



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh neseného zařízení pro zlepšení
infiltrace srážkové vody do půdy**

**Design of mounted equipment to improve
the infiltration of rainwater into the soil
layers**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2023

Bc. Martin JELENECKÝ

Studijní program: NDTT DOPRAVNÍ A TRANSPORTNÍ TECHNIKA

Studijní obor: N071TTTE Transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Martin Havlíček



ZADÁNÍ



PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Návrh neseného zařízení pro zlepšení infiltrace srážkové vody do půdy“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Havlíčka, s použitím literatury a zdrojů uvedených na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne

.....

MARTIN JELENECKÝ



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Havlíčkovi za vstřícné konzultace a veškeré věcné poznatky a rady, které mi předal při vedení této diplomové práce. Velký dík také patří rodině za podporu při celém mém studiu na ČVUT.

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Bc. Martin JELENECKÝ
Název DP:	Návrh neseného zařízení pro zlepšení infiltrace srážkové vody do půdy
Anglický název:	Design of mounted equipment to improve infiltration of rainwater into the soil layers
Rok:	2023
Studijní program:	NDTT Dopravní a transportní technika
Obor studia:	N071TTTE Transportní technika
Ústav:	Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP:	Ing. Martin Havlíček
Bibliografické údaje:	počet stran 59 počet obrázků 64 počet tabulek 5
Klíčová slova:	infiltrace srážkové vody, půdní eroze, meziřádková kultivace, hrázkování
Keywords:	infiltration of rainwater, soil erosion, inter-row cultivation, dammer diker process
Anotace:	Tato diplomová práce se věnuje návrhu konstrukce neseného zařízení za traktor pro infiltraci dešťové vody do půdy. Zařízení ve své přední části nakypří půdu, dále pak vytvoří hrázky, ve kterých se drží voda a lépe se vsakuje do půdy. Pohon slupic je zajištěn pomocí rotačního hydromotoru. Na začátku uvádím možná provedení strojů na zpracování půdy. V praktické části sestavuji návrhové výpočty, podle kterých vytvářím konstrukci a následně pak 3D model. V konstrukčních uzlech provádím pevnostní výpočty a kontrolu. Výpočty jsou doplněny o MKP analýzu.
Abstract:	This thesis deals with the design of the construction of a tractor mounted equipment for infiltration of rainwater into the soil layers. The device loosens the soil in its front part, then creates dikes in which water is held and better absorbed. The drive of the swales is provided by a rotary hydraulic motor. At the outset, the possible designs of the tillage machines are listed. In the practical part, I make design calculations, according to which I create a design and then a 3D model. At the structural nodes I perform strength calculations and checking. The calculations are supplemented by FEM analysis.

OBSAH

Seznam zkratk a symbolů	1 -
1. Úvod	3 -
2. Teoretická část práce	4 -
2.1. Zpracování půdy	4 -
2.1.1. Půdní eroze	4 -
2.1.1.1. Vodní eroze	5 -
2.1.2. Opatření proti erozi	6 -
2.2. Širokořádkové plodiny	6 -
2.2.1. Degradace půdy při pěstování kukuřice	7 -
2.3. Půdoochranné technologie zpracování půdy	8 -
2.3.1. Kypření a meziřádková kultivace	8 -
2.3.1.1. Stroje pro mělké kypření půdy	8 -
2.3.1.2. Stroje pro hlubší kypření půdy	10 -
2.3.2. Meziřádková kultivace	11 -
2.3.3. Důlkování a hrázkování	11 -
2.4. Zařízení pro zpracování půdy a infiltraci vody mezi řádky	12 -
2.5. Pracovní nástroje	14 -
2.5.1. Radličky a dláta	14 -
2.5.2. Talíře	14 -
2.5.3. Válce	15 -
2.6. Tříbodový závěs	17 -
2.6.1. Složení tříbodového závěsu traktoru	19 -
2.7. Hydromotory	20 -
2.7.1. Rotační hydromotory	20 -
2.7.1.1. Zubové hydromotory	20 -
2.7.1.2. Pístové hydromotory	21 -
2.7.1.3. Lamelové hydromotory	22 -
2.7.2. Přímočaré hydromotory	22 -
2.7.2.1. Jednočinné přímočaré hydromotory	23 -
2.7.2.2. Dvočinné přímočaré hydromotory	23 -
3. Praktická část diplomové práce	24 -
3.1. Zadání práce	24 -
3.2. Popis návrhu konstrukce	24 -
3.2.1. Rám	26 -
3.2.2. Opěrná kolečka a podpěrná noha	29 -
3.2.3. Radličky	30 -
3.2.4. Hrázkovací jednotka	30 -
3.2.5. Pohonný mechanismus	31 -
3.2.5.1. Tyče se svěrným spojením	32 -
3.3. Výpočty vybraných uzlů	32 -
3.3.1. Návrh páky hrázkovací jednotky	33 -
3.3.2. Výpočet potřebného kroutícího momentu hydromotoru	36 -



3.3.3.	Parametry hydromotoru.....	- 37 -
3.3.4.	Svěrný spoj	- 38 -
3.3.5.	Hřídel.....	- 39 -
3.3.6.	Hertzovy tlaky	- 43 -
3.4.	Pevnostní kontrola při pracovním zatížení	- 44 -
3.4.1.	Rám	- 44 -
3.4.1.1.	Síťování rámu.....	- 44 -
3.4.1.2.	Zatížení a uchycení rámu	- 45 -
3.4.1.3.	Výsledky pevnostní analýzy rámu	- 46 -
3.4.1.4.	Úprava rámu	- 47 -
3.4.2.	Slupice	- 50 -
3.4.2.1.	Síťování slupice	- 51 -
3.4.2.2.	Zatížení a uchycení slupice.....	- 52 -
3.4.2.3.	Výsledek pevnostní analýzy slupice.....	- 52 -
4.	Závěr.....	- 54 -
	Seznam použité literatury	- 55 -
	Seznam obrázků	- 58 -
	Seznam tabulek	- 59 -
	Seznam příloh.....	- 59 -

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka	Význam	
<i>MKP</i>	Metoda konečných prvků	
<i>FEM</i>	Finite element method	
ČSN	Česká státní norma	
<i>ISO</i>	Mezinárodní organizace pro normalizaci	

Symbol	Význam	Jednotky
α	Úhel natočení páky	[°]
y	Možný zdvih páky	[mm]
M_P	Moment pravé strany páky	[Nm]
M_L	Moment levé strany páky	[Nm]
F_1	Vzniklá odporová síla na páce	[N]
F_p	Síla pružiny	[N]
T_s	Tíha slupice	[N]
l_1	Rameno působící tíhy slupice od osy otáčení	[mm]
l_2	Rameno působící síly F_1 od osy otáčení	[mm]
l_3	Rameno působící síly pružiny od osy otáčení	[mm]
R_p	Reakce čepu v podpoře	[N]
b_p	Tloušťka plechu hrázkovací jednotky	[mm]
c_p	Délka pouzdra páky	[mm]
$d_{\check{c}}$	Průměr čepu	[mm]
$l_{\check{c}}$	Výpočetní délka čepu	[mm]
$M_{O\check{c}}$	Ohybový moment čepu	[N · mm]
$\sigma_{O\check{c}}$	Ohybové napětí čepu	[N · mm ⁻²]
$W_{O\check{c}}$	Ohybový modul průřezu čepu	[mm ³]
$\sigma_{D\check{c}}$	Dovolené ohybové napětí čepu	[N · mm ⁻²]
$R_{e\check{c}}$	Mez kluzu čepu	[N · mm ⁻²]
$k_{\check{c}}$	Koeficient bezpečnosti čepu	[-]
$S_{\check{c}}$	Plocha průřezu čepu	[mm ²]
$\tau_{\check{c}}$	Smykové napětí čepu	[N · mm ⁻²]
$\tau_{D\check{c}}$	Dovolené smykové napětí čepu	[N · mm ⁻²]
$p_{\check{c}}$	Tlak na čepu	[MPa]
p_D	Dovolený tlak na otláčení	[MPa]
l_{h-p}	Vyosení páky od hřídele	[mm]
r_t	Poloměr otáčení tyče od středu hřídele	[mm]
n_t	Vzdálenost tyče od středu hřídele	[mm]
β	Úhel natočení tyče svěrného spoje	[°]
F_{h1}	Potřebná hnací síla jednotky	[N]
F_{h1x}	Vodorovná složka hnací síly jednotky	[N]
F_{h1y}	Svislá složka hnací síly jednotky	[N]
M_{h1}	Potřebný hnací moment jedné hrázkovací jednotky	[N · m]
M_{h2}	Potřebný hnací moment dvou hrázkovacích jednotek	[N · m]
n_{max}	Maximální otáčky hydromotoru	[min ⁻¹]
Q_{ot}	Maximální průtok vnějšího okruhu hydrauliky traktoru	[l/min]

