení slouží pro umístění osmi pozinkovaných maznic dle DIN 71412 A se závitem M6 a zabezpečení hladkého chodu a spolehlivého mazání výsuvných ramen na třecích plochách.

Čtyři díry o průměru 14 mm jsou vyvrtány do stěn vnějšího vedení, ke kterým doléhají kluzné desky a maznice jsou zašroubovány až v závit vyřezaném skrz kluzné desky. Na protilehlých plochách stěn vnějšího vedení jsou vyřezány 4 závity M6 přímo ve stěně vnějšího vedení a osazeny 4 maznicemi, jelikož zde nejsou umístěny kluzné desky a mazivo je maznicemi distribuováno přímo do styku mezi vnějším vedením a výsuvnými rameny viz. Obr. 33.

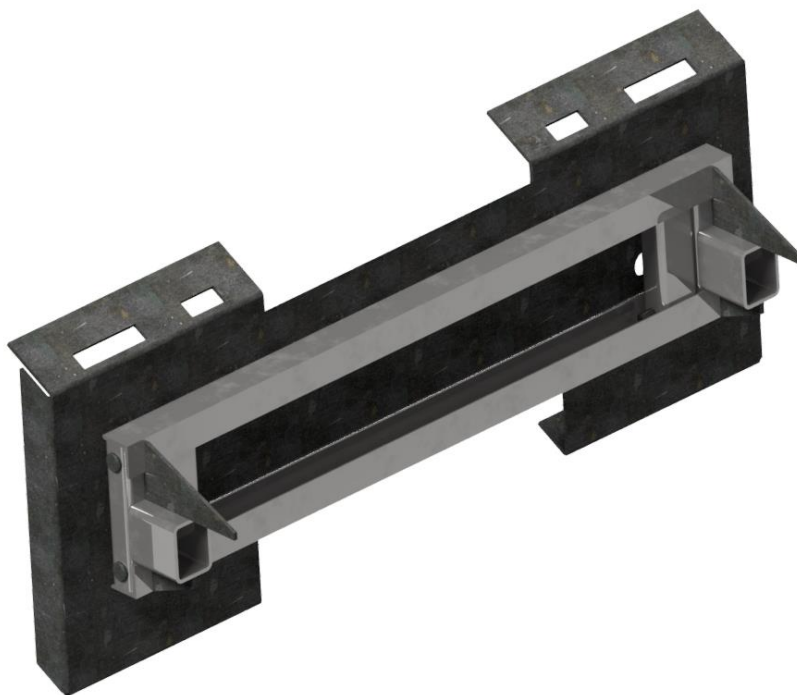


Obr. 33 Umístění maznic (řez); 1 – maznice; 2 – díry ve stěně vnějšího vedení bez závitu; 3 – díry vestěně vnějšího vedení s vyřezaným závitem; 4 – vnější vedení; 5 – výsuvné rameno; 6 – kluzné desky;

3.2 PATICE PRO PŘIPOJENÍ POKLÁDACÍHO STROJE

Patice byla navržena jako sestava složená z dvojice svařenců, patice pokládacího zařízení, která je přivařena a pevně spojena s nosnou středovou konstrukcí, druhá část je označována jako mezikus nebo spojovací mezikus a v mém případě je mezikus svařen s rychloupínací deskou Quick-Tach. Může být zvolen odlišný typ rychloupínací desky jiných rozměrů kompatibilní s ostatními typy pokládacího stroje, než jsou smykem řízené nakladače.

Na spojovací mezikus může být přivařeno zařízení navržené samotnou realizační firmou namísto rychloupínací desky s oky, otvory a děrami dle specifických požadavků na kompatibilitu s konkrétním pokládacím strojem.



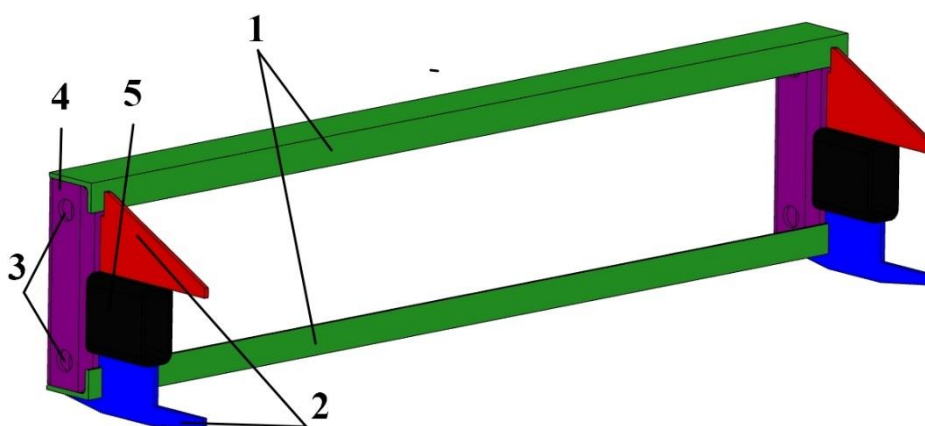
Obr. 34 Sestava patice pro připojení pokládacího stroje;

Oba svařence do sebe zapadají a jsou spojeny a zajištěny pomocí čtveřice čepů o průměru 24 mm, délkou 140 mm s hlavou a vývrtem dle ISO 2341 B viz. Obr. 34.

PATICE POKLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ

Je svařenec, který se skládá z dvojice L-jáklů a obdélníkového jáklu s otvory pro pojistné čepy.

Patice pokládacího zařízení je pevně spojena sváry k nosné středové konstrukci, spojení je zajištěno obdélníkovým jáklem opatřeným výztuhami po obou stranách viz. Obr. 35.

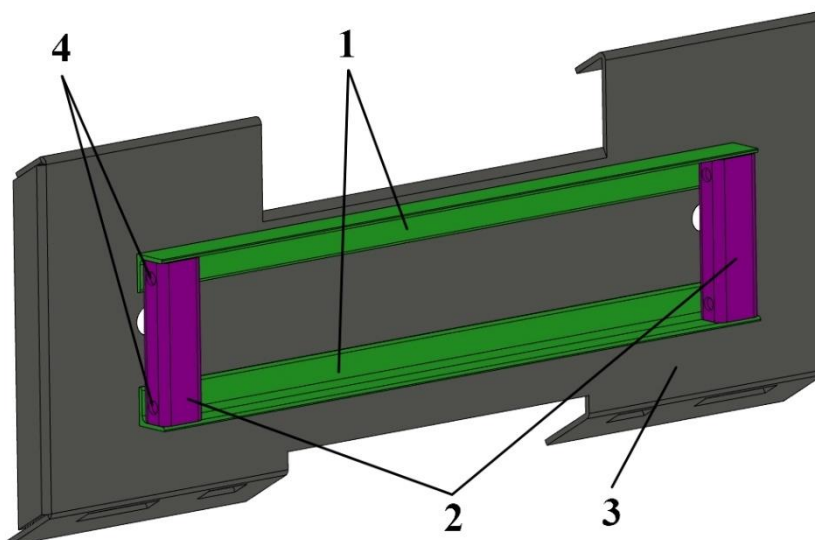


Obr. 35 Svařenec patice pokládacího zařízení; 1 – L-jäklý; 2 – výztuhy; 3 – díry pro pojistné čepy; 4 – nosné vertikální obdélníkové jákly; 5 – nosné horizontální obdélníkové jákly;

SPOJOVACÍ MEZIKUS

Je svařenec složený z dvojice L-jäklů a obdélníkových jáklů s otvory pro čepy, který je vkládán do patice pro pokládací zařízení, spojení je pojištěno čtyřmi čepy se závlačkami.

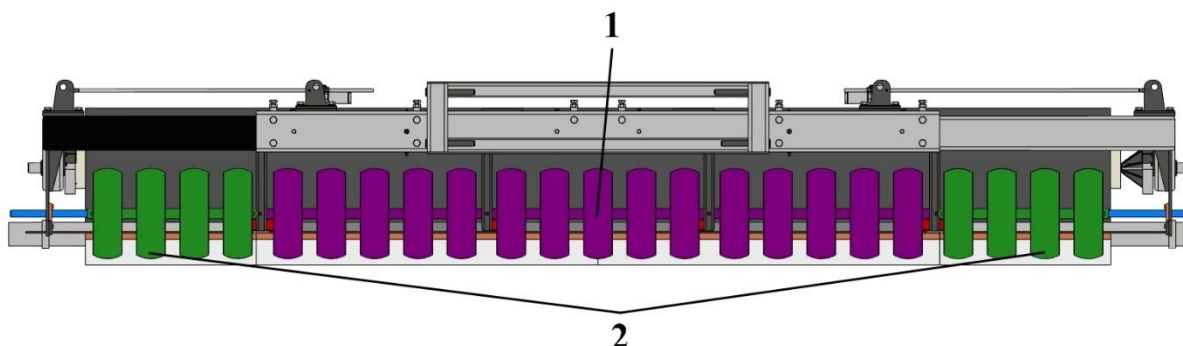
V základním návrhu je osazen deskou Qick-Tach, na jeho plochu je možné přivařit jiné typy spojovacích desek nebo vlastní návrh realizační firmy, viz. Obr. 35.



Obr. 36 Spojovací mezikus; 1 – L-jäklý; 2 – obdélníkové jákly; 3 – rychloupínací deska Quick-Tach; 4 – otvory pro pojistné čepy;

3.3 POJEZDOVÁ PŘÍTLAČNÁ KOLA

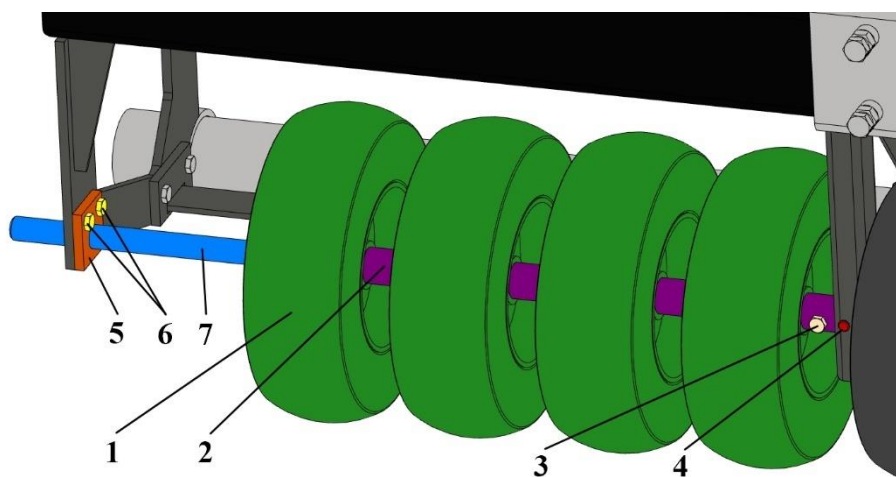
Zařízení může být osazeno průmyslovými kolečky o průměru 260 mm nebo 300 mm. Při konfiguraci pro pokládání rolí šíře 3 m je na zařízení namontováno třiatdvacet koleček, při pokládce rolí šíře 2 m a menšími je počítáno s patnácti koly.



Obr. 37 Přítlačná kola; 1 – středový pevný segment přítlačných kol; 2 – demontovatelné stranové segmenty;

Sestava kol se dělí na tři segmenty. Středový segment, který je na pokládacím zařízení umístěn stále a je určen k demontáži pouze při technické údržbě. Dvojice demontovatelných stranových segmentů, které jsou k pokládacímu zařízení připojeny pouze při pokládce rolí šíře 3 m. V případě pokládky rolí s menší šíří jsou jako celek odpojeny, odejmutím přílozek z desky výsuvného ramena a povolením dvojice šroubů, jelikož by znemožňovaly zasunutí výsuvných ramen a přechod na menší rozteč viz. Obr. 37.

Přítlačná kola každého segmentu jsou uložena na ose o průměru 25 mm, která se neotáčí, rotace je zamezena vyvrtanými dírami v jednotlivých osách kolových segmentů, kterými je prostrčen čep se závlačkou skrze nosnou konstrukci a osy kol. Kola rotují samostatně na jehličkových ložiscích uložených v náboji kol již z výroby. Rozteče mezi koly jsou vymezeny přířezy dutinek z plastové trubky navlečenými na osy kol. viz. Obr. 38.



Obr. 38 Přídavný kolový segment; 1 – průmyslové kolečko; 2 – vymezovací dutinky; 3 – pojistný šroub krajní vymezovací dutinky; 4 – pojistný čep pevné osy; 5 – kluzná příložka; 6 – pojišťovací šrouby; 7 – pevná osa;

Kola byla vybrána jako průmyslová bantamová nafukovací označení C90.264 od dodavatele NAVRÁTIL spol. s r.o. s následujícími parametry viz. Tabulka 1.

Tabulka 1 Technické parametry přitlačných kol; [40]

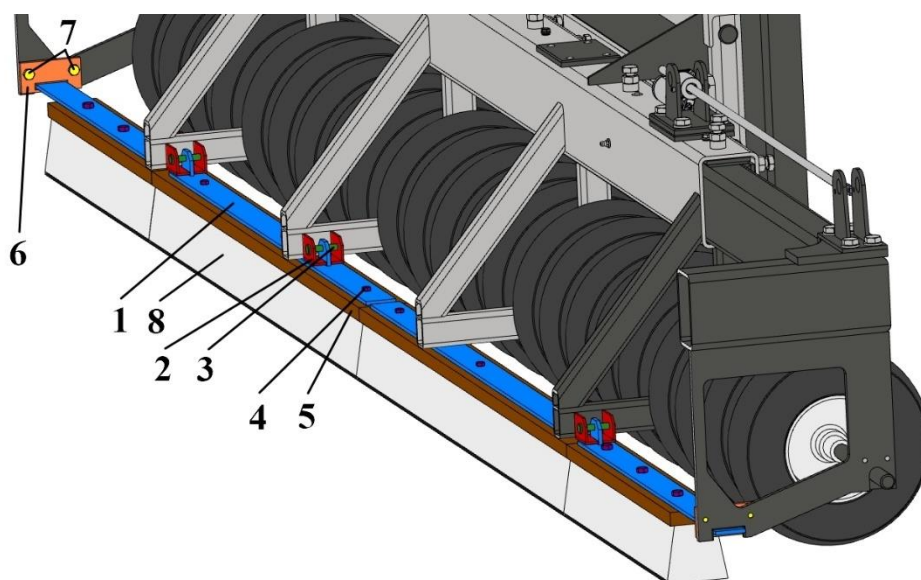
Typ ložiska	Průměr kola	Šířka běhounu	Zatížení	Průměr hřídele	Délka náboje
[-]	[mm]	[mm]	[kg]	[mm]	[mm]
Jehlové	260	85	170	25	70

Lze rovněž použít i kola plná nenafukovací, s obdobnými rozměry a parametry, s průměrem až 300 mm.

S nenafukovacími koly docílíme snížení nezbytné údržby při úniku vzduchu z nafukovacích kol. Takové řešení je vykoupeno přibližně o 40 % vyšší pořizovací cenou a nutností upravit délkové rozměry vymezovacích dutinek mezi koly z důvodu odlišné šířky náboje kola.

3.4 PŘITLAČNÉ KARTÁČE

Byly zvoleny běžně dostupné silniční kartáče s hrubými štětinami a dřevěnou základnou s výškou základny cca 18x65 mm a délce 1000 mm viz. [42]. Jejich použití je nutné při pokládání rolí s netkanou textilií (typ CGL) k přitlačení do vrstvy spojovacího postříku.



Obr. 39 Přitlačné kartáče (částečný řez); 1 – ocelový pás; 2 – patice pro připojení kartáčů; 3 – pojistný čep; 4 – pojistný vrut do dřeva; 5 – dřevěná základna; 6 – kluzná příložka pro kartáče; 7 – pojistné šrouby kluzné příložky pro kartáče; 8 – štětiny přitlačného kartáče;

Kartáče jsou umístěny v přední části pokládacího zařízení za třecí hranou (trubkou) a přišroubovány k ocelovému pásu, který zajišťuje jejich přichycení ke středové konstrukci, do kartáčových patič pojištěných závlačkou viz. Obr. 39. Stejně jako přitlačná kola lze krajní

kartáče jednotlivě odejmout a přizpůsobit se tak aktuální konfiguraci pokládacího zařízení dle šíře role.

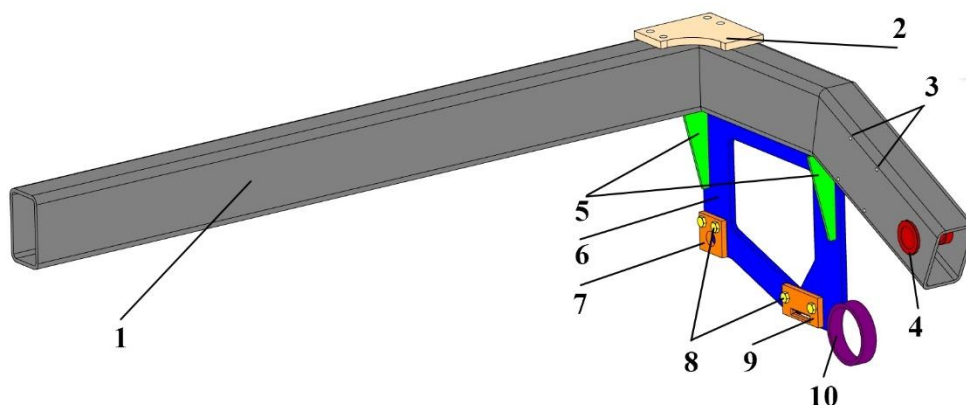
3.5 VÝSUVNÁ RAMENA

Obě výsuvná ramena jsou symetrická, kluzně uložena ve vnějším vedení, umožňují nastavení rozteče mezi rotačními jehlany a manipulaci s rolemi o šířkách 2 až 3 m.

Základní konstrukce výsuvných ramen je svařena z trojice obdélníkových jáklů o rozměrech 100x80x5 mm dle ČSN EN 10219-2, ke kterému je na konci kluzné části přivařena deska s dírami s vyřezanými závity pro přišroubování patice pohonu výsuvných ramen.

Na konci svařence z obdélníkových jáklů je vyvrtána díra o průměru 45 mm, sloužící k vložení a zavaření trubky s uložením rotačního jehlanu, dále jsou v jáklu vyvrtány díry určené k upevnění brzdného členu.

Na středovou část svařence navazuje výpalek nosné desky, ve které je uloženo kluzné vedení osy přítlačných pojezdových kol a nosné pásoviny kartáčů, pomocí kluzných přílohek, připevněných šrouby. K nosné desce je dále přivařena kluzná objímka třecí hrany (trubky). Nosná deska je posílena proti nežádoucímu ohybu a zvýšení tuhosti dvojicí výztužných plechů viz. Obr. 40.

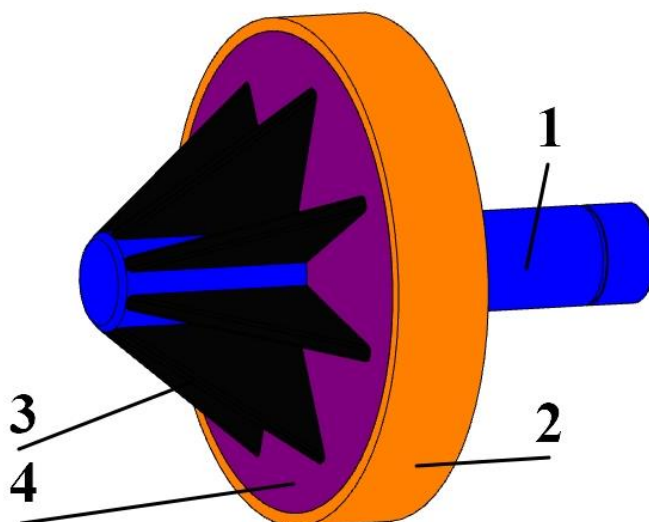


Obr. 40 Výsuvné rameno; 1 – obdélníkový jákl; 2 – deska pro připojení pohonu výsuvných ramen; 3 – díry pro uchycení brzdného členu; 4 – uložení středícího jehlanu; 5 – výztužné plechy; 6 – nosná deska; 7 – kluzná příložka osy pojezdových kol; 8 – pojistné šrouby; 9 – kluzná příložka přítlačných kartáčů; 10 – kluzná objímka třecí hrany;

K uložení středícího jehlanu do obdélníkových jáklů bylo zvoleno bezúdržbové samomazné kluzné ložisko s nákrůžkem ze slinutého bronzu viz. [43].

3.6 STŘEDÍCÍ JEHLANY

Středící jehlany jsou uloženy s jedním stupněm volnosti (rotace) na výsuvných ramenech v bronzových kluzných ložiscích a umožňují roli skelné mříže rotovat a odmotávat se na vozovku.



Obr. 41 Středící jehlan; 1 – ocelová kulatina; 2 – třecí plocha brzdného členu; 3 – trojúhelníkové plechy; 4 – dorazový plech;

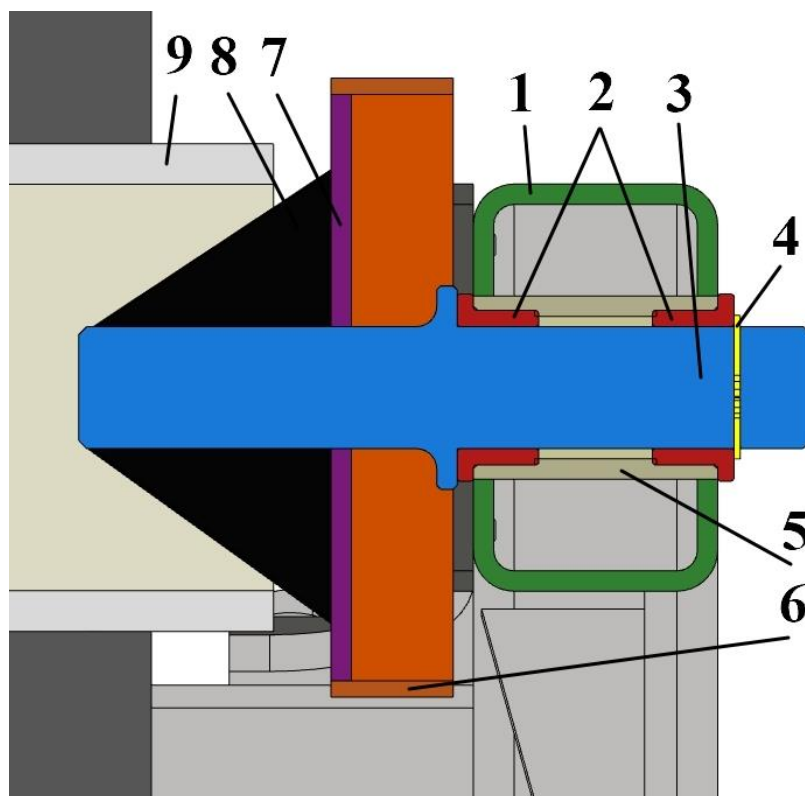
Středící jehlany jsou svařeny z ocelové kulatiny o průměru 30 mm a trojúhelníkových plechů jejichž konce jsou přivařeny k ocelové kulatině a kruhovému dorazovému plechu s otvorem, kterým je nasazen na osu. Kruhový plech slouží k doražení papírové dutinky skelné mříže a po vnějším obvodu je navařena ocelové trubka, která slouží jako třecí plocha pro špalíky brzdného členu.

