



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

MULTIFUNKČNÍ LOPATA 4 V 1 PRO NAKLADAČ

4 IN 1 BUCKET FOR LOADER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Klusáček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2023

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. David Klusáček**
Studijní program: Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.**
Akademický rok: 2022/23

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 bakalářské práce:

MULTIFUNKČNÍ LOPATA 4 V 1 PRO NAKLADAČ

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh konstrukce multifunkční lopaty 4v1 jako přídatného zařízení kolového nakladače. Lopata 4v1 je určena pro manipulaci se zrnitým materiálem typu recykláty ze stavebních a demoličních odpadů, uhlí, sutě, štěrků.

Technické parametry zadání:

- objem lopaty cca 4 m³,
- šířka lopaty 3 až 3,2 m,
- lopata je určena pro kolový nakladač Volvo L150 H.

Cíle bakalářské práce:

Kritická rešerše obdobných lopat jako přídatných zařízení nakladačů.

Zdůvodněný koncepční návrh multifunkční lopaty 4v1.

Funkční a rozměrové výpočty multifunkční lopaty 4v1.

Silový rozbor a analytický pevnostní výpočet hlavních konstrukčních uzlů.

Výkres celkové sestavy.

Výkres podsestavy radlice a výklopné části.

Výkresy výrobní dokumentace.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. [cit. 1.10. 2018]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>.

VANĚK, Antonín. Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Praha: Academia, 2003. Česká matice technická. ISBN 80-200-1045-9.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
ředitel ústavu děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je navrhnout multifunkční lopatu 4v1 pro kolový nakladač. Vypracovat zadané funkční, rozměrové a pevnostní výpočty. Výkres celkové sestavy, výkresy podsestav a výrobní výkresy jednotlivých částí.

KLÍČOVÁ SLOVA

Multifunkční lopata, lopata 4v1, nakládání materiálu, přídavné zařízení pro kolový nakladač

ABSTRACT

The purpose of this master's thesis is to design multifunctional 4in1 bucket for wheel loader. Develop requested function, size and strength computation. Documentation of the whole set-up, documentation of sub-parts and documentation of single parts.

KEYWORDS

Multifunctional bucket, 4in1 bucket, material loading, equipment for wheel loader

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KLUSÁČEK, David. *Multifunkční lopata 4v1 pro kolový nakladač*. Brno, 2023. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Miroslav Škopán.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2023

.....

David Klusáček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce, panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za jeho čas, cenné rady a tipy, které mi pomohly utvořit současnou podobu práce. Také bych rád poděkoval firmě Renomag s.r.o. a zejména pak panu Ing. Jiřímu Michele za jeho velmi užitečné rady a praktické znalosti, bez kterých bych se neobešel. Dále děkuji za podporu od mé rodiny a zejména pak svému dědovi, za jeho bohaté životní zkušenosti v oboru i mimo něj.

OBSAH

1	Rešerše obdobných typů lopat.....	19
1.1	Standardní lopata	19
1.2	Zesílená lopata	19
1.3	Skalní lopata	20
1.4	Vysoko-výklopná lopata	20
1.5	Roštová lopata.....	21
1.6	Roštová lopata s přídržovačem	21
1.7	Bočně výsuvná lopata	22
1.8	Bočně výklopná lopata.....	22
1.9	Míchací lopata.....	23
1.10	Lopata s přídržovačem „PELIKAN“	23
1.11	Víceúčelová lopata 4v1	24
2	Rozdělení nejčastěji manipulovaných materiálů	25
3	Specifikace stroje – Volvo L150 H	26
4	Vlastní návrh zařízení	27
4.1	Konstrukce radlice	28
4.2	Konstrukce výklopné části.....	32
4.3	Ostatní části konstrukce lopaty 4v1	34
4.4	Zubový systém.....	35
4.5	Spojovací materiál	36
4.6	Zvolený materiál	36
4.7	Výpočtový návrh lopaty 4v1	37
4.7.1	výpočet objemu materiálu	37
4.7.2	Vstupní parametry dané specifikacemi stroje.....	39
4.7.3	Určení hmotnosti lopaty	39
4.7.4	Určení hmotnosti manipulovaného materiálu.....	40
4.7.5	Výpočet jmenovitého kroutícího momentu hydromotorů	40
4.7.6	Výpočet přídržného momentu hydromotorů	44
4.7.7	Výsledky návrhových výpočtů	47
5	Výpočet trhačí síly	48
6	Výpočet rypné síly	50
7	Výpočet tažné síly nakladače	51
8	Diskuse vypočtených sil.....	52
9	Pevnostní analýza	53
9.1	Výpočtový model.....	53
9.2	Zatěžovací stavy	53
9.3	Výsledky MKP, ZS1 – ZS6	54
9.4	Výsledky MKP, ZS7	57
9.5	Výsledky MKP, ZS8	58
9.6	Výsledky MKP, ZS9.....	59

9.7 Diskuse výsledků pevnostní analýzy	60
Závěr	61
Seznam použitých zkratek a symbolů.....	64
Seznam příloh	66

ÚVOD

Při manipulaci s větším objemem materiálů se využívá celá řada strojů, které konají různé pracovní úkony. Podle druhu pracovního úkonu, který se zmíněným materiálem chceme provádět, je nutné daný stroj zvolit, jedním z nich je kolový nakladač, který opět musí být vybaven odpovídajícím přídatným zařízením, v souladu jak se strojem, tak i s prostředím. Jedním z těchto přídatných zařízení je multifunkční lopata 4v1.

Toto téma jsem si zvolil, protože mě velice zajímají stroje pro zemní práce, zejména pak rypadla a nakladače, ke kterým neodmyslitelně patří různá přídatná zařízení, např. lopata 4v1.

CÍL PRÁCE

Cílem této práce je udělat kritickou rešerši podobných lopat pro kolové nakladače, které jsou aktuálně dostupné na trhu. Jednotlivě je popsat a porovnat mezi sebou jejich klíčové parametry. Dále vytvořit vlastní koncepci multifunkční lopaty 4v1 pro kolový nakladač tovární značky Volvo, model L150 H. Objem lopaty by měl činit přibližně 4 m³, celková šířka lopaty se musí pohybovat mezi 3 až 3,2 m a zároveň musí tato lopata obstát při nakládání materiálu jako jsou šterky, sutě, recykláty nebo uhlí. Dále provést funkční a rozměrové výpočty, silový a analytický pevnostní výpočet hlavních konstrukčních uzlů. V neposlední řadě je nutné vytvořit odpovídající výkresovou dokumentaci.

1 REŠERŠE OBDOBNÝCH TYPŮ LOPAT

Tato rešerše se bude zabývat obdobnými typy lopat, které jsou určeny zejména pro kolové nakladače a jsou nyní dostupné na trhu. Lopaty budou rozděleny dle jednotlivých typů a jejich charakteristických vlastností.

1.1 STANDARDNÍ LOPATA

Standardní lopata, viz. Obr. 1, je jeden z nejběžnějších druhů lopat. Používá se k manipulaci se sypkým a snadno rozpojitelným materiálem, nejčastěji se jedná o zeminu nebo písek. Tato lopata může být doplněna o ořetové prvky na bocích a dně, pro zvýšení životnosti.



Obr.1: Standardní lopata Renomag [1]

1.2 ZESÍLENÁ LOPATA

Tento druh lopaty je oproti standardní lopatě zesílen na bocích a dně, lze jej tedy využít v náročnějších podmínkách a s tvrdším a abrazivnějším materiálem, viz. Obr. 2. Například na stavbách, demolicích nebo nakládkách těžebního materiálu.



Obr.2: Zesílená lopata Renomag [2]

1.3 SKALNÍ LOPATA

Skalní lopaty jsou využívány zejména na větších nakladačích a v místech, kde se pracuje s tvrdým a vysoce abrazivním materiálem, například v lomech. Samotná konstrukce lopaty je doplněna o ořetové prvky na bocích a dně lopaty, také má odlišný tvar a velikost zubů, které jsou rovněž určené pro vysoké namáhání, viz. Obr. 3.



Obr.3: Skalní lopata Renomag [3]

1.4 VYSOKO-VÝKLOPNÁ LOPATA

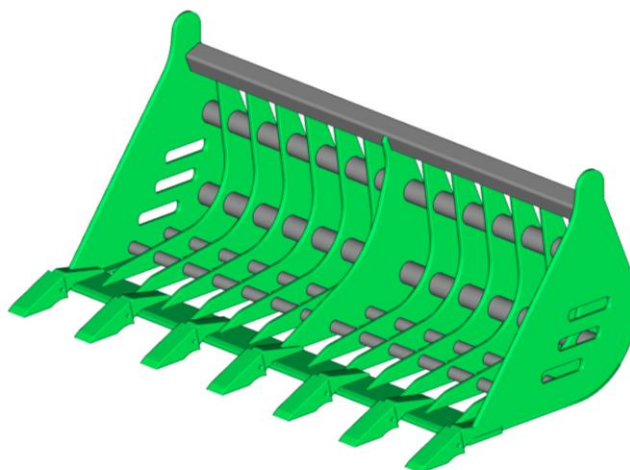
Speciální druh lopaty, který se nejčastěji používá na sypké a snadno rozpojitelné materiály, jako je například zemina, písek, obiloviny, hnojiva nebo dřevní štěpka. Konstrukce lopaty je uchycena na samostatném rámu, od kterého se může odklopit pomocí hydromotorů, viz. Obr. 4. Ty mohou být přímočaré nebo rotační. Lopata tedy umožňuje vyklopení materiálu nad výsypnou výšku výložníku nakladače.



Obr.4: Vysoko-výklopná lopata EBF [4]

1.5 ROŠTOVÁ LOPATA

Roštová lopata je určena k vytřídění pevných částí v sypkém materiálu, například třídění zeminy s kamenivem. Určení frakce zachyceného materiálu je potom dána geometrií rozmístění jednotlivých segmentů roštu, viz. Obr. 5.



Obr.5: Roštová lopata EBF [5]

1.6 ROŠTOVÁ LOPATA S PŘIDRŽOVAČEM

Tento druh lopaty se používá k manipulaci s dřevním materiálem nebo s komunálním odpadem. Přidržovač materiál zajišťuje materiál proti svévolnému vypadnutí, viz. Obr. 6.



Obr.7: Roštová lopata s přidržovačem EBF [6]

1.7 BOČNĚ VÝSUVNÁ LOPATA

Lopata určená zejména pro úpravu komunikací, na strhávání krajnic. Je uchycena na samostatném rámu, po kterém se za pomoci přímočarého hydromotoru může vysunout do boku, viz. Obr. 7.



Obr.7: Bočně výsuvná lopata EBF [7]

1.8 BOČNĚ VÝKLOPNÁ LOPATA

Bočně výklopná lopata je určena na manipulaci se snadno rozpojitelným materiálem. Lopata je opět uchycena na vlastním rámu. Do lopaty se materiál nabere klasickým způsobem, poté je vyklopena do boku pomocí přímočarého hydromotoru, viz. Obr. 8. Svým tvarem materiál při vyklápení soustřeďuje do jednoho určitého místa.



Obr.8: Bočně výklopná lopata EBF [8]

1.9 MÍCHACÍ LOPATA

Speciální typ lopaty, která slouží k snadnému míchání a vyklápění betonu na stavbách. Přímou v lopatě se nachází míchací šnek, viz. Obr. 9, který je poháněný rotačním hydromotorem.



Obr.9: Míchací lopata EBF [9]

1.10 LOPATA S PŘIDRŽOVAČEM „PELIKAN“

Lopata určená pro manipulaci s odpady rostlinného původu, komunálního odpadu nebo agrokomodit. Při variaci s nízkým profilem boků lopaty lze manipulovat i s kmeny stromů. Přidržovač je ovládán pomocí přímočarých nebo rotačních hydromotorů, viz. Obr. 10.



Obr.10: Lopata s přidržovačem PELIKAN EBF [10]

1.11 VÍCEÚČELOVÁ LOPATA 4V1

Víceúčelová lopata přidává stroji hned několik nových funkcí najednou. Kromě klasického způsobu použití se tato lopata dá použít i jako radlice k zarovnání terénu. Dále jako hydraulické kleště k přenesení některých pevných subjektů, jako např. kmen stromu. Také lze tuto lopatu použít jako vysoko-výklopnou. V závislosti na použití může být tato lopata doplněna o otěrové prvky na bocích, dně a také lze zvolit více typů zubů. Výklopná část může být uložena vně i uvnitř základní části lopaty. Lopaty s vnějším vedením výklopné části mají nižší odpor vůči vniknutí do materiálu, ačkoli lopaty s vnitřním vedením zamezují samovolnému vysypávání velmi jemných a sypkých látek, jako je např. sklářský písek. Systém rozevření je ovládán pomocí přímočarých nebo rotačních hydromotorů. Oproti přímočarému hydromotoru lze rotační hydromotor použít jako nosný prvek konstrukce, také má menší zástavbové rozměry. Rotátor je také kompletně zakrytován, dovnitř se tedy nemohou dostat nežádoucí kapaliny, prach apod. Také zde nehrozí poškození funkčních částí nabíraným materiálem, např. kamenivem, viz. Obr. 11. Jeho nevýhodou je obvykle vysoká cena.



Obr.11: Víceúčelová lopata 4v1 Renomag [11]

2 ROZDĚLENÍ NEJČASTĚJI MANIPULOVANÝCH MATERIÁLŮ

Kromě zadaných materiálů zde budou popsány i nejčastější materiály, které lze předpokládat při manipulaci s lopatou 4v1. Materiály budou rozděleny na jednotlivé druhy, každý bude charakterizován z hlediska abraze a objemové hmotnosti v rozrušeném stavu.

ZEMINA

Zemina je méně až středně abrazivní materiál s objemovou hmotností pohybující se v rozmezí $1300 \div 1600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v závislosti na vlhkosti a stavu rozrušení. [12]

PÍSEK

Písek má nízkou schopnost abraze, ale má poměrně velkou objemovou hmotnost s hodnotou $1700 \div 1900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, která závisí především na vlhkosti.[12]

RECYKLÁTY ZE STAVEB

Recykláty mají střední až vysokou abrazivní schopnost a vysokou objemovou hmotnost v řádu $1500 \div 1900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v závislosti na vlhkosti a velikosti frakce. [13]

DEMOLIČNÍ ODPAD

Tyto materiály se řadí mezi ty více abrazivní, mají ale středně velkou objemovou hmotnost okolo $1300 \div 1700 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v závislosti na vlhkosti a frakci. [13]

UHLÍ

Uhlí má střední až vysokou abrazivní schopnost, jeho objemová hmotnost je však nízká, pohybuje se v rozmezí $720 \div 750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v závislosti na druhu a frakci. [13]

ŠTĚRKY

Štěrky patří mezi vysoce abrazivní materiály s velkou objemovou hmotností, která se pohybuje mezi $1500 \div 1900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, v závislosti na frakci. [13]

3 SPECIFIKACE STROJE – VOLVO L150 H

Zde je popsáno několik nejzákladnějších specifikací zadaného stroje. [14]

Statické klopné zatížení při zatočení v plně naloženém stavu: 15 970 kg.

Kapacita lopaty: 3,4 – 14 m³.

Operační hmotnost: 24 100 – 25 600 kg.

Vylamovací síla: 202 kN.

Typ motoru: Volvo D13J.

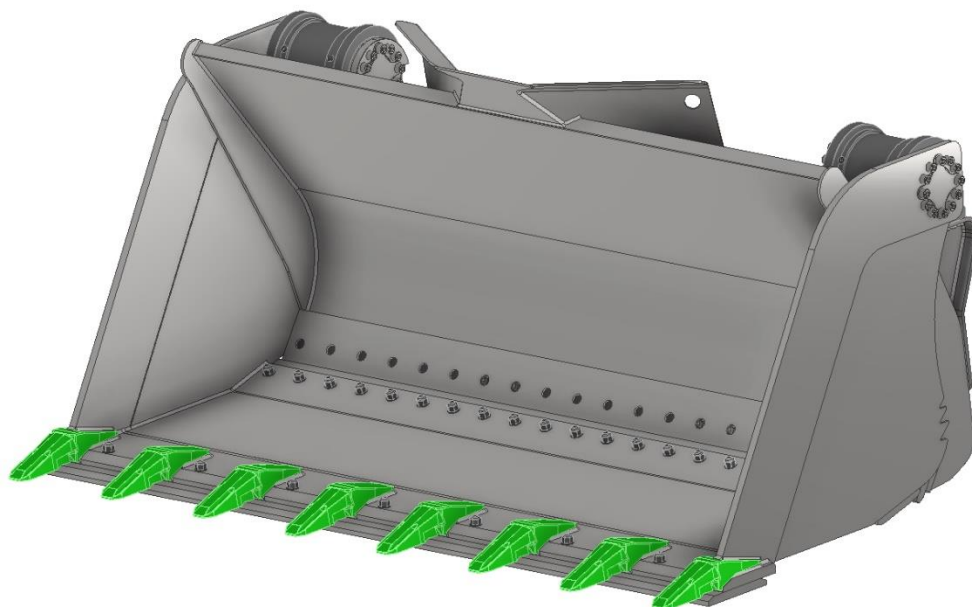
Maximální výkon: 223 kW při 1 300 otáčkách za minutu.