V_g	Geometrický objem hydromotoru	$[cm^3]$
P_{HM}	Výkon hydromotoru	$[kW]$
$\eta_c hydr.$	Celková účinnost hydrauliky	$[-]$
p_{ot}	Tlak vnějšího okruhu hydrauliky traktoru	$[MPa]$
M_{kHM}	Kroutící moment hydromotoru	$[N \cdot m]$
M_{kmax}	Maximální možný kroutící moment hydromotoru	$[N \cdot m]$
k_{sv}	Koeficient přenosu kroutícího momentu	$[-]$
M_{sv}	Svěrný kroutící moment spoje	$[N \cdot m]$
f_{sv}	Součinitel tření svěrného spoje	$[-]$
d_h	Průměr centrální hřídele	$[mm]$
N_{sv}	Normálová síla svěrného spoje	$[N]$
$F_{o\check{s}}$	Potřebná osová síla jednoho šroubu	$[N]$
M_{Oh}	Ohybový moment hřídele	$[N \cdot mm]$
σ_{Oh}	Ohybové napětí hřídele	$[N \cdot mm^{-2}]$
W_{Oh}	Ohybový modul průřezu hřídele	$[mm^3]$
W_{kh}	Průřezový modul hřídele v krutu	$[mm^3]$
τ_{kh}	Napětí hřídele v krutu	$[N \cdot mm^{-2}]$
σ_{redh}	Celkové redukované napětí hřídele	$[N \cdot mm^{-2}]$
α_{HMH}	Součinitel přepočtu redukovaného napětí	$[-]$
σ_{Dh}	Dovolené napětí hřídele	$[N \cdot mm^{-2}]$
σ_{Kh}	Mez kluzu hřídele	$[N \cdot mm^{-2}]$
k_h	Koeficient bezpečnosti hřídele	$[-]$
I_{ph}	Polární modul průřezu hřídele	$[mm^4]$
G_h	Modul pružnosti ve smyku	$[N \cdot mm^{-2}]$
ϑ_h°	Úhel zkrutu hřídele	$[\circ]$
R	Společný poloměr kontaktu	$[mm]$
r_{tr}	Poloměr tyče svěrného spoje	$[mm]$
r_k	Poloměr kladky na páce	$[mm]$
E	Modul pružnosti	$[N \cdot mm^{-2}]$
p_o	Kontaktní tlak mezi tělesy	$[MPa]$
σ_{Fl}	Tlaková mez kluzu	$[N \cdot mm^{-2}]$
l_4	Rameno jedné působící síly na hřídeli	$[mm]$
l_5	Rameno druhé působící síly na hřídeli	$[mm]$
k_{sv}	Koeficient bezpečnosti svaru	$[-]$
σ_{ram}	Napětí v rámu	$[N \cdot mm^{-2}]$
α_τ	Součinitel anizotropie koutového svaru	$[-]$

1. Úvod

Vývoj zemědělství se od motyk a rýčů postupně přesunul k zařízením tažených dobyt看em a později k traktorům, které zemědělcům usnadňují práci. Vývoj šel velmi rychle kupředu, proto se v dnešní době prodává řada nejrůznějších specializovaných strojů, které jsou vyrobeny přesně na míru a pro konkrétní požadavky jednotlivých operací. S rostoucím tlakem na ekologii a na udržitelnost krajiny, kdy se projevil nedostatek vody v krajině a značná sucha, se dostaly do povědomí zemědělců moderní postupy hospodaření a s tím spojený pojem precizního zemědělství. Patří sem technologie zakládání porostu do meziplodiny, meziřádková kultivace půdy, snižování aplikace ochranných prostředků pesticidů a herbicidů, přesné ukládání osiva do půdy apod. Pro tyto nové technologické postupy obhospodařování půdy je zapotřebí přizpůsobit i zemědělskou techniku.

Cílem práce je navrhnout vhodnou a odolnou konstrukci neseného zařízení pro zlepšení vsakování srážkové vody v meziřádku širokořádkových plodin a pro zamezení eroze půdy, tedy vytvořit vhodný nástroj, který zvládne nakypřit celistvou udusanou půdu a v ní udělat libovolně nastavitelný důlek pro lepší vsakování srážkové vody do půdy. Stroj je sestaven ve spolupráci s Výzkumným ústavem zemědělské techniky v Praze (VÚZT).

V práci bude na základě rešerše používaných zařízení pro zlepšení infiltrace vody do půdy vytvořen návrhový model, provedena MKP analýza vybraných prvků a výpočty jednotlivých konstrukčních uzlů. Bude také připraven 3D model k výrobě prototypu.

V práci budou aplikovány hypotézy a znalosti získané po dobu mého studia.

2. Teoretická část práce

V této části práce je na úvod snaha popsat pojmy související se zpracováním půdy. Je řešena problematika degradace půdy při erozi, zejména té vodní. Zmiňuji celou řadu variant protierozních opatření. Dále specifikuji erozi u širokořádkových rostlin. Vyjmenovávám řadu půdoochranných technologií zpracování půdy, z nichž některé detailně rozebírám. Popisuji technologie kypření, meziřádkové kultivace, důlkování a hrázkování. U vybraných technologií jsou pro názornost přidány obrázky používaných strojů a informace o dostupných zařízeních pro infiltraci srážkové vody. V druhé polovině teoretické práce jsou popsány osazované pracovní nástroje strojů na zpracování půdy. Jedná se o varianty pracovních nástrojů a také o druhy jištění.

Součástí konstrukce je pak tříbodový závěs, proto se dále zaměřuji na jeho konstrukci na traktor i přípojném zařízení. Dle normy specifikuji rozdělení výkonových kategorií a rozměry tříbodového závěsu. Konec této části uzavírá rešerše možných provedení a variant hydromotorů s jejich využitím.

2.1. Zpracování půdy

Významným prvkem života je úrodná půda. Je to pevná vrstva na zemském povrchu složená z minerálních částic, organických látek, živých organismů, vody a vzduchu. Jedná se o zdroj obživy, o místo, kde lze pěstovat rostliny k výrobě potravin a krmiv pro hospodářská zvířata. Proto bychom se o ni měli starat a šetrně s ní zacházet. S tím souvisí i vhodné zpracování půdy. [1]

Nejdůležitější činností v zemědělství, konkrétně v rostlinné výrobě, je právě zpracování půdy. Lze mluvit o nejrůznějších činnostech, jako je obracení, kypření, rovnání povrchu nebo utužování. Postupy zpracování půdy a zakládání porostu se odvíjejí od cíle, který očekáváme. V posledních letech je kladen důraz na péči o půdní prostředí, vytvoření maximálního výnosu při minimalizaci poškozování a nadbytečného zpracování půdy, které vede k destrukci půdního reliéfu a nadměrnému vysychání, dále je pak snaha o snížení energetického úsilí a ekonomických nákladů oproti konvenčnímu způsobu obhospodařování půdy. [1]

Nepříznivým efektem při zpracování půdního bloku je zejména půdní eroze.

2.1.1. Půdní eroze

Samotný pojem eroze značí přirozený proces rozrušování a přemístění objektů na zemském povrchu jako je půda, hornina nebo skaliska, na které působí vítr, voda, sníh, led, pohyblivé částičky apod. Eroze je součástí přírodního cyklu a může být prospěšná, ovšem nejedná-li se o zvýšenou erozi odnosu půdy způsobenou činností člověka. [6]

Existuje celá řada faktorů, které ovlivňují míru eroze. Některé lze ovlivnit, a tedy v krajině minimalizovat, ovšem některé jsou zcela nezastavitelné. Mezi základní druhy eroze patří gravitační, vodní, větrná, eroze působením sněhu a ledu nebo biologická.

V zemědělství největší roli hraje vodní eroze a v malé míře také větrná eroze.

2.1.1.1. Vodní eroze

Přímý dopad dešťových kapek a povrchový odtok vody vyvolává vodní erozi, zobrazena na obrázku 1. Intenzita vodní eroze závisí na charakteru srážek, půdním poměru, morfologii území (sklon, délka a tvar svahů), na vegetačním rozmístění včetně použitých agrotechnologií. [3]



Obrázek 1: Působení vodní eroze na poli [30]

Voda dopadá na povrch půdy a rozbíjí ji na jemné půdní částice. Tím se snižuje pórovitost horní vrstvy a voda se akumuluje na povrchu. Uvolněné částice se stávají součástí povrchové vody a při velkém množství srážek odtékají pryč z pozemku. Důsledkem odtoku velkého množství vody v drahách vzniká rýhování a vytváření hlubokých výmolů. Voda teče do níže položených míst s menším sklonem, kde se ukládají jemné půdní částice. Z hlediska objemu splavenin jsou nejvíce náchylné na smyv orné půdy. [2, 3]

Při dopadu vody na povrch dochází k rozstříku vody, ten způsobuje znečištění rostlin a přenos bakteriálních a houbových chorob z půdy. Rozstřík závisí na mnoha faktorech, ale hlavně na kinetické energii kapek, kterou definoval Auerswald na základě intenzity srážek, tabulka 1. [2]

Tabulka 1: Kinetická energie dešťových kapek [2]

kategorie srážky	Intenzita (mm/h)	průměr dešťových kapek (mm)	pádová rychlost (m/s)	kinetická energie kapek (kJ/(m ² /h))
mlha	0,1	0,01	0,003	10 ⁻⁶
mžení	0,2	0,10	0,200	10 ⁻³
mrholení	0,5	1,00	4,200	10 ⁰
slabý déšť	1,0	1,20	4,900	10 ¹
střední déšť	4,0	1,60	5,800	10 ²
silný déšť	15,0	2,10	6,900	10 ³
bouřky	100	3,00	8,400	10 ⁴

2.1.2. Opatření proti erozi

Zásady ochrany vycházejí ze znalosti příčin erozních jevů. Základem protierozních opatření je modifikace pozemků delší stranou ve směru vrstevnice, zvolení vhodného tvaru a velikosti parcely. Důležitý je také posun podmítky do období s nižším výskytem přivalových dešťů, včasný termín výsevu, výsev víceletých pícnin do krycí plodiny, minimalizace pěstování širokořádkových rostlin na svažitéch pozemcích, zařazování bezorebně setých plodin, dále pak neponechávat půdu po sklizni v holém stavu, pásové střídání plodin na pozemku nebo vytváření protierozních prvků na poli i v krajině. [3, 4]

2.2. Širokořádkové plodiny

Jde o plodiny, které mají větší rozteč řádků než klasické obilniny. Ty se běžně sejí v řádcích od sebe maximálně 15 cm. Nejvíce rozšířenou širokořádkovou plodinou je kukuřice, secí stroje jsou standardně nastavovány na rozteč řádku 75 cm, řepa pak pouze na 45 nebo 50 cm a brambory se sázejí v hrůbcích v rozteči mezi sebou okolo 70 cm, další širokořádkové plodiny jsou sója, slunečnice a čirok.