Protočení a prokluzu role skelné geomříže na trojúhelníkovém plechu by mělo být zabráněno mírnou deformací papírové dutinky a dosednutím na dorazový plech, jelikož vnější roh trojúhelníkových plechů je o 8 mm větší než vnitřní průměr papírové dutinky.

3.6.1 ULOŽENÍ STŘEDÍCÍCH JEHLANŮ

Uložení středících jehlanů je realizováno pomocí dvojice kluzných ložisek ze slinutého bronzu zalisovaných v obrobené ocelové trubce, která zároveň zajišťuje souosost uložení. Trubka je vložena do otvorů ve výsuvných ramenech a zavařena.

Ocelová osa je obrobena na požadovaný rozměr a opatřena osazením, které přenáší axiální sílu ve směru osy středícího jehlanu na výsuvná ramena, při sevření a nakládání role. Axiální síla v opačném směru (při rozevírání výsuvných ramen) je předpokládána jako minimální a z toho důvodu je středící jehlan na vnější straně pojištěn proti vypadnutí pojistným kroužkem viz. Obr. 43.



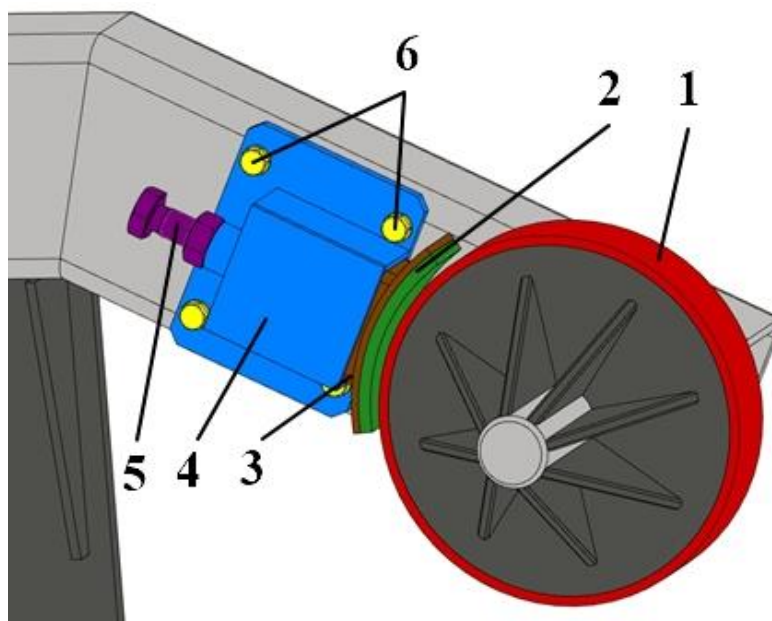
Obr. 42 Uložení středícího jehlanu (řez); 1 – výsuvné rameno; 2 – kluzná ložiska ze slinutého bronzu; 3 – osa středícího jehlanu s osazením; 4 – pojistný kroužek; 5 – obrobená ocelová trubka; 6 – třecí plocha středícího jehlanu; 7 – doraz; 8 – trojúhelníkový plech; 9 – dutinka role;

3.7 BRZDNÝ ČLEN

Brzdný člen má za úkol vytvářet předpětí a napínat část skelné mříže, která již byla odmotána z role, ale zatím nebyla uložena na vozovku. Vzniklé předpětí zajišťuje kvalitní vyhlazení plochy odmotané geomříže před uložení na vozovku. Umístěn je na obou koncích výsuvných ramen viz. Obr. 43.

Brzdný člen je složen ze tří základních částí, pohyblivého brzdového špalíku, vyrobeného z ocelového jáklu, který se pohybuje uvnitř pevného těla, je opatřen středícím trnem pružiny a má na svém konci plochu s brzdovým obložením, která se dotýká třecí plochy na obvodu středícího jehlanu. Druhou částí je pohyblivý člen, jenž je umístěn mezi pružinou a stavěcím šroubem, pohybuje se uvnitř brzdového špalíku. Třetí částí je pevné tělo vyrobené z ocelového obdélníkového jáklu viz. Obr. 44.

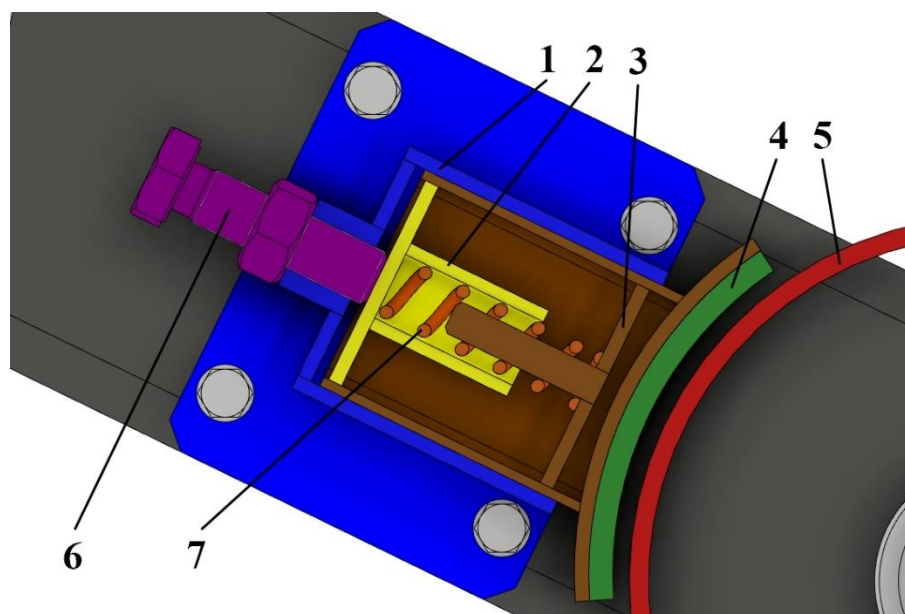
Uvnitř pohyblivých členů je vložena pružina, která je stlačována stavěcím šroubem a vyvíjí na pohyblivé členy konstantní sílu závislou na velikosti stlačení pružiny.



Obr. 43 Brzdný člen; 1 – třecí plocha brzdného členu; 2 – brzdové obložení; 3 – pohyblivý brzdný špalík; 4 – pevné tělo brzdného členu; 5 – stavěcí šroub; 6 – upevňovací šrouby;

Pro správnou funkci brzdového členu je nutné před kompletací třecí plochy pohyblivých částí namazat.

Síla brzdného členu je konstantní, předpětí se ale ve skelné mříži postupně v průběhu odmotávání zvětšuje z důvodu zmenšování průměru role.



Obr. 44 Řez brzdným členem; 1 – pevné tělo brzdného členu; 2 – pohyblivý člen; 3 – brzdový špalík s trnem; 4 – brzdové obložení; 5 – třecí plocha; 6 – stavěcí šroub; 7 – pružina;

Brzdňý člen nalezne uplatnění především při rozmotávání mříží typu CGL s netkanou textilií, protože tento typ mříží při odmotávání klade oproti samolepícím typům mříží nižší odpor. Zabraňuje také odmotání nadbytečného množství mříže před pokládací zařízení vlivem setrvačnosti rotující role, při prudké změně rychlosti pokládacího stroje.

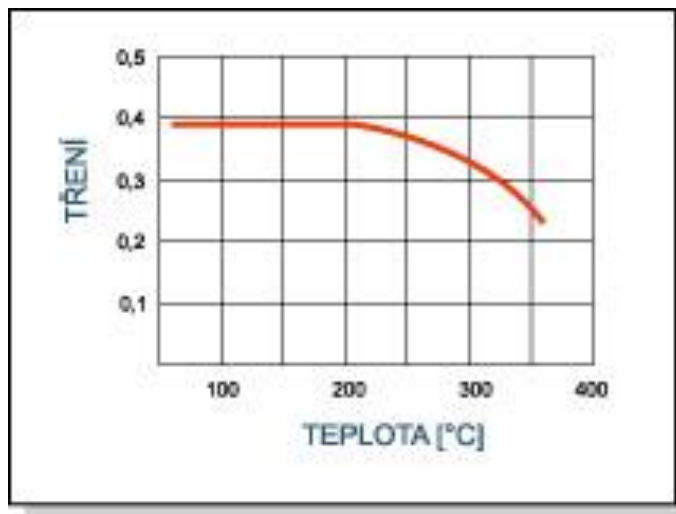
3.7.1 MATERIÁL BRZDOVÉHO OBLOŽENÍ

Brzdové obložení bylo zvoleno od dodavatele Sittech.cz s označením MBL 5820 viz. [44] v potřebném rozměru 220x50x5 mm a následujících parametrech viz. Tabulka 2.

Tabulka 2 Technické parametry brzdového obložení; [44]

Hustota	Tepelná vodivost	Měrná tepelná kapacita	Maximální teplota dlouhodobě	Maximální teplota krátkodobě	Doporučený protilehlý povrch
$[\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}]$	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	$[\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$	$[\text{°C}]$	$[\text{°C}]$	$[-]$
2,1	0,87	1,03	250	350	litina/ocel

Jedná se o stlačený bezazbestový třecí materiál s dobrou ohebností. Materiál je schopen vyrovnat tvarové vady a rádiusy na brzdňých plochách. Určen je k montáži lepením nebo nýťováním a disponuje plochou třecí křivkou viz. Obr. 45.



Obr. 45 Graf koeficientu tření brzdového obložení v závislosti na teplotě; [45]

3.8 POHON VÝSUVNÝCH RAMEN

Pro pohon ramen a nastavování rozteče jednotlivých rolí byly navrženy tři varianty pohonu.

PLNĚ MECHANICKÁ VARIANTA

Komponenty: Mechanický naviják
Kladka
Ocelové lano

Poháněn je fyzicky vyvinutou silou. Navíjením ocelového lana na buben mechanického navijáku jsou zasouvány výsuvná ramena.

Výhodou řešení by byla nízká cena a dobrá spolehlivost.

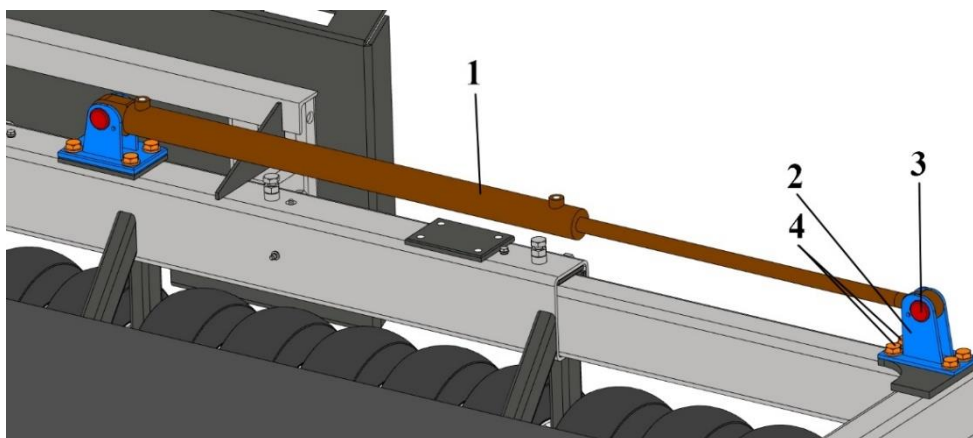
Nevýhodami by mohly být nezbytnost použití fyzické síly, nepřesné polohování, možné špatné navinutí lana na mechanický naviják a nemožnost ovládat pokládací zařízení z kabiny stroje

HYDRAULICKÁ VARIANTA

Komponenty: Dvojice hydraulických válců
Patice pro připojení hydraulického pohonu

Výhodou řešení by byl dostatek síly, možnost napojení na hydraulický okruh pokládacího stroje s použitím rychlospojek, ovládání přímo z kabiny.

Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a nízká kompatibilita při nutnosti připojit pokládací zařízení k jinému typu pokládacího stroje.



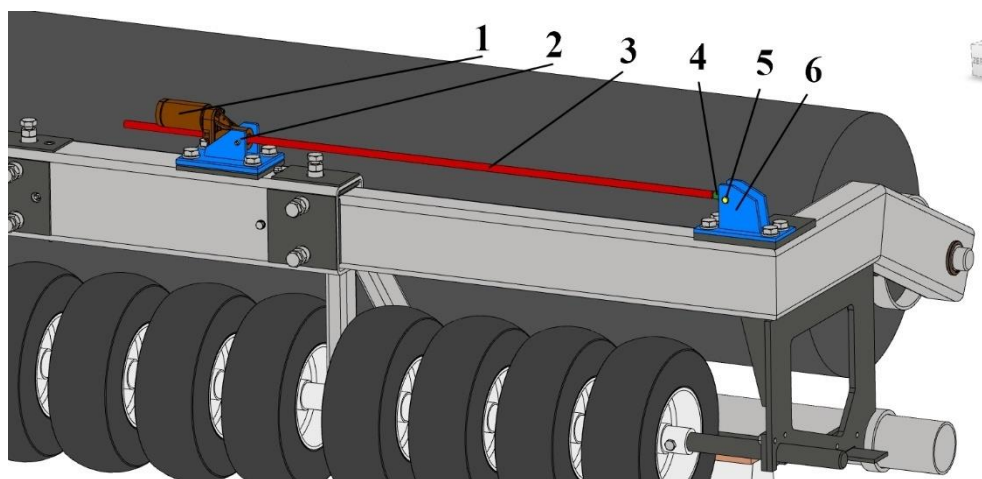
Obr. 46 Pohon hydromotory; 1 – hydromotor; 2 – patice pohon hydromotory; 3 – pojistný čep; 4 – pojistné šrouby patice;

MECHANICKO-ELEKTRICKÁ VARIANTA

Komponenty: Zdvíhací převodovka
Závitová tyč s lichoběžníkovým závitem

Výhodou je přijatelná cena, možnost napojit zdvižné převodovky na elektrický okruh pokládacího stroje, ovládání z kabiny stroje, případně umístit zdroj přímo na pokládací zařízení a současně možnost dálkového ovládání každé převodovky zvláště některým z pracovníků.

Nevýhodou je ztráta funkce při výpadku napájení, zdvižnou převodovkou nebude možné bez napájení z důvodu samosvornosti otočit a nastavit tak rozteč ramen.



Obr. 47 Pohon pohybovým zdvižnou převodovkou s pohybovým šroubem; 1 – zdvižná převodovka; 2 – pojistný čep zdvižné převodovky; 3 – pohybový šroub; 4 – vidlice pohybového šroubu; 5 – pojistný čep pohybového šroubu; 6 – patice pro pohon zdvižnou převodovkou;

Vzhledem přijatelné ceně a dostatečné síle byl pohon zvolen primárně mechanicko-elektrický se zdvižnou převodovkou a pohybovým šroubem.

Napájení zdvižné převodovky elektrickým proudem je uvažováno napojením na elektrický okruh stroje nebo je možné napájet zdvižnou převodovku z akumulátorů 12/24 V a upevnit je ke středové konstrukci.

Pokládací zařízení by nemělo být v provozu za zhoršených povětrnostních podmínek, přestože technický list geomříží GlasGrid® pokládání za deště nebo nepříznivého počasí neumožňuje, musí být s touto variantou počítáno. Nad zdvižné převodovky a případně i umístěný akumulátor musí být připevněno krytování z ohýbaného plechu, nebo plastového výlisku. Současně musí být pohybový šroub pravidelně mazán a jeho stav pravidelně kontrolován.

Zdvižná převodovka byla vybrána od dodavatele Teatechnik.cz typ MHG-100/50 s následujícími parametry, viz. Tabulka 3.

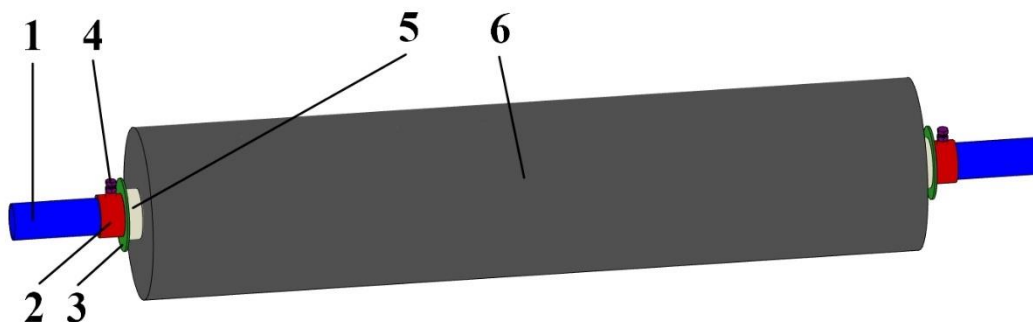
Tabulka 3 Parametry zdvižné převodovky; [47]

model	napájení	Maximální síla	závit	Materiál šroubu	Materiál převodovky
[-]	[V]	[N]	[-]	[-]	[-]
MGH-100	12/24	1600	Tr 10x3	ocel C15	slitina zinku

Všechny z navržených variant pohonu jsou připevněny k výsuvným ramenům a vnějšímu vedení za pomoci patic, které jsou konstruovány tak, aby bylo možné zvolit kteroukoli z navržených variant pohonu pokládacího zařízení dle preferencí realizační firmy.

3.9 NAKLÁDÁNÍ ROLÍ O MALÉ ŠÍŘCE

Protože je změna rozteče možná pouze pro šíře role 2 m a vyšší, bylo pro zajištění kompatibility s rolemi o šíři 1,5 m a 1 m bylo zvoleno řešení, kdy je dutinkou role prostrčena ocelová osa a zajištěna poloha role geomříže vůči ose za pomoci středících přírub viz. Obr. 48.



Obr. 48 Osa pro nakládání rolí o malé šířce; 1 – osa role; 2 – osa příruby; 3 – vymezení plech; 4 – pojistný šroub; 5 – dutinka role; 6 – geomříž;

Osa role je vyrobena z trubky o průměru 70x4 mm, délce 2000 mm dle ČSN 425716. Na osu je nastrčen svařenec příruby, který je vyroben z ocelové trubky o průměru 82,5x5,6 mm dle ČSN 425716 a opěrného plechu. V ocelové trubce příruby je vyvrtána díra a vyřezán závit pro pojistný šroub pro vymezení axiálního posuvu role vůči ose.

Nakládání rolí na pokládací zařízení s prostrčenou osou je shodné jako nakládání samostatných rolí, středící jehlany jsou vsunuty dovnitř konců osy.

Vymezení příruby slouží zároveň k nastavení polohy, například při pokládání malé šíře role v blízkosti okrajů vozovky.

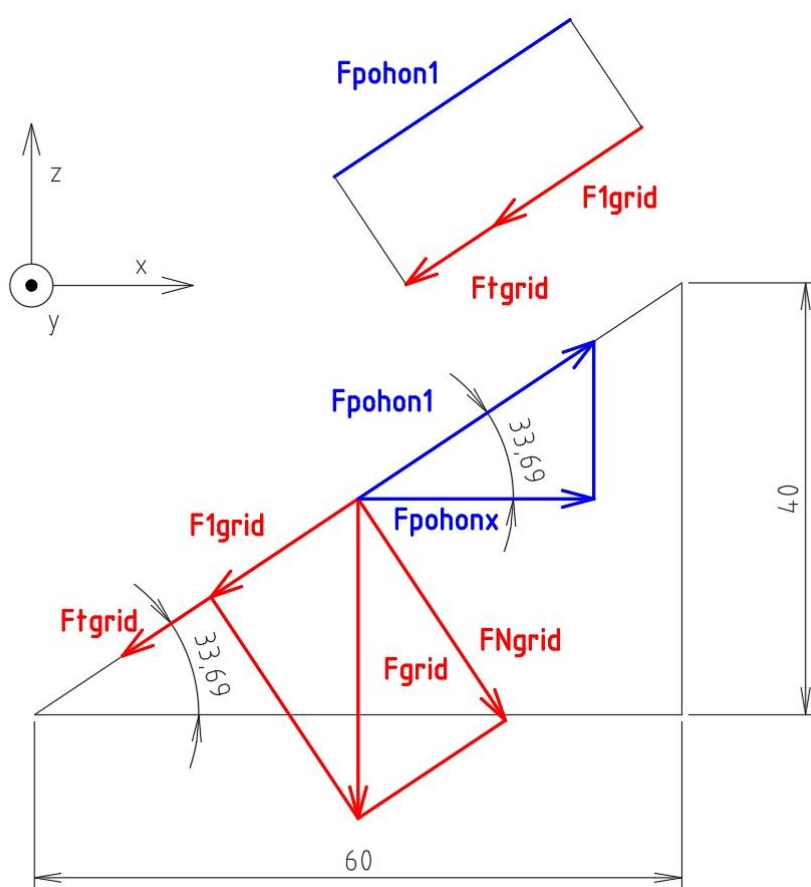
4 PEVNOSTNÍ A VÝPOČTOVÁ ANALÝZA

V následující kapitole je provedena pevnostní analýza důležitých komponent pokládacího zařízení analyticky a metodou konečných prvků v programu MSC Apex, dále byly výpočty zjištěny důležité síly působící v konstrukci pokládacího zařízení.

4.1 VÝPOČET SIL OD ROLE A ROZKLAD NA NAKLONĚNÉ ROVINĚ

Pro ověření, zda byly správně zvoleny pohony výsuvných ramen bylo třeba zjistit sílu, která je nezbytná pro vyzvednutí skelné role mezi středící jehlany.

Jedná se o případ posunu břemena po nakloněné rovině, kterou tvoří trojúhelníkové dosedací plochy na středícím jehlanu a vnitřní plocha papírové dutinky skelné role viz. Obr. 49.



Obr. 49 Rozklad sil na středícím jehlanu;

Skelná role je tlačena silou pohonu výsuvných ramen a smýkána po nakloněné rovině, dokud nedojde k dostatečnému zasunutí středících jehlanů, dosednutí na dosedací plochu a vystředění skelné role.

Role skelné geomříže s menší šíří jsou vyráběny s užším vnitřním průměrem papírové dutinky, tedy nedosedají až na dosedací plochu středícího jehlanu, ale k vystředění dojde dříve, již při vymezení vnitřního průměru dutinky středícím jehlanem. Silové nároky nezbytné pro tuto funkci se nemění.

Na obrázku viz. Obr. 49. jsou znázorněny dosedací trojúhelníkové plochy na středícím jehlanu s rozměry ramen 40 a 60 mm. Úhel nakloněné roviny, po které je role smýkána je 33,69 stupně.

Pohon výsuvných ramen musí být schopen překonat sílu způsobenou hmotností role a vzniklou třecí sílu při pohybu po nakloněné rovině vzhůru.

V praxi mohou nastat dva odlišné případy průběhu nabírání role mezi středícími jehlany.

- Bude v pohybu pouze jedno rameno, díky samosvornosti pohybového závitu se protilehlé rameno bude chovat jako součást pevného rámu nosné konstrukce.
- Budou proti sobě v pohybu obě ramena současně, a na nabírání role mezi jehlany se budou podílet obě zdvižné převodovky. Silové nároky na pohon tak klesnou na polovinu.

Výpočet byl proveden pro situaci, kdy by k nakládání docházelo pouze jednou ze dvojice zdvižných převodovek a protější výsuvné rameno by setrvalo v klidu.