Maximální točivý moment: 1957 Nm.

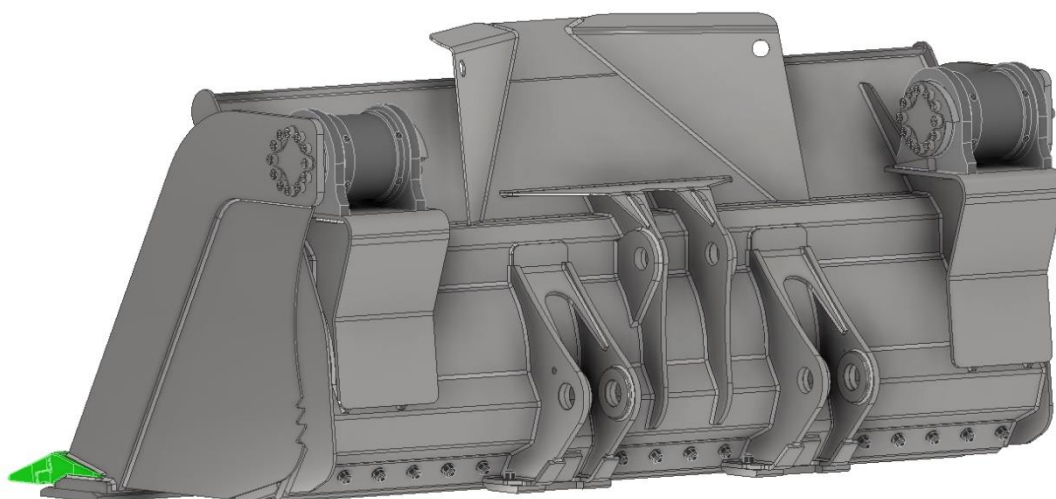
Kompletní dostupné informace o stroji, viz. Příloha 1 – Volvo L150H DataSheet.

4 VLASTNÍ NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Na základě zadaných parametrů a výstupů dosažených v rešeršních částech byla navržena multifunkční lopata 4v1 pro nakladač Volvo L150 H, o objemu cca 4 m³, s výklopnou částí uloženou vně radlice. Pohyb výklopné části je zajištěn dvojicí rotačních hydromotorů, které zároveň fungují jako nosné body pro výklopnou část, která má velký pracovní úhel činící 80°. Lopata má několik vyměnitelných otěrových ploch, zvyšujících životnost. Použitý materiál je zejména Hardox, který je otěruvzdorný a rovněž zvyšuje životnost lopaty.



Obr. 12: 3D model multifunkční lopaty 4v1 (zepředu)



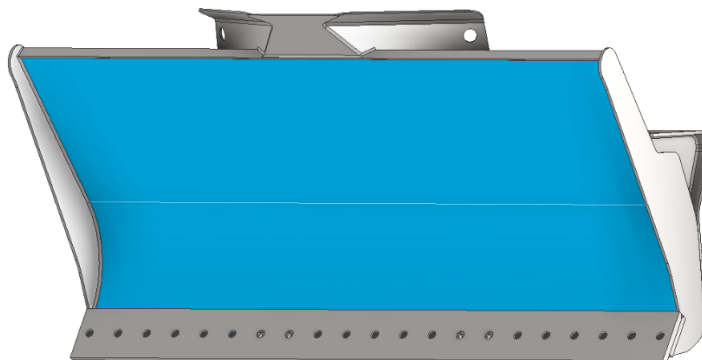
Obr. 13: 3D model multifunkční lopaty 4v1 (zezadu)

4.1 KONSTRUKCE RADLICE

V této sekci budou popsány jednotlivé části radlice.

DNO RADLICE

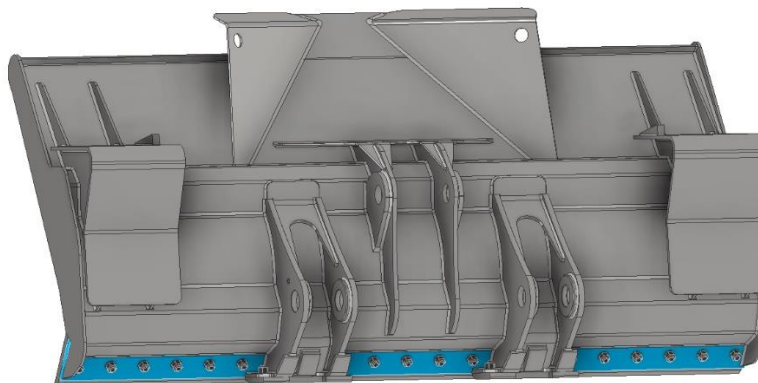
Základní částí radlice je dno, které má zásadní vliv na tvar a velikost objemu nabíraného materiálu. Je vytvořeno z plechu tl. 12 mm.



Obr. 14: Dno radlice

SPODNÍ DESKA RADLICE

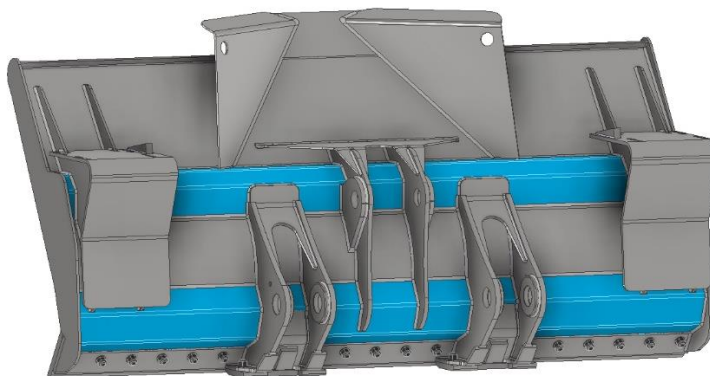
V dolní části se nachází deska, která navazuje na dno, má otvory pro následné uchycení břítu radlice.



Obr. 15: Spodní deska radlice

PODÉLNÍKY RADLICE

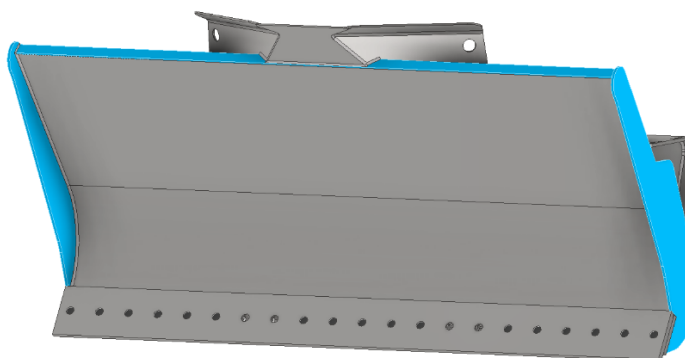
Dále jsou zde dva podélníky, které uvnitř mají výztužná žebra. Výhodou tohoto konceptu je, že podélníky mohou být až do krajů lopaty, narozdíl od ovládní přímočarými hydromotory, které jsou právě v krajích uchyceny a podélníky tudíž musí být kratší. Podélníky zvyšují tuhost konstrukce radlice a slouží k uchycení dalších komponentů.



Obr. 16: Podélníky radlice

BOKY A HORNÍ LEM RADLICE

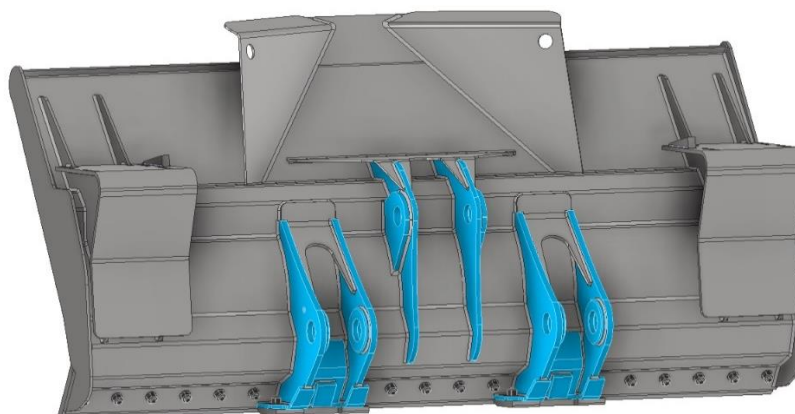
Boky lopaty s horním lemem pomáhají držet tvar celé radlice a zvyšují její tuhost. Boky jsou na zadní části vykrojeny tak, aby bylo možné uchycení rotačních hydromotorů v jejich těsné blízkosti.



Obr. 17: Boky a horní lem radlice

ZAVĚŠENÍ RADLICE

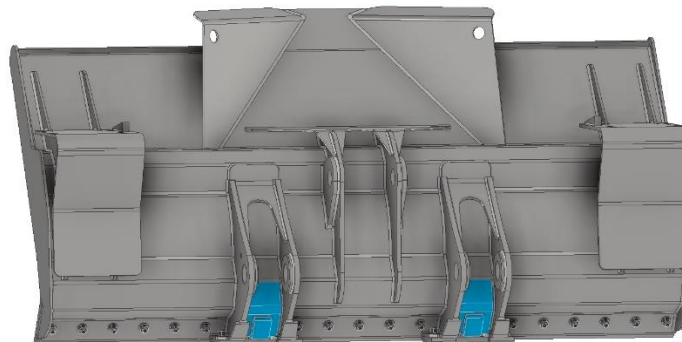
Na dně lopaty a podélnících je uchyceno zavěšení stroje, které odpovídá parametrům přímého čepování pro stroj Volvo L150 H. Zároveň jsou v dolní části společně s prvky zavěšení také tvarové plechy, které zavěšení vyztužují a zároveň fungují jako úchyty pro stabilizační desky.



Obr. 18: Zavěšení radlice

DORAZY RADLICE

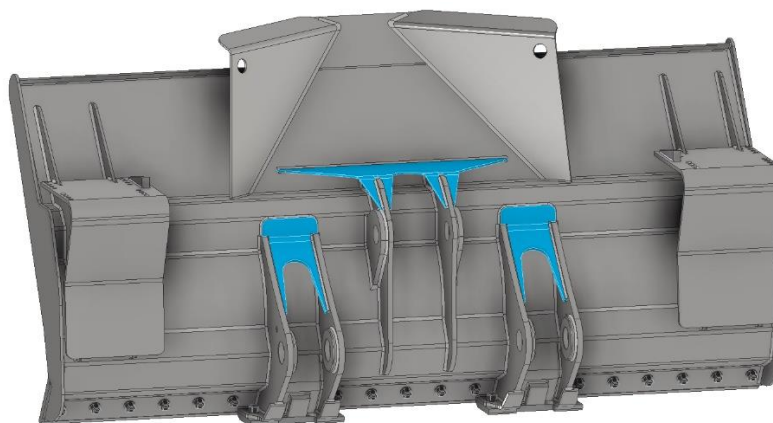
Mezi krajními tělesy zavěšení se potom nachází dorazy, které rovněž splňují rozměrové charakteristiky stroje. Tyto dorazy chrání celou lopatu před kolizí se strojem v koncové poloze vyklápění, kdy se opřou o plochy na výložníku stroje, určené ke stejnému účelu.



Obr. 18: Dorazy radlice

ROZNÁŠECÍ DESKY RADLICE

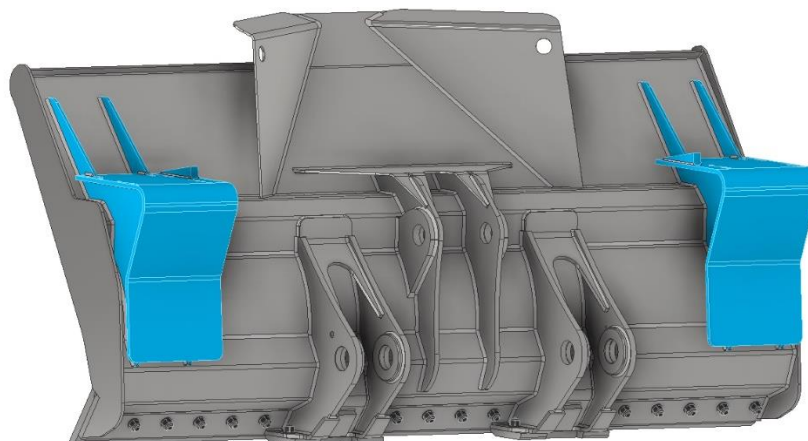
V horní oblasti zavěšení radlice jsou situovány tři roznášecí desky, které napomáhají rovnoměrnému přenesení zatížení do celkové konstrukce radlice.



Obr. 19: Roznášecí desky radlice

NOSÍKY ROTAČNÍCH HYDROMOTORŮ

Po krajích jsou umístěny celkem 4 svislé plechy, které kopírují zadní tvar radlice a je zakončen na spodním podélníku. Na tyto plechy je následně navařen uzavírací plech, který se svislými plechy tvoří nosník pro uchycení rotačních hydromotorů. Velká délka a pozvolný náběh s ukončením svislých plechů zajišťuje plynulé rozložení namáhání do konstrukce lopaty, vyvolané rotačními hydromotory. Na těchto nosnících jsou dále navařeny dorazy rotačních hydromotorů pro horní polohu.



Obr. 20: Nosníky rotačních hydromotorů

KŠILT RADLICE

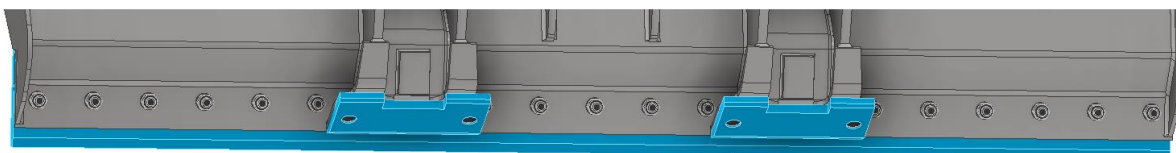
Dalším prvkem je kšilt radlice, který chrání připojovací prvky nakladače, před případným „přetečeným“ materiálem. Kšilt je uchycen na zadní části dna a na horním podélníku.



Obr. 21: Kšilt radlice

BŘIT A STABILIZAČNÍ DESKY RADLICE

Na radlici se nachází břit, který je při opotřebení možné otočit a používat z druhé strany. Toto řešení značně zvyšuje životnost a také ekonomičnost lopaty. Za břitem se nachází dvě stabilizační desky, sloužící ke stabilizaci lopaty při vodorovném hnutí, nebo v klidovém stavu.



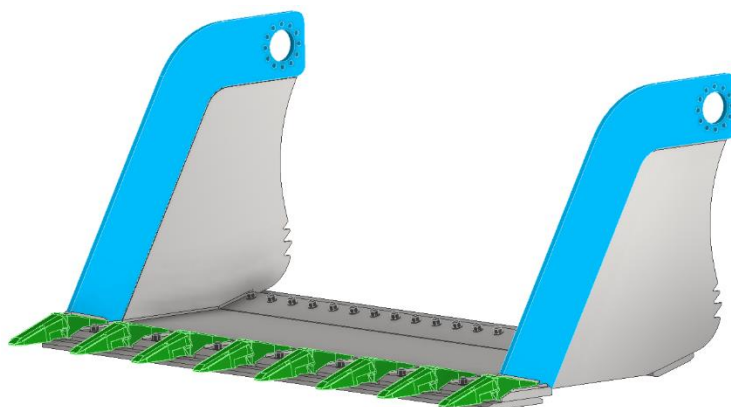
Obr. 22: Břit a stabilizační desky radlice

4.2 KONSTRUKCE VÝKLOPNÉ ČÁSTI

Zde budou popsány jednotlivé prvky výklopné části.