2.2.1. Degradace půdy při pěstování kukuřice

Nejproblematictější plodinou, co se týče vzniku eroze, je jednoznačně kukuřice, obrázek 2. To je způsobeno jednak nízkým tempem vývoje ve fázi růstu a velkou roztečí řádků. Dalším faktorem je pozdní výsev v období, kdy začínají narůstat srážky s vyšší intenzitou. Tomu nenapomáhají ani suchá jara. To se odráží na zpomalení klíčivosti a prodloužení růstu rostlin. A vliv má i vysušení horní vrstvy půdy, která při intenzivnějším dešti nedokáže vstřebat potřebné množství vody, obrázek 3. Pozdní setí kukuřice, a tedy dlouhé meziorostní období, vede k větrné erozi a ve spolupráci se suchem může docházet k významnému transportu jemných částic z půdního bloku. [2]



Obrázek 2: Degradace úrodné půdy na poli s kukuřicí [25]



Obrázek 3: Vznik vodního škráloupu na povrchu půdy v meziřádku kukuřice [26]

2.3. Půdoochranné technologie zpracování půdy

To jsou takové postupy zpracování půdy, které chrání proti erozi. Při nich zůstává více než 30 % povrchu půdy zakryto posklizňovými zbytky. Převážně pracují s vlastnostmi půdy a zachovávají úrodnost a využití půdy. [2, 4]

Nejnáchylnější na erozi je půda bez vegetačního pokryvu, proto se zemědělci snaží minimalizovat toto období ponecháním posklizňových zbytků a setím meziplodin v období náchylném na vodní erozi půdy.

Mezi již odzkoušené půdoochranné technologie patří mělké kypření, náhrada orby hlubším kypřením ornice, setí do slámy, použití ochranné podplodiny a setí řepy nebo kukuřice do mulče meziplodin (jakými jsou např. hořčice, ředkev, svazenka). Opět se vrací dřívější technologie zpracování půdy, kterými jsou hrázkování a důlkování. [3, 4]

Obecně, co se týče širokořádkových plodin, je snaha o minimalizaci holé části půdy a o zadržení dešťové vody na pozemku. V tabulce 2 je znázorněn vliv zabránění eroze pomocí rostlinných zbytků.

Tabulka 2: Redukce eroze v závislosti pokryvnosti rostlinnými zbytky [8]

Pokryvnost [%]	Redukce eroze [%]
10	30
30	65
50	83
70	91

2.3.1. Kypření a meziřádková kultivace

Hlavní využití kypření je při předsetové přípravě. Dochází zde ke kultivaci vrstev ornice, a to zejména k nakypření, provzdušnění, rozdrobení a promísení půdy. Podle hloubky kypření je buď mělké zpracování do 20 cm, nebo hluboké až do 1 metru. Dále se pak kypření dělí podle technologie, a to na konvenční zpracování do hloubky přes 12 cm, kdy dochází k dokonalému promísení rostlinných zbytků, zatímco u konzervačního způsobu do hloubky okolo 4 cm zůstávají rostlinné zbytky na povrchu. Pracovními nástroji kypřičů mohou být radličky, disky nebo rotační nástroje. Všechny tyto nástroje lze také využít u strojů pro meziřádkovou kultivaci. Mimo nepoháněných pracovních nástrojů se v konstrukci kypřičů objevují i pracovní nástroje poháněné. [1]

2.3.1.1. Stroje pro mělké kypření půdy

Výrobci často vyrábějí univerzální kypřící stroje, které lze využít jak pro klasické zpracování půdy orbou, kde pracují jako podmítače, tak i pro bezorebné technologie. U strojů pro mělké kypření je kladen požadavek na vysokou plošnou výkonnost, která umožňuje včasné provedení dalších operací, zejména setí v proměnlivém počasí.

Do kategorie mělkých kypřičů lze zařadit kombinované radličkové a kombinované talířové kypřiče nebo prutové brány. [1]

U radličkových kypřičů jsou nejčastějším pracovním orgánem ploché šípové radličky, které umožňují rovnoměrné zpracování půdy do hloubky 6 až 8 cm. Ovšem osazení pracovními nástroji a typem radliček se liší podle technologie a způsobu zpracování půdy, obrázek 4. Na trhu je celá řada výrobců, kteří nabízí tyto stroje.



Obrázek 4: Univerzální radličkový kypřič Neptun od firmy Opall-Agri [27]

Talířové kypřiče se pak vyznačují typickými kruhovými pracovními orgány ve tvaru disku. Nejčastěji jsou umístěny do řad a směr krojení je lehce natočený od směru linie jízdy. Dále mohou být osazeny i utužovacími a drobicími válci, což je výhodné, protože se tato operace nemusí provádět jiným strojem a dalším přejezdem traktoru, obrázek 5 a 6. [1]



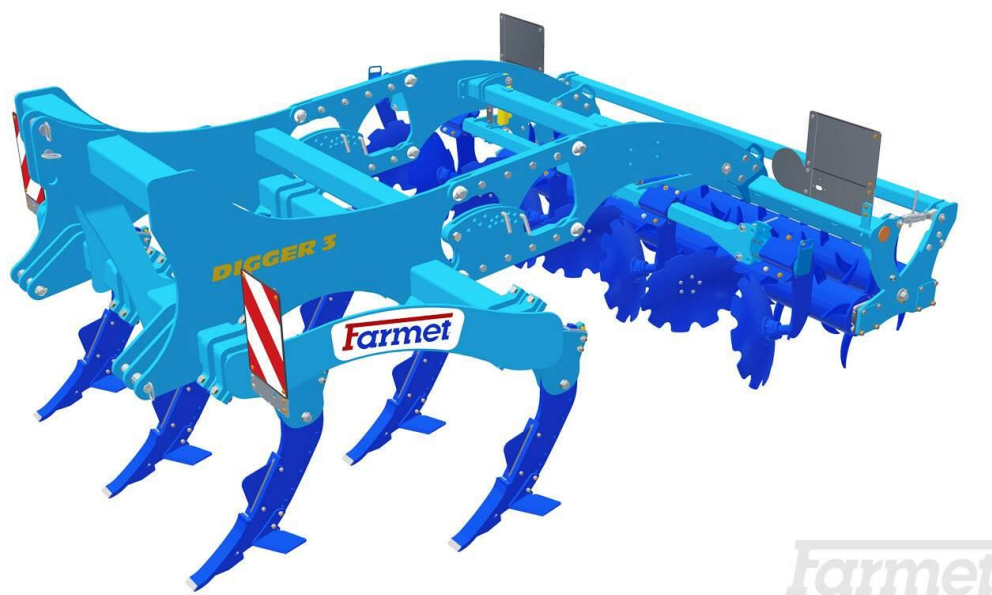
Obrázek 5: Talířový kypřič Lemken Heliodor [23]



Obrázek 6: Väderstad Carrier XT [22]

2.3.1.2. Stroje pro hlubší kypření půdy

Jedná se o stroje, které nahrazují pluhy a které dokáží nakypřit půdu do podobné hloubky. Nedochozí však k obracení zpracované půdy, ale pouze k rozrušení vrstev do hloubky 30 až 50 cm a k ponechání rostlinných zbytků na povrchu ornice. Pro hlubší kypření jsou typické masivní kypřící radlice. Používají se buď dláta, nebo úzké slupice s břitem a šípovými radlicemi, obrázek 7. [1]



Obrázek 7: Hloubkový kypřič Farmet Digger [24]

2.3.2. Meziřádková kultivace

Jedná se o mechanické kypření v meziřádcích zaseté plodiny. Zbavují prostor meziřádku od plevelu a kypří půdu, do které se lépe vsakuje voda a neodtéká z pole pryč. Stroje se nazývají plečky. Pracovními nástroji mohou být radličky, rotační kotouče s prstovými prvky po obvodu nebo pruty, podobně jako je tomu u kypřičů půdy. Jelikož se tyto stroje pohybují mezi rostlinami, je kladen velký důraz na řízení směru a přesnost naváděcích systémů traktoru ve spolupráci s plečkou. [1]



Obrázek 8: Meziřádkový kypřič BEDNAR ROV-MASTER RN_PROFI [20]

2.3.3. Důlkování a hrázkování

Hrázkování omezuje odtok povrchové vody vytvořením akumulčních prostorů zachycujících odtékající vodu přímo na pozemku. Pěstitelský postup je shodný s klasickým, avšak bezprostředně po výsadbě a při kultivačních zásazích se provádí hrázkování meziřádku speciálním strojem, obrázek 9. Důlkování je na stejném principu kdy se vytváří důlek ve vzdálenosti 30 až 40 cm a do hloubky alespoň 15 cm. Důlky také zamezují povrchovému odtoku a zvyšují infiltraci vody, obrázek 10. [3]



Obrázek 9: Vytváření hrázek v meziřádku brambor [31]



Obrázek 10: Ukázka zadržování vody ve vytvořených hrázcích [29]

2.4. Zařízení pro zpracování půdy a infiltraci vody mezi řádky

Co se týče těchto strojů, jde převážně o stroje nesené. Lze je připojit do předního tříbodového závěsu před přední kola nebo klasicky za zadní nápravu traktoru. Pracovní orgány mohou být pevné nebo pohyblivé. Hrázkovačky většinou mají sekci s radličkami nebo dláty a za nimi je otočný buben s rycími plechy, viz obrázek 11.



Obrázek 11: Hrázkovačka brambor [32]

Vedle hrázkovaček se využívají na obdělávání meziřádku i plečky. Konstruktivně jde o rám, na kterém jsou přichyceny jednotlivé pracovní jednotky. Ty mohou být osazeny radličkami, disky, případně drobíci válečky nebo prutovými zavlačovači pro finální úpravu povrchu. Stroje jsou většinou vybaveny i zásobníky s hnojivem určeným pro přihnojení půdy. Hnojivo je dopravováno pneumaticky soustavou hadic ke každé pracovní jednotce, obrázek 12.