VELIKOSTI SIL NA NAKLONĚNÉ ROVINĚ

$$F_{GRID} = m_{GRID} \cdot g [N] \quad (1)$$

$$F_{GRID} = 150,83 \cdot 9,81 = 1479,64 \text{ N}$$

$$F_{NGRID} = F_{GRID} \cdot \cos(\beta) [N] \quad (2)$$

$$F_{NGRID} = 1479,64 \cdot \cos(33,69) = 1231,14 \text{ N}$$

$$F_{1GRID} = F_{GRID} \cdot \sin(\beta) [N] \quad (3)$$

$$F_{1GRID} = 1479,64 \cdot \sin(33,69) = 820,76 \text{ N}$$

$$F_{tGRID} = F_{NGRID} \cdot \varphi_{GRID} [N] \quad (4)$$

$$F_{tGRID} = 1231,14 \cdot 0,4 = 492,46 \text{ N}$$

KDE:

F_{GRID} – síla způsobená hmotností role skelné role [N];

F_{NGRID} – normálová síla působící kolmo k nakloněné rovině [N];

F_{1GRID} – rozklad síly F_{GRID} do směru rovnoběžného s nakloněnou rovinou [N];

F_{tGRID} – třecí síla působící proti pohybu skelné role [N];

$m_{GRID} = 150,83 \text{ kg}$, hmotnost role skelné mříže;

$\beta = 33,69^\circ$, úhel nakloněné roviny, viz. Obr. 49;

$\phi_{GRID} = 0,4 [-]$, součinitel smykového tření, viz. [4] s.34.

VÝPOČET VELIKOSTI SÍLY POHONU NEZBYTNÉ PRO POSUV ROLE PO NAKLONĚNÉ ROVINĚ

Nyní zavedeme neznámou sílu $F_{I_{pohon}}$, kterou je nutné vytvořit pohonem výsuvných ramen pro překonání pohybu po nakloněné rovině směrem vzhůru viz. Obr. 49 a z rovnice silové rovnováhy zjistíme její velikost viz. Rovnice (5).

$$F_{pohon1} = F_{I_{GRID}} + F_{t_{GRID}} [N] \quad (5)$$

$$F_{pohon1} = 820,76 + 492,46 = 1313,22 \text{ N}$$

$$F_{pohon} = F_{pohon1} \cdot \cos(\beta) [N] \quad (6)$$

$$F_{pohon1} = F_{I_{GRID}} + F_{t_{GRID}} [N] \quad F_{pohon} = 1313,22 \cdot \cos(33,69) = 1092,67 \text{ N}$$

$$F_{pohon} \leq F_{pohon \max} [N] \quad (7)$$

$$1092,67 \text{ N} \leq 1600 \text{ N}$$

KDE:

F_{pohon1} – rozklad síly nezbytné k naložení skelné role ve směru nakloněné roviny [N];

F_{pohon} – síla nezbytná k naložení role mezi středící jehlany [N];

$F_{pohon \max} = 1600 \text{ N}$, maximální síla zdvižné převodovky viz. Tabulka 3.

Z rovnice (6) byla určena minimální potřebná síla o velikosti 1093 N, pro naložení skelné role mezi středící jehlany, která je nižší, než maximální síla zdvižné převodovky $F_{pohon \max}$ viz. rovnice (7), z toho vyplývá, že zdvižné převodovky jsou dimenzovány dostatečně.

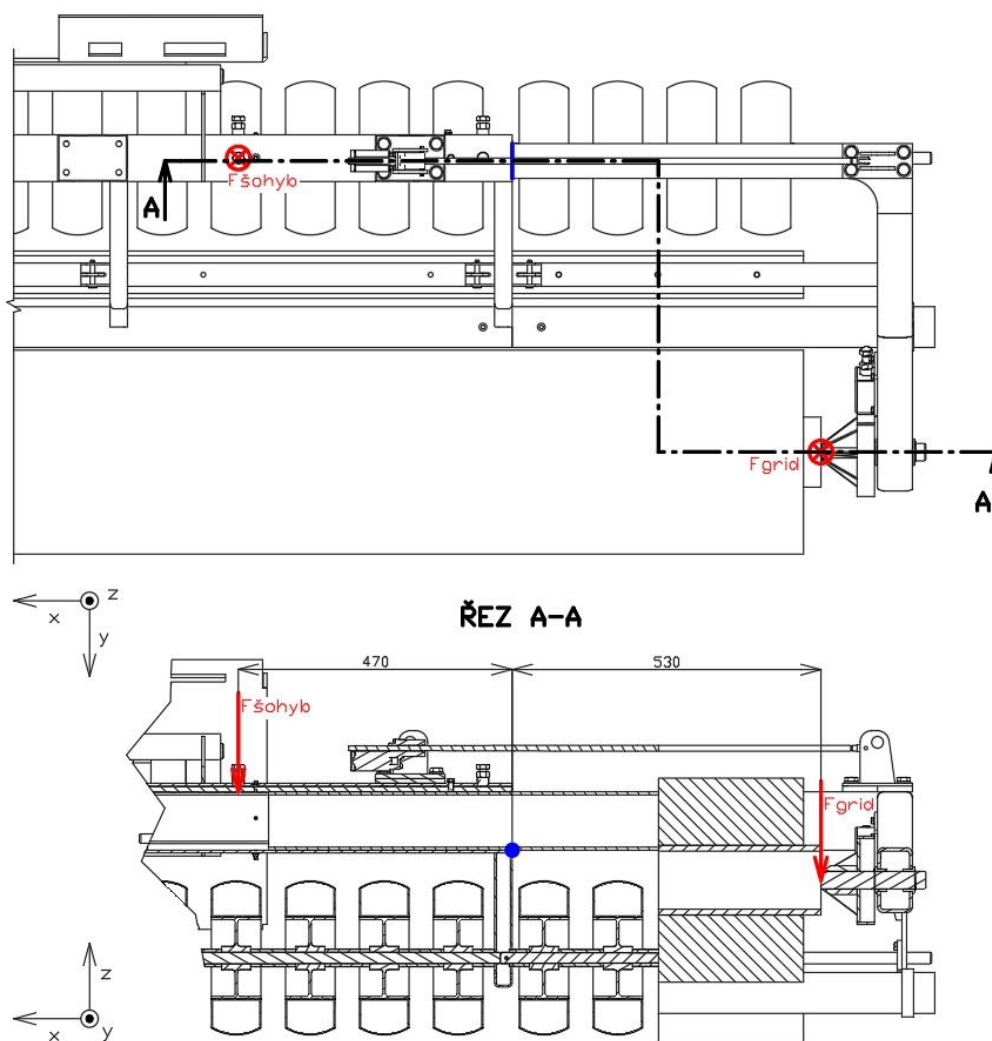
4.2 VÝPOČET TLAKU V ZÁVITECH A TLAKU VE VYMEZOVACÍCH ŠROUBECH

Vůle v lineárním vedení mezi výsuvnými rameny a kluznými deskami upevněnými ve vnějším vedení je vymezována stavěním a aretací soustavy šroubů s metrickými závity.

V horizontálním směru vymezují vůli tři šrouby M12 a ve směru vertikálním šest šroubů M12 na každém z dvojice výsuvných ramen.

Napětí ve výsuvných ramenech způsobuje síla F_{GRID} s působištem na konci středících jehlanů, která se snaží výsuvné rameno zároveň ohýbat a kroutit.

4.2.1 OHYBOVÉ NAPĚTÍ



Obr. 50 Namáhání šroubu vnějšího vedení ohybem;

Na obrázku viz. Obr. 50 je vidět schéma namáhání vymezovacího šroubu ve vnějším vedení s příslušnými rozměry. Je uvažován případ v momentě prvního kontaktu role a středícího jehlanu, kdy je síla umístěna na jeho konci, zároveň je vyložení výsuvných ramen největší.

Na levém konci středícího jehlanu umístěného na pravém konci výsuvného ramene působí síla F_{GRID} a na opačném konci síla od vymezovacího šroubu F_{sohyb} . Předpokládáme případ,

kdy výsuvné rameno má tendenci se opřít o spodní hranu na konci vnějšího vedení (modře) viz. Obr. 50 a neuvažujeme rozložení sil do ostatních vymešovacích šroubů. Momenty vytvořené dvojicí sil musí být v rovnováze viz. Rovnice (8).

MOMENTOVÁ ROVNOVÁHA

$$F_{\text{sohyb}} \cdot a_1 - \frac{F_{\text{GRID}}}{2} \cdot a_2 = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (8)$$

$$F_{\text{sohyb}} = \frac{F_{\text{GRID}} \cdot a_2}{2 \cdot a_1} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{sohyb}} = \frac{1479,64 \cdot 0,530}{2 \cdot 0,470} = 834,27 \text{ N}$$

KDE:

F_{sohyb} – osová síla ve vymešovacím šroubu vnějšího vedení při namáhání ohybem [N];

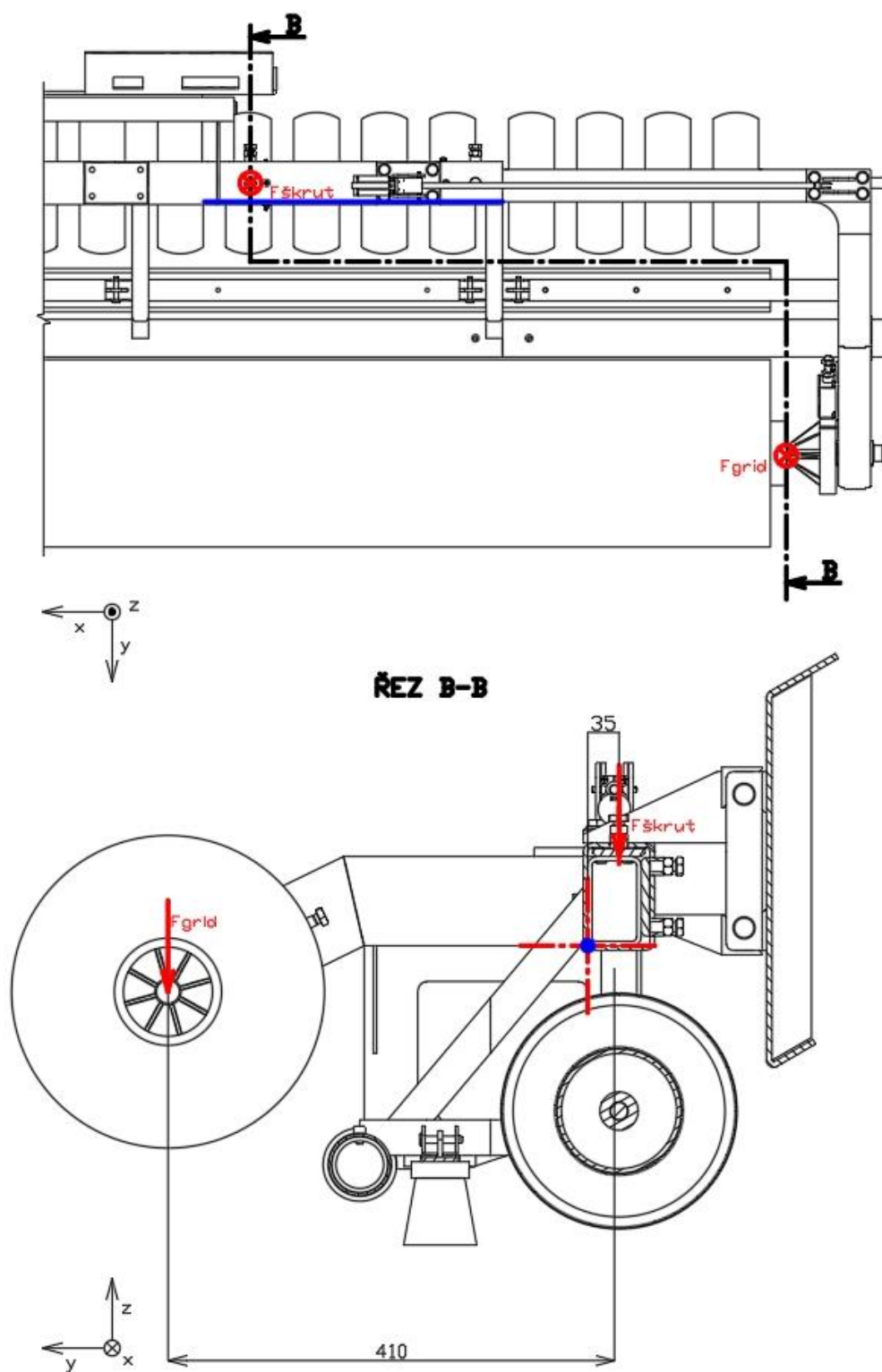
$F_{\text{GRID}} = 1479,64 \text{ N}$, zatěžující způsobená hmotností skelné role;

$a_1 = 0,47 \text{ m}$, vzdálenost osově síly šroubu F_{sohyb} od hrany vnějšího vedení;

$a_2 = 0,53 \text{ m}$, vzdálenost síly F_{GRID} od hrany vnějšího vedení při zatížení ohybem.

4.2.2 NAPĚTÍ OD KRUTU

Síla F_{GRID} vytváří kromě ohybového napětí i napětí, které kroutí s profilem výsuvného ramene, ovšem nyní nás nezajímá analytický výpočet samotného kroucení obdélníkového profilu (bude zkontrolováno v kapitole MKP výpočtů viz. 4.7), nýbrž se snažíme odhadnout sílu ve šroubech a zkontrolovat tlak v závitech, které jsou v MKP výpočtu nahrazeny pouze vazbami.



Obr. 51 Namáhání šroubu vnějšího vedení krutem;

Uvažujeme případ, kdy předpokládáme, že se obdélníkový profil snaží otáčet kolem středu otáčení (modrý bod) viz. Obr. 51. Tomuto jevu se snaží zabránit síla ve vymezujícím šroubu $F_{\text{škrut}}$.

MOMENTOVÁ ROVNOVÁHA

$$F_{\text{škrut}} \cdot a_I - \frac{F_{\text{GRID}}}{2} \cdot a_{II} = 0 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (9)$$

$$F_{\text{škrut}} = \frac{F_{\text{GRID}} \cdot a_{II}}{2 \cdot a_I} \text{ [N]}$$

$$F_{\text{škrut}} = \frac{1479,64 \cdot 0,41}{2 \cdot 0,035} = 8666,46 \text{ N}$$

KDE:

$F_{\text{škrut}}$ – osová síla ve vymešovacím šroubu vnějšího vedení při namáhání krutem [N];

$a_I = 0,035$ m, vzdálenost osově síly šroubu $F_{\text{škrut}}$ od hrany vnějšího vedení;

$a_{II} = 0,41$ m, vzdálenost síly F_{GRID} od hrany vnějšího vedení při zatížení krutem.

Nyní je třeba spočítat celkové napětí ve šroubu, vzniklé ohybem a kroucením výsuvného ramene.

PRŮŘEZU JÁDRA VYMEZOVACÍHO ŠROUBU

$$A_{s\dot{s}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d_{2\dot{s}} + d_{3\dot{s}}}{2} \right)^2 \text{ [mm}^2\text{]} \quad \text{viz. [1] s.916 (10)}$$

$$A_{s\dot{s}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{10,763 + 9,853}{2} \right)^2 = 83,45 \text{ mm}^2$$

CELKOVÁ SÍLA VE VYMEZOVACÍM ŠROUBU

$$F_{\dot{s}} = F_{\text{sohyb}} + F_{\text{škrut}} \text{ [N]} \quad (11)$$

$$F_{\dot{s}} = 834,27 + 8666,46 = 9500,73 \text{ N}$$

NAPĚTÍ VE VYMEZOVACÍM ŠROUBU

$$\sigma_t = \frac{F_{\dot{s}}}{A_{s\dot{s}}} \leq 0,7 \cdot \sigma_{Dr} \text{ [MPa]} \quad \text{viz. [1] s.916 (12)}$$

$$\sigma_t = \frac{F_{\dot{s}}}{A_{s\dot{s}}} = \frac{9500,73}{83,45} = 113,85 \text{ MPa}$$

$$113,85 \text{ MPa} \leq 150 \text{ MPa}$$

KDE:

$A_{s\dot{s}}$ – průřez jádra vymešovacího šroubu [mm²];

$F_{\dot{s}}$ – celková osová síla ve vymešovacím šroubu [N];

σ_t – napětí ve vymešovacím šroubu [MPa];

$\sigma_{Dt} = 150$ MPa, dovolené napětí ve vymešovacím šroubu třídy 8.8, viz. [1] s.917;

$d_{2s} = 10,763$ mm, střední průměr závitu vymešovacího šroubu viz. [5] s.12;

$d_{3s} = 9,853$ mm, malý průměr závitu vymešovacího šroubu viz. [5] s.12.

Jelikož je maximální napětí ve šroubu nižší, než dovolené hodnotím zvolenou velikost šroubu jako vyhovující.

KONTROLA TLAKU V ZÁVITECH

$$p_s = \frac{F_s}{S_{ps}} \leq p_{sD} \text{ [MPa]} \quad (13)$$

$$S_{ps} = S_{p1s} \cdot z_s \text{ [mm}^2\text{]} \quad (14)$$

$$S_{p1s} = \pi \cdot d_{2s} \cdot H_{1s} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (15)$$

$$H_{1s} = \frac{d - D_1}{2} \text{ [mm]} \quad (16)$$

$$z_s = \frac{H_s}{P_s} \text{ [mm]} \quad (17)$$

$$z_s = \frac{15}{1,75} = 8,57 \text{ mm} \gg \text{zvoleno } 8 \text{ mm}$$

$$H_{1s} = \frac{12 - 10,106}{2} = 0,947 \text{ mm}$$

$$S_{p1s} = \pi \cdot 10,763 \cdot 0,947 = 32,02 \text{ mm}^2$$

$$S_{ps} = 32,02 \cdot 8 = 256,16 \text{ mm}^2$$

$$p_s = \frac{9500,73}{256,16} = 37,09 \text{ MPa}$$

$$37,09 \text{ MPa} \leq 50 \text{ MPa}$$

KDE:

S_{ps} – otláčovaná plocha všech rozvinutých závitů vymešovacího šroubu [mm²];

S_{p1s} – otláčovaná plocha jednoho rozvinutého závitu vymešovacího šroubu [mm^2];

H_{1s} – nosná výška závitu vymešovacího šroubu [mm];

z_s – počet nosných závitů vymešovacího šroubu [mm];

$p_D = 50 \text{ MPa}$, dovolený tlak v závitech pro šroub pevnostní třídy 8.8, viz. [1] s. 917;

$H_s = 15 \text{ mm}$, výška matice vymešovacího šroubu;

$d = 12 \text{ mm}$, velký průměr závitu vymešovacího šroubu;

$D_1 = 10,106 \text{ mm}$, malý průměr matice vymešovacího šroubu, viz. [5] s.12;

$P_s = 1,75 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$, stoupání závitu vymešovacího šroubu, viz. [5] s.12.

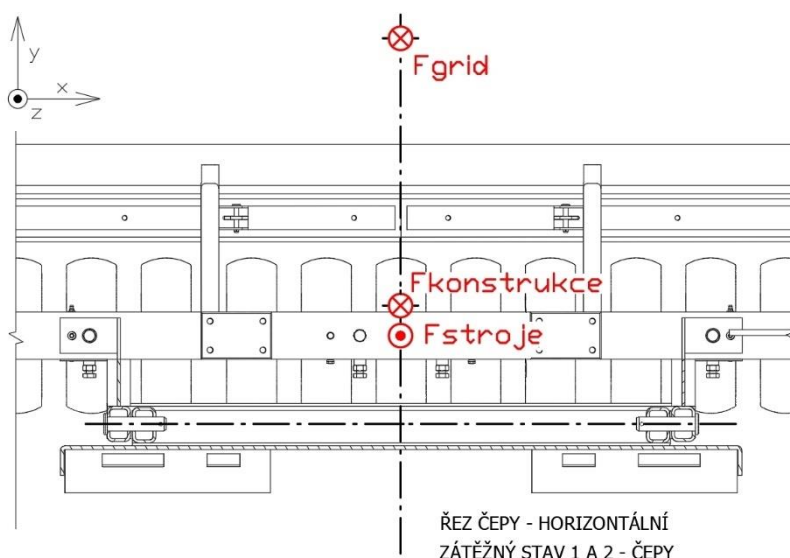
Tlak v závitu vymešovacího šroubu je nižší než dovolený, proto vymešovací šrouby vyhovují.

4.3 VÝPOČET POJIŠŤOVACÍCH ČEPŮ

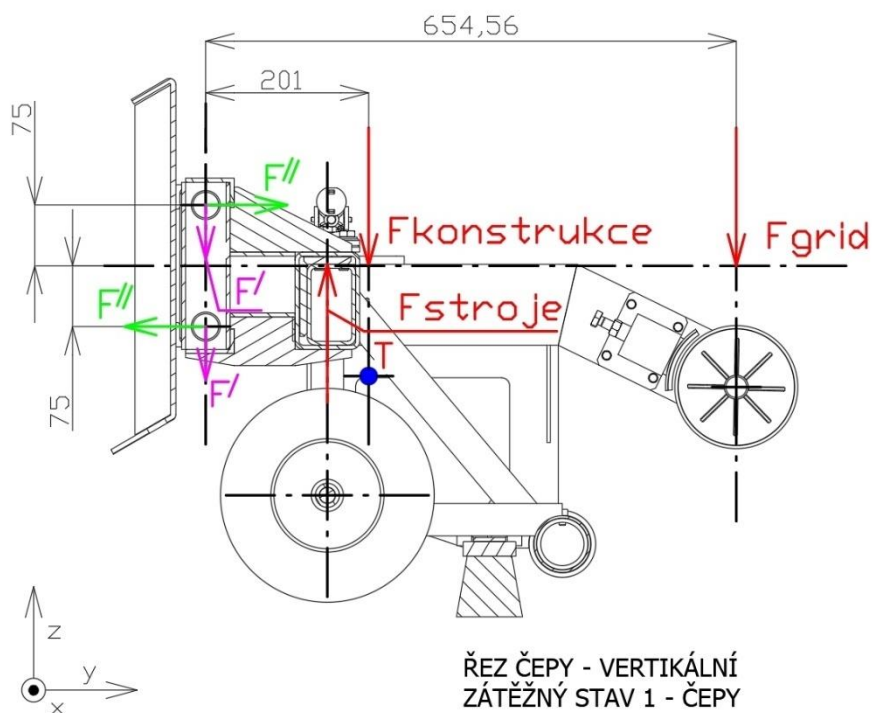
Ke středové konstrukci pokládacího zařízení je přivařena patice pro připojení pokládacího stroje, do které se připojuje spojovací mezikus, se kterým může být pevně spojena (svařena) například rychloupínací deska Quick-tach.

Tyto součásti jsou za účelem možnosti rychlé výměny za jiný typ spojovacího mezikusu pojištěny čepy, které budou ověřeny pevnostním výpočtem.