NOSNÉ BOČNÍ PLECHY

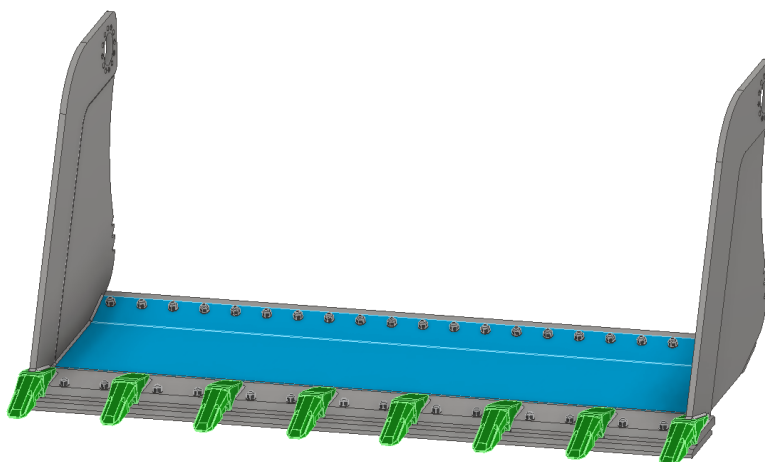
Hlavními částmi jsou nosné boční plechy, které jsou spojeny s rotačními hydromotory pomocí šroubů, uvnitř kružnice děr mají otvory, kterými je možné případné seřízení hydromotorů. Tyto otvory jinak slouží k vymezení radiální polohy pomocí středících čepů. Nosné plechy jsou navrženy s ohledem na přenos zatížení způsobené vlastní vahou výklopné části i materiálu, v souvislosti s rotačními hydromotory.



Obr. 23: Nosné boční plechy

DNO VÝKLOPNÉ ČÁSTI

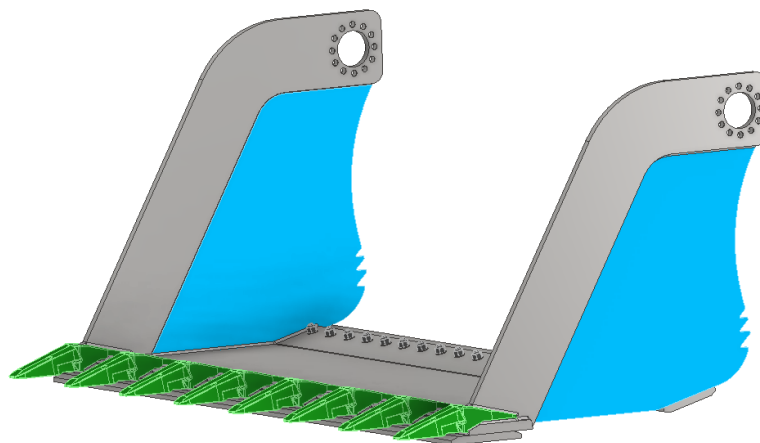
Dalším prvkem je dno výklopné části, které je z jednoho zahnutého plechu, toto řešení má značný vliv na otevírání výklopné části v naloženém stavu, pro které je tato geometrie výhodnější, oproti dnu vyrobenému jako skříňový nosník. Na zahnuté části dna jsou otvory pro držení zadní otěrové plochy výklopné části.



Obr. 23: Dno výklopné části

BOKY VÝKLOPNÉ ČÁSTI

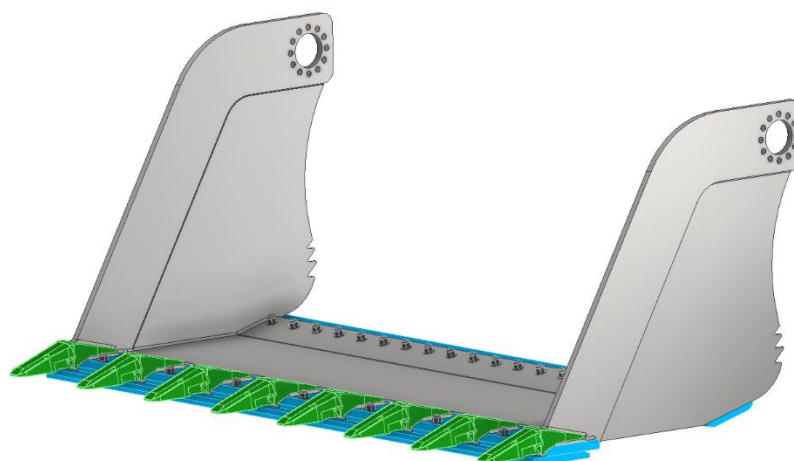
Boky výklopné části mají za úkol držení materiálu na svém místě, zároveň celou konstrukci výklopné části zpevňují a zvyšují její tuhost, dále jsou na nich vypálené zuby pro případné přidržení materiálu, jako je například kmen stromu, když je lopata použita jako drapák.



Obr. 24: Boky výklopné části

BŘITY VÝKLOPNÉ ČÁSTI

V pření části se nachází hlavní břit, který je svařen spolu s dnem, nosnými bočními plechy a následně se zubovými adaptéry. Hlavní břit má otvory pro umístění podbřítu zvyšujícího životnost lopaty. Zadní břit výklopné části je umístěn na dně a spolu s podbřitem je možné tyto prvky otáčet při opotřebení a tím zvýšit životnost lopaty. Zubové systémy budou popsány v následující části.



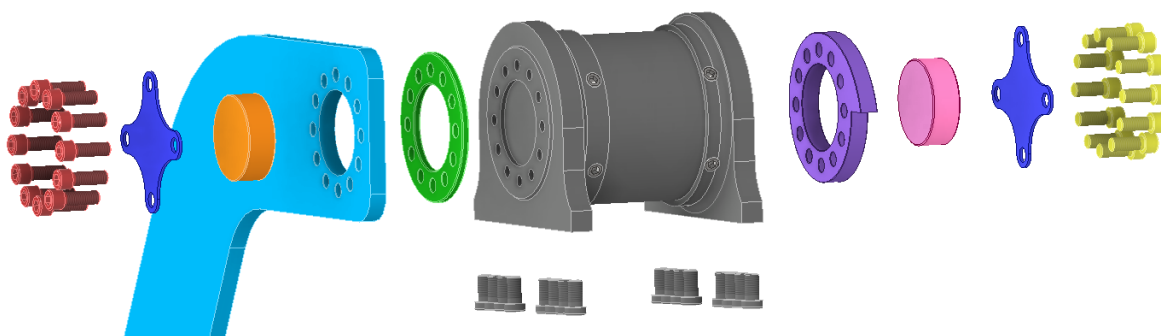
Obr. 25: Břity výklopné části

4.3 OSTATNÍ ČÁSTI KONSTRUKCE LOPATY 4V1

Zde budou popsány další důležité konstrukční uzly konstrukce.

UCHYCENÍ HYDROMOTORŮ S RADLICÍ A VÝKLOPNOU ČÁSTÍ

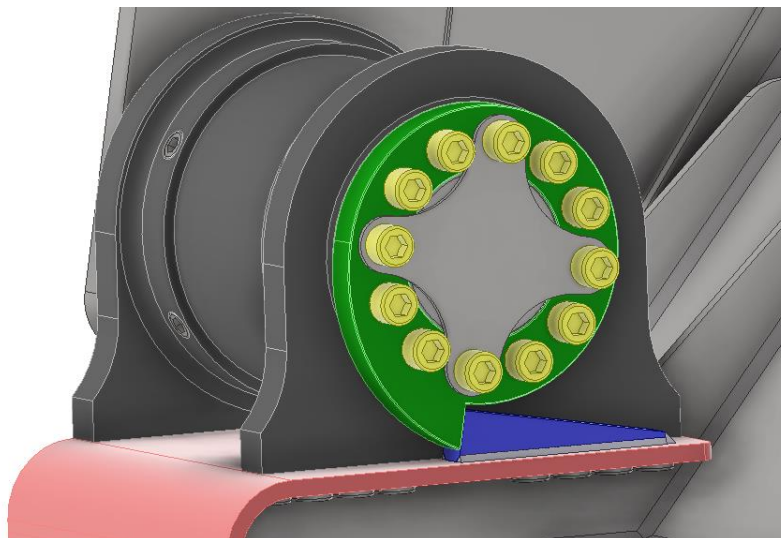
Hlavními prvky spojující radlici s výklopnou částí jsou rotační hydromotory, které jsou uchyceny do radlice pomocí 16 pevnostních šroubů M24x3, s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (černá). Dále je přidána distanční podložka s otvory pro šrouby a středícím otvorem (zelená), následně je uchycen nosný boční plech výklopné části (světle modrá). Skrze tři středící otvory v rot. hydromotoru, distanční podložce a nosném bočním plechu je přidán vnější středící čep (oranžová), který vymezuje radiální polohu. Středící čep je držen ve svém místě pomocí příložky (tmavě modrá). Následně je vše spjato 12 pevnostními šrouby M24x3 opět s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (červená). Z druhé strany je uchycen doraz rotačních hydromotorů pro horní polohu, (viz. následující část – Dorazy hydromotorů). Doraz je také vystředěn vnitřním středícím čepem (růžová). Čep je opět blokován příložkou (tmavě modrá), která je společně s dorazem přišroubována pomocí další sady 12 šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (žlutá).



Obr. 26: Uchycení HM

DORAZY HYDROMOTORŮ

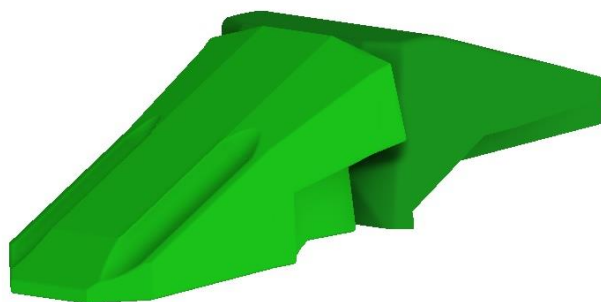
Pro předejití možného poškození hydromotorů byly navrženy spodní a horní mechanické dorazy hydromotorů. Spodní doraz zajišťují otěrové plochy radlice a výklopné části, které jsou spolu v kontaktu. Tím je dosaženo jak dorazu, tak neustálého vymezování vůle uzavření, a to i za opotřebení zmíněných částí. Horní doraz se skládá z tvarového plechu s otvorem (zelená), dále z tvarové zářky (modrá), která je přivařená na uzavírací plech nosníku hydromotorů (červená). Hydromotory mají operační úhel naklápění $100^\circ \pm 2^\circ$, ale úhel otevírání výklopné části činí 80° . Hydromotory jsou seřizeny tak, že zbylých 20° je rozděleno na rezervu 10° v dolní poloze a 10° v horní poloze, aby nedošlo k použití samotných dorazů hydromotorů, což by mohlo vést k jejich poškození.



Obr. 27: Horní doraz HM

4.4 ZUBOVÝ SYSTÉM

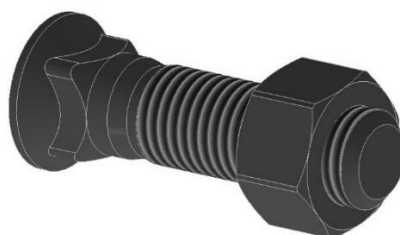
Na lopatě je umístěno celkem 8 kusů zubového systému ESCO, tento systém se skládá ze zuby a zubového adaptéru. Zuby částečně napomáhají dodatečnému rozrušování materiálu při nabírání, zvyšují životnost lopaty, zejména pak hlavního břitu. Použitý zubový systém, viz. Obr. 28, konkrétně ESCO ULTRALOK U35 se zubovým adaptérem typu 1, který je přímo navařen na hlavní břit. Zub typu AP, viz. Obr. 29, je uchycen na adaptér pomocí speciálního tvarového zámku, který se zajišťuje i odjišťuje pomocí vlastního nástroje (páčidla), dodávaného výrobcem. Tento typ zubového systému je určen pro abrazivní materiály a do obtížnějšího provozu. Další výhodou je delší životnost oproti konkurenci, deklarovaná výrobcem.



Obr. 28: Zubový systém ESCO ULTRALOK U35 Obr. 29: Zub ESCO U35AP

4.5 SPOJOVACÍ MATERIÁL

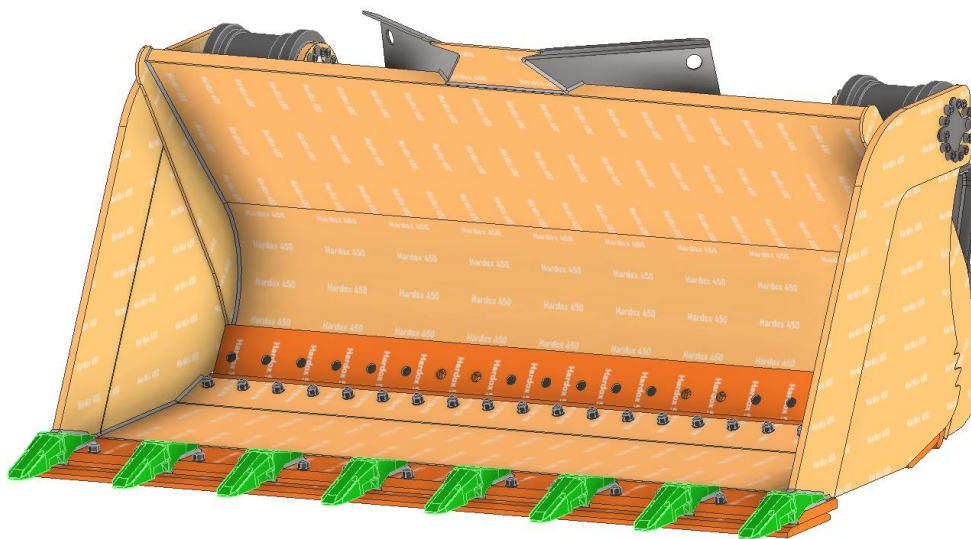
Kromě metrických šroubů jsou použity také tzv. pluhové šrouby a matice s palcovým závitem, viz. Obr. 30, které jsou použity zejména k nesení otěrových ploch. Část hlavy šroubu má čtvercový průřez, který je rovněž uložen ve čtvercové díře. Výhoda tohoto uzpůsobení spočívá ve snadné montáži a demontáži otěrových ploch, kde stačí přístup pouze z jedné strany k matici, protože šroub se nemůže protáčet. Zároveň pokud by došlo k částečnému opotřebení hlavy šroubu, jednoduchost demontáže zůstává beze změny, například oproti šroubům se šestihrannou hlavou, které by při opotřebení mohly být obtížně demontovatelné. Předpětí šroubu spočívá na kuželové ploše svírající úhel 90°.



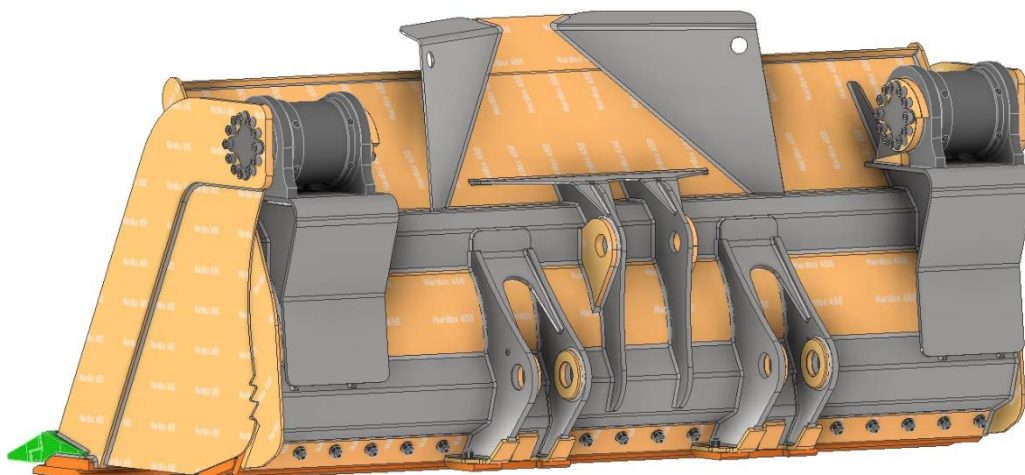
Obr. 30: Pluhový šroub s maticí

4.6 ZVOLENÝ MATERIÁL

Pro výrobu lopaty 4v1 byl použit otěruvzdorný materiál Hardox 450 (světle oranžová), který je velmi vhodný zejména na plochách, které jsou v kontaktu s materiálem. Na vysoce namáhané otěrové plochy byl použit materiál Hardox 500 (tmavě oranžová). Volba těchto materiálů na celkové sestavě lopaty viz. Obr. 31 a Obr. 32.