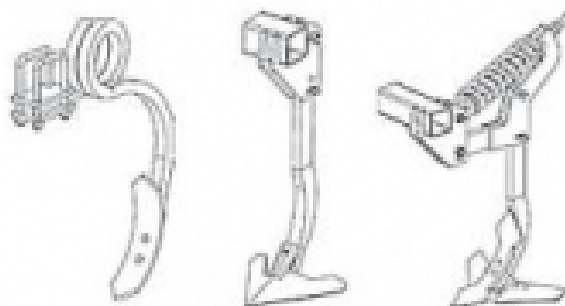
Obrázek 12: Rozvod hnojiva ze zásobníku [20]

2.5. Pracovní nástroje

V této podkapitole se snažím zmínit některé pracovní prvky strojů zpracovávajících půdu. V konstrukci strojů se objevují jak nepoháněné, tak i poháněné pracovní orgány. Vykonávanému pohybu a činnosti, kterou od prvku očekáváme, se přizpůsobuje tvar a šířka, a to od kypřících prvků, radliček, dlát, vířivých nožů nebo disků a talířů, přes prvky urovnávající povrch půdy, jako jsou válce a prutové prvky.

2.5.1. Radličky a dláta

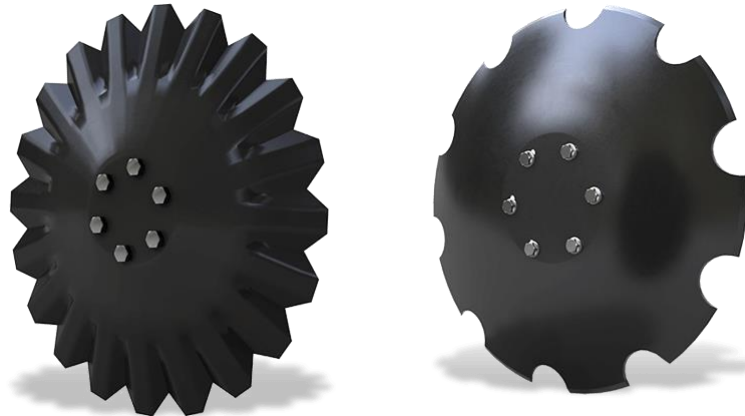
Vyrábí se různé typy od dlátových, přes oboustranné až po šípové radličky s úhlem rozevření 60-80°. Ty se ještě podle elevačního úhlu dále rozdělují pro jednotlivé technologie. Pro nakypření jsou nejvhodnější šípové radličky s menším zvedacím úhlem, který je nanejvýš 30°. Dlátové radličky (potažmo dláta) se používají pro zpracování půdy do hlubších vrstev půdy a jsou k dispozici v šířkách od 60 do 120 mm. U hloubkových podrýváků je lze doplnit o křídlové nástavce. Dláta a radličky jsou šrouby přichyceny na slupice, ty se vyrábí v provedení tuhém, polotuhém nebo pružném. Slupice také podle hloubky, typu půdy a metody zpracování musíme zajistit jištěním proti přetížení. Jištění může být pružnou konstrukcí samotné slupice, střižným čepem nebo pomocí pružiny, viz obrázek 13. U hlubších typů zpracování je pak jištění zajištěno hydraulickým válcem. [1]



Obrázek 13: Typy radliček a druhy jištění [1]

2.5.2. Talíře

Slouží převážně ke zpracování půdy velmi mělké až mělké podmínky o průměru talířů 460 až 560 mm. Ovšem někteří výrobci osazují stroje i většími průměry 620 nebo 650 mm. Talíře někdy nazývané disky mají většinou tvar kulového vrchlíku a po obvodu jsou zakaleny a nabroušeny. Tímto tvarem dokáží půdu prokypřit a rovnoměrně zapravit rostlinné zbytky. Ovšem neexistuje pouze jeden tvar, každý výrobce má svůj upravený a vyzkoušený tvar disku, příklad na obrázku 14. [33, 1]



Obrázek 14: Tvar talířů [21]

Uchycení na rám může být různé. U talířových bran a podmítačů jsou disky navlečeny na společném hřídeli po určitých sekcích. Co se týče talířových kypřičů, jsou disky k rámu chyceny jednotlivě pomocí slupic různého provedení. Mohou být vyrobeny z pružného ocelového materiálu jako u radliček. Nejčastěji se však používá konstrukce pevné slupice přichycené šroubovým spojem s tlumícími pryžovými prvky na jeklu, obrázek 15. Případně je jištění provedeno pomocí vinutých pružin. [33, 1]

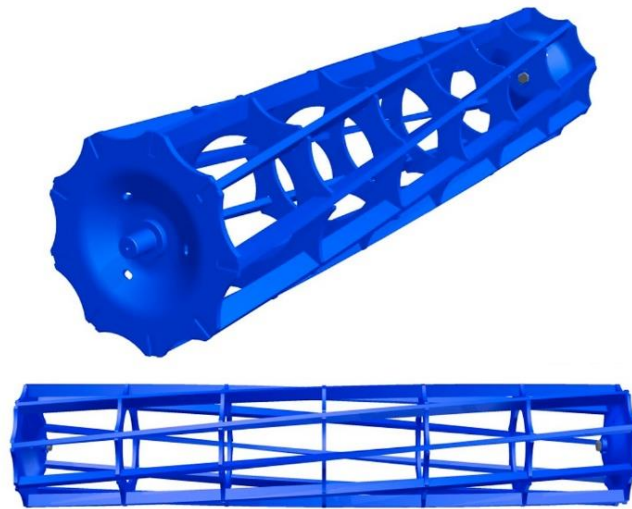


Obrázek 15: Uchycení slupice na rám [22]

2.5.3. Válce

Hlavní využití je při předseťové přípravě u kombinovaných kypřičů nebo po zasetí, kdy potřebujeme utužit půdu. Válce zajišťují rozdrobení hrud, urovnání a utužení povrchu půdy. Podle požadovaných výsledků volíme správný typ válce, někdy je označován pčhem. Dělí se do tří skupin. První z nich jsou válce tvořeny z trubek o průměru 0,4 až 1,5 m, které pro efektivnější utužení lze plnit vodou, další jsou tvořené z prutů obvykle vinutých ve spirále, viz obrázek 16. Poslední skupinou jsou válce tvořené z jednotlivých tvarově

uzpůsobených kotoučů uložených na společném hřídeli. Na obrázku 17 jsou pro ukázkou zobrazeny možné tvary těchto kotoučů. [1]



Obrázek 16: Prutový válec [24]



U-ring



V-ring



Rubberpacker



Spring



Segmentový



Cutpack

Obrázek 17: Typy pěchů [21]

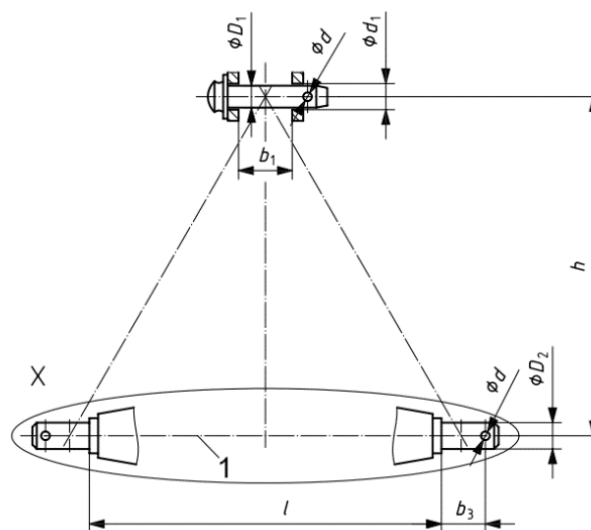
2.6. Tříbodový závěs

Aby šly stroje připojit k traktoru, musí být traktor i nářadí vybaveno různými přípojnými prvky. Jednou variantou je tříbodový závěs. Jak už název napovídá, jedná se o tři přípojoyací body, dva dole a jeden mezi nimi nahoře uprostřed. Do těchto bodů lze zapojit jak nesené, tak polonesené nástroje. Tím přenést sílu a hmotnost na rám traktoru, potažmo na zadní nápravu. U vyšších výkonových kategorií jsou traktory osazeny jak zadním, tak i předním tříbodovým závěsem. Rozměry roztečí bodů a velikost přípojných ok se odvíjejí od výkonové kategorie traktoru. Ty jsou dány normou ISO 730:2009, tabulka 3.

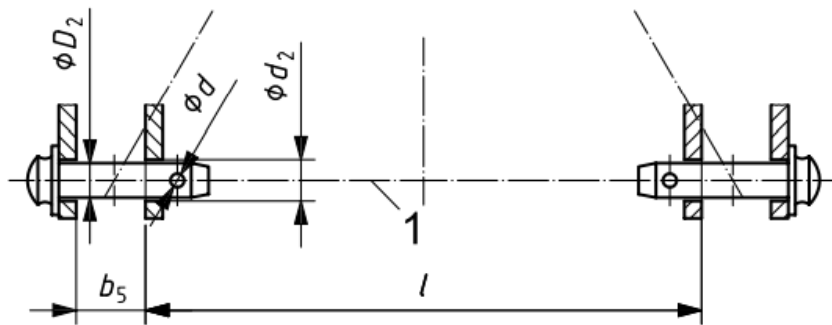
Tabulka 3: Rozdělení kategorie závěsu podle výkonu traktoru [13]

Kategorie závěsu	Výkon motoru podle ISO 789-1 [kW]
1	do 48
2	do 92
3	80 až 185
4	150 až 350

V normě najdeme jednak rozměry samotného tříbodového závěsu, ale také parametry přípojoyacích rozměrů stroje. Pro návrh stroje jsou důležité přípojně rozměry na straně stroje, více v tabulce 4. Norma je také doplněna o obrázky, které detailně znázorňují o jaké rozměry se jedná a jak jsou definovány. Na obrázku 18 je zapojení ve variantě spodních závěsných čepů přímo na stroji, kde stačí spodní ramena tříbodového závěsu nasadit na čep a zajistit závlačkou. Zatímco obrázek 19 počítá s variantou plechů s dírou, mezi které se umístí spodní ramena závěsu, do kterých se musí ještě zasunout čepy pro spojení s traktorem.