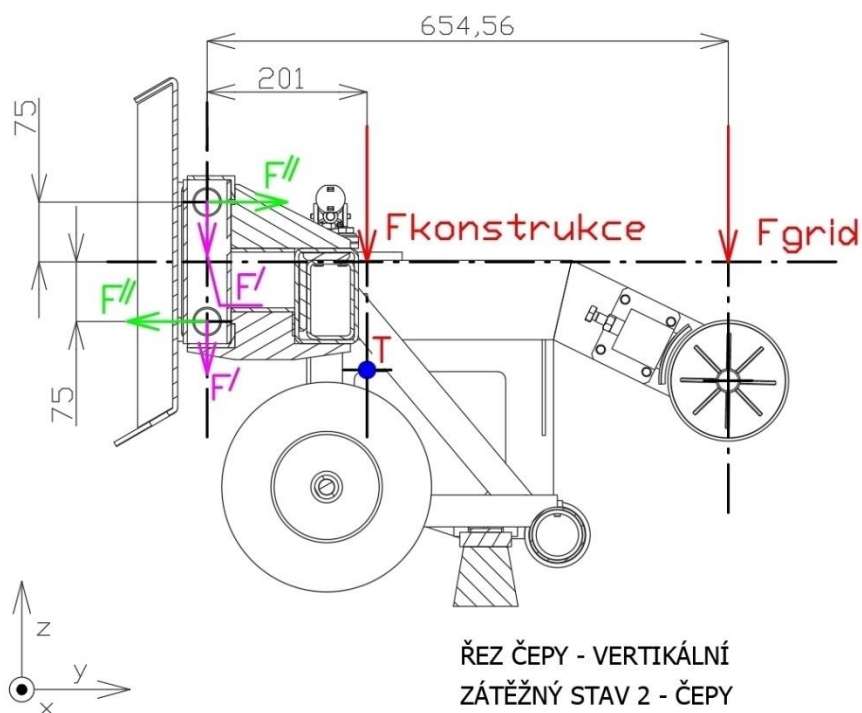
Konstrukce patice je obdélníkového tvaru, svařená z jablek $60 \times 40 \text{ mm}$ s tloušťkou stěny 5 mm . Ve stěně jsou vyvrtány otvory pro čepy o průměru 27 mm a úhelníků tvaru L, s rozměry $30 \times 60 \times 5 \text{ mm}$. Patice jsou v sobě vsunuty s vůlí a pojištěny čepy o průměru 27 mm , viz. Obr. 54.



Obr. 52 Čepy horizontální pohled s rozmístěním sil pro zátěžný stav 1 a 2;



Obr. 53 Čepy – zátěžný stav 1, vertikální pohled;



Obr. 54 Čepy – zátěžný stav 2, vertikální pohled;

V prvním kroku bylo nutno spočítat velikost síly, která namáhá čepovou soustavu. Vycházeno bylo z velikosti gravitační síly, vznikající díky vlastní hmotnosti konstrukce stroje bez naložené role geomříže ($F_{konstrukce}$), působící v jeho těžišti. Z působistě síly způsobené hmotností

maximálního rozměru upnuté geomříže (F_{GRID}) a síly, kterou způsobí stoj při přitlačení zařízení k vozovce (F_{stroje}) viz. Obr. 54 a Obr. 53.

Kontrolovány byly dva zátěžné stavy.

1. Zařízení je neseno nad vozovkou. Působí zde síla $F_{konstrukce}$ a F_{GRID}
2. Zařízení je v provozním stavu, popojíždí a je přitlačeno k povrchu vozovky. Působí zde síly $F_{konstrukce}$, F_{GRID} a F_{stroje} .

Použitím rovnice pro momentovou rovnováhu byl určen zátěžný stav, který nejvíce namáhá soustavu pojistných čepů.

ZÁTĚŽNÝ STAV 1 – ČEPY

$$M_{\check{C}EPY1} = M_{FSTROJE} - M_{FGRID} - M_{FKONSTRUKCE} [N \cdot m] \quad (18)$$

$$M_{\check{C}EPY1} = 2 \cdot F_{stroje} \cdot 0,140 - F_{GRID} \cdot 0,65456 - F_{konstrukce} \cdot 0,201 [N \cdot m]$$

$$M_{\check{C}EPY1} = 2 \cdot 1750 \cdot 0,140 - 1479,69 \cdot 0,65456 - 244,745 \cdot 9,81 \cdot 0,201 = -926,11 N \cdot m$$

KDE:

$M_{\check{C}EPY1}$ – celkový moment namáhající soustavu čepů při zátěžném stavu 1 [$N \cdot m$];

$M_{FSTROJE}$ – moment vzniklý působením síly F_{stroje} [$N \cdot m$];

M_{FGRID} – moment vzniklý působením síly F_{GRID} [$N \cdot m$];

$M_{FKONSTRUKCE}$ – moment vzniklý působením síly $F_{konstrukce}$ [$N \cdot m$];

$F_{stroje} = 1750$ N, zátěžná síla od stroje;

$F_{GRID} = 1479,69$ N, síla způsobená hmotností skelné role;

$m_{konstrukce} = 244,745$ kg, hmotnost konstrukce pokládacího zařízení;

$g = 9,81$ m/s², gravitační zrychlení.

Velikost ramen, na kterých působí zátěžné síly byla určena z obrázku, viz. Obr. 53 a rozměry byly odečteny z 3D modelu pokládacího zařízení.

ZÁTĚŽNÝ STAV 2 – ČEPY

$$M_{\check{C}EPY2} = -M_{FGRID} - M_{FKONSTRUKCE} [N \cdot m] \quad (19)$$

$$M_{\check{C}EPY2} = -F_{GRID} \cdot 0,65456 - F_{konstrukce} \cdot 0,201 [N \cdot m]$$

$$M_{\check{C}EPY2} = -1479,69 \cdot 0,65456 - 244,745 \cdot 9,81 \cdot 0,201 = -1451,11 N \cdot m$$

KDE:

$M_{\check{C}EPY2}$ – celkový moment namáhající soustavu čepů při zátěžném stavu 2 [Nm];

Velikost ramen, na kterých působí zátěžné síly byla vyčtena z obrázku, viz. Obr. 54.

Z výpočtu vyplývá, že nejvyššího zatěžujícího momentu je dosaženo při zátěžném stavu 2, kdy je pokládací zařízení neseno nad vozovkou s naloženou geomříží, bez dotyku s povrchem vozovky.

Dále bylo nutno spočítat velikost síly, která namáhá jednotlivé čepy. Pro výpočet byla uvažována symetrie a zaveden koeficient (k_{symetrie}), který vypočítanou sílu zvětšuje a v celkovém důsledku zvyšuje bezpečnost viz. Obr. 54.

$$F' = \frac{F_{\text{konstrukce}} + F_{\text{GRID}}}{i_{\check{c}}} \quad (20)$$

$$F' = \frac{2401,95 + 1479,69}{4} = 970,15 \text{ N}$$

$$F_{\check{c}}'' = \frac{M_{\check{c}EPY2} \cdot r_{i\check{c}}}{r_A^2 + r_B^2} [N] \quad (21)$$

$$F_{\check{c}}'' = \frac{1451,11 \cdot 0,075}{0,075^2 + 0,075^2} = 9674,07 \text{ N}$$

$$F'' = \frac{F_{\check{c}}''}{2} \cdot k_{\text{symetrie}\check{c}} [N] \quad (22)$$

$$F'' = \frac{9674,07}{2} \cdot 1,2 = 5804,44 [N]$$

$$F_{\check{c}ep} = \sqrt{F'^2 + F''^2} [N] \quad (23)$$

$$F_{\check{c}ep} = \sqrt{970,15^2 + 5804,44^2} = 5884,96 \text{ N}$$

KDE:

F' – síla působící na čep proti směru osy z [N];

$F_{\check{c}}''$ – velikost síly působící na čep v ose y pro soustavu 2 čepů (bez symetrie) [N];

F'' – síla působící na čep ve směru osy y pro soustavu 4 čepů [N];

$F_{\check{c}ep}$ – celková síla působící na čep [N];

$k_{\text{symetrie}} = 1,2 [-]$, koeficient zohledňující symetrii čepů v soustavě;

$i_{\check{c}} = 4 [-]$, počet čepů v soustavě;

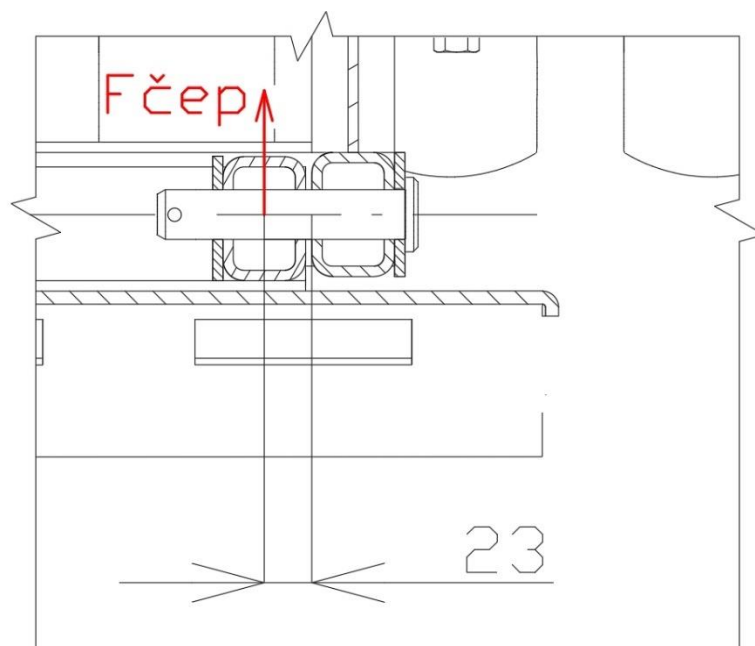
$r_A = 0,075 \text{ m}$, vzdálenost krajního čepu od těžiště soustavy ve směru z, viz. Obr. 54;

$r_B = 0,075$ m, vzdálenost krajního čepu od středu soustavy proti směru z, viz. Obr. 54.

Čepová soustava má prostorové uspořádání, kdy se každé dva čepy nachází ve dvou rovinách vzájemně rovnoběžných a v praxi by nemělo docházet ke vzniku dalších silových účinků. Síly by měly být rozloženy rovnoměrně (pouze v případě kolize s cizím předmětem, a nesprávném zacházení obsluhy). Z důvodu zvýšení bezpečnosti byl zaveden koeficient k_{symetrie} ,

NÁVRH PRŮMĚRU ČEPU

Místo působíště síly $F_{\text{čep}}$ bylo odhadnuto jako součet jedné poloviny šířky jáklu (20 mm) a maximální vůle mezi paticemi (3 mm), viz. Obr. 55.



Obr. 55 Detail čepu se zátěžnou silou;

$$\sigma_{\text{očep}} = \frac{M_{\text{očep}}}{W_{\text{očep}}} [\text{MPa}] \quad (24)$$

$$M_{\text{očep}} = F_{\text{čep}} \cdot r_{\text{očep}} [N \cdot \text{mm}] \quad (25)$$

$$M_{\text{očep}} = 5884,96 \cdot 23 = 135354,08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$W_{\text{očep}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{čepD}}^3}{32} [\text{mm}^3]$$

$$d_{\text{čepD}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{\text{očep}}}{\pi \cdot \sigma_{\text{odčep}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 135354,08}{\pi \cdot 100}} = 23,98 \text{ mm}$$

KDE:

$\sigma_{o\check{c}ep}$ – ohybové napětí v čepu [MPa];

$M_{o\check{c}ep}$ – ohybový moment působící na čep [N·mm];

$W_{o\check{c}ep}$ – modul průřezu v ohybu čepu [mm³];

$d_{\check{c}epD}$ – minimální návrhový průměr čepu [mm];

$\sigma_{oD\check{c}ep} = 100$ MPa, dovolené ohybové napětí míjivé, ocel. 11 500 viz. [4] s.52;

$r_{o\check{c}ep} = 23$ mm délka ramena na kterém působí síla $F_{\check{c}ep}$.

Volím čep dle ISO 2341 A o průměru 27 mm a délce 120 mm.

KONTROLA ČEPU NA STŘIH

$$\tau_{\check{c}ep} = \frac{F_{\check{c}ep}}{S_{\check{c}ep}} \leq \tau_{\check{c}epD} [MPa] \quad (26)$$

$$\tau_{\check{c}ep} = \frac{F_{\check{c}ep}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}ep}^2}{4}} = \frac{4 \cdot F_{\check{c}ep}}{\pi \cdot d_{\check{c}ep}^2} = \frac{4 \cdot 5884,44}{\pi \cdot 27^2} = 10,27 MPa$$

$$10,27 MPa \leq 40 MPa$$

Čep na střih vyhovuje.

KDE:

$\tau_{\check{c}ep}$ – smykové napětí v čepu [MPa];

$S_{\check{c}ep}$ – střižná plocha čepu [mm²];

$F_{\check{c}ep} = 5884,44$ N, celková síla působící na čep;

$\tau_{\check{c}epD} = 40$ MPa, maximální dovolené smykové napětí viz. [4] s.52;

$d_{\check{c}ep} = 27$ mm, průměr čepu.

KONTROLA ČEPU NA OHYB

$$\sigma_{o\check{c}ep} = \frac{M_{o\check{c}ep}}{W_{o\check{c}ep}} \leq \sigma_{o\check{c}epD} \quad (27)$$

$$W_{o\check{c}ep} = \frac{\pi \cdot d_{\check{c}ep}^3}{32} [mm^3] \quad (28)$$

$$\sigma_{o\check{c}ep} = \frac{32 \cdot 135354,08}{\pi \cdot 27^3} = 70,05 MPa$$

$$70,05 \text{ MPa} \leq 100 \text{ MPa}$$

Čep na ohyb vyhovuje.

KDE:

$\sigma_{o\check{c}ep}$ – ohybové napětí čepu [MPa];

$W_{o\check{c}ep}$ – modul průřezu v ohybu čepu [mm³];

$\sigma_{o\check{c}ep} = 100 \text{ MPa}$ maximální dovolené ohybové napětí.

REDUKOVANÉ NAPĚTÍ DLE PODMÍNKY HMH

$$\sqrt{\sigma_{o\check{c}epD}^2 + 3 \cdot \tau_{\check{c}epD}^2} \leq \sigma_{RED} \quad (29)$$

$$\sqrt{\sigma_{o\check{c}epD}^2 + 3 \cdot \tau_{\check{c}epD}^2} \leq \frac{Re_{\check{c}ep}}{k_{HMH}} \quad (30)$$

$$\sqrt{100^2 + 3 \cdot 40^2} \leq \frac{275}{2}$$

$$121,66 \text{ MPa} \leq 137 \text{ MPa}$$

Čep dle podmínky HMH vyhovuje.

KDE:

σ_{RED} – redukované napětí dle podmínky HMH [MPa];

$Re_{\check{c}ep} = 275 \text{ MPa}$, mez kluzu materiálu 11500 čepu viz. [4] s.52;

$k_{HMH} = 2$, součinitel bezpečnosti při kontrole dle podmínky HMH viz. [4] s.52.

KONTROLA ČEPU NA OTLAČENÍ

$$p_{\check{c}ep} = \frac{F_{\check{c}ep}}{S_{\check{c}ept}} \leq p_{\check{c}epD} [\text{MPa}] \quad (31)$$

$$S_{\check{c}ept} = d_{\check{c}ep} \cdot 2 \cdot t_{\check{c}ep} [\text{mm}^2] \quad (32)$$

$$S_{\check{c}ept} = 27 \cdot 2 \cdot 10 = 540 \text{ mm}^2$$

$$p_{\check{c}ep} = \frac{5884,44}{540} = 10,90 \text{ MPa}$$

$$10,90 \text{ MPa} \leq 15 \text{ MPa}$$

Čep na otláčení vyhovuje.

KDE:

$p_{\text{čep}}$ – kontaktní tlak v čepovém spoji [MPa];

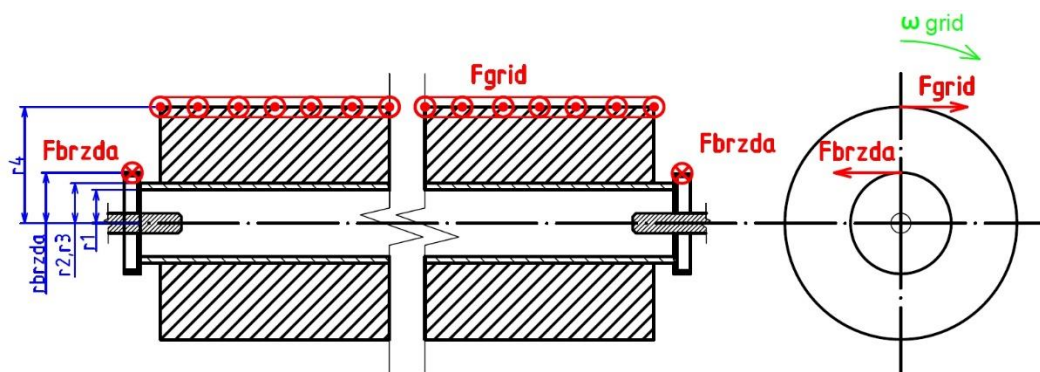
$S_{\text{čep}}$ – kontaktní plocha v čepovém spoji [mm²];

$p_{\text{čepD}} = 15$ MPa, maximální dovolený kontaktní tlak;

$t_{\text{čep}} = 7,5$ mm, tloušťka stěny čepového spoje;

4.4 VÝPOČET BRZDNÉHO ČLENU A PŘEDPĚTÍ V ROLI

Role je bržděná dvojicí konstantních třecích sil vyvinutých přitlačnými brzdnými členy, které zpomalují rotaci mříže a vytváří po obvodu role předpětí v odmotávané geomříži viz. Obr. 56.



Obr. 56 Schéma pro výpočet brzdného členu;

Síla přitlačných členů je vyvíjena a nastavována mechanicky stlačením pružin uvnitř brzdných členů, Byly zvoleny pružiny výrobce MATEZA s následujícími parametry viz. Tabulka 4.

Tabulka 4 Parametry tlačné pružiny v brzdných členech; [46]

Materiál	Typ pružiny	Konce	Tuhost	Maximální stlačení	Průměr drátu	Délka	Počet závitů
[-]	[-]	[-]	[N·mm ⁻¹]	[mm]	[mm]	[mm]	[-]
Pružinová ocel tř. C dle EN10270-1SH	tlačná	broušené	46,88	11	2,8	45,9	10

Požadované optimální předpětí bylo zvoleno jako 100 N na obvodu skelné role při zahájení pokládky a maximálním průměru role, kdy je geomříž zakládána pod kola pokládacího zařízení, výsledky viz.

Tabulka 5.

V průběhu odmotávání se zmenšuje průměr role a zároveň se zmenšuje rameno síly F_{grid} , tedy výsledné předpětí v mříži postupně roste.

Brzdňý člen je především konstruován, a určen ke zvýšení odporu při odmotávání pro vznik předpětí a správné provedení pokládky samolepicích mříží typu CGL. Zamezení odmotání přebytečného množství mříže při brždění pokládacího stroje vlivem setrvačnosti role a vzniku vln při pokládce.

MOMENT SETRVAČNOSTI SKELNÉ ROLE

$$J_{grid} = J_1 + J_2 \left[kg \cdot m^2 \right] \quad (33)$$

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot m_1 \cdot (r_1^2 + r_2^2) \left[kg \cdot m^2 \right] \quad (34)$$

$$J_2 = \frac{1}{2} \cdot m_2 \cdot (r_3^2 + r_4^2) \left[kg \cdot m^2 \right] \quad (35)$$

$$J_1 = \frac{1}{2} \cdot 9,83 \cdot (0,05^2 + 0,06^2) = 0,0300 \text{ kg} \cdot m^2$$

$$J_2 = \frac{1}{2} \cdot 141 \cdot (0,06^2 + 0,175^2) = 2,4129 \text{ kg} \cdot m^2$$

$$J_{grid} = 0,0300 + 2,4129 = 2,4429 \doteq 2,44 \text{ kg} \cdot m^2$$

KDE:

J_{grid} – redukovaný moment setrvačnosti role $[kg \cdot m^2]$;

J_1 – moment setrvačnosti papírové dutinky $[kg \cdot m^2]$;

J_2 – moment setrvačnosti navinuté geomříže $[kg \cdot m^2]$;

$r_1 = 0,05$ m, vnitřní poloměr papírové dutinky;

$r_2 = r_3 = 0,06$ m, vnější poloměr dutinky a vnitřní poloměr navinuté geomříže;

$r_4 = 0,175$ m, vnější poloměr navinuté geomříže;

$m_1 = 9,83$ kg, hmotnost papírové dutinky role;

$m_2 = 141$ kg, hmotnost skelné geomříže.

UHLOVÁ RYCHLOST MŘÍŽE A OTÁČKY

$$v_{stoj} = v_{grid} = 15 \text{ km} \cdot \text{hod}^{-1} = 4,17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (36)$$

$$\omega_{grid} = \frac{v_{grid}}{r_4} \left[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (37)$$

$$\omega_{grid} = \frac{4,17}{0,175} = 23,83 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$\omega_{grid} = 2 \cdot \pi \cdot n_{grid} \left[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1} \right] \quad (38)$$

$$n_{grid} = \frac{\omega_{grid}}{2 \cdot \pi} = \frac{23,83}{2 \cdot \pi} = 3,79 \text{ ot} \cdot \text{s}^{-1}$$

KDE:

v_{stoj} – pojezdová rychlost stroje při pokládce [$\text{km} \cdot \text{hod}^{-1}$];

v_{grid} – obvodová rychlost na povrchu skelné role [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

ω_{grid} – úhlová rychlost skelné role [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$];

n_{grid} – otáčky skelné role [$\text{ot} \cdot \text{s}^{-1}$];

$r_4 = 0,175 \text{ m}$, vnější poloměr navinuté geomříže.

VÝPOČET POTŘEBNÉ TŘECÍ SÍLY A MOMENTU BRZDNÉHO ČLENU

$$Mb_{grid} = 2 \cdot Mb_{brzda} \left[\text{N} \cdot \text{m} \right] \quad (39)$$

$$F_{grid} \cdot r_4 = 2 \cdot F_{Tbrzda} \cdot r_{brzda} \left[\text{N} \cdot \text{m} \right] \quad (40)$$

$$F_{Tbrzda} = \frac{F_{grid} \cdot r_4}{2 \cdot r_{brzda}} = \frac{100 \cdot 0,175}{2 \cdot 0,076} = 115,13 \text{ N}$$

$$Mb_{brzda} = F_{Tbrzda} \cdot r_{brzda} \left[\text{N} \cdot \text{m} \right] \quad (41)$$

$$Mb_{brzda} = 115,13 \cdot 0,076 = 8,75 \text{ N} \cdot \text{m}$$

KDE:

Mb_{grid} – brzdňý moment, kterým je brzděna rotace skelné role [$\text{N} \cdot \text{m}$];

Mb_{brzda} – brzdňý moment jednotlivého brzdného členu [$\text{N} \cdot \text{m}$];

F_{grid} – síla na obvodu skelné role [N];

F_{Tbrzda} – třecí síla v brzdovém obložení [N];

$r_{brzda} = 0,076$ m, poloměr třecí brzdové plochy;

$r_4 = 0,175$ m, vnější poloměr navinuté geomříže.

VÝPOČET POŽADOVANÉ PŘÍTLAČNÉ OSOVÉ SÍLY BRZDNÉHO ČLENU

$$F_{Tbrzda} = F_{Nbrzda} \cdot \mu_{oblozeni} \quad [N] \quad (42)$$

$$F_{Nbrzda} = \frac{F_{Tbrzda}}{\mu_{oblozeni}} = \frac{115,13}{0,35} = 328,95 \text{ N}$$

KDE:

F_{Tbrzda} – třecí síla v brzdovém obložení [N];

F_{Nbrzda} – přítláčná osová síla v brzdovém členu [N];

$\mu_{oblozeni} = 0,35$, koeficient tření brzdového obložení viz. Obr. 45.