Obr. 31: Volba materiálu lopaty 4v1 (zepředu)



Obr. 32: Volba materiálu lopaty 4v1 (zezadu)

4.7 VÝPOČTOVÝ NÁVRH LOPATY 4V1

V této části budou provedeny nutné výpočetní úkony různých charakteristických veličin, nezbytně nutných pro návrh multifunkční lopaty 4v1.

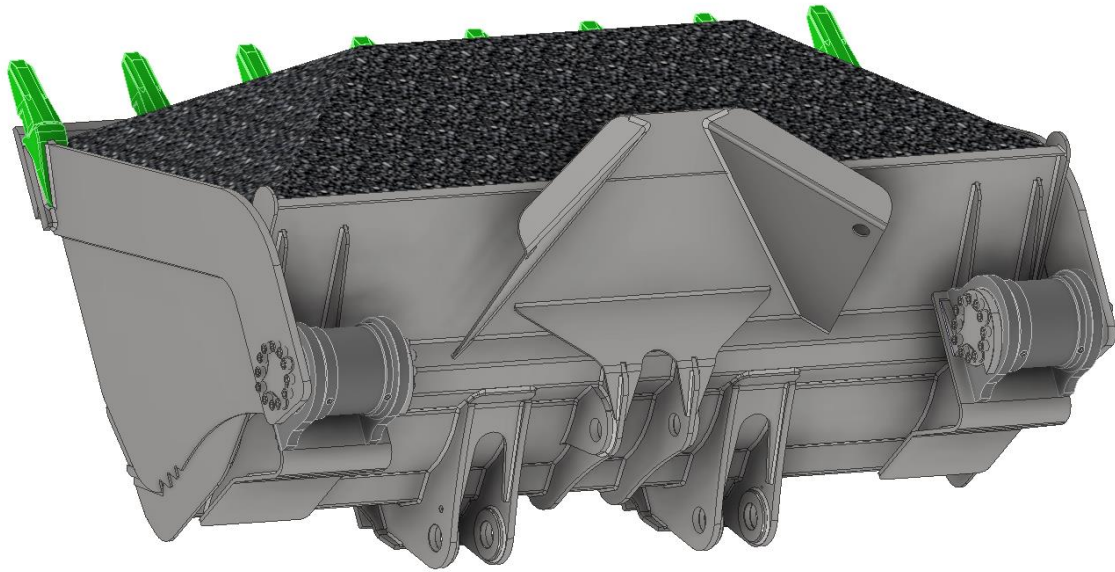
4.7.1 VÝPOČET OBJEMU MATERIÁLU

Výpočet naloženého objemu materiálu v lopatě byl proveden dle mezinárodní normy ISO 7546-1983 pro stavební a zemní stroje. Celkový objem V_C se potom skládá ze dvou částí: objemu lopaty samotné – V_L , následně z objemu navršeného materiálu – V_N .

Úhel navršeného materiálu je dle normy v poměru 1:2, tím je určena hodnota V_N , hodnota V_L je ovlivněna hlavně geometrií lopaty, ale také tzv. koeficientem plnění, který se mění v závislosti na materiálu.

Druh materiálu:	Koeficient plnění:
Zemina, jíl	100 ÷ 110 %
Písek, štěrk	95 ÷ 105 %
Hrubá kameniva	40 ÷ 95 %

Tab. 1: Obecné koeficienty plnění, viz. Příloha 1



Obr. 33: Naložená lopata 4vl

$$V_L = 3,24 \text{ m}^3$$

$$V_N = 0,77 \text{ m}^3$$

$$V_C = V_L + V_N \tag{1}$$

$$V_C = 3,24 + 0,77$$

$$V_C = 4,01 \text{ m}^3$$

kde: V_L – objem lopaty [m³]
 V_N – objem navršeného materiálu [m³]
 V_C – celkový objem lopaty [m³]

Použité hodnoty V_L a V_N byly odměřeny z 3D modelu, viz. Obr. 33.

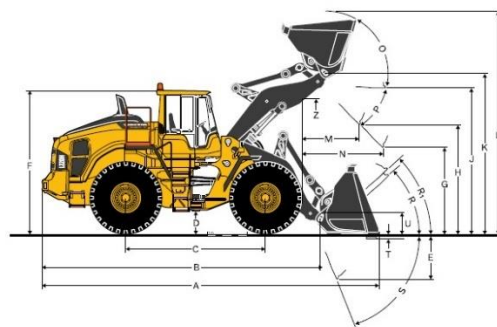
4.7.2 VSTUPNÍ PARAMETRY DANÉ SPECIFIKACEMI STROJE

Pro další výpočtovou část je nezbytné zahrnout několik parametrů záležících na specifikaci stroje, tyto parametry jsou výrobcem uváděny v katalogovém listu stroje, dříve zmíněném jako Příloha 1, kde se budeme zajímat o data pro VOLVO L150 H se standartním výložníkem, viz. Obr. 34.

Specifications

Tires L150H, L180H: 26.5 R25 L3. Tires L220H: 29.5 R25 L3
Tire deflection: standard

		Standard boom			Long boom		
		L150H	L180H	L220H	L150H	L180H	L220H
B	mm	7 070	7 190	7 480	7 570	7 620	7 800
C	mm	3 550	3 550	3 700	3 550	3 550	3 700
D	mm	480	480	530	470	490	530
F	mm	3 580	3 580	3 730	3 570	3 590	3 730
G	mm	2 134	2 134	2 135	2 157	2 133	2 133
J	mm	3 920	4 060	4 230	4 490	4 560	4 600
K	mm	4 340	4 470	4 660	4 900	4 970	5 020
O	°	58	57	56	59	55	56
P _{max}	°	50	49	48	49	49	48
R	°	45	45	43	48	48	44
R ₁ *	°	48	48	47	53	53	49
S	°	66	71	65	61	63	63
T	mm	93	131	119	149	207	121
U	mm	520	570	600	640	660	680
X	mm	2 280	2 280	2 400	2 280	2 280	2 400
Y	mm	2 960	2 960	3 150	2 960	2 960	3 150
Z	mm	3 510	3 810	4 050	3 960	4 180	4 380
a ₂	mm	6 790	6 790	7 100	6 790	6 790	7 100
a ₃	mm	3 820	3 820	3 960	3 820	3 820	3 960
a ₄	±°	37	37	37	37	37	37



Obr. 34: Specifikace stroje

4.7.3 URČENÍ HMOTNOSTI LOPATY

Pro určení celkové hmotnosti lopaty jsou z 3D modelu převzaty jednotlivé hmotnosti podsestav a dalších částí jako například rotační hydromotory, spojovací materiál apod.

$$m_R = 1476,2 \text{ kg}$$

$$m_V = 1592,6 \text{ kg}$$

$$m_H = 452,4 \text{ kg}$$

$$m_{L4v1} = m_R + m_V + m_H \quad (2)$$

$$m_{L4v1} = 1476,2 + 1592,6 + 452,4$$

$$m_{L4v1} = 3521,2 \text{ kg}$$

kde: m_R – hmotnost radlice [kg]
 m_V – hmotnost výklopné části lopaty [kg]
 m_H – hmotnost hydromotorů a ostatní prvků [kg]
 m_{L4v1} – celková hmotnost lopaty 4v1 [kg]

4.7.4 URČENÍ HMOTNOSTI MANIPULOVANÉHO MATERIÁLU

Celkový objem lopaty je zjištěn z rovnice 1, dále je zvolena nejvyšší objemová hmotnost z rešeršní části manipulovaných materiálů, která činí $\rho_P = 1900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, pro písek nebo demoliční odpad.

$$m_M = \rho_P \cdot V_C \quad (3)$$

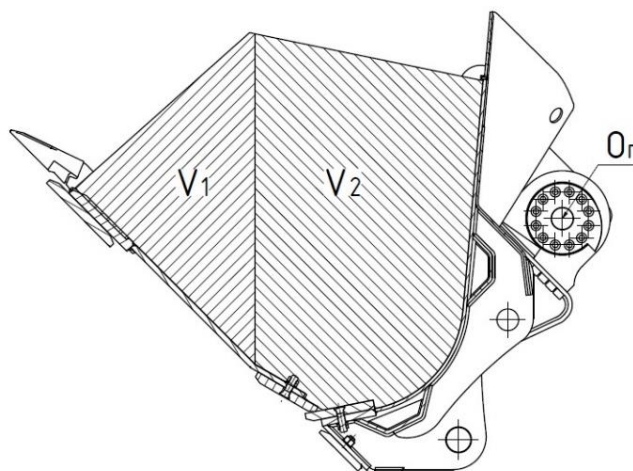
$$m_M = 1900 \cdot 4,01$$

$$m_M = 7619 \text{ kg}$$

kde: m_M – hmotnost materiálu (písek, demoliční odpad) [kg]
 ρ_P – horní hranice objemové hmotnosti písku [kg·m⁻³]

4.7.5 VÝPOČET JMENOVITÉHO KROUTÍCÍHO MOMENTU HYDROMOTORŮ

Pro výpočet jmenovitého kroučícího momentu pro návrh rotačních hydromotorů je uvažována tíhová síla od výklopné části a tíhová síla od části materiálu, která se nachází v prostoru přímo ovlivněném výklopnou částí při jejím otevírání, viz. Obr. 35. Pro tento výpočet je nutné zjistit přímé vzdálenosti těžišť od osy rotace a následně jejich ramena kolmá na působení tíhových sil. Z tíhových sil hmotností jednotlivých částí, které jsou známy z předchozí části, bude následně zjištěn potřebný moment pro otevření výklopné části v plně naloženém stavu.



Obr. 35: Řez naloženou lopatou 4v1

Objem V₁

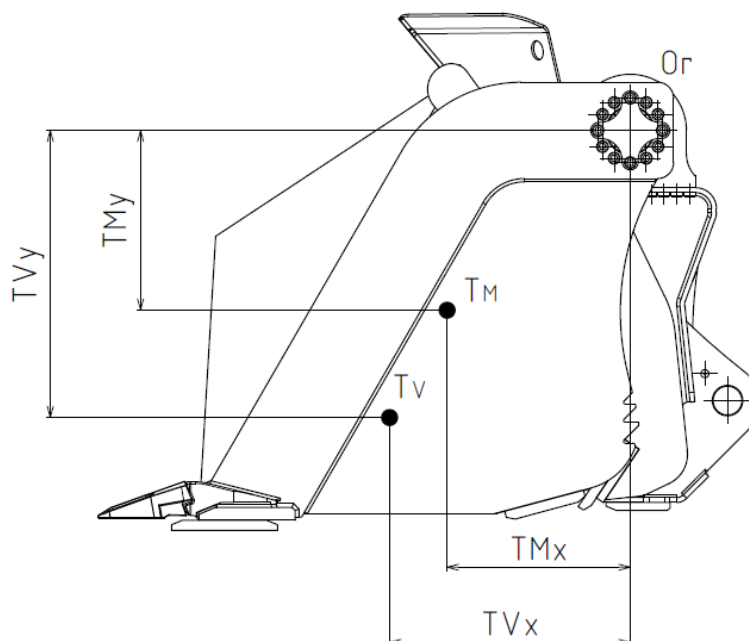
Objem V₁ byl zjištěn z 3D modelu, dělicí čára mezi objemy V₁ a V₂ byla situována do místa, kde je dno výklopné části rovné a dochází k největšímu kontaktu s materiálem při otevírání. Ohnutý konec dna s vyměnitelným břitem má naopak tendenci se od materiálu vzdalovat.

$$V_1 = 1,155 \text{ m}^3$$

kde: V₁ – objem části materiálu vzhledem k výklopné části [m³]

Těžiště výklopné části a materiálu

Ke zjištění přesné polohy těžiště výklopné části T_V a těžiště materiálu T_M , je nutné znát vzdálenosti od osy rotace O_r v osách x a y , viz. Obr. 36. Tyto vzdálenosti byly odečteny z 3D modelu.



Obr. 36: Těžiště výklopné části a materiálu

$$T_{Vx} = 830,142 \text{ mm}$$

$$T_{Vy} = 1027,367 \text{ mm}$$

$$T_{Mx} = 649,376 \text{ mm}$$

$$T_{My} = 642,918 \text{ mm}$$

kde: T_{Vx} – vzdálenost T_V od osy rotace O_r v ose x [mm]
 T_{Vy} – vzdálenost T_V od osy rotace O_r v ose y [mm]
 T_{Mx} – vzdálenost T_M od osy rotace O_r v ose x [mm]
 T_{My} – vzdálenost T_M od osy rotace O_r v ose y [mm]

Přímé vzdálenosti těžišť od osy rotace

$$R_{T_V} = \sqrt{T_{Vx}^2 + T_{Vy}^2} \quad (4)$$

$$R_{T_V} = \sqrt{830,142^2 + 1027,367^2}$$

$$R_{T_V} = 1320,84 \text{ mm}$$

kde: R_{T_V} = přímá vzdálenost mezi těžištěm T_V a osou rotace O_r [mm]

$$R_{T_M} = \sqrt{T_{MX}^2 + T_{MY}^2} \quad (5)$$

$$R_{T_M} = \sqrt{649,376^2 + 642,918^2}$$

$$R_{T_M} = 913,8 \text{ mm}$$

kde: R_{T_M} = přímá vzdálenost mezi těžištěm T_M a osou rotace O_r [mm]

Úhly natočení těžišť

Jelikož jsou tyto vzdálenosti přímé spojnice mezi těžišti a osou rotace, je nutné je přepočítat na kolmá ramena, ze kterých bude možné získat hodnoty tíhových sil. K tomu budou potřeba úhly natočení jednotlivých těžišť.

$$\alpha_V = 51,06^\circ$$

$$\alpha_M = 44,71^\circ$$

kde: α_V – úhel natočení těžiště T_V vzhledem k poloze lopaty [°]
 α_M – úhel natočení těžiště T_M vzhledem k poloze lopaty [°]

Úhly natočení jednotlivých těžišť byly získány z 3D modelu.

Ramena tíhové síly

$$R_{T_{V\alpha}} = R_{T_V} \cdot \cos(\alpha_V) \quad (6)$$

$$R_{T_{V\alpha}} = 1320,84 \cdot \cos(51,06)$$

$$R_{T_{V\alpha}} = 830,16 \text{ mm}$$

$$R_{T_{M\alpha}} = R_{T_M} \cdot \cos(\alpha_M) \quad (7)$$

$$R_{T_{M\alpha}} = 913,8 \cdot \cos(44,71)$$

$$R_{T_{M\alpha}} = 649,42 \text{ mm}$$

kde: $R_{T_{V\alpha}}$ – kolmé rameno tíhové síly výklopné části [mm]
 $R_{T_{M\alpha}}$ – kolmé rameno tíhové síly materiálu [mm]

Tíhové síly

$$G_{TV} = m_V \cdot g \quad (8)$$

$$G_{TV} = 1596,6 \cdot 9,81$$

$$G_{TV} = 15623,4 \text{ N}$$

kde: G_{TV} – tíhová síla výklopné části lopaty [N]
 g – tíhové zrychlení ($9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$) [m·s⁻²]

$$G_{TM1} = V_1 \cdot \rho_P \cdot g \quad (9)$$

$$G_{TM1} = 1,155 \cdot 1900 \cdot 9,81$$

$$G_{TM1} = 21528 \text{ N}$$

kde: G_{TM1} – tíhová síla části materiálu [N]

Potřebný jmenovitý krouticí moment

$$M_V = G_{TV} \cdot R_{TV\alpha} \quad (10)$$

$$M_V = 15623,4 \cdot 830,6 \cdot 10^{-3}$$

$$M_V = 12976,8 \text{ Nm}$$

kde: M_V – vzniklý krouticí moment od tíhové síly výklopné části [N·m]

$$M_{M1} = G_{TM1} \cdot R_{TM\alpha} \quad (11)$$

$$M_{M1} = 21528 \cdot 649,42 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{M1} = 13981 \text{ Nm}$$

kde: M_{M1} – vzniklý krouticí moment od tíhové síly části materiálu [N·m]

$$M_C = \frac{M_V + M_{M1}}{2} \quad (12)$$

$$M_C = \frac{13009 + 13981}{2}$$

$$M_C = 13479 \text{ Nm}$$

kde: M_C – celkový krouticí moment pro 1 HM [N·m]

4.7.6 VÝPOČET PŘÍDRŽNÉHO MOMENTU HYDROMOTORŮ

Pro výpočet přídržného momentu rotačních hydromotorů budou uvažovány dva stavy, první je, když obsluha pojíždí s nakladačem, lopata je plně naložená a naklopená na nakladač. Tehdy může dojít k samovolnému otevření lopaty vlivem tíhy materiálu. Tíha výklopné části v tomto případě působí ve směru zavření, moment této tíhové síly se zachytí kontaktem břitů výklopné části o břit radlice.