Obrázek 18: Schéma tříbodového uchycení na stroji – varianta 1 [13]



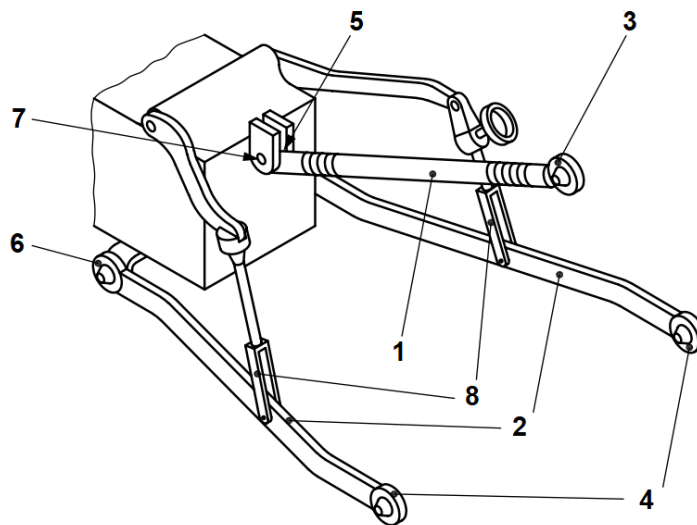
Obrázek 19: Schéma třibodového uchycení na stroji – varianta 2 [13]

Tabulka 4: Připojovací rozměry stroje [16]

Označení	Popis	Kategorie			
		1	2	3	4
Horní závěsný bod					
D_1	Průměr otvoru u horního táhla	$19 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,08 \end{smallmatrix}$	$25,5 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,13 \end{smallmatrix}$	$31,75 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	$45 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,8 \end{smallmatrix}$
b_1	Šířka uchycení u horního táhla	52 min.	52 min.	52 min.	65 min.
Dolní závěsný bod					
D_2	Průměr otvoru u koule dolního táhla	$22 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	$28 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	$36,6 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,2 \end{smallmatrix}$	$50,8 \begin{smallmatrix} 0 \\ -1,1 \end{smallmatrix}$
b_3	Vzdálenost díry u dolního kolíku	49 min.	49 min.	52 min.	69 min.
b_5	Šířka uchycení u koulí	$65 \begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$65 \begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$72,5 \begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix}$	$96,5 \begin{smallmatrix} +2 \\ 0 \end{smallmatrix}$
l	Vzdálenost mezi uchycením u koulí	$683 \pm 1,5$	$825 \pm 1,5$	$965 \pm 1,5$	$1165,5 \pm 1,5$
Ostatní rozměry					
d	Průměr otvoru pro závlačku: horní úchyt dolní úchyt	12 min. 12 min.	12 min. 12 min.	12 min. 17 min.	17 min. 17 min.
h	Vzdálenost mezi dolním a horním uchycením	$460 \pm 1,5$	$610 \pm 1,5$	$685 \pm 1,5$	$1100 \pm 1,5$

2.6.1. Složení tříbodového závěsu traktoru

Samotná konstrukce tříbodového závěsu se skládá z několika dílů. Jednotlivé části obrázku 20 jsou: 1 - horní táhlo, 2 - spodní ramena, 3 - horní závěsný bod, 4 - dolní závěsné body, 5 - horní připojovací bod, 6 - dolní připojovací body, 7 - horní spojovací čep, 8 - zvedací táhla/vidlice. Některé prvky závěsu jsou stavitelné jako horní táhlo a boční táhla ramen (nejsou zobrazeny na obrázku 20), kterými lze zajistit ramena, respektive celkově nesené zařízení proti podélnému a příčnému pohybu. Co se týče rozdílu výkonových kategorií, je princip pořád stejný, jen se jedná o rozdílné dimenzování dílčích komponent. Nejsilnější traktory mají robustnější čepy a ramena oproti univerzálním malotraktorům.



Obrázek 20: Schéma tříbodového závěsu [13]

Ramena tříbodového závěsu a horní táhlo mohou mít na konci buď kloubové oko, zobrazeno na obrázku 21, nebo u novějších traktorů se využívá rychloupínacích háků, obrázek 22. Stejně provedení oko nebo hák můžeme najít i u horního táhla tříbodového závěsu.



Obrázek 21: Spodní rameno - kloubová oka [15]



Obrázek 22: Spodní rameno - rychloupínací hák [15]

2.7. Hydromotory

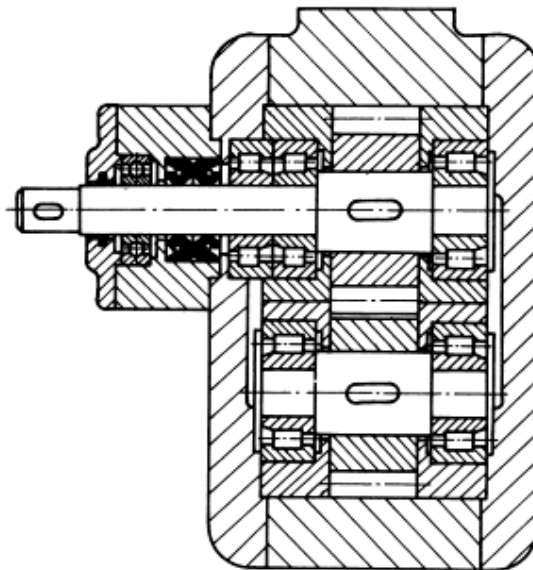
Využití spočívá v rozhýbání rotačních součástí, případně k pohybu pohyblivých částí stroje. Zařízení slouží k převodu tlakové energie na energii mechanickou. Podle charakteru pohybu dělíme hydromotory na rotační, přímočaré a kyvné.

2.7.1. Rotační hydromotory

Podobají se rotačním hydrogenerátorům. Oproti jiným typům motorů např. elektromotorům, vynikají vyšším přenášeným výkonem na jednotku hmotnosti a snadnou nastavitelností otáček. Podle konstrukce existují zubové, pístové a lamelové hydromotory. [17]

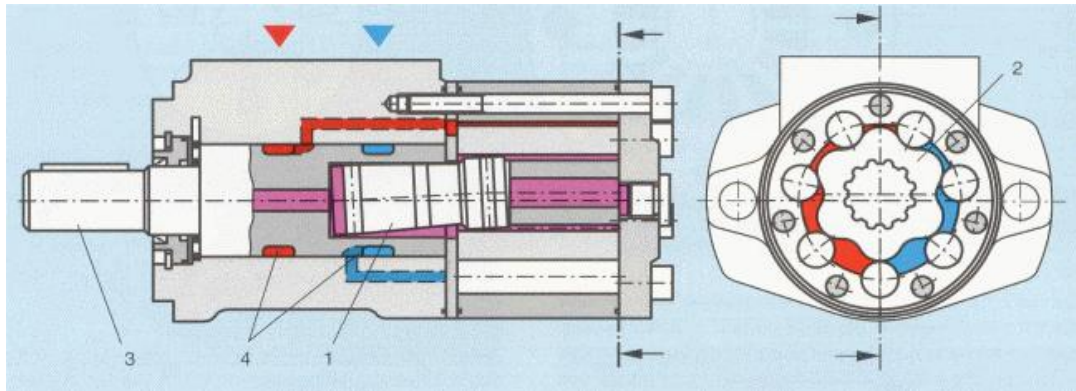
2.7.1.1. Zubové hydromotory

Vyrábí se v provedení s vnějším i vnitřním ozubením. Tlaková kapalina roztáčí stejná spolu zabírající ozubená kola. Jedno je nasazeno na hřídeli, který je vyveden ze skříně hydromotoru a na kterém lze odebírat rotační mechanickou energii. Co se týče provozních parametrů hydromotorů s vnějším ozubením, schéma obrázek 23, mohou dosáhnout otáček 100 s^{-1} . Není tedy vhodné je používat při nízkých otáčkách. Využití je vhodné pro méně náročné pohony při proměnlivé zátěži. Používají se u strojů lesní techniky. [17]



Obrázek 23: Zubový hydromotor s vnějším ozubením [17]

U hydromotorů s vnitřním ozubením v provedení nazývaném orbitální hydromotor můžeme dosáhnout sedminásobného navýšení geometrického objemu a ve stejném poměru dojde ke zvýšení točivého momentu oproti rotačním hydromotorům s vnějším ozubením při stejném tlakovém spádu. Pracují v rozsahu otáček 0 až 1000 min^{-1} , nemají tedy omezení na celém rozsahu a dosahují vysoké účinnosti. Používají se u zemědělských, stavebních, dopravních a nejrůznějších komunálních strojů. [17]



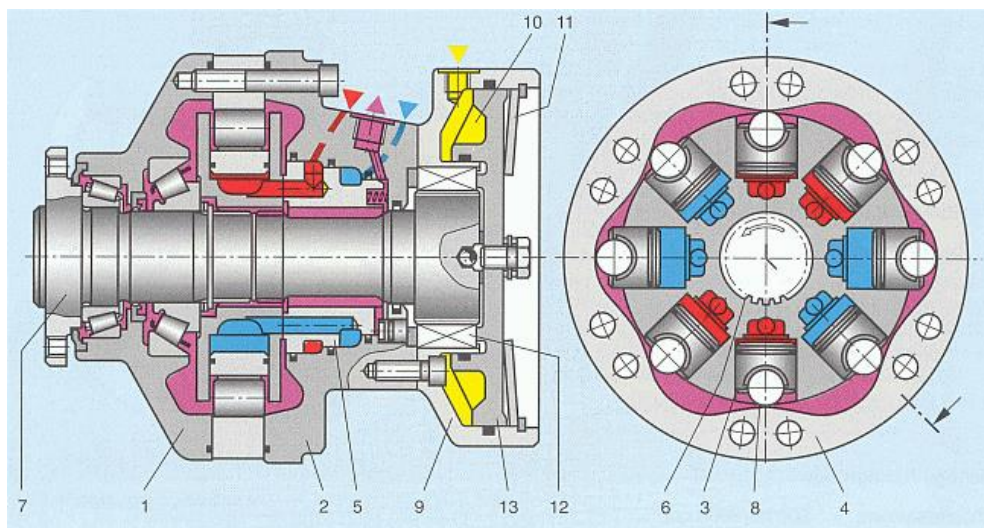
Obrázek 24: Rotační orbitální hydromotor s vnitřním ozubením [17]

2.7.1.2. Pístové hydromotory

Hlavní součástí pístových hydromotorů jsou písty, které konají přímočarý vratný pohyb. Pístové hydromotory jsou dostupné ve dvou koncepčních uspořádání pístů, a to axiální nebo radiální.