VÝPOČET KINETICKÉ ENERGIE GEOMŘÍŽE A DOBY DO ZASTAVENÍ

$$E_{kingrid} = \frac{1}{2} J_{grid} \cdot \omega_{grid}^2 \quad [J] \quad (43)$$

$$E_{kingrid} = \frac{1}{2} \cdot 2,44 \cdot 23,83^2 = 693,52 \text{ J}$$

$$t_{grid} = \frac{E_{kingrid}}{2 \cdot Mb_{brzda} \cdot \omega_{grid}} \quad [s] \quad (44)$$

$$t_{grid} = \frac{693,52}{2 \cdot 8,75 \cdot 23,83} = 1,66 \text{ s}$$

KDE:

$E_{kingrid}$ – kinetická energie rotující skelné role [J];

t_{grid} – čas do zastavení brzděné rotující skelné role [s].

VÝPOČET STLAČENÍ PRUŽINY

$$x_{pruzina} = \frac{F_{Nbrzda}}{k_{pruzina}} \quad [mm]$$

$$x_{pruzina} = \frac{328,95}{46,88} = 7,02 \text{ mm}$$

KDE:

$x_{pruzina}$ – stlačení pružiny v brzdném členu [mm];

$k_{\text{pruzina}} = 46,88 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, tuhost pružiny v brzděném členu viz. [46].

Tabulka 5 Výsledné parametry brzděného členu;

	Kinetická energie mříže	Stlačení pružiny	Brzdná síla	Osová brzdná síla	Brzdý moment	Čas do zastavení
Jednotky	[J]	[mm]	[N]	[N]	[Nm]	[s]
Minimální hodnota	693,52	0	0	0	0	-
Hodnota pro předpětí mříže 100 N		7,02	115,13	325,95	8,75	1,64
Maximální hodnota		11,00	180,49	515,68	13,72	1,05

Při pokládce rolí strojem a současném brždění mříže dochází k zahřívání a poměrně složitému ději přestupu a rozptylu tepla, proto bylo přistoupeno k zjednodušenému výpočtu teplotního rozdílu brzdového obložení pomocí kalorimetrické rovnice a předpokladu, že se veškeré teplo uvolněné třením akumuluje pouze v objemu brzdového obložení a třecí ploše na středícím jehlanu.

Byla předpokládána průměrná pojezdová rychlost stroje ve výši dvou třetin z maximální povolené pracovní rychlosti pokládacího stroje v_{stroje} , maximální délka náviny mříže dodávaná výrobcem 150 m a maximální brzdý moment.

Parametry brzdového obložení viz. Tabulka 2.

VÝPOČET OHŘEVU BRZDOVÉHO OBLOŽENÍ

$$\omega_{\text{gridpokladky}} = \frac{2}{3} \cdot \omega_{\text{grid}} = 15,89 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1} \quad (45)$$

$$v_{\text{strojepokladky}} = \frac{2}{3} \cdot v_{\text{stroje}} = 2,78 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (46)$$

$$P_{\text{brzda}} = M b_{\text{brzda max}} \cdot \omega_{\text{gridpokladky}} [\text{W}] \quad (47)$$

$$P_{\text{brzda}} = 13,72 \cdot 15,89 = 218,01 \text{ W}$$

$$t_{\text{pokladky}} = \frac{s_{\text{pokladky}}}{v_{\text{strojepokladky}}} [\text{s}] \quad (48)$$

$$t_{pokladky} = \frac{150}{2,78} = 53,96 \text{ s}$$

$$Q_{brzda} = P_{brzda} \cdot t_{pokladky} [J] \quad (49)$$

$$Q_{brzda} = 218,01 \cdot 53,96 = 11763,82 \text{ J}$$

KDE:

P_{brzda} – výkon brzdňého členu při maximálním stlačení pružiny [W];

$t_{pokladky}$ – čas potřebný k rozmotání skelné role o maximálním návínu 150 m [s];

Q_{brzda} – celkové uvolněné teplo třením při pokládce [J];

$\omega_{gridpokladky} = 15,5731 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$, odhadnutá průměrná úhlová rychlost role při pokládce;

$V_{strojepokladky} = 2,7778 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, odhadnutá průměrná rychlost stroje při pokládce;

$S_{pokladky} = 150 \text{ m}$, maximální nepřerušovaná délka pokládky role [m].

Bylo uvažováno, že se vzniklé teplo Q_{brzdy} se rozdělí rovnoměrně do třetího obložení a těla brzdového kotouče.

OTEPLENÍ BRZDOVÉHO OBLOŽENÍ

$$m_{oblozeni} = V_{oblozeni} \cdot \rho_{oblozeni} [g] \quad (50)$$

$$m_{oblozeni} = 12,33 \cdot 2,10 = 25,89 \text{ g}$$

$$m_{kotouc} = V_{kotouc} \cdot \rho_{ocel} [g] \quad (51)$$

$$m_{kotouc} = 55,79 \cdot 7,85 = 437,95 \text{ g}$$

$$Q_{brzda} = m_{oblozeni} \cdot c_{oblozeni} \cdot \Delta T_{brzda} + m_{kotouc} \cdot c_{ocel} \cdot \Delta T_{brzda} [J] \quad (52)$$

$$\Delta T_{brzda} = \frac{Q_{brzda}}{m_{oblozeni} \cdot c_{oblozeni} + m_{kotouc} \cdot c_{ocel}} = \frac{11763,82}{0,02589 \cdot 1030 + 0,5579 \cdot 461} = 51,45 \text{ K}^{-1}$$

KDE:

$m_{oblozeni}$ – hmotnost brzdového obložení [g];

m_{kotouc} – hmotnost brzdového kotouče [g];

$\Delta T_{oblozeni}$ – změna teploty brzdňého členu [K^{-1}];

$V_{oblozeni} = 12,33, \text{ cm}^3$ objem brzdového obložení;

$\rho_{oblozeni} = 2,10 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, objemová hmotnost brzdového obložení viz. Tabulka 2;

$c_{\text{oblozeni}} = 1030 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita brzdového obložení viz. Tabulka 2;

$V_{\text{kotouc}} = 55,79 \text{ cm}^3$ objem brzdového kotouče;

$\rho_{\text{ocel}} = 7,85 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$, objemová hmotnost ocel viz. [4] s.59;

$c_{\text{ocel}} = 461 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, měrná tepelná kapacita ocel [4] s.59.

Tabulka 6 Výsledné hodnoty ohřevu brzdového obložení;

	Celková kinetická energie Q_{brzda}	Výkon brzdného členu P_{brzda}	Rozdíl teploty ΔT_{brzda}
Jednotky	[J]	[W]	[K ⁻¹]
Hodnota	11763,82	218,01	51,45

Nárůst teploty o 52,56 teplotního stupně vzhledem k zanedbání přenosu a vyřazování tepla do okolí, dlouhému trvání děje, shledávám brzdný člen vyhovujícím.

4.5 KONTROLA KLUZNÝCH LOŽISEK

Každé z výsuvných ramen je opatřeno dvojicí samomazných kluzných ložisek ze slinutého bronzu, uložených v obrobené ocelové trubce, jak bylo popsáno výše. Nyní je nezbytné ověřit správnost výběru ložiska pro tuto aplikaci.

Na konec středícího jehlanu působí síla F_{GRID} o poloviční velikosti a působí na kluzná ložiska. Velikost reakčních sil zjistíme z rovnic silové a momentové rovnováhy s použitím příslušných rozměrů viz. Obr. 57.

$$\sum M_{oy} = 0 [N \cdot mm] \quad (53)$$

$$\sum M_{oyA} : -F_{k1} \cdot 0 + F_{k2} \cdot 55 - \frac{F_{\text{GRID}} \cdot (55 + 99)}{2} = 0 \quad (54)$$

$$F_{k2} = \frac{F_{\text{GRID}} \cdot (55 + 99)}{2 \cdot 55} = \frac{1479,64 \cdot (55 + 99)}{2 \cdot 55} = 2071,50 \text{ N}$$

$$\sum F_z = 0 [N] \quad (55)$$

$$\sum F_z : -F_{k1} + F_{k2} - \frac{F_{\text{GRID}}}{2} = 0 \quad (56)$$

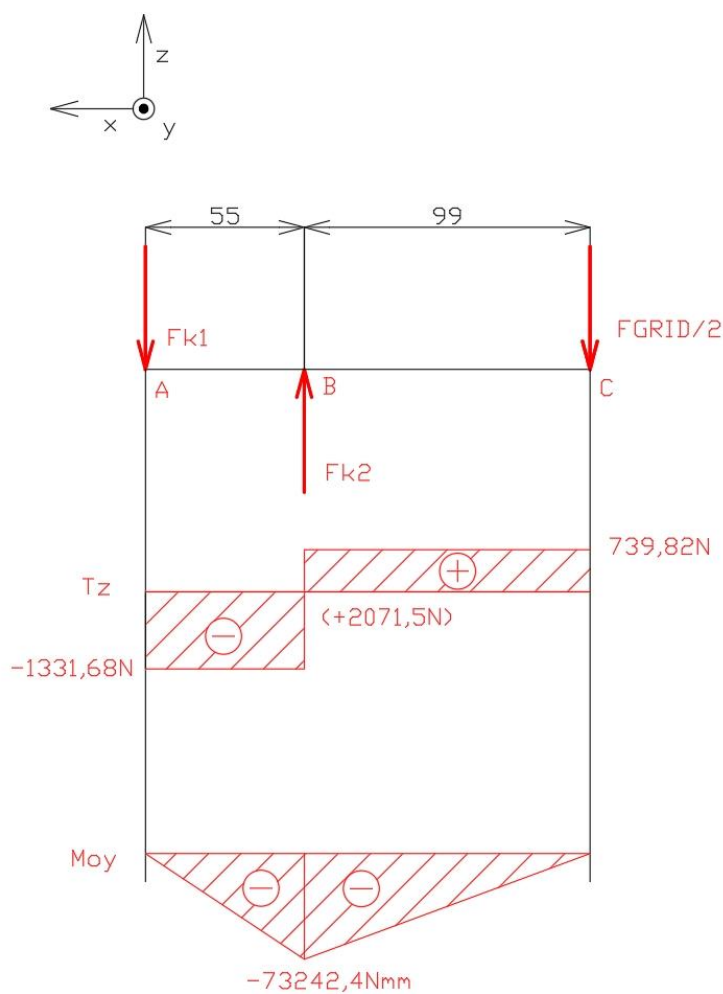
$$F_{k1} = F_{k2} - \frac{F_{\text{GRID}}}{2} = 2071,50 - \frac{1479,64}{2} = 1331,68 \text{ N}$$

KDE:

M_{oy} – ohybový moment ocelové osy středícího jehlanu k ose y, viz. Obr. 57 [$N \cdot mm$];

F_{k1} – reakční síla v kluzném ložisku jedna v bodě A [N];

F_{k2} – reakční síla v kluzném ložisku dvě v bodě B [N].



Obr. 57 Výpočet kluzného ložiska VVÚ;

Nejvíce zatížené je ložisko dvě v bodě B, ve kterém působí síla F_{k2} . Vypočteme tedy měrné zatížení kluzného ložiska.

$$p_{k2} = \frac{F_{k2}}{d_k \cdot L_k} [N \cdot mm^{-2}] \quad (57)$$

$$p_{k2} = \frac{2071,50}{30 \cdot 19,5} = 3,54 N \cdot mm^{-2}$$

KDE: p_{k2} – měrné zatížení kluzného ložiska dvě v bodě B [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$]; $d_k = 30 \text{ mm}$, vnitřní průměr kluzného ložiska; $L_k = 19,5 \text{ mm}$, šířka kluzného ložiska.

Maximální měrné zatížení udávané výrobcem je $10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$ při dynamickém zatěžování. Ložisko kontrole na měrný tlak vyhovuje.

Dále vypočítáme kluznou rychlost, dle rovnice 58.

$$v_k = \frac{\pi \cdot d_k \cdot n_{grid}}{6 \cdot 10^4} [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (58)$$

$$v_k = \frac{\pi \cdot 30 \cdot 3,79}{6 \cdot 10^4} = 5,95 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

KDE: v_k – kluzná rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

Ložisko musí splňovat podmínku koeficientu základní životnosti dle rovnice (60), která určí, zda byla správně dimenzována jeho velikost. V případě že by podmínka splněna nebyla, muselo by být zvoleno větší ložisko.

$$aE = \frac{p_{k \max}}{p_{k \max} - p_{k2}} [-] \quad (59)$$

$$aE = \frac{10}{10 - 3,54} = 1,55$$

$$aE \cdot p_{k2} \cdot v_k \leq aE \cdot p_{k2} \cdot v_{k \max} \quad (60)$$

$$1,55 \cdot 3,54 \cdot 5,95 \cdot 10^{-3} \leq 1,55 \cdot 3,54 \cdot 5$$

$$32,65 \cdot 10^{-3} \leq 27,44$$

KDE: aE – koeficient základní životnosti [-]; $p_{k \max} = 10 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$, maximální měrné zatížení, udávané výrobcem; [43] $v_{k \max} = 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, maximální kluzná rychlost udávaná výrobcem. [43]

4.7 VÝPOČET METODOU KONEČNÝCH PRVKŮ – MKP

Výpočty byly prováděny v softwaru MSC Apex, verze Jaguar 2019. Software umožňuje import modelu přímo z 3D modeláře Inventor ve formátu step.

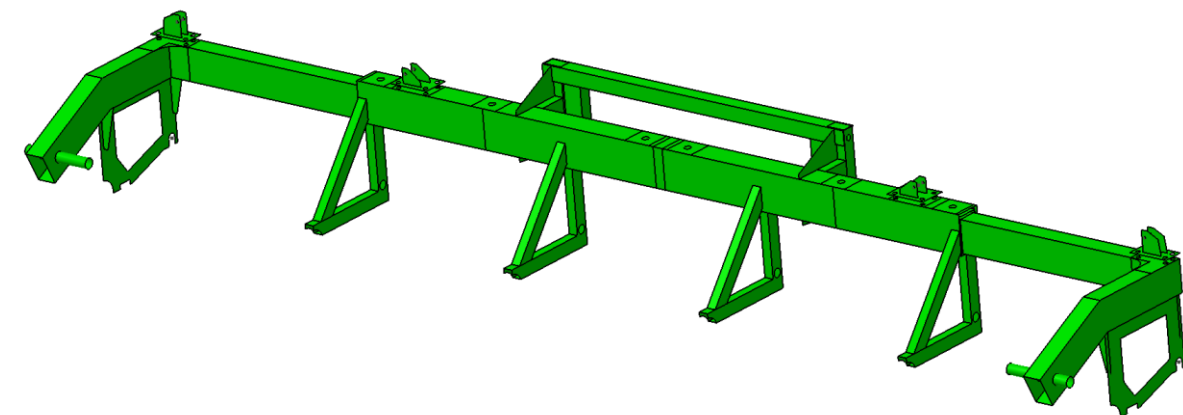


Obr. 58 3D model importovaný z Inventoru;

Importovaný model byl již v modeláři předpřipraven pro výpočet. Byly odstraněny šrouby, čepy, zaoblení hutních polotovarů a díry pro šrouby, výjimkou jsou díry pro vymezovací šrouby posuvného vedení, jelikož v jejich okolí je předpokládán přenos vyšších napětí viz. Obr. 58.

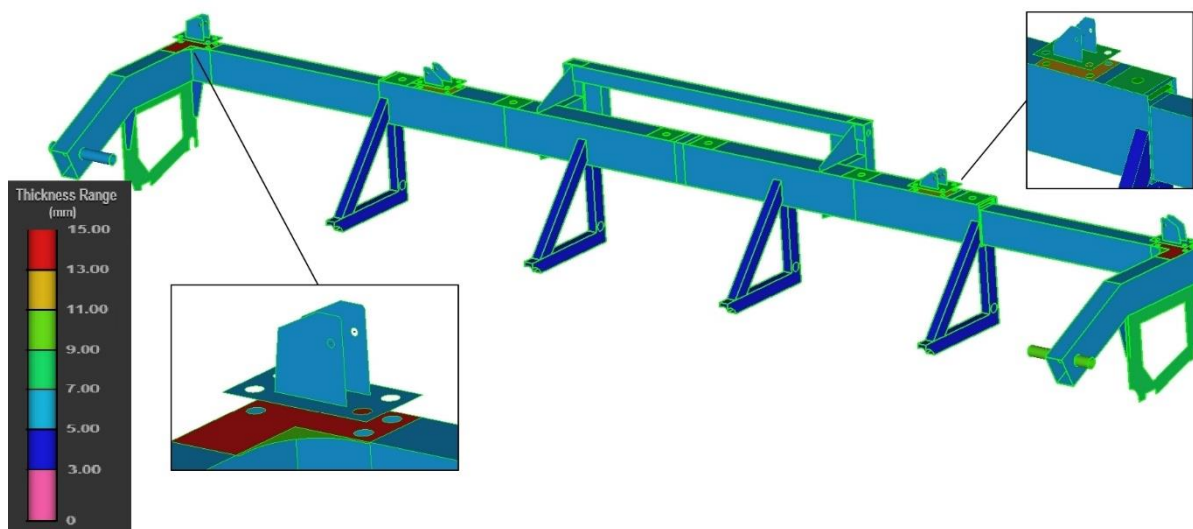
4.7.1 PŘÍPRAVA MODELU PRO VÝPOČET – STŘEDNICOVÉ PLOCHY „MID-SURFACE“

Model byl v software Apex převeden na střednicové plochy „mid-surface“, tyto plochy s hranami byly ořezány a následně spojeny do celků příkazy typu „merge“ apod, viz. Obr. 59.



Obr. 59 Střednicové plochy;

Po vytvoření celku výpočetního modelu složených ze samostatných střednicových ploch a následném spojení byly zkontrolovány programem automaticky generované tloušťky stěn přiřazené každé střednicové ploše tzv. „thickness“. Popřípadě lokálně upraveny, dle skutečných tloušťek stěn pokládacího zařízení viz. Obr. 60 .



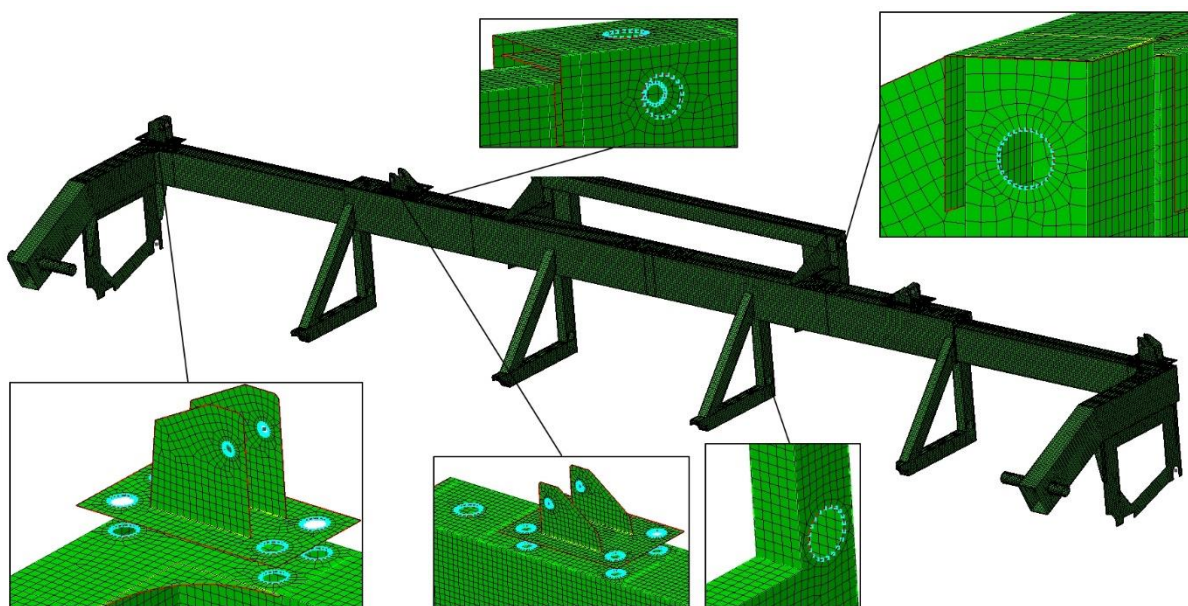
Obr. 60 Tloušťky střednicových ploch;

4.7.2 PŘÍPRAVA MODELU PRO VÝPOČET – SÍŤOVÁNÍ „MESHING“

Na výpočetním modelu nyní složeném ze střednicových ploch s tloušťkami byla vytvořena síť výpočetních uzlů viz. Obr. 61.

Vytvořena byla 2D síť „surface-mesh“ a jako preferovaný tvar prvků byl zvolen obdélník tzv. „quadrilateral“.

Velikost jednotlivých 2D prvků byla zvolena 4 mm, použitá na většině ploch, nebo 2 mm (pro patice pohonu výsuvných ramen a lokálně pro prvky s malými rozměry ploch). Síť v okolí děr, které byly ponechány na modelu byla rozdělena „seeding“ na více prvků za účelem optimalizace tvaru a zjemnění sítě.



Obr. 61 Síť výpočetního modelu se zjemněnými hranami na okrajích děr;

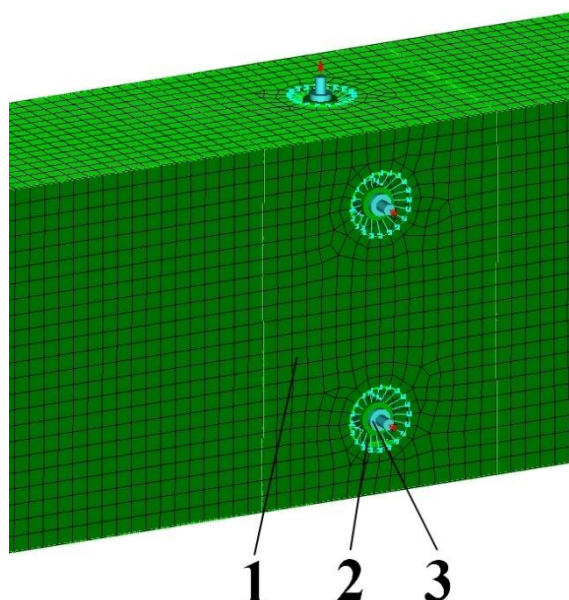
Program MSC Apex, současně sleduje kvalitu prvků „element quality“ v modelu a rozděluje je do skupin. Před výpočtem se v modelu nacházelo celkem 134 tisíc prvků, z toho přibližně 1200 prvků s horší kvalitou než nejlepší možnou. Nenacházel se zde žádný prvek se statusem „invalid“. Proto hodnotím vytvořenou síť jako vyhovující.

4.7.3 PŘÍPRAVA MODELU PRO VÝPOČET – VAZBY „JOINTS“

K vytvořenému a nasíťovanému modelu byly přiřazeny vazby, které nahrazují interakce mezi jednotlivými komponenty uvnitř soustavy pokládacího zařízení.

NÁHRADA VYMEZOVACÍCH ŠROUBŮ

Vymezovací šrouby vnějšího vedení byly nahrazeny rotační vazbou „revolute joint“. Tento typ vazby zamezuje posuvy ve všech osách $[x,y,z]$ a dvě rotace, konkrétně $[R_x,R_y]$ nebo $[R_x,R_z]$, podle horizontální nebo vertikální polohy vymezovacího šroubu na vnějším vedení viz. Obr. 62.