Druhý případ nastává při klasickém vyklápění lopaty. Ve chvíli, kdy je dno lopaty v rovnoběžné poloze se zemí, přestává moment tíhové síly výklopné části působit na břit radlice. Po překročení nulového úhlu bude tento moment naopak působit opačným směrem a spolu se zůstávajícím materiálem v lopatě bude mít tendenci lopatu otevřít.

Pro oba případy bude použita hmotnost materiálu dosažená v předchozí části, tedy: $m_M = 7619 \text{ kg}$, dále byl zvolen velký sypný úhel $\delta_p = 45^\circ$.

1. Stav:

Tíhová síla

$$G_{T_{MC}} = m_M \cdot g \quad (13)$$

$$G_{T_{MC}} = 7619 \cdot 9,81$$

$$G_{T_{MC}} = 74742,4 \text{ N}$$

kde: $G_{T_{MC}}$ – tíhová síla celkového objemu materiálu [N]

Celkový potřebný přídržný moment – 1. Stav

$$M_{MC} = G_{T_{MC}} \cdot R_{T_{M\alpha}} \quad (14)$$

$$M_{MC} = 74742,4 \cdot 649,42 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{MC} = 48539 \text{ Nm}$$

kde: M_{MC} - vzniklý kroučící moment od tíhové síly celého materiálu [N·m]

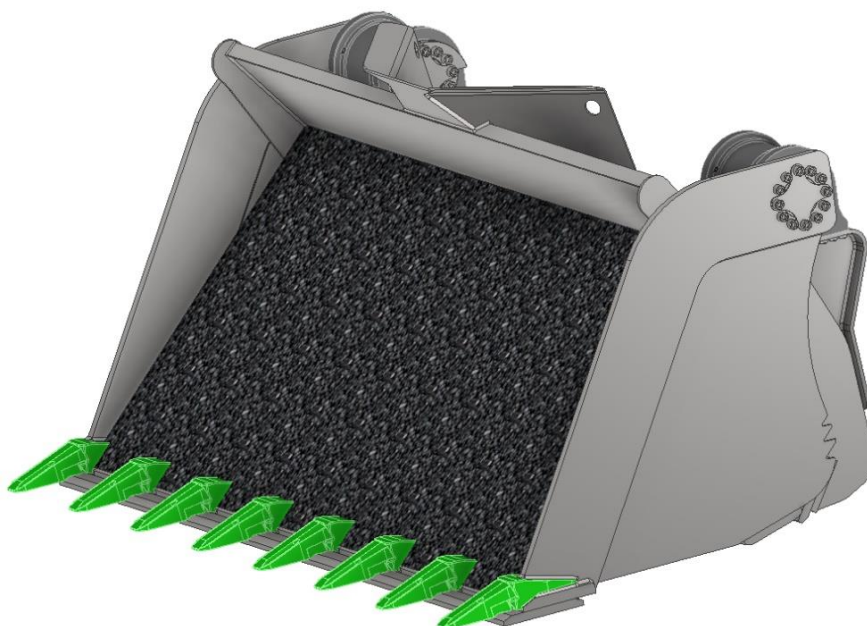
$$M_{CP1} = \frac{M_V - M_{MC}}{2} \quad (15)$$

$$M_{CP1} = \left| \frac{12976,8 - 48539}{2} \right|$$

$$M_{CP1} = 17781 \text{ Nm}$$

kde: M_{CP1} – celkový potřebný přídržný moment pro 1 HM – 1. stav [N·m]

2. Stav:

Obr. 37: Poloha -1° lopaty 4v1

$$V_2 = 2,32 \text{ m}^3$$

$$T_{M2x} = 485,629 \text{ mm}$$

$$T_{M2y} = 799,558 \text{ mm}$$

$$\alpha_{M2} = 45,71^\circ$$

kde:	V_2 – objem části materiálu při vyklápení	[m ³]
	T_{M2X} – vzdálenost T_{M2} od osy rotace O_r v ose x, (Obr. 36)	[mm]
	T_{M2Y} – vzdálenost T_{M2} od osy rotace O_r v ose y, (Obr. 36)	[mm]
	α_{M2} – úhel natočení těžiště materiálu	[°]

Pro výpočet potřebného přídržného momentu v druhém stavu byl vybrán úhel vyklopení lopaty -1° , kdy tíhová síla výklopné části i tíhová síla od materiálu působí moment proti přídržnému momentu hydromotorů a snaží se lopatu otevřít. Zároveň je v lopatě maximum materiálu v závislosti na vyklopení, tedy maximální tíhová síla. Objem V_2 materiálu a jeho vzdálenosti těžiště k ose rotace O_r , byly zjištěny z 3D modelu, viz. Obr. 37.

Přímá vzdálenost těžiště od osy rotace

$$R_{T_{M2}} = \sqrt{T_{M2X}^2 + T_{M2Y}^2} \quad (16)$$

$$R_{T_{M2}} = \sqrt{485,629^2 + 799,558^2}$$

$$R_{T_{M2}} = 935,483 \text{ mm}$$

kde:	$R_{T_{M2}}$ = přímá vzdálenost mezi těžištěm T_{M2} a osou rotace O_r	[mm]
------	--	------

Rameno tíhové síly

$$R_{TM_2\alpha M_2} = R_{TM_2} \cdot \cos(\alpha_{M_2}) \quad (17)$$

$$R_{TM_2\alpha M_2} = 935,483 \cdot \cos(45,71)$$

$$R_{TM_2\alpha M_2} = 653,239 \text{ mm}$$

kde: $R_{TM_2\alpha M_2}$ – kolmé rameno tíhové síly materiálu [mm]

Tíhová síla

$$G_{TM_2} = V_2 \cdot \rho_P \cdot g \quad (18)$$

$$G_{TM_2} = 2,32 \cdot 1900 \cdot 9,81$$

$$G_{TM_2} = 43242,5 \text{ N}$$

kde: G_{TM_2} – tíhová síla části materiálu při vyklápění [N]

Celkový potřebný přídržný moment – 2. Stav

$$M_{M_2} = G_{TM_2} \cdot R_{TM_2\alpha M_2} \quad (19)$$

$$M_{M_2} = 43242,5 \cdot 635,239 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{M_2} = 28247,7 \text{ Nm}$$

kde: M_{M_2} - vzniklý krouticí moment od tíhové síly části materiálu [N·m]

$$M_{CP2} = \frac{M_V + M_{M_2}}{2} \quad (20)$$

$$M_{CP2} = \left| \frac{12976,8 + 28247,7}{2} \right|$$

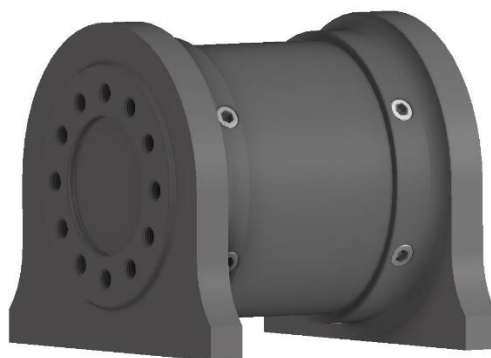
$$M_{CP2} = 20612,25 \text{ Nm}$$

kde: M_{CP2} – celkový potřebný přídržný moment pro 1 HM – 2. stav [N·m]

4.7.7 VÝSLEDKY NÁVRHOVÝCH VÝPOČTŮ

Dle výpočtů je nutné zajistit hydromotor s dostatečným jmenovitým kroutícím momentem, proto byl zvolen rotační hydromotor od firmy Renomag s.r.o., typ XRHN08A100B. Dvojici těchto rotačních hydromotorů lze zároveň použít jako nosný prvek konstrukce. Montáž je velmi snadná, pomocí šroubů M24x3 na dvou kruhových plochách a dvou spodních plochách, viz. Obr. 38. Dalšími důležitými vlastnostmi je úplné krytí všech funkčních částí hydromotoru, poskytující ochranu proti vniknutí prachových částic nebo kapalin. Také není možné poškození funkčních částí od manipulovaného materiálu, jako je tomu například u přímočarých hydromotorů. Rotační hydromotor je charakterizován zejména jmenovitým kroutícím momentem a přídržným momentem v klidovém stavu. Jeho rotace je způsobena tlakovým olejem, který tlačí na plochu pístu, který je spojen s pohyblivou částí s nesamosvorným šnekovým profilem. Ten poté rotuje po protikus, který má také šnekový profil, ale ten je pevně zajištěn v rámu hydromotoru nebo je přímo jeho součástí, viz. Obr. 39. Samotné hydromotory obsahují pojistný ventil, proti možnému přetížení. Základní parametry mají hodnoty: provozní tlak 19 MPa, jmenovitý kroutící moment 16 000 Nm, přídržný moment 40 000 Nm a operační úhel naklápění $100^\circ \pm 2^\circ$.

Dokumentace k rotačnímu hydromotoru viz. Příloha 2



Obr. 38: Rotační hydromotor













Obr. 39: Řez rotačním hydromotorem [15]

5 VÝPOČET TRHACÍ SÍLY

Pro výpočet trhací síly jsou použity vstupní parametry, viz. Příloha 1, kde je uvedena trhací síla pro lopatu na obecné použití, s objemem cca 4 m³. Tento údaj je potřeba přepočítat vzhledem na geometrii lopaty 4v1. K tomu je použita délka A, viz. Obr. 40 a délka B, (specifikace stroje). Zároveň je započítána délka 100 mm pro umístění trhací síly dle normy ČSN ISO 8313.

Volvo L150H Specifications

L150H		REHANDLING				GENERAL PURPOSE			ROCK***	LIGHT MATERIAL	LONG BOOM*
Tires 26.5 R25 L3											
		4.0 m ³ STE P BOE	4.4 m ³ STE P BOE	4.8 m ³ STE P BOE	5.2 m ³ STE P BOE	4.0 m ³ STE P T SEG	4.4 m ³ STE P T SEG	4.5 m ³ STE P T SEG	3.5 m ³ SPN P T SEG	6.8 m ³ LM P	4.0 m ³ STE P T SEG
Volume, heaped ISO/SAE	m ³	4.0	4.4	4.8	5.2	4.0	4.4	4.5	3.5	6.8	4.0
Volume at 110% fill factor	m ³	4.4	4.8	5.3	5.7	4.4	4.8	5.0	3.9	7.5	4.4
Static tipping load, straight at 35° turn	kg	20 500	20 230	19 950	19 800	18 100	17 690	17 670	18 730	16 360	-3 550
at full turn	kg	18 320	18 050	17 780	17 630	16 190	15 780	15 760	16 730	14 520	-3 270
Breakout force	kN	201.3	191.7	183.2	182.7	202	192	184	188.0	140.0	+9
A	mm	8 600	8 680	8 750	8 750	8 790	8 860	8 930	8 850	9 230	+520
E	mm	1 230	1 300	1 360	1 370	1 400	1 460	1 520	1 450	1 790	+10
H**)	mm	3 020	2 970	2 920	2 920	2 890	2 850	2 800	2 870	2 620	+570
L	mm	5 720	5 770	5 880	5 870	5 880	5 990	6 040	5 970	6 140	+570
M**)	mm	1 220	1 270	1 320	1 320	1 360	1 410	1 450	1 420	1 700	-20
N**)	mm	1 800	1 830	1 860	1 860	1 880	1 910	1 930	1 930	1 960	+450
V	mm	3 200	3 200	3 200	3 400	3 230	3 200	3 000	3 230	3 200	0
a ₁ clearance circle	mm	14 640	14 670	14 700	14 890	14 750	14 760	14 600	14 800	14 940	+340
Operating weight	kg	25 090	25 300	25 500	25 620	24 090	24 450	24 420	25 320	24 920	+410

Obr. 40: Specifikace lopat

$$A = 8790 \text{ mm}$$

$$B = 7070 \text{ mm}$$

$$L_{4v1} = 1546 \text{ mm}$$

$$F_{Tr} = 202 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde: A – celková délka nakladače po břít lopaty [mm]
 B – celková délka nakladače po spodní čep [mm]
 L_{4v1} – délka od spodního čepu lopaty 4v1 po umístění trhací síly [mm]
 F_{Tr} – trhací síla pro obecnou lopatu 4 m³ [N]

Rameno momentu trhací síly

$$L_1 = (A - B) - 100 \quad (21)$$

$$L_1 = (8790 - 7070) - 100$$

$$L_1 = 1620 \text{ mm}$$

kde: L_1 – délka od spodního čepu obecné lopaty po umístění trhací síly [mm]

Moment trhací síly

$$M_{FTr} = F_{Tr} \cdot L_1 \quad (22)$$

$$M_{FTr} = 202 \cdot 10^3 \cdot 1620 \cdot 10^{-3}$$

$$M_{FTr} = 327,24 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

kde: M_{FTr} – moment trhací síly k spodnímu čepu lopaty [N·m]

Trhací síla lopaty 4v1

$$F_{Tr4v1} = \frac{M_{FTr}}{L_{4v1}} \quad (23)$$

$$F_{Tr4v1} = \frac{327,24 \cdot 10^3}{1546 \cdot 10^{-3}}$$

$$F_{Tr4v1} = 211,7 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde: F_{Tr4v1} – trhací síla pro lopatu 4v1 [N]

6 VÝPOČET RYPNÉ SÍLY

Při kontaktu lopaty a materiálu vznikají mezi břitem lopaty a materiálem odpory. Ty dále můžeme dělit na rypný a řezný odpor. Řezný odpor zahrnuje smyk tření mezi materiálem a břitem lopaty, zjišťuje se experimentálně. Rypný odpor zahrnuje dvě složky, odpor proti zaplnění nástroje a odpor proti hnutí materiálu. S ohledem na uvedené skutečnosti je doporučený sklon břitu nástroje $20 \div 40^\circ$. Dále maximální řezná rychlost $v_{Rmax} = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, kdy do této hodnoty nemá přímý podíl na velikosti odporů. Dále byla zvolena třída zemina 4, která odpovídá těžce rozpojitelným materiálům. [16]

Třída zeminy	Měrný řezný odpor k_{cut} [MPa]	Měrný rypný odpor k_{ser} [MPa]
4	0,13 \div 0,25	0,22 \div 0,36

Tab. 2: Doporučené hodnoty měrných odporů [16]

$$b_t = 3200 \text{ mm}$$

$$h_t = (0,1 \div 0,33) \cdot b_t \quad (24)$$

$$h_t = 896 \text{ mm}$$

kde: b_t – šířka třísky (břitu) [mm]
 h_t – doporučená výška třísky materiálu [mm]

Předešlá hodnota b_t byla změřena z 3D modelu, hodnota h_t byla vybrána z doporučeného rozmezí [15], $h_t = 0,28 \cdot b_t$.

Plocha třísky materiálu

$$S_t = h_t \cdot b_t \quad (25)$$

$$S_t = 896 \cdot 3200$$

$$S_t = 2,867 \cdot 10^6 \text{ mm}^2$$

kde: S_t – plocha třísky materiálu [mm²]

Rypná síla

$$F_{Ryp} = S_t \cdot k_{ser} \quad (26)$$

$$F_{Ryp} = 2,867 \cdot 10^6 \cdot 0,3$$

$$F_{Ryp} = 860,16 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde: F_{Ryp} – rypná síla lopaty 4v1 [N]

7 VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY NAKLADAČE

Tažná síla nakladače určuje sílu, kterou je nakladač schopen tlačit do materiálu při pomalém nájezdu. Důležitými faktory jsou váha stroje včetně lopaty a součinitel tření mezi pneumatikami a podkladem, po kterém se nakladač pohybuje. [17]

Materiál v kontaktu:	Statický koeficient smykového tření f_s :
Pryž na náledí	0,1 ÷ 0,2
Pryž na betonu	0,7 ÷ 0,8
Pryž na dlažbě	0,6 ÷ 0,7
Pryž na mokrém asfaltu	0,2 ÷ 0,5
Pryž na suchém asfaltu	0,55

Tab. 3: Součinitelé smykového tření [17]

$$m_{VL150H} = 24300 \text{ kg}$$

$$f_{PnB} = 0,8$$

kde: m_{VL150H} – hmotnost nakladače Volvo L150H [kg]
 f_{PnB} – souč. statického smykového tření pryže na betonu [-]

Hmotnost nakladače Volvo L150 H byla zjištěna z Přílohy 1. Dále byl zvolen největší součinitel statického smykového tření mezi pryží a betonem.