Axiální hydromotory mají osu pístu rovnoběžnou s osou rotace a existují ve variantě se šikmou deskou nebo skloněným blokem válců. Pracovní rozsah otáček je 3000 až 6000 min^{-1} . Protože mají axiální hydromotory problém s nasáváním kapaliny, hodí se na menší průtoky. Využívají se převážně jako hydrostatické převody pojezdů nejrůznější mobilní techniky.

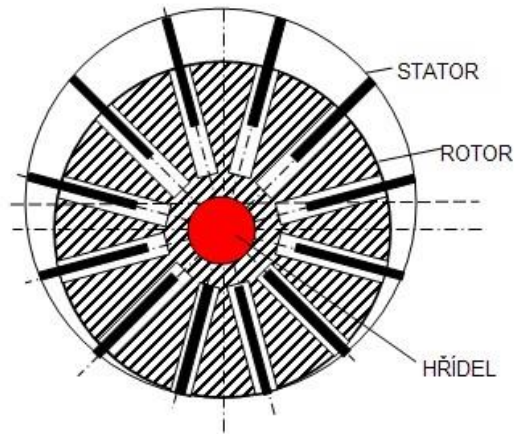
Druhou velkou skupinou jsou radiální pístové hydromotory s kolmou orientací pístů k ose rotace, viz obrázek 25. Jedná se převážně o pomaluběžná vysokomomentová zařízení s otáčkami do 310 min^{-1} . Ve dvou konstrukčních variantách s písty vedenými v rotoru nebo s písty vedenými ve statoru.



Obrázek 25: Radiální pístový hydromotor [17]

2.7.1.3. Lamelové hydromotory

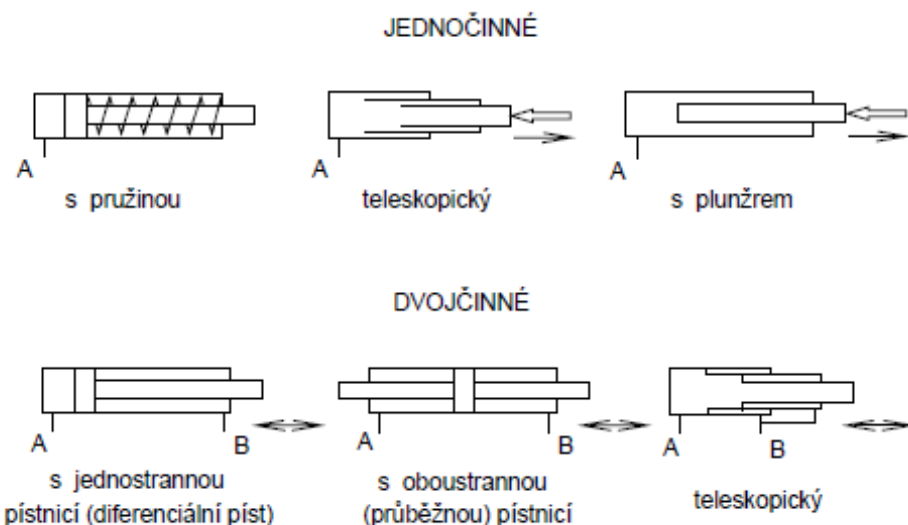
Jedná se o motor, jehož prvkem, do kterého se opírá tlaková kapalina, jsou lamely umístěné v rotoru hydromotoru, viz obrázek 26. Rotor je ve statoru umístěn excentricky, některé typy umožňují změnu excentricity, čímž se dá regulovat geometrický objem.



Obrázek 26: Schéma lamelového hydromotoru [19]

2.7.2. Přímočaré hydromotory

Přímočaré hydromotory jsou prvky, které dokáží převést tlakovou energii na přímočarý pohyb při požadované síle a rychlosti. Jedná se o válce, ve kterém se pohybuje píst, proto se jim běžně říká hydraulické válce. Podle dané aplikace a účelu, který požadujeme jsou přímočaré motory uzpůsobeny zdvihem a průměrem válce. Hlavní rozdělení těchto hydromotorů je na jednočinné a dvočinné. Dále se vyrábí od klasických provedení i varianty s oboustrannou průběžnou pístnicí, hydromotory s plunžrem nebo teleskopické hydromotory. Pro vyšší rychlosti pohybu mohou být přímočaré hydromotory vybaveny tlumením v koncových polohách zdvihu. A co se týče využití, hojně se používají u výrobních strojů, zemědělských nářadí, stavebních strojů a jiné zdvihací a manipulační techniky. [17]



Obrázek 27: Konstrukční typy přímočarých hydromotorů [17]

2.7.2.1. Jednočinné přímočaré hydromotory

Pracovního zdvihu docílíme přivedením tlakové kapaliny pod píst a tím dojde k vysunutí pístnice. Zasunutí se děje buď působením vnější síly, nebo pružinou ve válci. [17]

2.7.2.2. Dvojčinné přímočaré hydromotory

U dvojčinných hydromotorů je umožněno přivést tlakovou kapalinou jak pod píst, tak i před píst, čímž je docílen obousměrný chod hydromotoru. [17]



Obrázek 28: Přímocharý dvojčinný hydromotor [18]

3. Praktická část diplomové práce

V praktické části diplomové práce jsou na úvod definovány požadované parametry neseného zařízení dané zadavatelem projektu. V další rozsáhlé části je rozebírán návrhový model a jsou podrobněji popsány jednotlivé části modelu. Jelikož se jedná o návrh zatěžovaného zařízení, je nutné definovat namáhané konstrukční uzly a u některých vytvořit návrhové a kontrolní výpočty potřebné pro určení výrobních rozměrů.

V závěru práce pak ověřuji pevnost rámu a slupice hrázkovacích jednotky pomocí MKP analýzy.

3.1. Zadání práce

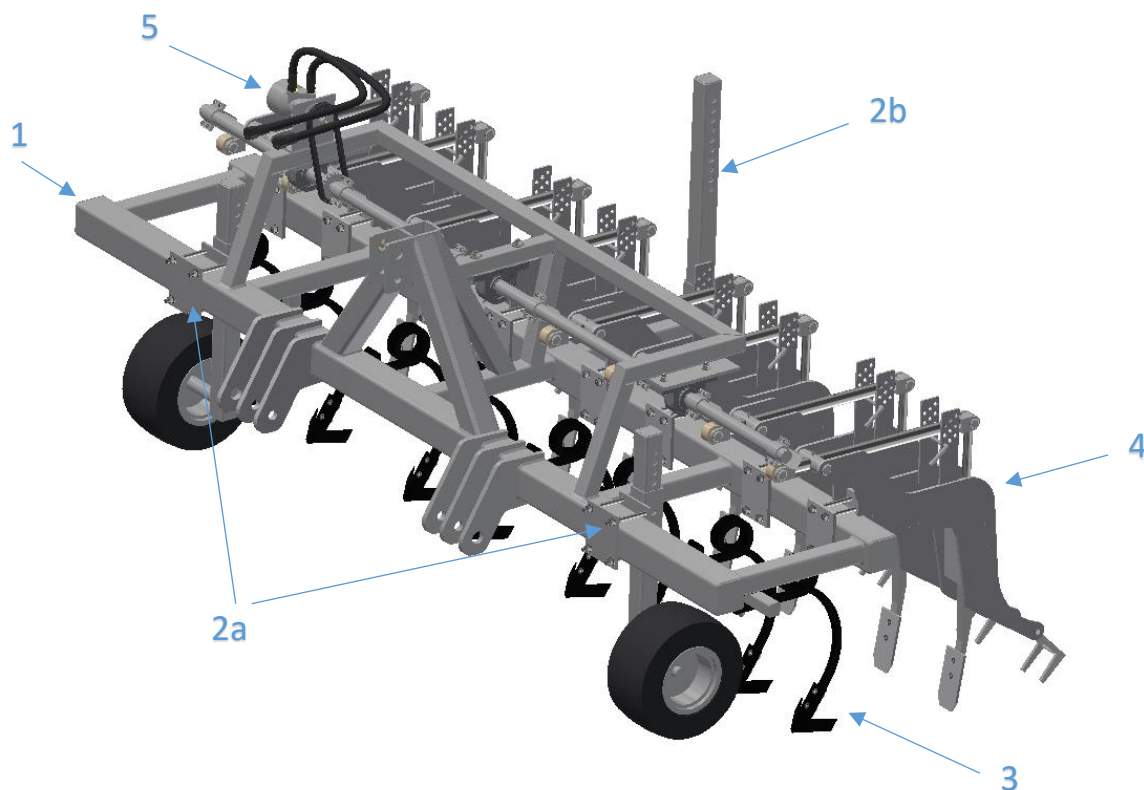
Výzkumný ústav zemědělské techniky v Praze vznesl požadavek, vymyslet a zkonstruovat nesené zařízení pro infiltraci vody do hlubších vrstev půdy pro širokořádkové rostliny, primárně pro kukuřici a řepu. Zařízení musí umět nakypřit utuženou půdu, rozrušit půdní škraloup a vytvořit hrudky, ve kterých se bude držet voda, která se dál vsakuje do půdy. V našem případě se bude stroj od běžně dostupných zařízení lišit několika inovacemi: možnost dělat dvě nebo jednu rýhu v meziřádku podle potřeby a nastavit libovolnou délku hrázku.