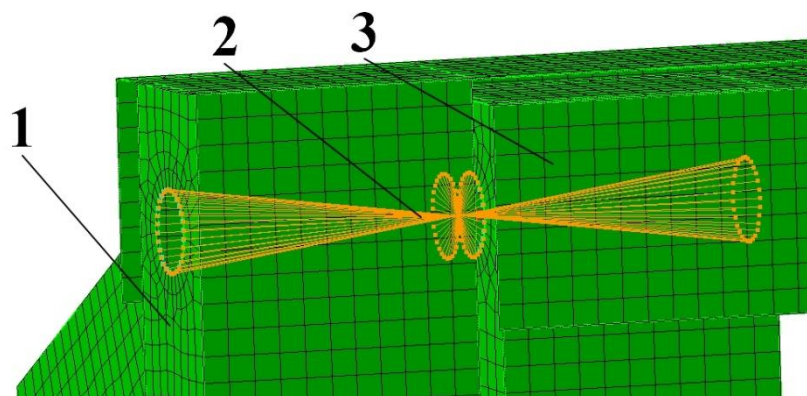


Obr. 62 Náhrada vymezovacích šroubů; 1-vnější vedení; 2-kluzná deska; 3-nahrazení šroubového spoje vazbou „revolute joint“;

NÁHRADA POJIŠŤOVACÍCH ČEPŮ

Pojišťovací čepy mezi patičí pro připojení stroje a spojovacího mezikusu, byly nahrazeny vazbami „revolute joint“ viz. Obr. 63.

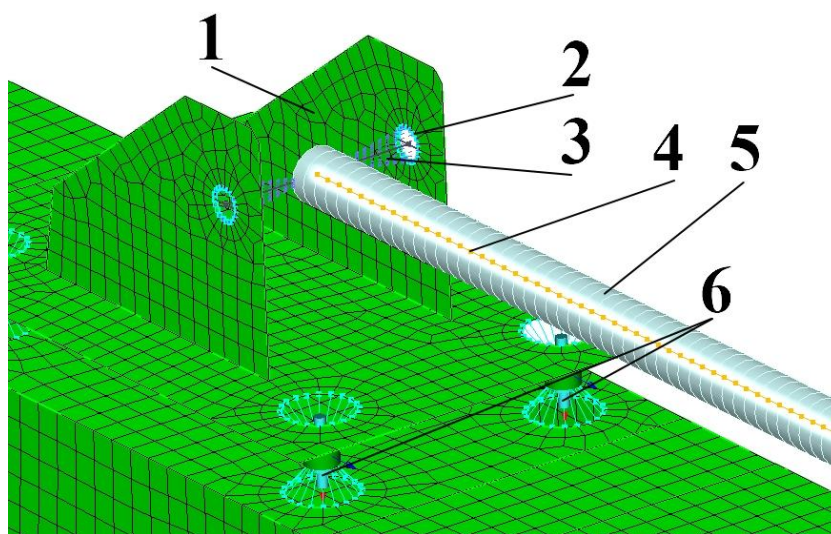
Šrouby určené k připojení patič pro pohon výsuvných ramen k vnějšímu vedení byly rovněž nahrazeny vazbami „revolute joint“ viz. Obr. 64



Obr. 63 Náhrada pojišťovacích čepů; 1-patice pokládacího zařízení; 2-náhrada pojišťovacích čepů vazbou „revolute joint“; 3-patice pro připojení stroje;

NÁHRADA ŠROUBOVICE POHONU VÝSUVNÝCH RAMEN

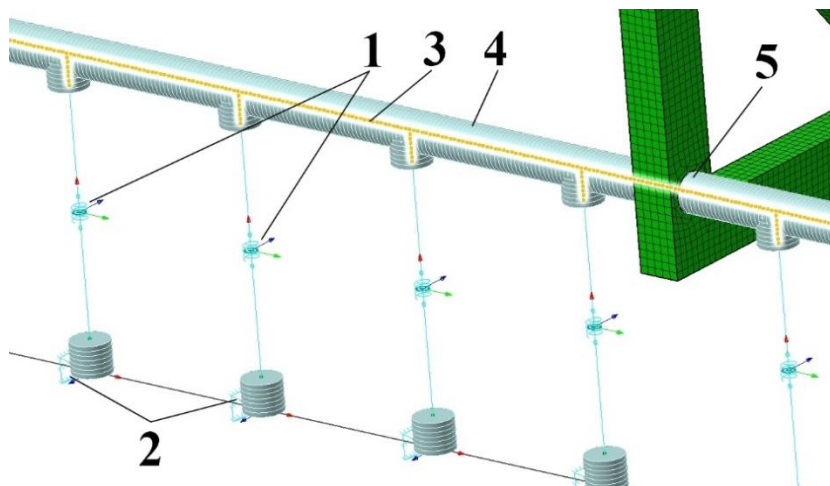
Šroubovice s trapézovým závitem, která zajišťuje pohon výsuvných ramen byla nahrazena přímkou, následně nasíťována 1D uzly a její profil byl simulován s pomocí funkce „Beam“. Nastaven byl průřez tvaru kruhového plného profilu o průměru 10 mm. Koncové uzly přímky s přiřazeným průřezem byly pevně spojeny s otvory v patcích pro pohon výsuvných ramen kontaktem „discrete tie“. Pevný uzel na konci přímky prováže prvek na konci přímky s ostatními prvky rozmístěnými po obvodu děr v patci viz. Obr. 64.



Obr. 64 Náhrada šroubovice pohonu výsuvných ramen; 1-patice pro pohon výsuvných ramen; 2-otvor pro pojišťovací čep; 3-vazba „discrete tie“; 4-přímka nasíťovaná 1D prvky; 5-beam; 6-náhrada šroubového spoje vazbou „revolute joint“;

NÁHRADA POJEZDOVÝCH KOL.

Soustava pojezdových kol byla nahrazena pomocí soustavy třiatdvaceti pružin „spring“ s tuhostí, která simuluje tuhost skutečné pneumatiky v radiálním směru.



Obr. 65 Náhrada pojezdových kol; 1-pružiny; 2-vetknutí; 3-přímka nasíťovaná 1D prvky; 4-beam; 5-otvor pro osu pojezdových kol ve středové konstrukci;

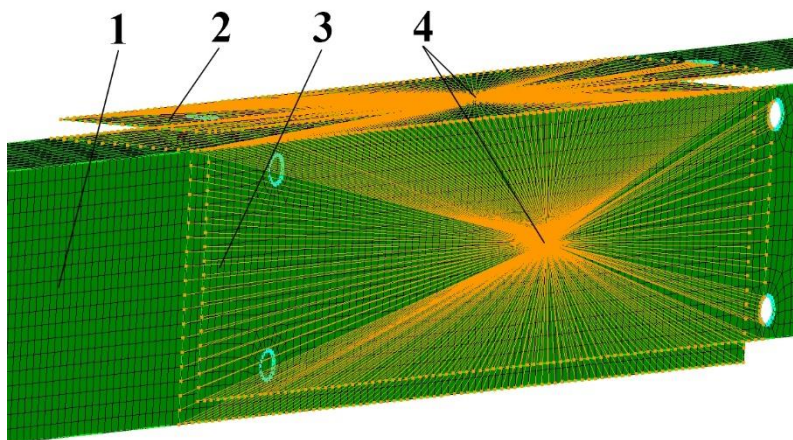
Tuhost pneumatiky byla zvolena lineární o velikosti $400 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-1}$, viz. [17]. Osa kol byla simulována pomocí 1D prvků síťovaných na přímce s velikostí prvků 3 mm a přiřazeným kruhovým plným průřezem o průměru 25 mm. Přímka prochází středem otvorů pro osu pojezdových kol.

Uzly přímky v místech průchodu skrze díry, ve kterých se osa ve skutečnosti otáčí jsou spojeny pevně s prvky na obvodu děr, pomocí vazby „discrete tie“.

Každá z pružin je připojena na jednom konci k nasíťované přímce a na straně opačné je vetknuta, což simuluje pevný kontakt kola s rovinou vozovky a pružina nahrazuje chování pneumatiky v radiálním směru viz. Obr. 65.

4.7.4 NÁHRADA POHYBOVÉ VAZBY VÝSUVNÝCH RAMEN VE VNĚJŠÍM VEDENÍ

Výsuvná ramena jsou uložena s jedním stupněm volnosti, a to translací v podélném směru výsuvných ramen. Je umožněn pouze rovinný pohyb po rovině kluzných desek.



Obr. 66 Náhrada pohybové vazby výsuvných ramen ve vnějším vedení; 1-vnější vedení; 2-kluzná deska úzká; 3-kluzná deska široká; 4-náhrada jednoho stupně volnosti (výsuv) vazbami „planar joint“;

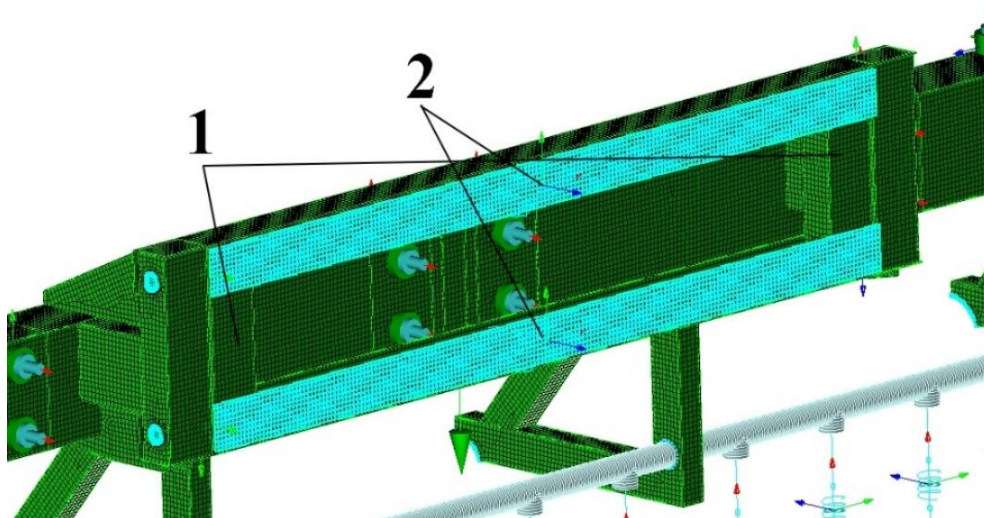
Jako náhrada byla zvolena vazba „planar joint“, která umožňuje pohyb v rovině a rotaci okolo osy, která je k rovině kolmá, vazba byla použita na styčné plochy obou kluzných desek, tedy zamezena rotace, viz. Obr. 66.

Uvažováno bylo dokonalé vymezení vůle pomocí vymezovacích šroubů vnějšího vedení, kdy kluzné desky dosedají na plochu výsuvných ramen.

Simulovány byly různorodé případy kluzných vazeb v různých orientacích. Jako nejméně příznivý případ se jeví případ ideálního dosednutí právě na dvojici kluzných desek a současně nejvyšším zatížením přenášeným do okolí otvorů pro vymezovací šrouby. Příklad s takovou konfigurací kluzných vazeb bude detailněji probrán níže.

4.7.5 NÁHRADA VAZBY PŘIPOJUJÍCÍ POKLÁDACÍ ZAŘÍZENÍ K POKLÁDACÍMU STROJI

Náhrada této vazby je závislá na zátěžném stavu. Pro zátěžné stavy 1 a 3, byla nahrazena jako vazba s jedním stupněm volnosti (translace v ose y), tak aby bylo umožněno zařízení se pohybovat v tomto směru a do výpočtu se promítlo chování zapříčinění tuhostí pojezdových kol.



Obr. 67 Náhrada vazby připojující zařízení k pokládacímu stroji; 1-patice pro připojení stroje; 2-úplné vetknutí;

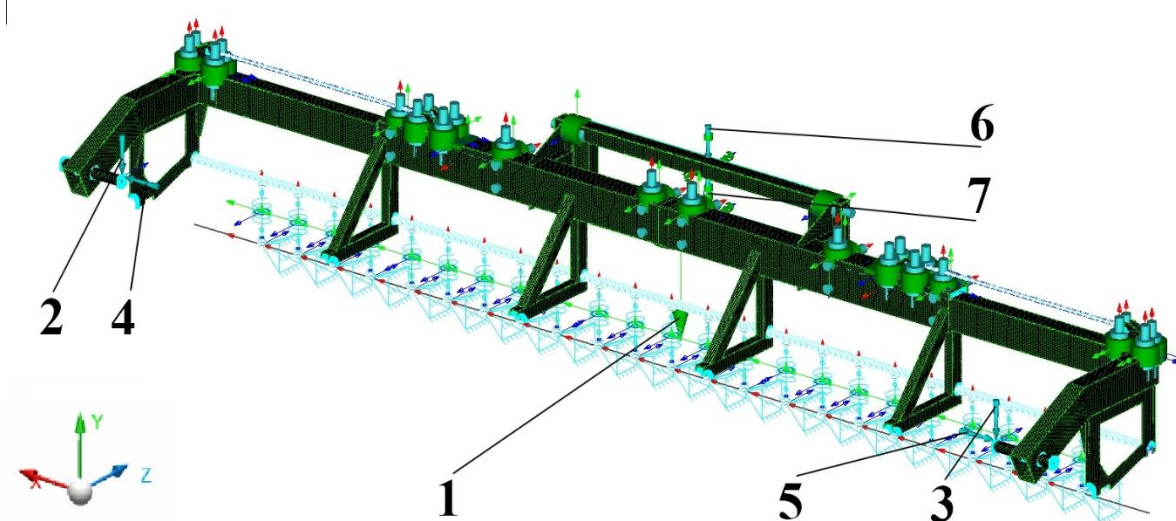
Pro zátěžný stav 2, kdy je zařízení nesené nad zemí, bez kontaktu pojezdových kol s vozovkou byla vazba s jedním stupněm volnosti nahrazena úplným vetknutím viz. Obr. 67 a zároveň byly odstraněny vetknutí na konci pružin simulující kontakt pojezdových kol s vozovkou viz. Obr. 65.

4.7.6 PŘÍPRAVA MODELU PRO VÝPOČET – ZATĚŽUJÍCÍ SÍLY „FORCES“

Zatěžující síly byly odvozeny od skutečného zatížení s cílem zahrnout ve výpočtu jejich nejméně příznivé rozpoložení.

1. Zatížení způsobené hmotností role skelné mříže
2. Zatížení způsobené silou zdvižné převodovky při nabírání role mezi středící jehlany
3. Zatížení způsobené opřením stroje o pokládací zařízení
4. Zatížení způsobené vlastní hmotností pokládacího zařízení.

Ve všech výpočtech bylo počítáno se střední hodnotou gravitačního zrychlení $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.



Obr. 68 Zatížení výpočetního modelu; 1-gravitační zrychlení „g“; 2-zatížení silou způsobenou váhou skelné role „F_{role_1}“; 3-zatížení silou způsobenou váhou skelné role „F_{role_2}“; 4-zatížení maximální silou pohonu výsuvných ramen „F_{pohon_1}“; 5-zatížení maximální silou pohonu výsuvných ramen „F_{pohon_2}“; 6-síla vzniklá od pokládacího stroje „F_{stroje_1}“; 4-síla vzniklá od pokládacího stroje „F_{stroje_2}“;

Tabulka 7 Zatížení výpočetního modelu (pozice viz. Obr. 68);

Zatížení	Označení	Maximální hodnota	Směr síly	Koeficient k_{MKP}	Velikost zatížení
	[-]	[N]	[-]	[-]	[N]
Gravitace	g	9,81 [m·s ⁻²]	-y	-	9,81 [m·s ⁻²]
Hmotnost role	F_role_1	750	-y	1,2	900
Hmotnost role	F_role_2	750	-y	1,2	900
Síla pohonu	F_pohon_1	1200	x	1,2	1440
Síla pohonu	F_pohon_2	1200	-x	1,2	1440
Hmotnost stroje	F_stroje_1	1750	-y	1,2	2100
Hmotnost stroje	F_stroje_2	1750	-y	1,2	2100

Velikost všech zatěžujících sil byla před zahájením výpočtu násobena koeficientem $k_{MKP} = 1,2$ z důvodu možnosti výskytu větších zatěžujících sil, než jsou předpokládány viz. Tabulka 7.

4.7.7 PŘÍPRAVA MODELU PRO VÝPOČET – MATERIÁL „MATERIAL“

Materiál byl přiřazen všem komponentům výpočetního modelu shodný s následujícími parametry pro ocel viz. Tabulka 8.

Tabulka 8 Materiálové charakteristiky pro ocel;

Materiál	Yongův modul pružnosti E	Poissonovo číslo μ	Objemová hmotnost ρ	Mez kluzu R_e
	[GPa]	[-]	[kg·m ⁻³]	[MPa]
Ocel S235 (11.373)	210	0,3	7850	235

4.8 ZÁTĚŽNÉ STAVY MODELU PRO VÝPOČET

Z předpokládaného způsobu využití zařízení v praxi byly odvozeny zátěžné stavy.

1. **Zátěžný stav 1:** Stroj pokládá roli o maximální šíři a hmotnosti, zároveň zde působí síla od pohonu výsuvných ramen, přítlačná kola jsou v kontaktu s vozovkou a pokládací stroj je částečně opřen a pokládací zařízení, které přitlačuje k vozovce.
2. **Zátěžný stav 2:** Stroj nese naloženou geomříž, přítlačná kola se nedotýkají vozovky.
3. **Zátěžný stav 3:** Stroj je v klidu nebo pohybu, přítlačná kola se dotýkají vozovky a stroj je o pokládací zařízení částečně opřen. Geomříž není naložena ani nakládána na stroj.

Tabulka 9 Přehled sil v zátěžných stavech;

Zátěžné stavy	Zátěžný stav 1	Zátěžný stav 2	Zátěžný stav 3
F_role_1	Ano	Ano	Ne
F_role_2	Ano	Ano	Ne
F_pohon_1	Ano	Ano	Ne
F_pohon_2	Ano	Ano	Ne
F_stroje_1	Ano	Ne	Ano
F_stroje_2	Ano	Ne	Ano
g	Ano	Ano	Ano

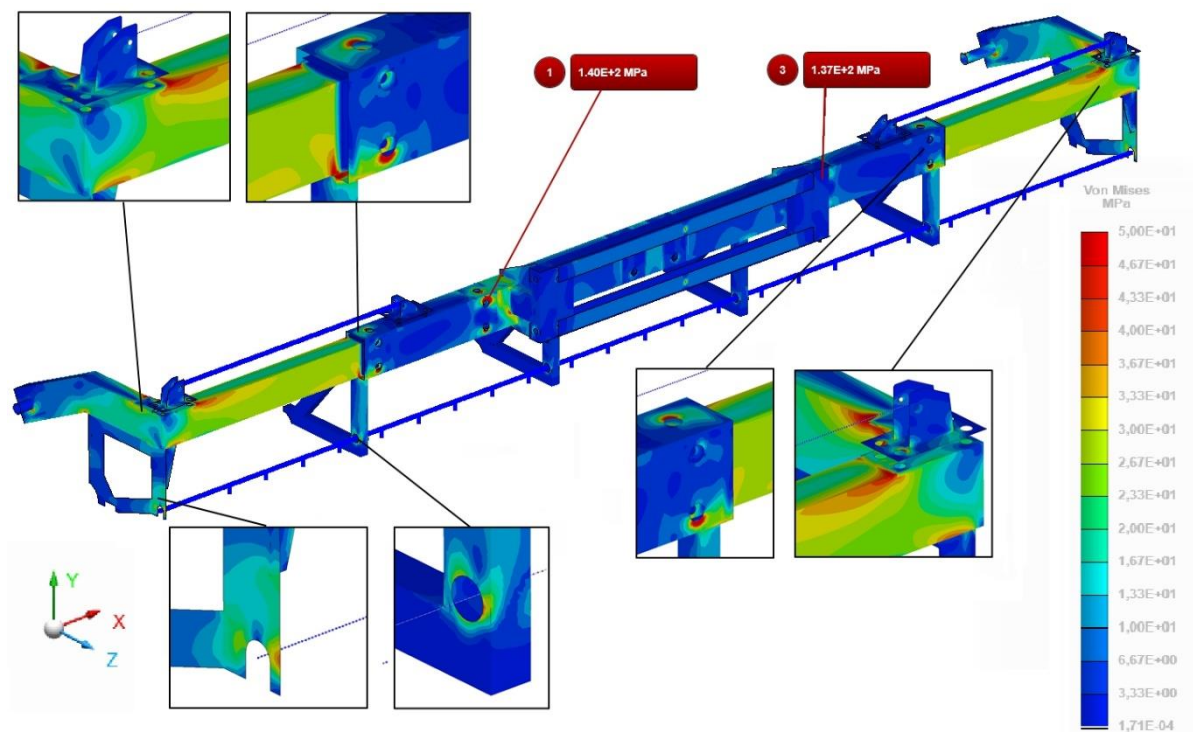
Pozn. Zátěžný stav, kdy by působilo pouze zatížení od váhy skelné role bez síly od pohonu není prakticky možné, vzhledem ke konstrukci nakládání pomocí středících jehlanů, tedy vždy bude alespoň částečné zatížení od pohonu výsuvných ramen, tento stav supluje zátěžný stav 2.

Do výpočtu nebyly zahrnuty žádné dynamické vlivy jako setrvačné síly a zrychlení působící při změnách rychlosti a zatáčení pokládacího stroje, jelikož velikost dovolené pojezdové rychlosti je nízká (tj. do 15 km/hod) a prudké brždění nebo zatáčení je při práci zakázáno, velikost takových vlivů byla tedy brána jako minimální a zanedbatelná.

Gravitační zrychlení, a tedy i samotná váha materiálu byla ve všech počítaných zátěžných stavech zahrnuta ve výpočtu.

4.9 VÝSLEDKY VÝPOČTU MKP

Výpočty byl zjištěn a ověřen nejvíce nepříznivý zátěžný stav, kterým je „Zátěžný stav 1“, při kterém ve výpočtu figurují všechny uvažované zátěžné síly.