Celková hmotnost stroje s nástrojem

$$m_{S+L} = m_{VL150H} + m_{L4v1} \quad (27)$$

$$m_{S+L} = 24300 + 3521,2$$

$$m_{S+L} = 27821,2 \text{ kg}$$

kde: m_{S+L} – hmotnost nakladače s lopatou 4v1 [kg]

Tíhová síla stroje s nástrojem

$$G_{m_{S+L}} = m_{S+L} \cdot g \quad (28)$$

$$G_{m_{S+L}} = 27821,2 \cdot 9,81$$

$$G_{m_{S+L}} = 272,926 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde: $G_{m_{S+L}}$ – tíhová síla stroje s lopatou 4v1 [N]

Tažná síla

$$F_{\text{tažná}} = G_{m_{S+L}} \cdot f_{PnB}$$

$$F_{\text{tažná}} = 272926 \cdot 0,8$$

$$F_{\text{tažná}} = 218,341 \cdot 10^3 \text{ N}$$

kde: $F_{\text{tažná}}$ – tažná síla stroje s nástrojem [N]

8 DISKUSE VÝPOČTENÝCH SIL

V předchozích výpočetních částech bylo zjištěno, že na multifunkční lopatu 4v1 bude působit trhací síla $F_{Tr4v1} = 211,7 \cdot 10^3 \text{ N}$, rypná síla $F_{Ryp} = 1014 \cdot 10^3 \text{ N}$ a tažná síla nakladače $F_{\text{tažná}} = 218,341 \cdot 10^3 \text{ N}$. Při vnikání nástroje do materiálu působí tažná síla $F_{\text{tažná}}$ a rypná síla F_{Ryp} proti sobě. Vzhledem k výpočtům je ovšem zatížení na břit vždy nižší nebo rovno síle F_{Ryp} . Pokud by nastal stav, kdy bude $F_{\text{tažná}} > F_{Ryp}$, nebylo by naplno využito tažné síly stroje vůči nehybnému materiálu a došlo by k proniknutí lopaty skrze materiál. To znamená, že nedojde k dosažení maximální síly působící na břit lopaty.

9 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

Následná pevnostní analýza konstrukce lopaty 4v1 byla provedena pomocí MKP (metoda konečných prvků), v řešiči Autodesk Nastran.

9.1 VÝPOČTOVÝ MODEL

Před zahájením samotných výpočtů je nutné připravit výpočtový model ze stávajícího 3D modelu. V tomto případě byly vynechány některé konstrukční prvky, jako například kšilt, otěrové prvky nebo spojovací materiál, z důvodů zjednodušení výpočtu. Další důvod je, že tyto prvky nemají přímý vliv na pevnost konstrukce. Dalším krokem přípravy bylo nahrazení vazeb modelu. Pro symbolizaci uchycení lopaty na nakladač pomocí čepů byly použity vazby „pin“, které plně dostačují. Dále byly nahrazeny veškeré šroubové spoje, přímo funkcí „bolt“, která je přesně pro tento účel. Posledním krokem je určení velikosti sítě, která byla nastavena na velikost 10 mm.

9.2 ZATĚŽOVACÍ STAVY

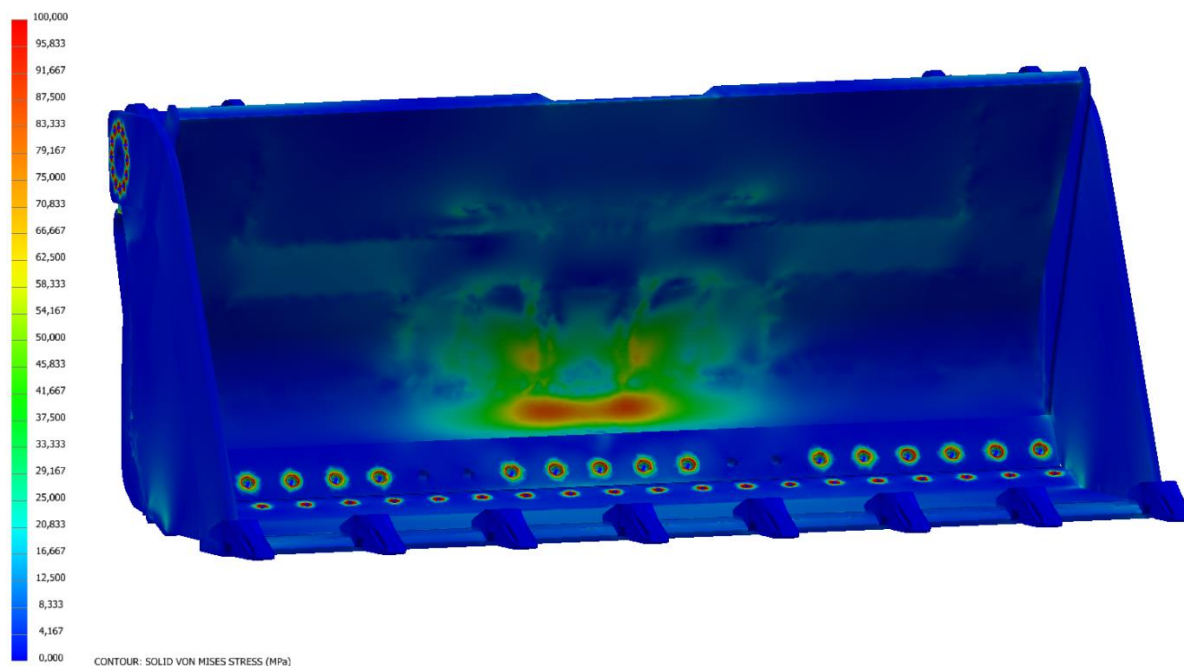
Pro pevnostní výpočet celku bylo předem zvoleno několik zatěžovacích stavů, viz. Tab. 4. Tyto stavy reprezentují nejčastější namáhání, kterým jsou tyto lopaty vystaveny.

Zatěžovací stavy	Druh zatížení	Místo zatížení
ZS1	Rypná síla - $F_{Ryp} = 860,16 \cdot 10^3 N$	Podél celé řezné hrany břitu
ZS2	Trhací síla - $F_{Tr4v1} = 211,7 \cdot 10^3 N$	Podél celé řezné hrany břitu
ZS3	Rypná i trhací síla	Podél celé řezné hrany břitu
ZS4	Rypná síla	Kraj řezné hrany břitu
ZS5	Trhací síla	Kraj řezné hrany břitu
ZS6	Rypná i trhací síla	Kraj řezné hrany břitu
ZS7	Maximální moment HM - $M_{MAX} = 80000 Nm$	-
ZS8	Zatížení materiálem při převozu	-
ZS9	Náraz do materiálu	-

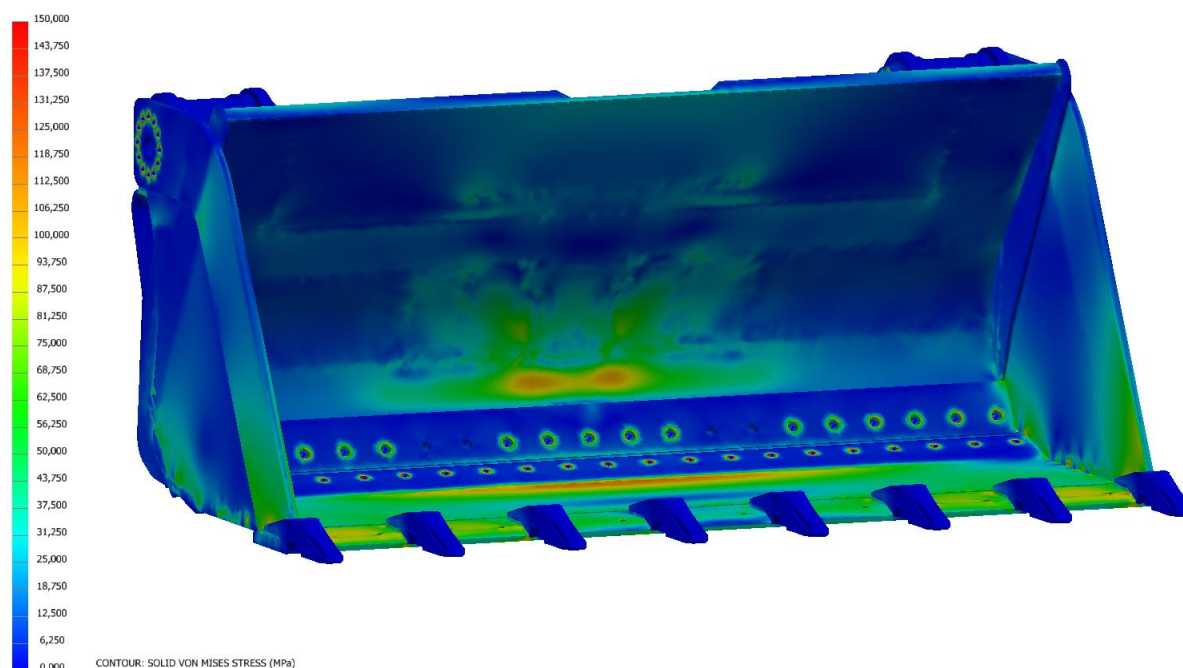
Tab. 4: Zatěžovací stavy lopaty 4v1

9.3 VÝSLEDKY MKP, ZS1 – ZS6

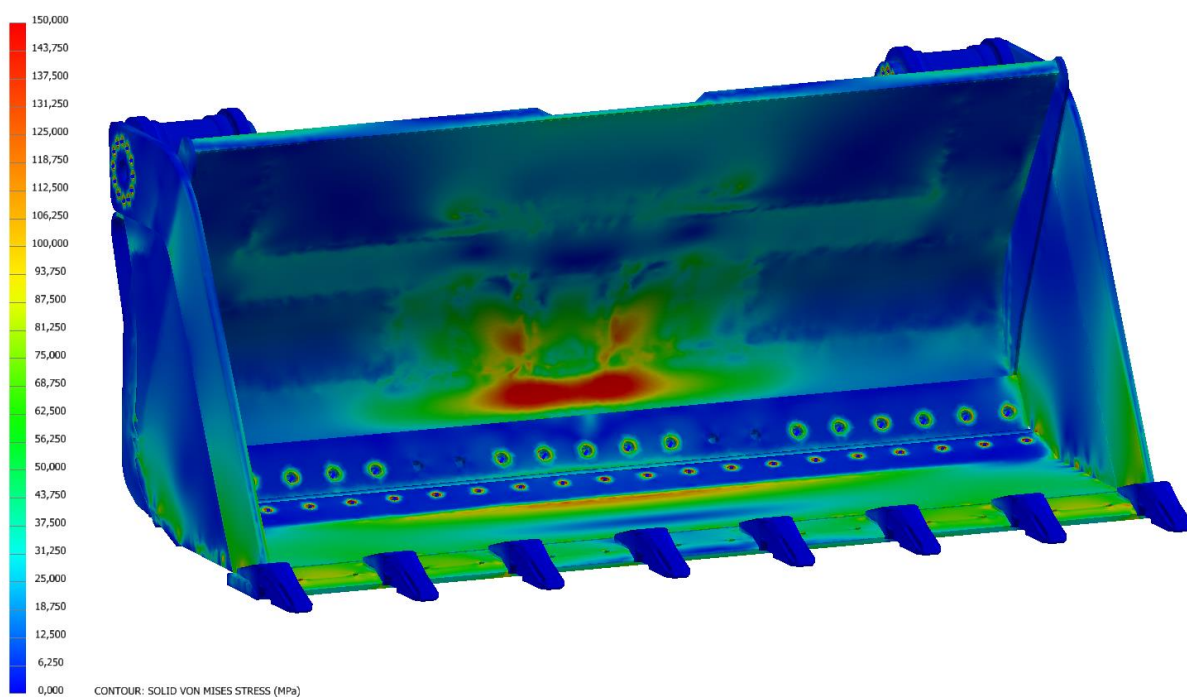
Zobrazeno napětí dle HMH:



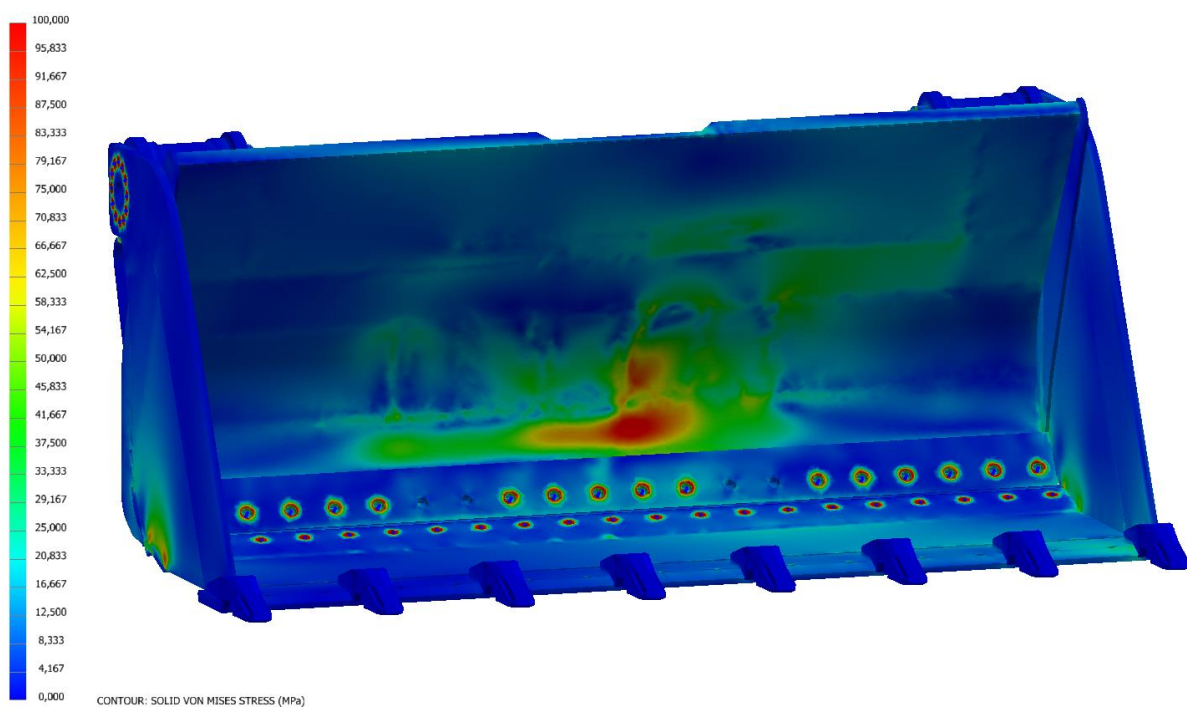
Obr. 41: ZS1, maximální napětí 79,396 MPa, maximální deformace 2,46 mm. Legenda 0–100 MPa



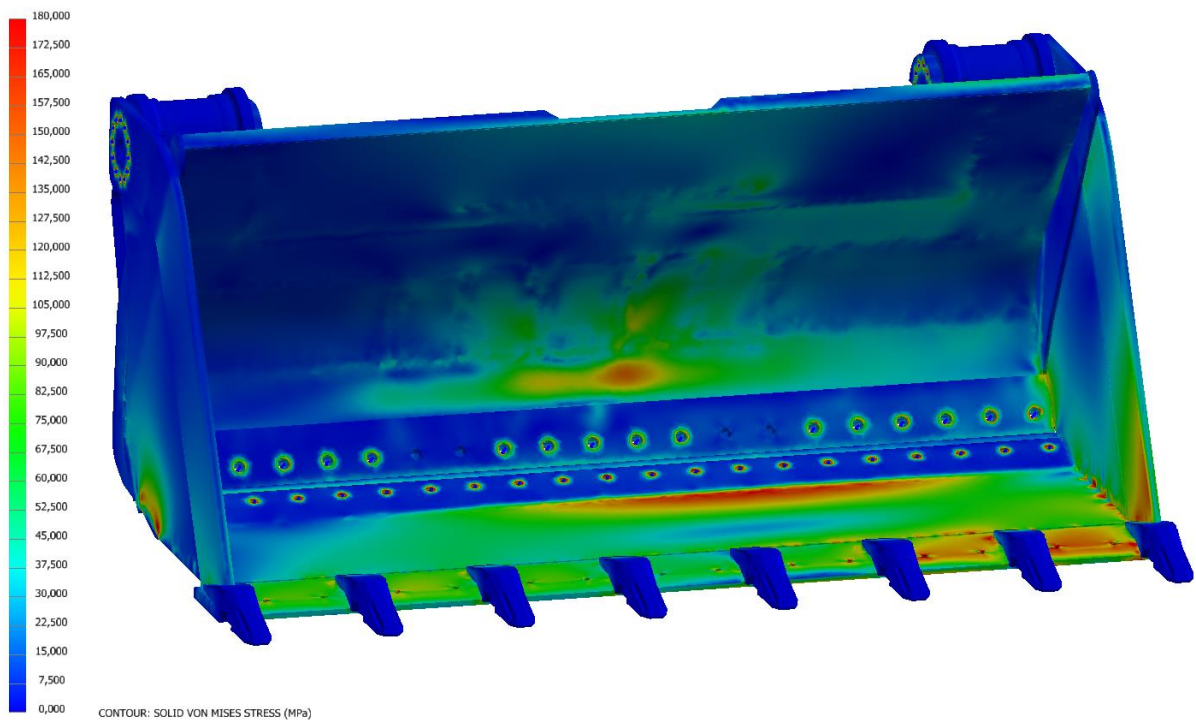
Obr. 42: ZS2, maximální napětí 121,667 MPa, maximální deformace 2,957 mm. Legenda 0–150 MPa