Základní požadavky tedy jsou:

- Maximální šířka 3 m a krátká zástavba od uchycení k traktoru, zamezení uválení plodiny v zatáčkách.
- Stavitelná výška opěrných koleček, a tedy i variabilní hloubka kypření podle struktury půdy od 5 do 10 centimetrů.
- Libovolné stranové pozicování hrázkovacích jednotek v meziřádku.
- Maximální hloubka hrázkovacího dláta 10 cm s jistící silou slupice 200 kg.
- Minimální průjezdná výška 150 milimetrů a mezera mezi kypřicí radličkou a hrázkovacím dlátem přibližně 500 milimetrů.
- Zařízení musí být možno agregovat za traktory výkonové kategorie 2 a také 3.

3.2. Popis návrhu konstrukce

Hrubá koncepce vychází z konstrukce na trhu dostupných pleček pro meziřádkovou kultivaci. Hlavní myšlenkou je nesená konstrukce, kde v přední části stroje nalezneme nezávislou sekci kypřících radliček a druhou pracovní sekci s poháněnými hrázkovacími dláty. Celá konstrukce se skládá z několika dílčích sestav, které jsou dále do detailu popsány.

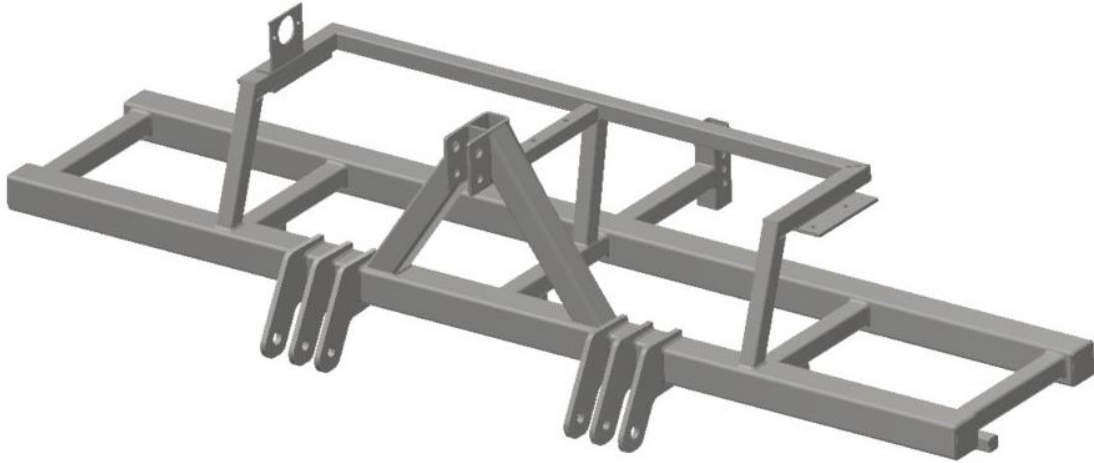


Obrázek 29: Model stroje na hrázkování

Na obrázku 29 je znázorněna celá sestava hrázkovacího stroje, kde jsou označeny jednotlivé dílčí části stroje. Základem stroje je nosný rám (1), na který se v místech (2a) připevňují podpěrná stavitelná kola a zezadu rámu lze v případě odpojení stroje od traktoru vysunout opěrnou stabilizační nožičku (2b). Na rámu jsou dále rozmístěny kypřící radličky (3) tak, aby docházelo ke kvalitnímu prokypření půdy. Na zadní části rámu jsou upevněny pomocí šroubového pole hrázkovací jednotky (4) v rozteči závislé na obdělávané plodině a dle požadavků zadavatele. Jelikož se jedná o poháněné zařízení, je součástí rámu pohonný mechanismus (5), který se skládá z hydromotoru a centrální hřídele. Hřídel prochází napříč celým strojem a otáčení zajišťuje hydraulický orbitální motor, který se přes hadice propojí s vnějším okruhem hydrauliky traktoru. Pomocí traktoru lze regulovat otáčky hydromotoru, respektive průtok oleje okruhem. Převod mezi hydromotorem a hřídelem je přes ozubená kola a řetěz. Slupice s dlátem na hrázkovací jednotce jsou zvedány hrazdami na centrální hřídeli. Jedná se o tyče připevněné na hřídel svěrnými spoji.

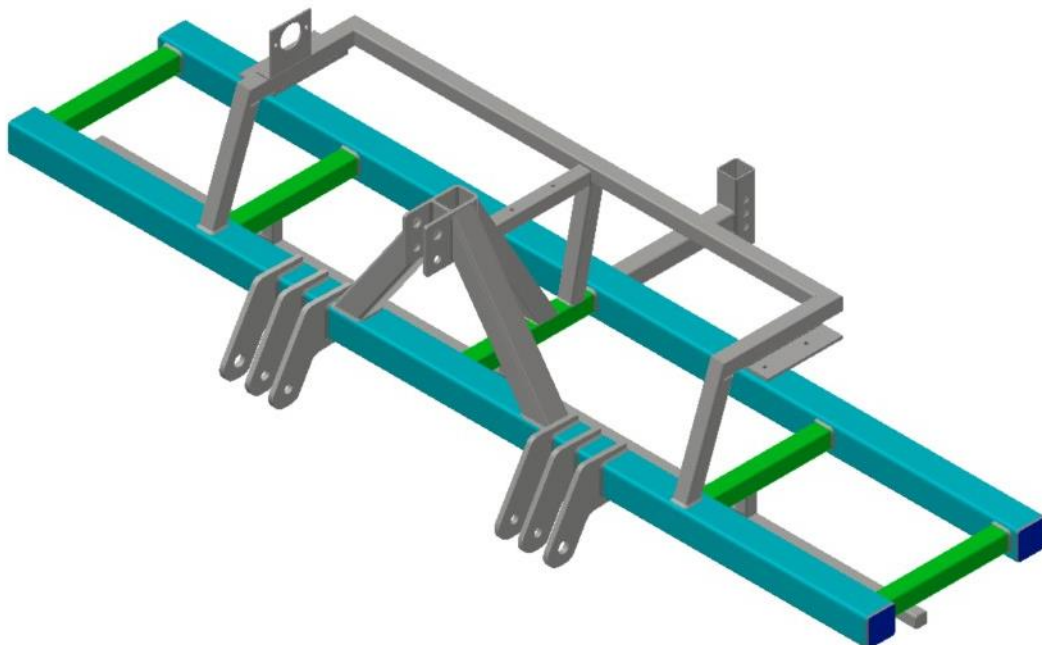
3.2.1. Rám

Jak bylo již zmíněno, jedná se o hlavní nosný prvek stroje. Je vytvořen jako svařenec skládající se z normalizovaných jeleků a plechů oceli S355J2, viz obrázek 30.



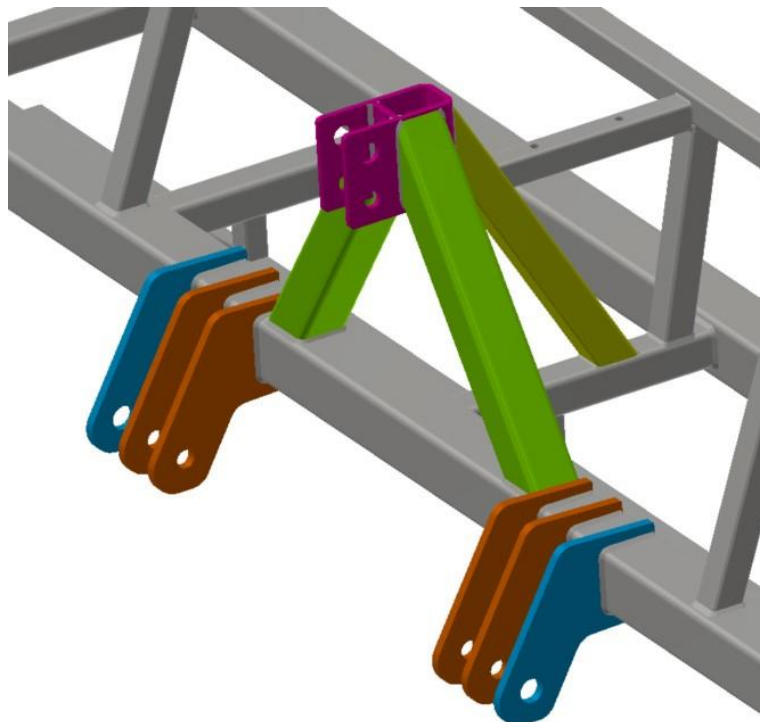
Obrázek 30: Výsledný model rámu

Na obrázku 31 tvoří kostru dva příčné silnostěnné profily 100x100x8 mm (označené tyrkysově) o délce 2968 mm na konci uzavřené plechovými víčky tloušťky 6 mm (tmavě modré). Silnostěnné profily (tyrkysové) jsou od sebe vzdáleny 520 mm a jsou spojeny pěti čtvercovými profily (zelené) o rozměrech 60x5 mm.