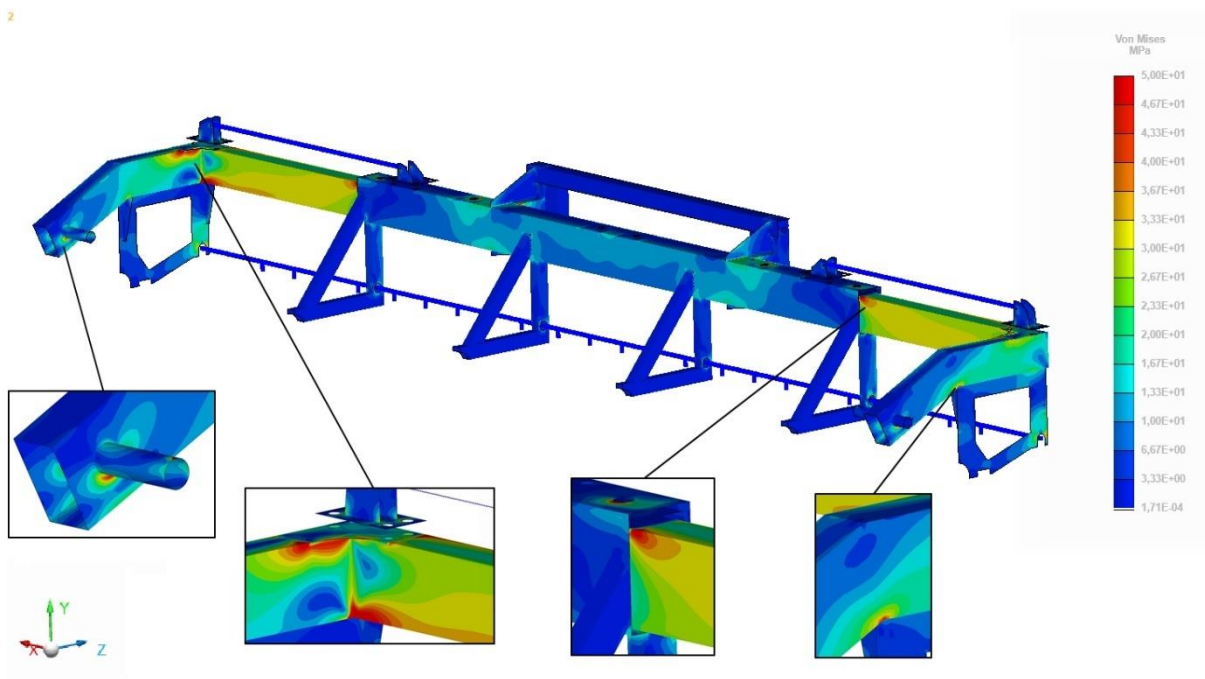


Obr. 69 Zátěžný stav 1, napětí Von Mises; Maximální hodnota 140 MPa, stupnice 0-50 MPa, deformace skutečná 1:1;

Nejvyšší napětí bylo spočítáno programem APEX na hodnotu 140 MPa viz. Obr. 69, kdy se vzniklá špička napětí nachází v okolí děr pro vymežovací šrouby. Důsledkem tohoto zjištění bylo přistoupeno k vyztužení konstrukce v okolí děr přivařením plechu tloušťky 3 mm a lokálnímu zvětšení tloušťky stěny vnějšího vedení, tzv. „bandáži“ z 5 mm na 8 mm (veškeré výsledky i modely již zahrnují tuto úpravu).

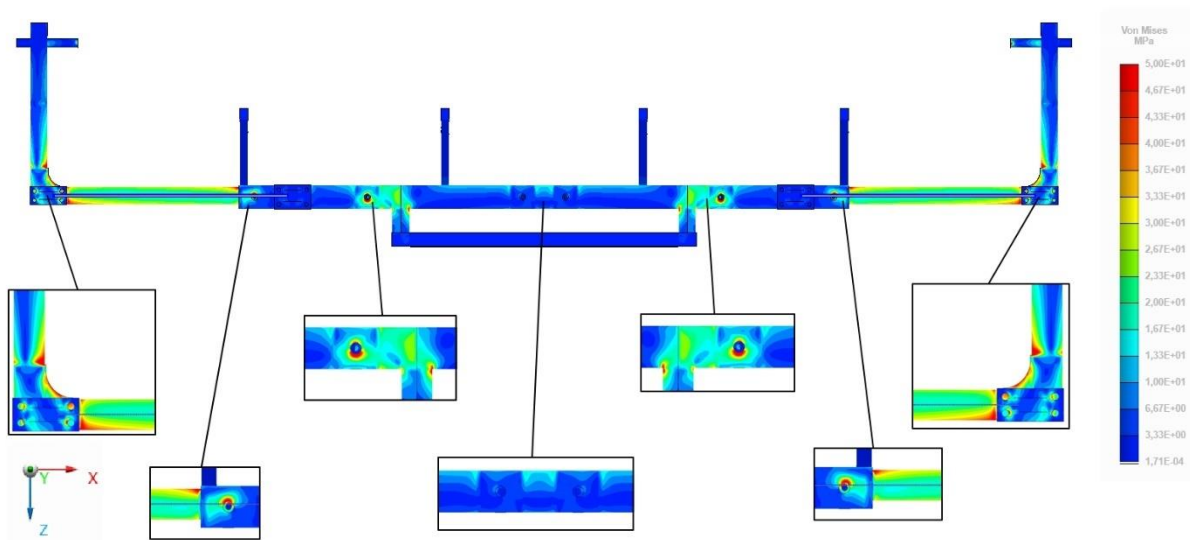
Výslednou hodnotu špičky napětí může ovlivňovat jemnost sítě výpočtového modelu. S jemnějšími prvky by se mohly hodnoty napětí zvyšovat, z toho důvodu bylo zkontrolováno blízké okolí výskytu špiček napětí a zde se nacházelo napětí v rozmezí 50 až 70 MPa, které by nemělo být pro správnou funkci nosné konstrukce nebezpečné.

Z toho důvodu shledávám konstrukci podle výsledků z výpočtu MKP vyhovující.



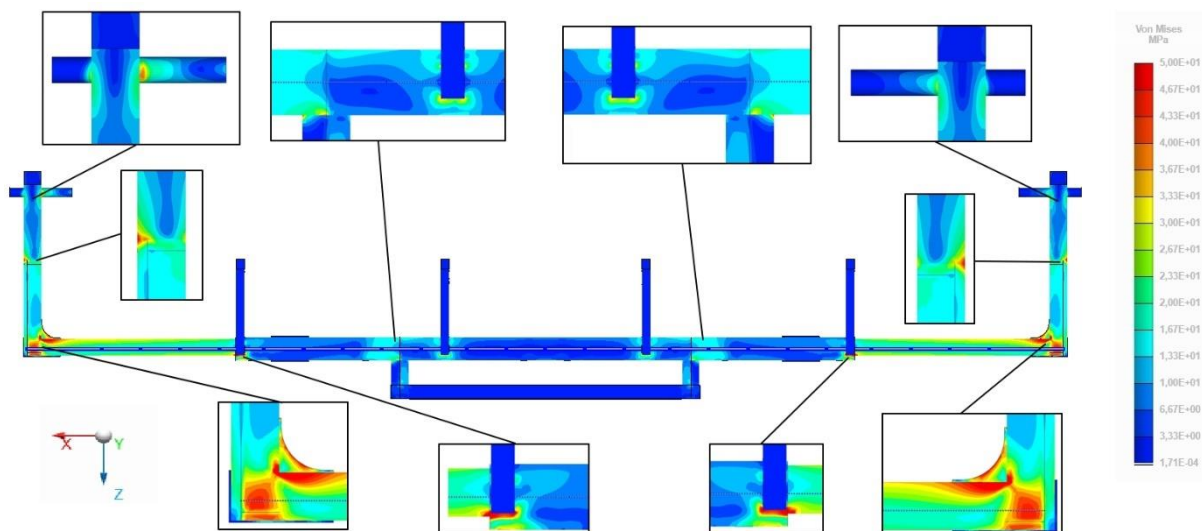
Obr. 70 Zátěžný stav I, pohled zepředu, napětí Von Mises; Maximální hodnota 140 MPa, stupnice 0 až 50 MPa, deformace skutečná 1:1;

Kritická místa se nacházela především v oblasti přechodu výsuvných ramen do vnějšího vedení, na výsuvných ramenech v místě pravoúhlého zlomu a v místě napojení koncové části výsuvného ramene, které směřuje pod úhlem k vozovce, viz. Obr. 69 a Obr. 70.



Obr. 71 Zátěžný stav I, pohled shora, napětí Von Mises; Maximální hodnota 140 MPa, stupnice 0 až 50 MPa, deformace skutečná 1:1;

Na pohledu shora je dobře viditelný právě průběh maxima napětí 140 MPa v oblasti aretačních šroubů a přenos do patice pro připojení pokládacího stroje, viz. Obr. 71.

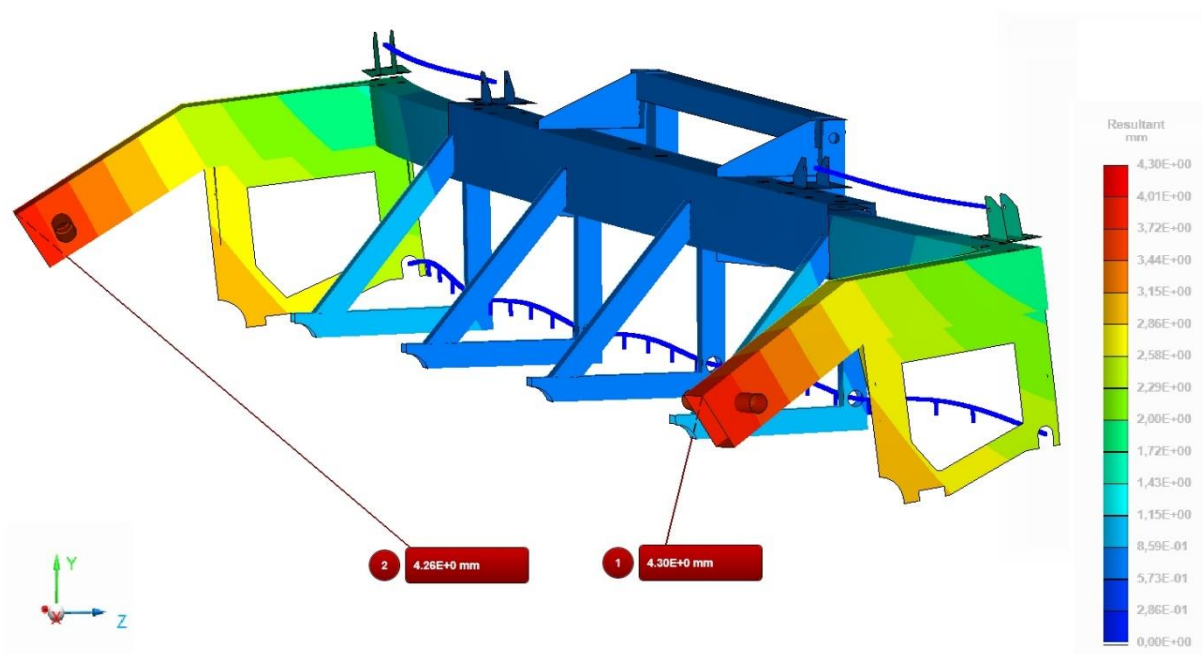


Obr. 72 Zátěžný stav I, pohled zespodu, napětí Von Mises; Maximální hodnota 140 MPa, stupnice 0 až 50 MPa, deformace skutečná 1:1;

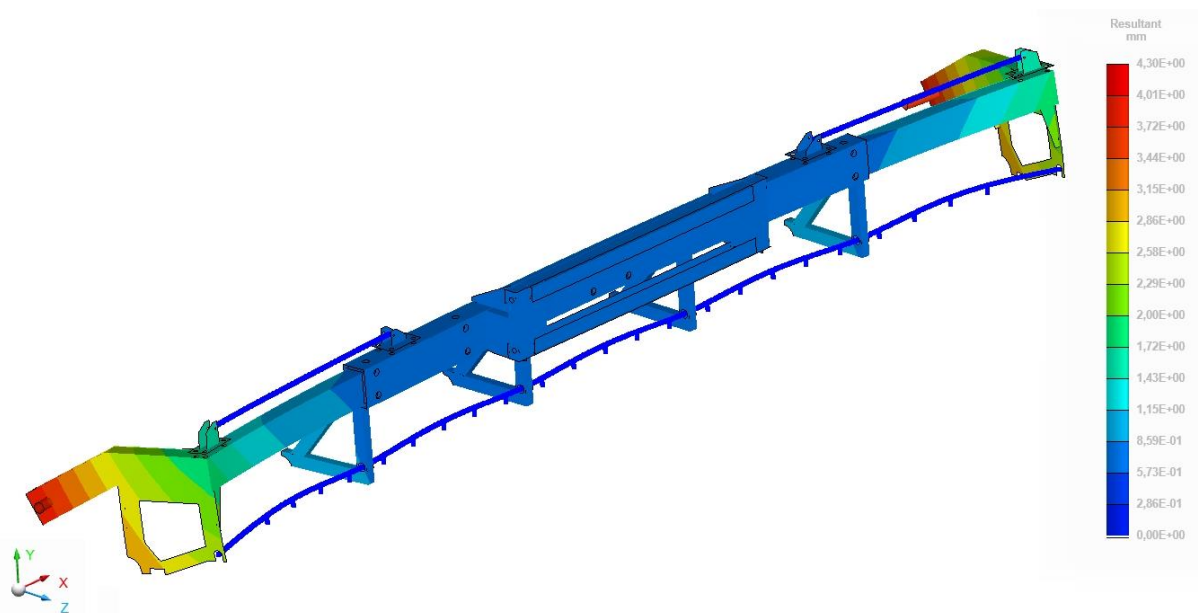
Na pohledu zespodu vidíme špičky napětí v místech připojení vertikálních jáklů středové konstrukce směrem od děr pro osu pojezdových kol nahoru k vnějšímu vedení.

DEFORMACE POKLÁDACÍHO ZAŘÍZENÍ

Maximální deformace dosáhla hodnoty 4,30 mm viz. Obr. 73 na konci výsuvných ramen. Vznik deformace i napětí odpovídají způsobu namáhání, a to současnému krutu a ohybu silami působících na konci středících jehlanů.

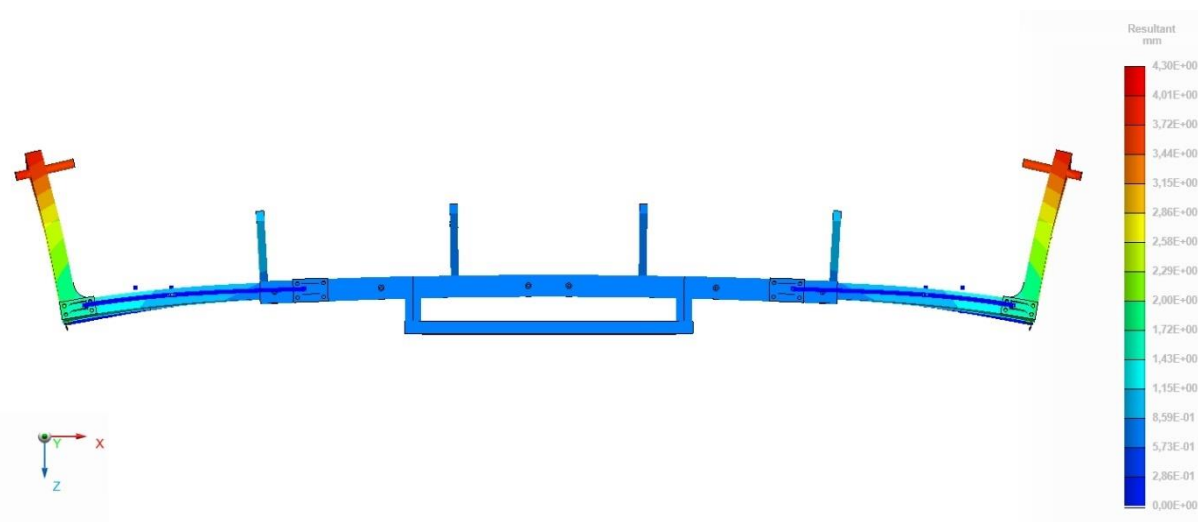


Obr. 73 Zátěžný stav I, deformace; Maximální hodnota 4,30 mm, stupnice 0 až 4,30 mm, deformace skutečná, měřítko 50:1;



Obr. 74 Zátěžný stav 1 pohled zezadu, deformace; Maximální hodnota 4,30 mm, stupnice 0 až 4,30 mm, deformace skutečná, měřítko 50:1;

Na Obr. 74 a Obr. 75 je dobře viditelná tendence změny tvaru zařízení při Zátěžném stavu 1, kdy se konstrukce „rozevírá“ a současně se osa pojezdových kol deformuje do tvaru „U“. Z toho důvodu byl průměr osy změněn z původně zamýšlených 20 mm na 25 mm a maximální deformace osy by neměla překročit hodnotu 1 mm, což je pro správnou funkci přijatelná hodnota.



Obr. 75 Zátěžný stav 1 pohled shora, deformace; Maximální hodnota 4,30 mm, stupnice 0 až 4,30 mm, deformace skutečná, měřítko 50:1;

Výsledky průběhu napětí a deformace ze zátěžných stavů 2 a 3 jsou obsahem přílohy, viz. Příloha 1.

4.9.1 BEZPEČNOST VŮČI MEZI KLUZU

Nejvyšší napětí ze všech provedených výpočtů bylo spočítáno na hodnotu 140 MPa viz. Příloha 1, mez kluzu materiálu S235 je 235 MPa, viz. Tabulka 8.

$$k_{S235} = \frac{Re_{S235}}{\sigma_{apl_zarizeni_max}} [-]$$

$$k_{S235} = \frac{235}{140} = 1,6786 \doteq 1,68$$

KDE:

k_{S235} – celková bezpečnost aplikačního zařízení vůči mezi kluzu [-];

$\sigma_{apl_zarizeni_max}$ – nejvyšší hodnota napětí získaná z MKP výpočtů [MPa];

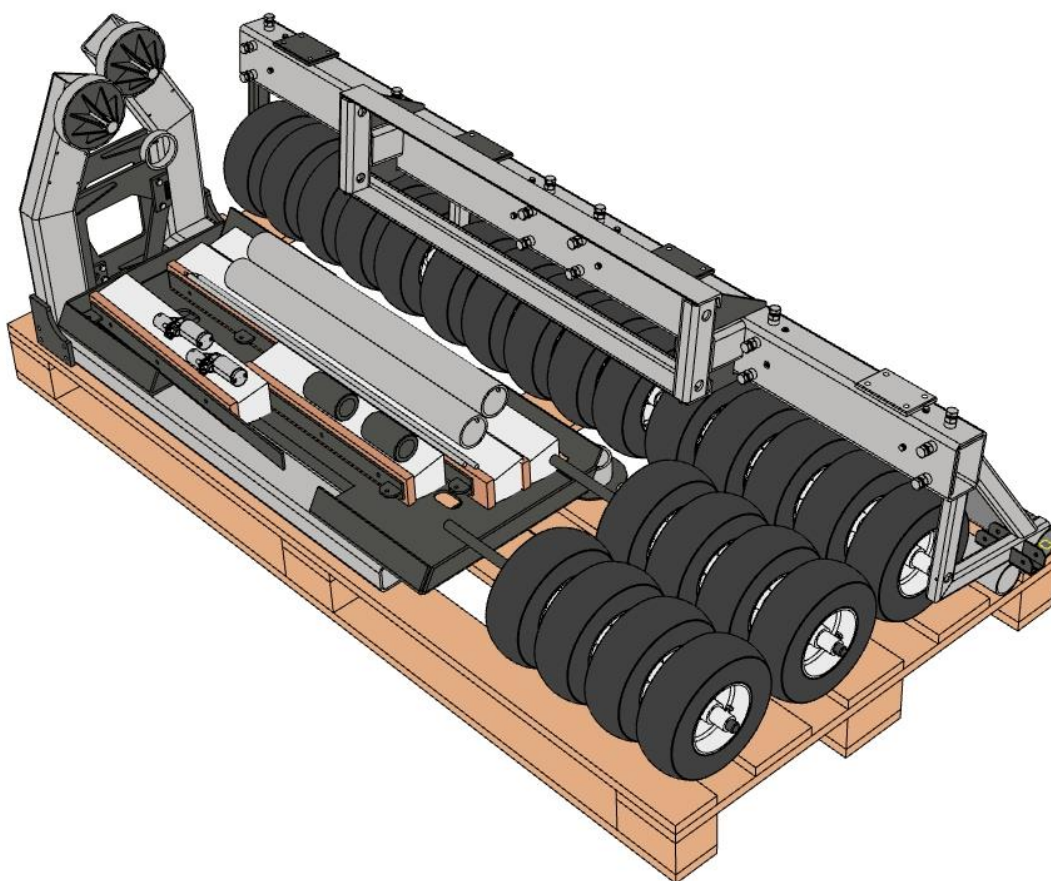
$Re_{S235} = 235$ MPa, mez kluzu materiálu ocel pro ocelové konstrukce ozn. S235JR.

Vzhledem ke statickému zatížení a použití koeficientu 1,2 viz. Tabulka 7 u všech zatěžujících sil před zahájením výpočtů považují bezpečnost vůči mezi kluzu 1,61 jako plně dostačující a konstrukce vyhovuje.

5 MOBILITA

Ze strany zadavatele práce, firmy Saint-Gobain ADFORS byl před začátkem práce vznesen požadavek. Při návrhu konstrukce mělo být přihlíženo ke skutečnosti, že bude pokládací zařízení příležitostně odesíláno na různá místa po světě mezikontinentální dopravou, při příležitosti větších rozsahů zakázek, například při výměně povrchů mezinárodních letišť a dálnic. Zadavatelskou firmou bylo doporučeno, aby bylo zařízení skládatelné na paletu o rozměru 1 x 2 m.

Tento požadavek byl dodržen a na obrázku viz. Obr. 76 můžete vidět, jak vypadá pokládací zařízení rozložené a připravené k transportu. Zároveň byla konstrukce vymyšlena tak, aby bylo nutné zasahovat do minima konstrukčních celků a kompletace na místě pokládky byla rychlá a jednoduchá.



Obr. 76 Pokládací zařízení rozložené na paletě 1x2 m;

ZÁVĚR

V rámci diplomové práce byl proveden teoreticko-rešeršní úvod, návrh vlastního konstrukčního řešení a výpočtová část včetně technické dokumentace.

Teoretický úvod práce seznámil čtenáře okrajově s historickými souvislostmi v problematice vyztužování vozovek. Následně byl uveden současný kritický stav silnic v České republice a byly zmíněny a vysvětleny příčiny a mechanismy vzniku poruch.

Rešeršní část byla věnována představení jednotlivých typů vyráběných geomříží GlasGrid® firmou Saint-Gobain ADFORS, zejména vlastnostem, technickým požadavkům v době pokládky, volbě technologie pokládky atd. V ideálním případě, by bylo pro vytvoření objektivního hodnocení prospěšné některé z uváděných konstrukcí sledovat při práci v reálném provozu, ale takovou příležitost se mi nepodařilo zajistit, kromě zhlédnutí současného pokládacího zařízení používaného v České republice.

Z dostupných zdrojů, ve valné většině na internetu byly vyhledány a zhodnoceny různé technické řešení používaných pokládacích strojů a zařízení. Technická řešení byla subjektivně hodnocena z různých úhlů pohledu jako je fyzická náročnost práce, produktivita, vhodnost použití pro různé technologie a způsoby pokládky. Rešeršní část sloužila jako teoretický základ pro návrh nového konstrukčního řešení pokládacího stroje.

Nakládání rolí na pokládací zařízení bylo navrženo zasouváním středících jehlanů do dutinky role, anebo použitím přídatné ocelové osy se středícími přírubami pro role menší šíře než 2 m.

Pohon byl zvolen primárně mechanicko-elektrický za použití zdvižné převodovky a pohybového šroubu z důvodu dostatečné síly a dobré kompatibility s různými typy pokládacích strojů, případně připojením na elektrický okruh stroje s napětím 12/24 V nebo přidáním akumulátoru a dálkového ovladače na středovou konstrukci. Otázkou zůstává zda byla volba takového typu pohonu ideální z hlediska nutnosti zajištění nabitě baterie, která může být nedostatečně nabitá především vlivem lidského faktoru a následně omezena funkčnost pokládacího zařízení.