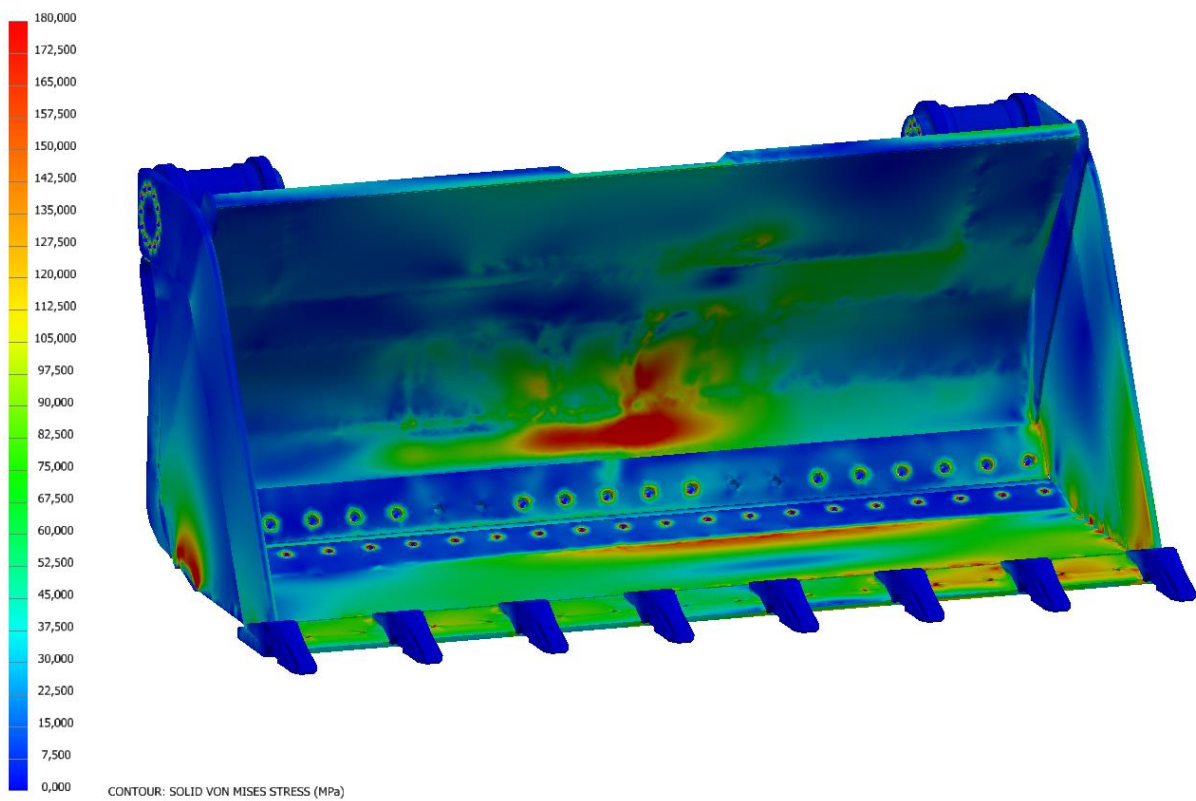
*Obr. 43: ZS3, maximální napětí 152,335 MPa, maximální deformace 3,217 mm.
Legenda 0–150 MPa*



*Obr. 44: ZS4, maximální napětí 92,462 MPa, maximální deformace 2,598 mm.
Legenda 0–100 MPa*

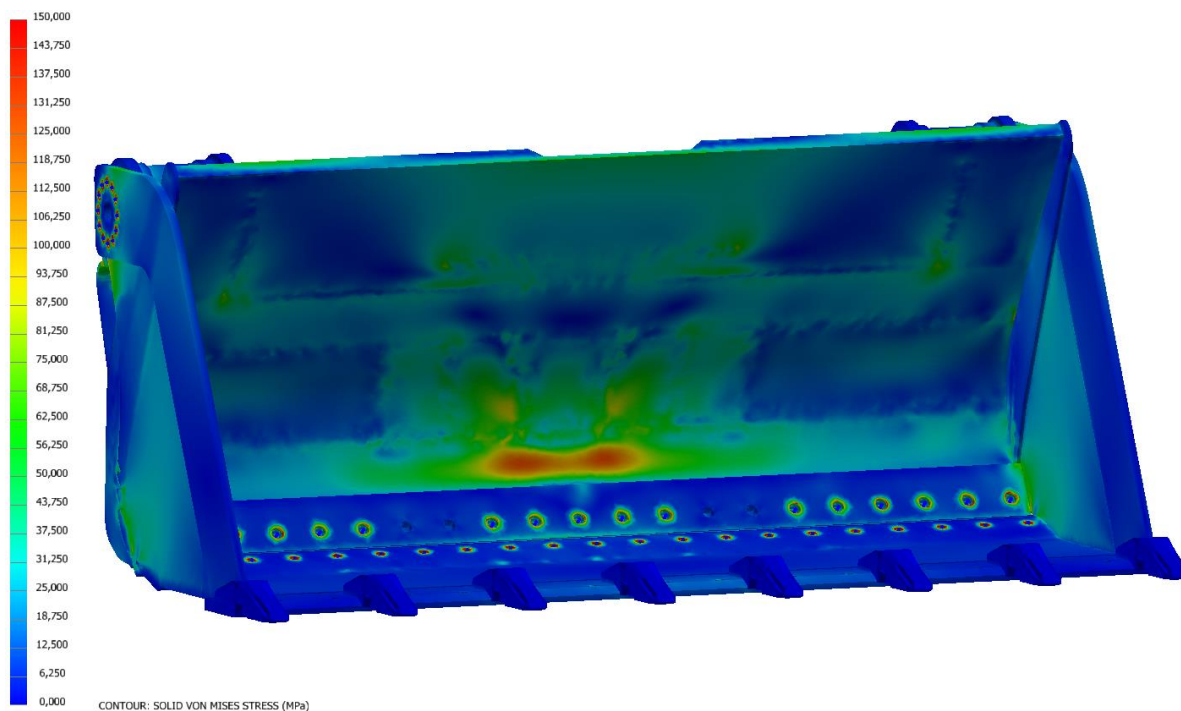


*Obr. 45: ZS5, maximální napětí 167,721 MPa, maximální deformace 3,495 mm.
Legenda 0–180 MPa*

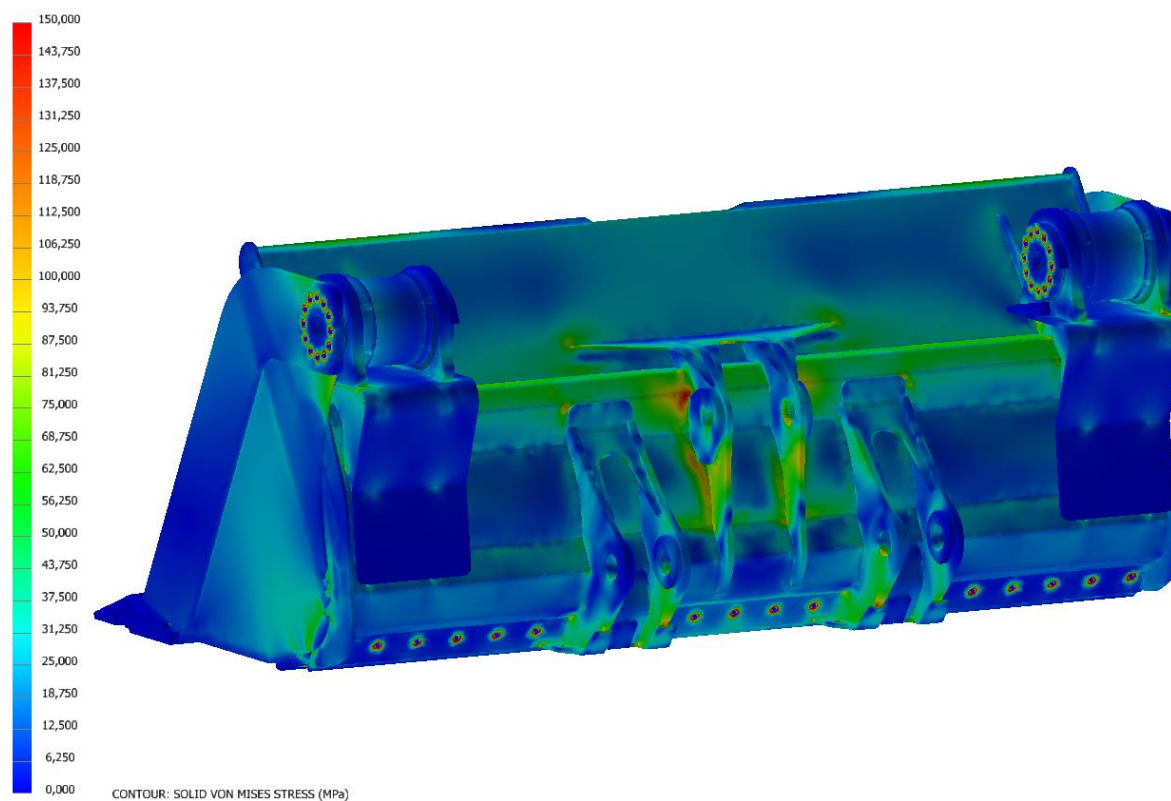


*Obr. 46: ZS6, maximální napětí 184,923 MPa, maximální deformace 13,945 mm.
Legenda 0–180 MPa*

9.4 VÝSLEDKY MKP, ZS7

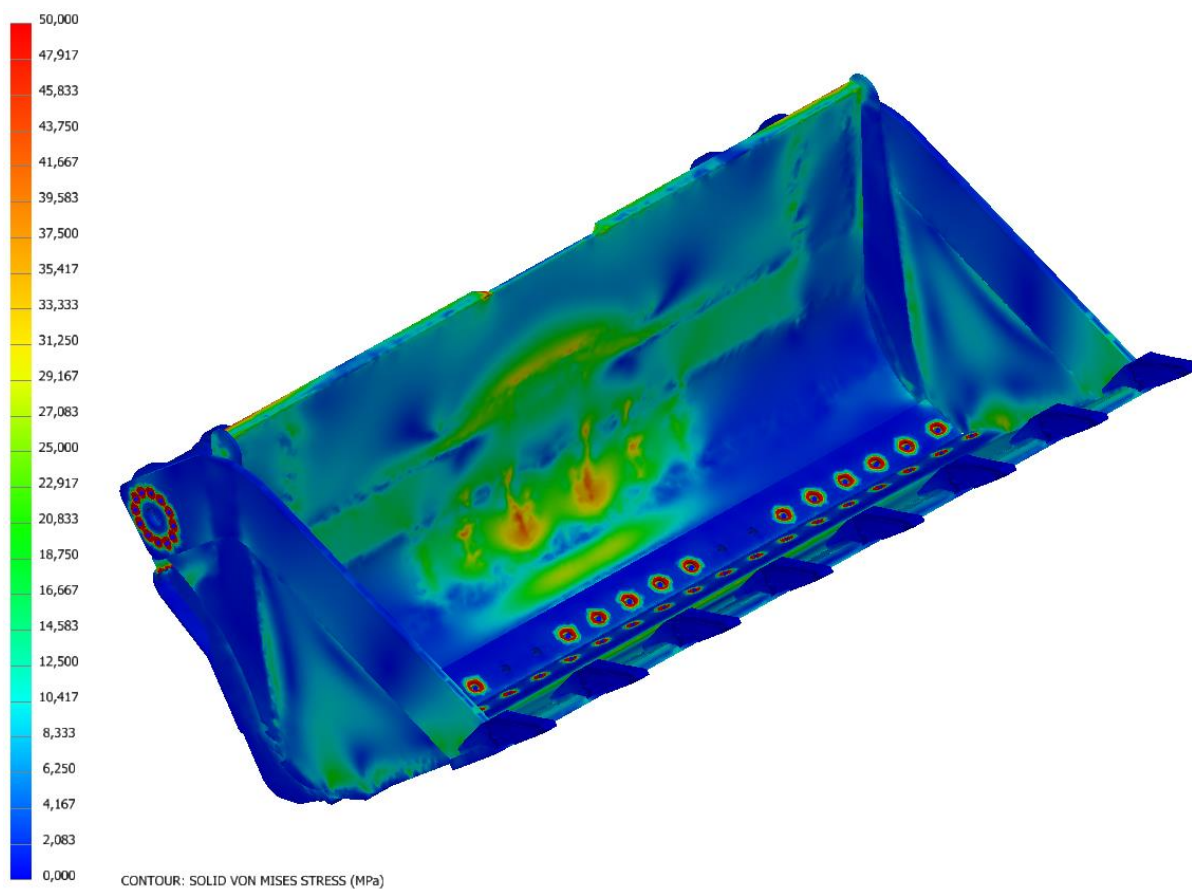


*Obr. 47: ZS7, maximální napětí 123,751 MPa, maximální deformace 2,013 mm.
Legenda 0–150 MPa*



*Obr. 48: ZS7, maximální napětí 123,751 MPa, maximální deformace 2,013 mm.
Legenda 0–150 MPa*

9.5 VÝSLEDKY MKP, ZS8

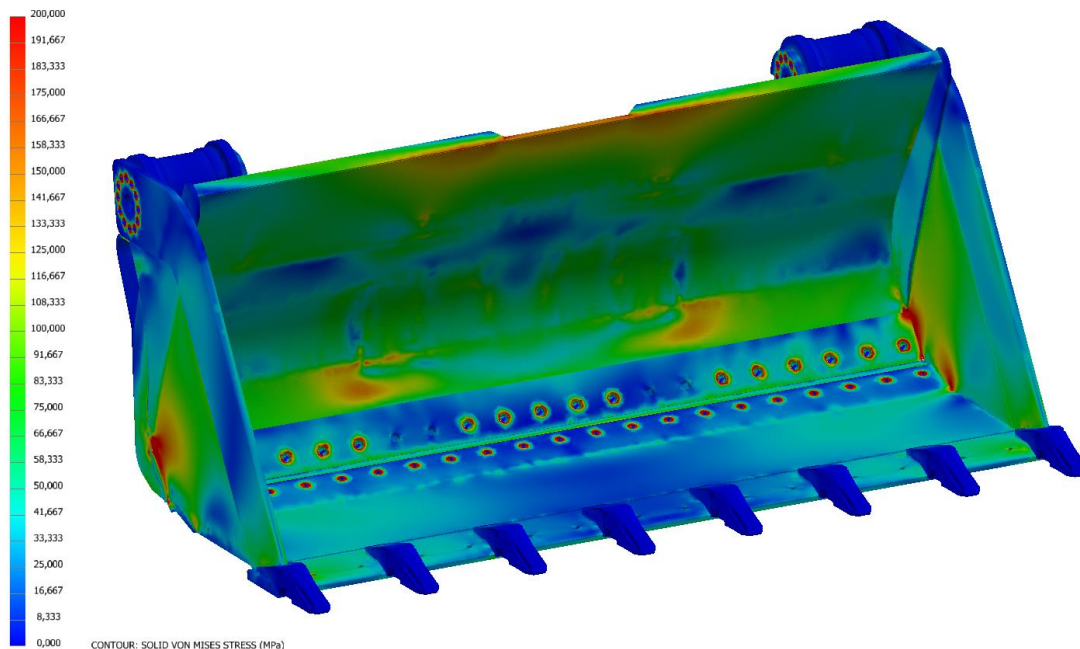


*Obr. 49: ZS8, maximální napětí 58,693 MPa, maximální deformace 2,119 mm.
Legenda 0–50 MPa*