Z analytických výpočtů vyplynulo, že nejchoulostivější částí zařízení v delším časovém horizontu bude pravděpodobně uložení spojovacího mezikusu v soustavě čtveřice čepů v patici pro připojení pokládacího stroje a následné otláčení čepů v otvorech. Pokládací technik, který bude pokládku provádět by měl být seznámen s požadavkem na přiměřené přitlačení pokládacího zařízení k vozovce, kde bylo počítáno se zatížením 350 kg. Především pokud bude zařízení připojeno na výložník ke stroji s vysokou hmotností.

Ve výpočtové části byl proveden výpočet metodou konečných prvků (MKP) lineárním řešičem MSC APEX. Jako nejvíce nepříznivý zátěžový stav byl vypočítán případ, kdy je na zařízení naložena role geomříže o maximálním vyráběném rozměru a váze, současně na zařízení působí síla od pokládacího stroje, který je o zařízení částečně opřen a ve výsuvných ramenech působí maximální síla vyvinutá zdvižnými převodovkami. V průběhu výpočtů bylo přistoupeno k přivaření bandáží na stěnu vnějšího vedení v blízkosti vymezovacích šroubů o tloušťce 3 mm, a tedy lokálnímu zvětšení tloušťky stěny vnějšího vedení.

V tomto zátěžném stavu včetně aplikovaných bandáží se průměrná maxima napětí v konstrukci pohybovala v rozmezí 50 až 70 MPa i v těsné blízkosti vyskytujících se špiček napětí.

Z toho důvodu byla konstrukce označena za vyhovující, ale při přetížení pokládacího zařízení příliš velkým přitlačením k vozovce může dojít k jeho poškození. Předpokládám především ohnutí profilů ve středové konstrukci a stálou tvarovou deformaci zařízení, jelikož zařízení nebylo osazeno žádnou senzorikou s funkcí měření přitlačné síly, které by signalizovalo řidiči aktuální stav a současně toto řešení nebylo ze strany firmy ani požadováno, je nezbytné, aby firma zajistila dostatečné proškolení obsluhy pokládacího stroje a předcházela tak poškození pokládacího zařízení.

V závěru diplomové práce bylo představeno pokládací zařízení v rozloženém stavu na paletě o rozměrech 1x2 m, aby bylo vyhověno požadavku ze strany firmy Saint-Gobain ADFORS na možnost jednoduché demontáže a odeslání zařízení na různá místa realizací po světě.

V současné době je návrh ve schvalovacím řízení a čeká na vstup do výrobního procesu. Jelikož doposud nebyl vyroben prototyp zařízení a testován v praxi, je možné, že se v průběhu uvádění do provozu některá z technických řešení budou jevit jako málo vhodná a v návaznosti na tyto skutečnosti bude nutné některé konstrukční uzly pozměnit a znovu početně zkontrolovat.

Po uvedení do testovacího provozu by bylo vhodné zpracovat zprávu, která na jednotlivé nedostatky poukáže a bude z ní možno vycházet při úpravě a vylepšení konstrukce. Současně by bylo vhodné ve zprávě nastínit i ekonomický rozbor a návratnost investice do zařízení, jelikož v celkovém důsledku bude právě tento parametr pro firmu rozhodujícím.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Hlavenka, B.: Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem, vyd. 4., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s., ISBN 978-80-214-3607-7.
- [2] POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.
- [3] LEEMING, David John a HARTLEY, Reg. Heavy Vehicle Technology. 2nd edition. Leckhampton: Stanley Thomas, 1989. 260 s. ISBN 07-487-0275-X.
- [4] LEINVEBER, Jan a Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6
- [5] SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. Výběry z norem pro konstrukční cvičení. Doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2016, 234 stran : ilustrace. ISBN 978-80-7204-838-0.
- [6] LIMPET, Rudolf. Brake Design and Safety, Third Edition. 3rd ed. 2011. ISBN 9780768088298.
- [7] ČEŠPÍRO, Z. Vývoj zkušebních metod průmyslových kotoučových brzd a jejich hodnocení. Praha, 2007. 223 s. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.
- [8] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. Konstruování strojních součástí. V Brně: VUTUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [9] Hlavenka, B.: Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem, vyd. 4., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s., ISBN 978-80-214-3607-7
- [10] POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLIŠKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.
- [11] LEEMING, David John a HARTLEY, Reg. Heavy Vehicle Technology. 2nd edition. Leckhampton: Stanley Thomas, 1989. 260 s. ISBN 07-487-0275-X.
- [12] KŘÍŽ, Rudolf, Pavel VÁVRA a Jindřich HERBRYCH. Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích. 4. svazek, K - Mechanika tekutin. L - Termomechanika tekutin. M - Tekutinové mechanismy. N - Kinematické mechanismy. Praha: Scientia, 1994, 254 s. : il., tabulky, grafy. ISBN 80-85827-58-1.
- [13] KŘÍŽ, Rudolf, Pavel VÁVRA a Jindřich HERBRYCH. Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích. 5. svazek, O - Technika konstruování. P - Technická dokumentace. R - Části strojů a převody (1. část). Praha: Scientia, 1994, 241 s. : il., tabulky, grafy, schémata. ISBN 80-85827-59-X.
- [14] ŠVEC, Vladimír. Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1997. ISBN 80-01-01701-X.

- [15] Ing. Štěpán Bohuš, Ph.D. Výztužné prvky pro krytové prvky letištních ploch [online]. tvstav.cz, 2016 [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/4230-vyztuzne-prvky-pro-krytove-vrstvy-letistnich-ploch>
- [16] ODBOR SILNIČNÍ INFRASTRUKURY, Ministerstvo dopravy. Katalog poruch netuhých vozovek TP82 [online]. 2010 [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_82.pdf
- [17] REIMPELL, J. Fahrmerktechnik 2. Würzburg: Vogel-Verlag, 1973. 352 s. ISBN 3-8023-0513-2.1996
- [18] Jak prodloužit životnost asfaltových silnic? Samoadhezními sklovlaknitými geomřížemi GlasGrid [online]. In: . 2020, 26.10.2020 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/clanek/6163-prodluzte-zivotnost-asfaltovych-silnic-samoadheznimi-sklovlaknitymi-geomrizemi-glasgrid>
- [19] GlasGrid GG Instalační manuál [online]. In: . s. 6 [cit. 2020-10-28]. Dostupné z: https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/geom%C5%99%C3%AD%C5%BE%20GlasGrid%20GG_instala%C4%8Dn%C3%AD%20manu%C3%A1l.pdf
- [20] Geomříž GlasGrid® GG| ADFORS. Eu.adfors.com [online]. 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/cz/znacky/geomrize-glasgrid/glasgrid-gg>
- [21] Geomříž GlasGrid® CGL| ADFORS. Eu.adfors.com [online]. 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/cz/znacky/geomrize-glasgrid/glasgrid-cgl>
- [22] Geomříž GlasGrid® PG| ADFORS. Eu.adfors.com [online]. 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/cz/znacky/geomrize-glasgrid/glasgrid-pg>
- [23] Geomříž GlasGrid® PM| ADFORS. Eu.adfors.com [online]. 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/cz/znacky/geomrize-glasgrid/glasgrid-pm>
- [24] Geomříž GlasGrid® TF| ADFORS. Eu.adfors.com [online]. 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/cz/znacky/geomrize-glasgrid/glasgrid-tf>
- [25] Pojivo - Wikipedie. Cs.wikipedia.org [online]. [cit. 2020-11-02]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Pojivo>
- [26] Doplnující informace silnice II a III třídy. NKÚ [online]. [cit. 2020-11-12]. Dostupné z: https://www.nku.cz/assets/kontrola/analyzy/doplnujici-informace_silnice-ii-iii-tridy.pdf
- [27] Pokládka geomříží GlasGrid. In: Geofol.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: http://www.geofol.cz/data/blob/storage-image_jpeg-20200224050129-5162-img-1767.jpg
- [28] Pokládka asfaltové vrstvy. In: Geofol.cz [online]. 2020 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: http://www.geofol.cz/data/blob/storage-image_jpeg-20200224050034-8586-20170920-101545.jpg

- [29] Bezproblémová pokládka asfaltových vrstev a pojezd po instalované samoadhezní mříži GlasGrid. In: Tvstav.cz [online]. 2017 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/user/data/modul-images/16786-preview-62-adfors6.jpg>
- [30] Selhání instalace geomříže asijské výroby bez adhezní vrstvy. In: Tvstav.cz [online]. 2017 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/user/data/modul-images/16785-preview-62-adfors5.jpg>
- [31] Geomříž GlasGrid instalační manuál [online]. 2015, s. 4 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/geom%C5%99%C3%AD%C5%BE%20GlasGrid%20CG_CGL_instala%C4%8Dn%C3%AD%20manu%C3%A1l.pdf
- [32] GlasGrid určený k pokládce na frézovaný povrch. In: Tvstav.cz [online]. 2017 [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://tvstav.cz/user/data/modul-images/16783-preview-62-adfors3.jpg>
- [33] Geomříž GlasGrid® GG| ADFORS. In: Eu.adfors.com [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/GG%208511%20detail.jpg>
- [34] Geomříž GlasGrid® CGL| ADFORS. In: Eu.adfors.com [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/CGL%20100%20detail.jpg>
- [35] Geomříž GlasGrid® PG| ADFORS. In: Eu.adfors.com [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/PG%20End.jpg>
- [36] Geomříž GlasGrid® PM| ADFORS. In: Eu.adfors.com [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/Meyzieu-20120827-00486.jpg>
- [37] Geomříž GlasGrid® TF| ADFORS. In: Eu.adfors.com [online]. [cit. 2020-12-07]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/sites/eu.adfors.com/files/Road%20Reinforcement/GG%20TF8511%20detail.jpg>
- [38] CARVALHEIRO, Luis. VAF - Asphalt reinforcement grid installation. In: Youtube.com [online]. 2018 [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=NALEw2IQwZQ>
- [39] Code for geosynthetics and steel meshes. In: Externalworksindex.co.uk [online]. [cit. 2020-12-08]. Dostupné z: http://cms.esi.info/Media/productImages/683150_1358177882667_PF.png

- [40] Samostatná nafukovací kola. DŮM KOLEČEK [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: https://www.dum-kolecek.cz/nafukovaci-bantamova-kola-a-kola-nenafukovaci-plna/samostatna-nafukovaci-kola/plechovy-disk-s-jehlovym-loziskem/_c297
- [41] Samostatná NeNafukovací kola. DŮM KOLEČEK [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: https://www.dum-kolecek.cz/nafukovaci-bantamova-kola-a-kola-nenafukovaci-plna/samostatna-nenafukovaci-kola/nenafukovaci-kola/_c305
- [42] Silniční koště. Dubno.eu [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <http://www.dubno.eu/?67,koste-silnicni-siroke-100-cm>
- [43] Kluzná ložiska, slinutý bronz s nákrůžkem. Norelem.com [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/P%C5%99ehled-v%C3%BDrobk%C5%AF/Syst%C3%A9my-a-komponenty-pro-v%C3%BDrobu-stroj%C5%AF-a-za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD/23000-Spojky-Tuh%C3%A9-spojky-K%C3%B3nick%C3%A9-up%C3%ADnac%C3%AD-krou%C5%BEky-H%C5%99%C3%ADdelov%C3%A9-klouby-Z%C3%A1suvn%C3%A9-rychlospojky-Lo%C5%BEiska-T%C4%Bsn%C4%Bn%C3%AD/Kluzn%C3%A1-lo%C5%BEiska/23761-Kluzn%C3%A1-lo%C5%BEiska-slinut%C3%BD-bronz-s-n%C3%A1kru%C5%BEkem.html>
- [44] Brzdové obložení MBL 5820. Sittech.cz [online]. [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://sittech.cz/mbl-5820>
- [45] 5820-graf.jpg. In: Sittech.cz [online]. [cit. 2021-02-12]. Dostupné z: <https://sittech.cz/download/brzdove-oblozeni/5820-graf.jpg>
- [46] PRUZTL_.xls. Mateza.cz [online]. [cit. 2021-02-18]. Dostupné z: <http://obrazky-mateza.l01v10.komtesa.com/pdf/136502.pdf>
- [47] Zdvižná převodovka typ MHG. Teatechnik.cz [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.teatechnik.cz/typ-mhg/>
- [48] eu.adfors.com [online]. 2021 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://eu.adfors.com/cz/znacky/geomrize-glasgrid>
- [49] Asphaltrs.co.uk [online]. 2021 [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.asphaltrs.co.uk/>
- [50] ECM_web.xls [online]. In: . 2004, s. 98 [cit. 2021-5-3]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Produkty/P%C5%99ehled-v%C3%BDrobk%C5%AF/Syst%C3%A9my-a-komponenty-pro-v%C3%BDrobu-stroj%C5%AF-a-za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD/23000-Spojky-Tuh%C3%A9-spojky-K%C3%B3nick%C3%A9-up%C3%ADnac%C3%AD-krou%C5%BEky-H%C5%99%C3%ADdelov%C3%A9-klouby-Z%C3%A1suvn%C3%A9-rychlospojky-Lo%C5%BEiska-T%C4%Bsn%C4%Bn%C3%AD/Kluzn%C3%A1-lo%C5%BEiska/23761-Kluzn%C3%A1-lo%C5%BEiska-slinut%C3%BD-bronz-s-n%C3%A1kru%C5%BEkem.html>

- [51] Kategorie.pdf. Czso.cz [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/20535744/w-930609a01.pdf/cdd1366e-2dd9-4ca2-8fe6-0d9f2978a586?version=1.0>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_1	[m]	Vzdálenost osové síly šroubu F_{sohyb} od hrany vnějšího vedení
a_2	[m]	Vzdálenost síly F_{GRID} od hrany vnějšího vedení při zatížení ohybem
a_I	[m]	Vzdálenost osové síly šroubu F_{skrut} od hrany vnějšího vedení
a_{II}	[m]	Vzdálenost síly F_{GRID} od hrany vnějšího vedení při zatížení krutem
a_E	[-]	Koeficient základní životnosti
$A_{s\check{s}}$	[mm ²]	Průřez jádra vymezovacího šroubu
c_{oblozeni}	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita brzdového obložení
c_{ocel}	[J·kg ⁻¹ ·K ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita ocel
d	[mm]	Velký průměr závitu vymezovacího šroubu
$d_{2\check{s}}$	[mm]	Střední průměr závitu vymezovacího šroubu
$d_{3\check{s}}$	[mm]	Malý průměr závitu vymezovacího šroubu
$d_{\text{čep}}$	[mm]	Zvolený průměr čepu
$d_{\text{čepD}}$	[mm]	Minimální návrhový průměr čepu
d_k	[mm]	Vnitřní průměr kluzného ložiska
E_{kingrid}	[J]	Kinetická energie rotující skelné role
F_{k1}	[N]	Reakční síla v kluzném ložisku jedna v bodě A
F_{k2}	[N]	Reakční síla v kluzném ložisku dvě v bodě B
F_{pohon_1}	[N]	Zatížení výpočtového modelu MKP silou způsobenou pohonem na pravém středícím jehlanu
F_{pohon_2}	[N]	Zatížení výpočtového modelu MKP silou způsobenou pohonem na levém středícím jehlanu
F_{role_1}	[N]	Zatížení výpočtového modelu MKP silou způsobenou hmotností skelné role na pravém středícím jehlanu
F_{role_2}	[N]	Zatížení výpočtového modelu MKP silou způsobenou hmotností skelné role na levém středícím jehlanu
F_{stroje_1}	[N]	Zatížení výpočtového modelu MKP silou způsobenou pojezdovým strojem na horní straně patice stroje
F_{stroje_2}	[N]	Zatížení výpočtového modelu MKP silou způsobenou pojezdovým strojem na spodní straně patice stroje
F'	[N]	Síla působící na čep proti směru osy z
F''	[N]	Síla působící na čep ve směru osy y pro soustavu 4 čepů
$F_{I\text{GRID}}$	[N]	Rozklad síly F_{GRID} do směru rovnoběžného s nakloněnou rovinou
$F_{\xi''}$	[N]	Velikost síly působící na čep v ose y pro soustavu 2 čepů bez symetrie
$F_{\text{čep}}$	[N]	Celková síla působící na čep

F_{grid}	[N]	Síla na obvodu skelné role
F_{GRID}	[N]	Síla způsobená hmotností role skelné role
F_{Nbrzda}	[N]	Přítlačná osová síla v brzdovém členu
F_{NGRID}	[N]	Normálová síla působící kolmo k nakloněné rovině
F_{pohon}	[N]	Síla nezbytná k naložení role mezi středící jehlany
F_{pohon1}	[N]	Rozklad síly nezbytné k naložení skelné role ve směru nakloněné roviny
F_{pohonmax}	[N]	Maximální síla zdvižné převodovky
F_{stroje}	[N]	Zátěžná síla od stroje
$F_{\text{š}}$	[N]	Celková osová síla ve vymešovacím šroubu
$F_{\text{škrut}}$	[N]	Osová síla ve vymešovacím šroubu vnějšího vedení při namáhání krutem
$F_{\text{šohyb}}$	[N]	Osová síla ve vymešovacím šroubu vnějšího vedení při namáhání ohybem
F_{Tbrzda}	[N]	Třecí síla v brzdovém obložení
g	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$	Gravitační zrychlení
$H_{1\text{š}}$	[mm]	Nosná výška závitu vymešovacího šroubu
$H_{\text{š}}$	[mm]	Výška matice vymešovacího šroubu
$i_{\text{č}}$	[-]	Počet čepů v soustavě
J_1	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Moment setrvačnosti papírové dutinky
J_2	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Moment setrvačnosti navinuté geomříže
J_{grid}	$[\text{kg} \cdot \text{m}^2]$	Redukovaný moment setrvačnosti role
k_{HMH}	[-]	Součinitel bezpečnosti při kontrole dle podmínky HMH
k_{MKP}	[-]	Součinitel zvětšující zatížení před výpočtem MKP
k_{pruzina}	$[\text{N} \cdot \text{mm}^{-1}]$	Tuhost pružiny v brzděném členu
k_{S235}	[-]	Celková bezpečnost aplikačního zařízení vůči mezi kluzu
k_{symetrie}	[-]	Koeficient zohledňující symetrii čepů v soustavě
L_k	[mm]	Šířka kluzného ložiska.
m_1	[kg]	Hmotnost papírové dutinky role
m_2	[kg]	Hmotnost skelné geomříže
M_{bbrzda}	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	Brzdý moment jednotlivého brzděného členu
M_{bgrid}	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	Brzdý moment, kterým je brzděna rotace skelné role
$M_{\text{čEPY1}}$	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	Celkový moment namáhající soustavu čepů při zátěžném stavu 1
$M_{\text{čEPY2}}$	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	Celkový moment namáhající soustavu čepů při zátěžném stavu 2
M_{FGRID}	$[\text{N} \cdot \text{m}]$	Moment vzniklý působením síly F_{GRID}

$M_{\text{FKONSTRUKCE}}$	[N·m]	Moment vzniklý působením síly $F_{\text{konstrukce}}$
M_{FSTROJE}	[N·m]	Moment vzniklý působením síly F_{stroje}
m_{GRID}	[kg]	Hmotnost role skelné mříže
$m_{\text{konstrukce}}$	[kg]	Hmotnost konstrukce pokládacího zařízení;
m_{kotouc}	[g]	Hmotnost brzdového kotouče
$m_{\text{obložení}}$	[g]	Hmotnost brzdového obložení
$M_{\text{očep}}$	[N·mm]	Ohybový moment působící na čep
M_{oy}	[N·mm]	Ohybový moment ocelové osy středícího jehlanu k ose y
n_{grid}	[ot·s ⁻¹]	Otáčky skelné role
$p_{\text{čep}}$	[MPa]	Kontaktní tlak v čepovém spoji
$p_{\text{čepD}}$	[MPa]	Maximální dovolený kontaktní tlak
p_{D}	[MPa]	Dovolený tlak v závitech pro šroub pevnostní třídy 8.8
p_{k2}	[N·mm ⁻²]	Měrné zatížení kluzného ložiska dvě v bodě B
p_{kmax}	[N·mm ⁻²]	Maximální měrné zatížení, udávané výrobcem
P_{s}	[mm]	Stoupání závitu vymezení šroubu
Q_{brzda}	[J]	Celkové uvolněné teplo třením při pokládce
r_1	[m]	Vnitřní poloměr papírové dutinky
r_2	[m]	Vnější poloměr papírové dutinky
r_3	[m]	Vnitřní poloměr navinuté geomříže
r_4	[m]	Vnější poloměr navinuté geomříže
r_{A}	[m]	Vzdálenost krajního čepu od těžiště soustavy ve směru z
r_{B}	[m]	Vzdálenost krajního čepu od středu soustavy proti směru z
$R_{\text{ečep}}$	[MPa]	Mez kluzu materiálu 11500 čepu
R_{eS235}	[MPa]	Mez kluzu materiálu ocel pro ocelové konstrukce ozn. S235JR
$r_{\text{očep}}$	[mm]	Délka ramena na kterém působí síla $F_{\text{čep}}$;
$S_{\text{čep}}$	[mm ²]	Střížná plocha čepu
$S_{\text{čept}}$	[mm ²]	Kontaktní plocha v čepovém spoji
$S_{\text{p1š}}$	[mm ²]	Otlačovaná plocha jednoho rozvinutého závitu vymezení šroubu
S_{pokladky}	[m]	Maximální délka nepřerušované pokladky role
$S_{\text{pš}}$	[mm ²]	Otlačovaná plocha všech rozvinutých závitů vymezení šroubu
$t_{\text{čep}}$	[mm]	Tloušťka stěny čepového spoje
t_{grid}	[s]	Čas do zastavení brzděné rotující skelné role

t_{pokladky}	[s]	Čas potřebný k rozmotání skelné role o maximálním návinu 150 m
v_{grid}	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Obvodová rychlost na povrchu skelné role
v_k	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Kluzná rychlost
$v_{k\text{max}}$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Maximální kluzná rychlost udávaná výrobcem
V_{oblozeni}	$[\text{cm}^3]$	Objem brzdového kotouče
v_{stroj}	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Pojezdová rychlost stroje při pokládce
$v_{\text{strojepokladky}}$	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$	Odhadnutá průměrná rychlost stroje při pokládce;
$W_{\text{očep}}$	$[\text{mm}^3]$	Modul průřezu v ohybu čepu
z_s	[-]	Počet nosných závitů vymežovacího šroubu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výsledky výpočtu MKP
Příloha 2	Pokládací zařízení připojené na smykem řízeném nakladači
DP-MIKL-1-1	Výkres sestavy pokládacího zařízení
DP-MIKL-1-2	Kusovník výkresu sestavy pokládacího zařízení
DP-MIKL-2-1	Výkres podsestavy rámu
DP-MIKL-2-2	Kusovník výkresu podsestavy rámu
DP-MIKL-3-1	Výkres svařence středové konstrukce
DP-MIKL-3-2	Kusovník výkresu svařence středové konstrukce
DP-MIKL-4-1	Výkres svařence levého výsuvného ramena
DP-MIKL-4-1	Kusovník výkresu svařence levého výsuvného ramena
DP-MIKL-5-1	Výkres svařence pravého výsuvného ramena
DP-MIKL-5-2	Kusovník výkresu svařence pravého výsuvného ramena