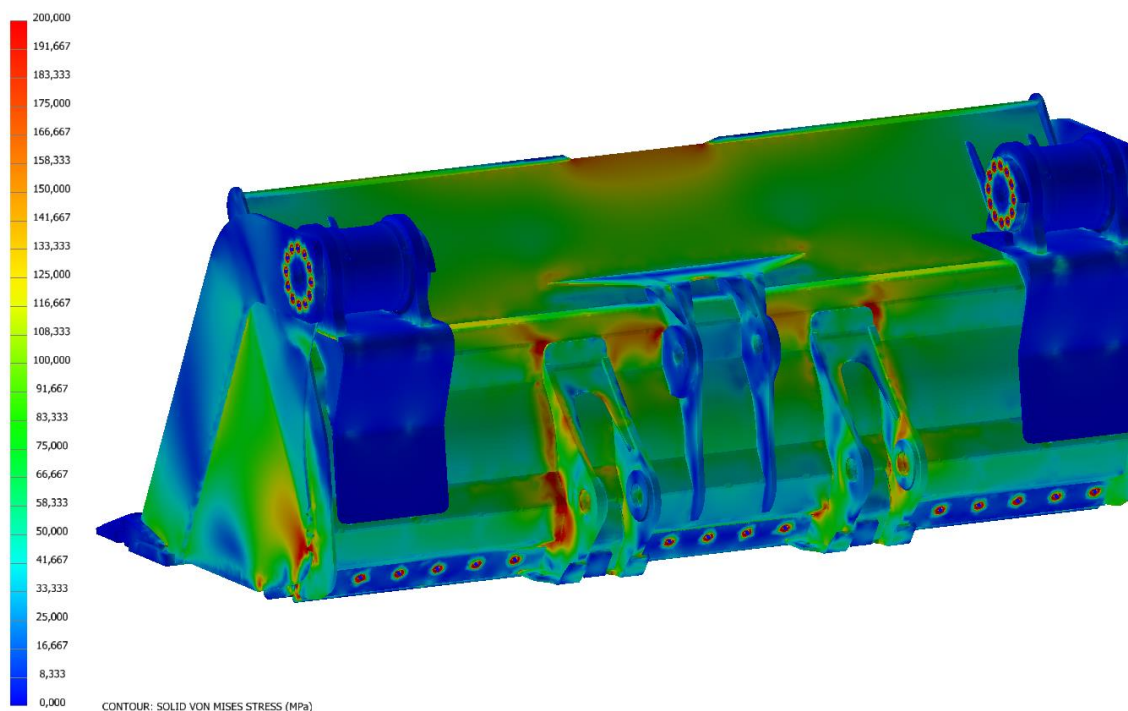
Pro tento typ výpočtu byl objem materiálu obsažený v lopatě nahrazen hydrostatickým tlakem.

9.6 VÝSLEDKY MKP, ZS9

Zatěžovací stav 9 symbolizuje ztrátu nad kontrolou stroje a najetí do materiálu ve velké rychlosti, zatížení materiálem bylo opět nahrazeno hydrostatickým tlakem.



*Obr. 50: ZS9, maximální napětí 355,829 MPa, maximální deformace 38,06 mm.
Legenda 0–200 MPa*



*Obr. 51: ZS9, maximální napětí 355,829 MPa, maximální deformace 38,06 mm.
Legenda 0–200 MPa*

9.7 DISKUSE VÝSLEDKŮ PEVNOSTNÍ ANALÝZY

MKP analýza ukázala vlivy různých druhů zatížení na lopatu 4v1. Druhy zatížení jsou velice proměnné v reálném provozu a důležitá je i jejich četnost. Zatěžovací stavy ZS1 až ZS3 jsou velice časté a odpovídají běžnému provozu lopaty 4v1. Jejich pevnostní analýza taky nedosahuje žádných vyšších napětí. Zatěžovací stavy ZS4 až ZS6 poukazují na zatížení přímo na kraji lopaty, k tomuto druhu zatížení by nemělo docházet tak často jako u předchozích stavů. Můžeme si povšimnout, že velikosti napětí se značně zvýšily. U zatěžovacího stavu ZS7 byl kontrolován přenos napětí do konstrukce, vyvolaný rotačními hydromotory. K tomuto stavu bude docházet takřka neustále, velikost napětí není nikterak vysoká. Naprosto stejně je tomu i u stavu ZS8, při převozu materiálu. Posledním stavem – ZS9, byl simulován náraz do materiálu. Tento stav by v běžném provozu neměl nikdy nastat. Velikost napětí je zde ze všech stavů také největší: $\sigma_{MAXZS9} = 355,83 \text{ MPa}$.

Toto napětí je dosaženo v oblasti zavěšení lopaty, kde se nachází svár mezi zavěšením a spodním podélníkem. Pro toto místo bude vypočítán koeficient bezpečnosti K.

$$K = \frac{Rp_{0,2-710M}}{\sigma_{MAXZS9}} \quad (29)$$

$$K = \frac{460}{355,829}$$

$$K = 1,3$$

kde: K – koeficient bezpečnosti lopaty 4v1 při nárazu do materiálu [-]
 $Rp_{0,2-710M}$ – mez kluzu svařovaného materiálu 710M [18] [MPa]
 σ_{MAXZS9} – maximální napětí zjištěné z MKP analýzy [MPa]

ZÁVĚR

Na začátku této práce je utvořen krátký rešeršní rozbor o současných lopatách, které jsou dostupné na trhu jako přídatné zařízení pro kolový nakladač, tato zařízení popsána podle jejich charakteristických vlastností. Dále byly rozpracovány nejčastější druhy materiálů a krátké informace o zvoleném stroji.

V další části je utvořen vlastní koncepční návrh zařízení. Při vytváření bylo přihlédnuto k rešeršní části a mým vlastním poznatkům, které mi pomohly utvořit počáteční formu práce. Po konzultacích s vedoucím práce a ve firmě Renomag s.r.o. byly některé návrhy vylepšeny nebo kompletně předělány. Výsledkem je multifunkční lopata 4v1 ovládaná pomocí dvojice rotačních hydromotorů, s výklopnou částí uloženou vně radlice. Lopata je svým zavěšením přizpůsobena rozměrovým charakteristikám nakladači VOLVO L150 H, při použití přímého čepování. Potom se od strojníka očekává připojení rychlospojek hadic lopaty na vedlejší hydraulický okruh stroje, určený pro přídatná zařízení. Při navrhování byl brán ohled na jednoduchost montáže lopaty, co nejmenší nároky na údržbu a samozřejmě na životnost. Toho je docíleno volbou rotačních hydromotorů a použitím kvalitních otěruvzdorných materiálů. Lopata svými propozicemi dosahuje několika klíčových vlastností jako je možnost práce s velice prašnými a abrazivními materiály nebo s bahnitými a jílovitými látkami, a to bez poškození nebo omezení funkce nejen komponentů hydraulického obvodu. Dle MKP analýzy by lopata měla obstát i v kritických zatíženích.

V práci jsou popsány jednotlivé části zařízení, je odůvodněna jejich potřeba a vysvětlen jejich účel a funkce na zařízení. 3D model byl vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2023, stejně tak i výkresy. Pevnostní analýza byla provedena v MKP nástavbovém řešiči Autodesk Nastran. Výsledná práce odpovídá zadání s maximální šířkou přes břit 3200 mm a jmenovitým objemem cca 4 m³.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] STANDARDNÍ LOPATA, Renomag spol. s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: https://www.renomag.cz/static/_user/uploads/galerie/0/lopata-renomag-st-kolovy-nakladac-volvo-1.bxm2y.jpg
- [2] ZESÍLENÁ LOPATA, Renomag spol. s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: https://www.renomag.cz/static/_user/uploads/galerie/0/lopata-renomag-hd-liebherr-566-5.ckpis.jpg
- [3] SKALNÍ LOPATA, Renomag spol. s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: https://www.renomag.cz/static/_user/uploads/galerie/0/lopata-renomag-xhd-cat-980g-2.rjo8u.jpg
- [4] VYSOKOVÝKLOPNÁ LOPATA, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/04/Lopata-vysokovyklopna00011.jpg>
- [5] ROŠTOVÁ LOPATA, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/12/44.-RO%C5%A0TOV%C3%81-LOPATA-2.png>
- [6] ROŠTOVÁ LOPATA S PŘIDRŽOVAČEM, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/04/Lopata-rostova00002.jpg>
- [7] BOČNĚ VÝSUVNÁ LOPATA, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/12/Bocnevysuvna-lopata00001.jpg>
- [8] BOČNĚ VÝKLOPNÁ LOPATA, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/04/Lopata-s-bocnim-vyklopem00003.jpg>
- [9] MÍCHACÍ LOPATA, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: <https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/12/Michaci-lopata00001.jpg>
- [10] LOPATA S PŘIDRŽOVAČEM PELIKAN, EBF s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: https://ebf-cz.com/wp-content/uploads/2019/04/IMG_3776.jpg
- [11] VÍCEÚČELOVÁ LOPATA 4 V 1, Renomag spol. s.r.o. In: *přídavná zařízení* [online]. 2022 [cit. 2022-10-16]. Dostupné z: https://www.renomag.cz/static/_user/uploads/galerie/0/lopata-renomag-4v1-hardox-pro-komatsu-wa470-9.5rc9y.JPG



- [12] OBJEMOVÉ HMOTNOSTI MATERIÁLŮ, MZPD In: *objemová hmotnost* [online]. 2023 [cit. 2023-2-12]. Dostupné z: <https://mzpd.cz/objemova-hmotnost-materialu/>
- [13] OBJEMOVÉ HMOTNOSTI MATERIÁLŮ, Rulmeca In: *catalog bulk technical information* [online]. 2023 [cit. 2023-2-12]. Dostupné z: https://www.rulmeca.com/download/catalogo/macrofamiglia_eng/1_Catalog_Bulk_Technical_Information_EN
- [14] TECHNICAL SPECIFICATION VOLVO L150H, Volvo In: *large wheel loader* [online]. 2023 [cit. 2023-2-12]. Dostupné z: <https://www.volvoce.com/europe/en/products/wheel-loaders/l150h/#specifications>
- [15] NAKLÁPĚCÍ HLAVA – ŘEZ, Bagry.cz In: *řez hydromotorem* [online]. 2023 [cit. 2023-4-12]. Dostupné z: https://bagry.cz/var/ezwebin_site/storage/images/clanky/vystavy/expo_lesni_lom_2018_fotoreportaz/naklapeci_hlava_rez_hydromotorem/5362776-1-cze-CZ/naklapeci_hlava_rez_hydromotorem.jpg
- [16] KAŠPÁREK, Jaroslav. Výpočet řezných a rypných odporů pracovních nástrojů. *Stroje pro zemní práci* [online]. 2023 [cit. 2023-4-18]. Dostupné z: <https://moodle-archiv-2019-2020.ro.vutbr.cz/enrol/index.php?id=233629>
- [17] CONVERTER. Převody jednotek. *Součinitelé smykových tření* [online]. 2023 [cit. 2023-4-18]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/smykove-treni.htm>
- [18] Materiálový list Zander W – Megafil 710 M. In *WIRPO s.r.o.* [online]. 2023 [cit. 2023-4-26]. Dostupné z: <https://www.wirpo.cz/pridavne-materialy/produkty/176/>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

A	[mm]	Celková délka nakladače po břit lopaty
B	[mm]	Celková délka nakladače po spodní čep
b_t	[mm]	Šířka třísky (břitu)
f_{PnB}	[-]	Souč statického smykového tření pryže na betonu
F_{Ryp}	[N]	Rypná síla lopaty 4v1
$F_{tažná}$	[N]	Tažná síla stroje s nástrojem
F_{Tr}	[N]	Trhací síla pro obecnou lopatu 4 m ³
F_{Tr4v1}	[N]	Trhací síla pro lopatu 4v1
g	[m·s ⁻²]	Tíhové zrychlení
G_{mS+L}	[N]	Tíhová síla stroje s lopatou 4v1
G_{TM1}	[N]	Tíhová síla části materiálu
G_{TM2}	[N]	Tíhová síla části materiálu při vyklápění
G_{TMC}	[N]	Tíhová síla celkového objemu materiálu
G_{TV}	[N]	Tíhová síla výklopné části
h_t	[mm]	Doporučená výška třísky materiálu
K	[-]	Koeficient bezpečnosti lopaty 4v1 při nárazu do materiálu
L_l	[mm]	Délka od spodního čepu obecné lopaty po umístění trhací síly
L_{4v1}	[mm]	Délka od spodního čepu lopaty 4v1 po umístění trhací síly
M_C	[Nm]	Celkový kroutící moment pro 1 HM
M_{CP1}	[Nm]	Celkový potřebný přídržný moment pro 1 HM - 1. stav
M_{CP2}	[Nm]	Celkový potřebný přídržný moment pro 1 HM - 2. stav
M_{FTr}	[Nm]	Moment trhací síly k spodnímu čepu lopaty
m_H	[kg]	Hmotnost hydromotorů a ostatních prvků
m_{L4v1}	[kg]	Celková hmotnost lopaty 4v1
m_M	[kg]	Hmotnost materiálu
M_{M1}	[Nm]	Vzniklý kroutící moment od části materiálu
M_{M2}	[Nm]	Vzniklý kroutící moment od části materiálu
M_{MC}	[Nm]	Vzniklý kroutící moment od celého materiálu
m_R	[kg]	Hmotnost radlice
m_{S+L}	[kg]	Hmotnost nakladače s lopatou 4v1
m_V	[kg]	Hmotnost výklopné části lopaty

M_V	[Nm]	Vzniklý kroutící moment od výklopné části
m_{VL150H}	[kg]	Hmotnost nakladače Volvo L150 H
$R_{p0,2-710M}$	[MPa]	Mez kluzu svařovaného materiálu 710M
R_{TM}	[mm]	Přímá vzdálenost mezi T_M a osou rotace O_r
R_{TM2}	[mm]	Přímá vzdálenost T_{M2} od osy rotace O_r
$R_{TM2\alpha M2}$	[mm]	Kolmé rameno tíhové síly materiálu
$R_{TM\alpha}$	[mm]	Kolmé rameno tíhové síly materiálu
R_{TV}	[mm]	Přímá vzdálenost mezi T_V a osou rotace O_r
$R_{TV\alpha}$	[mm]	Kolmé rameno tíhové síly výklopné části
S_t	[mm ²]	Plocha třísky materiálu
T_{M2x}	[mm]	Vzdálenost T_{M2} od osy rotace O_r v ose x
T_{M2y}	[mm]	Vzdálenost T_{M2} od osy rotace O_r v ose y
T_{Mx}	[mm]	Vzdálenost T_M od osy rotace O_r v ose x
T_{My}	[mm]	Vzdálenost T_M od osy rotace O_r v ose y
T_{Vx}	[mm]	Vzdálenost T_V od osy rotace O_r v ose x
T_{Vy}	[mm]	Vzdálenost T_V od osy rotace O_r v ose y
V_1	[m ³]	Objem části materiálu výklopné části
V_2	[m ³]	Objem části materiálu při vyklápění
V_C	[m ³]	Celkový objem lopaty
V_L	[m ³]	Objem lopaty
V_N	[m ³]	Objem navršeného materiálu
α_M	[°]	Úhel natočení těžiště T_M vzhledem k poloze lopaty
α_{M2}	[°]	Úhel natočení těžiště materiálu
α_V	[°]	Úhel natočení těžiště T_V vzhledem k poloze lopaty
ρ_P	[kg·m ⁻³]	Objemová hmotnost písku
σ_{MAXZS9}	[MPa]	Maximální napětí zjištěné z MKP analýzy

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Volvo L150H DataSheet

Příloha 2: Dokumentace rotačního hydromotoru

Výkresy: DP-KLUSÁČEK-1-0-0
DP-KLUSÁČEK-1-1-0
DP-KLUSÁČEK-1-2-0
DP-KLUSÁČEK-1-2-1
DP-KLUSÁČEK-1-2-2
DP-KLUSÁČEK-1-2-3
DP-KLUSÁČEK-1-2-4
DP-KLUSÁČEK-1-3-0
DP-KLUSÁČEK-1-4-0
DP-KLUSÁČEK-1-5-0
DP-KLUSÁČEK-1-6-0
DP-KLUSÁČEK-1-7-0
DP-KLUSÁČEK-1-8-0
DP-KLUSÁČEK-1-9-0
DP-KLUSÁČEK-1-10-0
DP-KLUSÁČEK-1-11-0