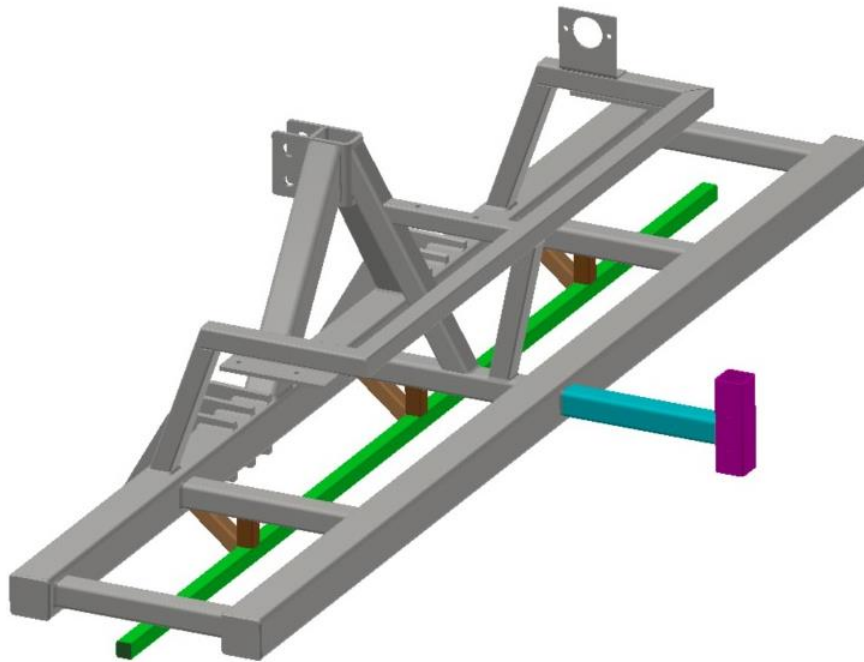
Obrázek 31: Rám – označená kostra

Na takto připravenou kostru je vytvořena konstrukce umožňující připojení stroje do třibodového závěsu traktoru. Pro připojení ramen jsou na silnostěnný příčný jelek (obrázek 31 - tyrkysová) přivařeny plechy o tloušťce 16 mm. Plechy mají otvor, který umožňuje čepem spojit ramena traktoru se strojem. Vycházím z obrázku 32, oranžové plechy s průměrem díry 28,7 mm pro kategorii 2 a světle modré plechy s průměrem 37,4 mm pro výkonnější traktory kategorie 3. Třetí bod se pak připevňuje do ohnutého plechu ve tvaru U (tmavě růžový) s dvěma otvory skrz o průměrech 25,7 a 32 mm podle příslušné kategorie traktoru. Plech ve tvaru U je vyztužen menším plíškem o stejné tloušťce. Pevnou pozici přípojného místa třetího bodu definují dva silnější čtvercové ječky 80x6 mm (světle zelené) a jeden menší také čtvercový ječek 60x4 mm (žlutý). Dva větší ječky zamezují růžovému plechu uhnout do stran a žlutý ječek pak brání předozadnímu pohybu.



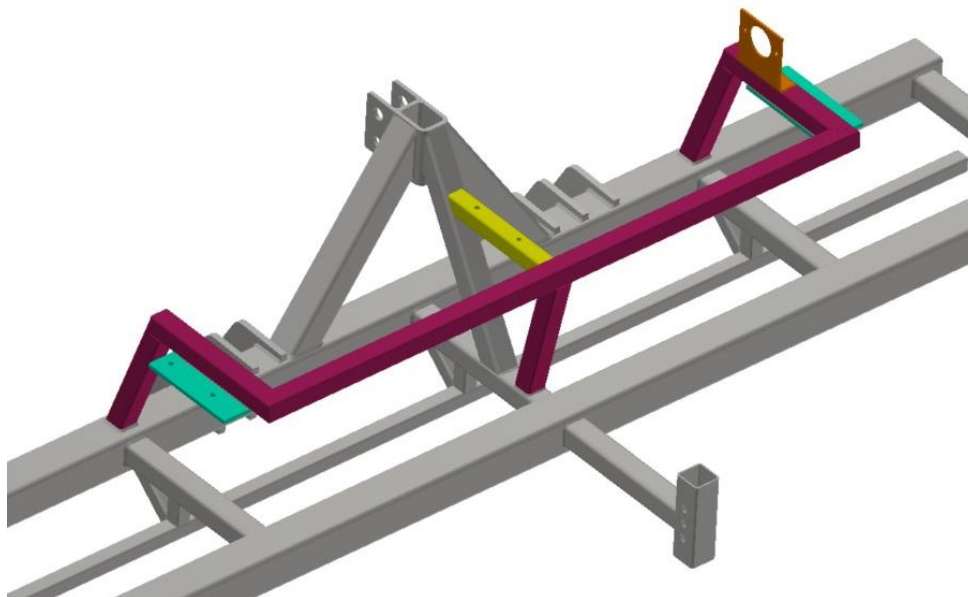
Obrázek 32: Rám – přípojná část do třibodového závěsu

Další pohled, viz obrázek 33, značí dvě části rámu. Jednou je konstrukce ječku, na který se šroubují torzní slupice s radličkami, a druhou je držák podpěrné nohy na zadní straně rámu. Držák nohy je složen ze dvou ječků, delšího o rozměrech 60x60x5 mm (tyrkysový) a kratšího velikosti 70x70x4 mm (růžový) s třemi otvory průměru 20 mm pro zasunutí kolíku. Do spodní části rámu je přivařen dlouhý příčný ječek 40x40x2 mm (zelený) délky 2930 mm uzavřený dvěma plíšky (tmavě zelené) proti vniknutí prachu a vody do konstrukce. Zelený ječek je k silnostěnnému ječku o rozměru 100x100 mm přivařen ve třech místech dvěma ječky, oba o rozměru 40x40x2 mm. Jeden je ve svislé poloze (tmavě hnědý) a druhý pod úhlem (světle hnědý) jenž lépe kompenzuje síly působící od radliček.



Obrázek 33: Rám – nosný jekl radliček a držák podpěrné nohy

Na obrázku 34 je vidět překlenovací rámová konstrukce (označena vínově) sloužící k zavěšení nejen centrální příčné hřídele, ale i součástí pohybového ústrojí stroje. Je svařena z čtvercových profilů o rozměru 50x50x3 mm (bordó) vyztužených jedním jeklem (žlutý) o rozměru 45x45 mm. Na nosné konstrukci jsou ještě přichyceny dva plechy tloušťky 10 mm (označeny tyrkysově), ke kterým jsou šrouby přichycena ložiska centrální hřídele. Posledním výpalkem (oranžový), jenž je ohlý o devadesát stupňů, je držák rotačního hydromotoru.

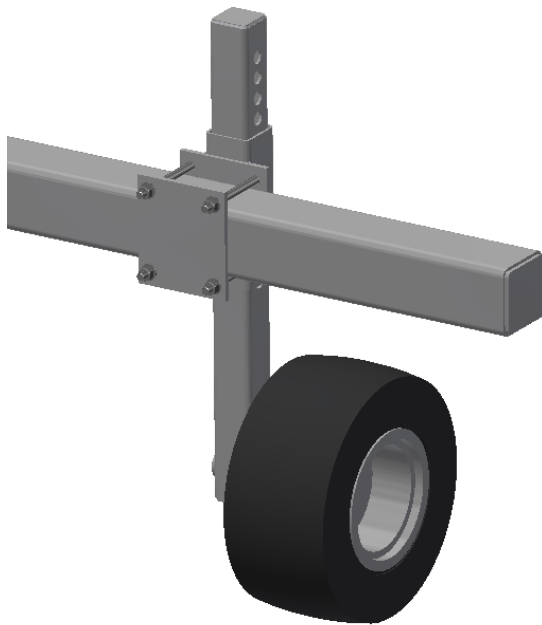


Obrázek 34: Rám – překlenovací konstrukce

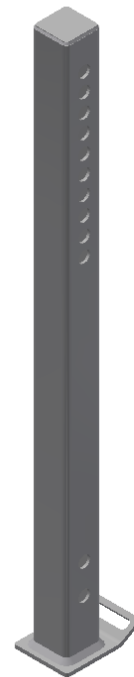
3.2.2. Opěrná kolečka a podpěrná noha

Na přední jekl 100x100 mm rámu stroje jsou pomocí čtyř šroubů, které drží držák nohy, připevněna dvě podpěrná kolečka, obrázek 35. Držák nohy je složen z jeklu 70x70x4 mm, ke kterému je přivařen plech tloušťky 8 mm s čtyřmi dírami pro šrouby. Do držáku nohy se zasouvá samotná noha s kolečkem. Jekl o rozměrech 60x60 mm je ze shora uzavřen zátkou z plechu. Ve spodní části nohy je vložena skrz jekl osa s nábojem, na který se pak připevní zakoupené kolečko. Jelikož kolečka slouží k nastavení hloubky radliček, jsou v jeklu nohy díry o průměru 20 mm a rozteči 30 mm, do kterých lze vsunout čep a nastavit tak potřebnou hloubku kypření. Jednak jsou kolečka nastavitelná výškově, ale také umožňují příčný pohyb po rámu a nastavení rozteče kol do meziřádku rostlin.

Disk a kolečko jsou koupeny a je potřeba vybírat průměr a šířku pláště podle únosnosti, a to minimálně 450 kg na jedno kolo, neboť celý stroj váží necelých 800 kilogramů.



Obrázek 35: Opěrné stavitelné kolečko

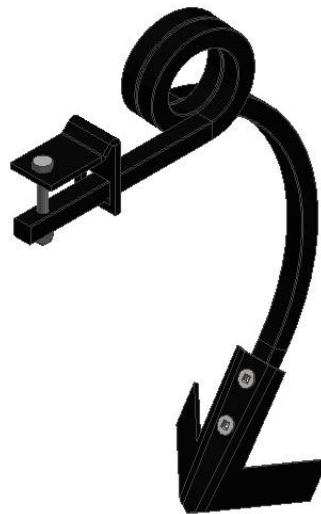


Obrázek 36: Podpěrná noha

Podpěrná noha, zobrazena na obrázku 36, je svařena ze čtvercového profilu 60x4 mm. Profil je z jedné strany uzavřen plíškem o tloušťce 4 mm, na spodní straně je ohnutý výpalek tloušťky 6 mm s otvorem pro prsty umožňující lepší manipulaci s nohou. V profilu se nachází několik děr o průměru 20 mm pro čep, kterými lze nohu zajistit do požadované polohy.

3.2.3. Radličky

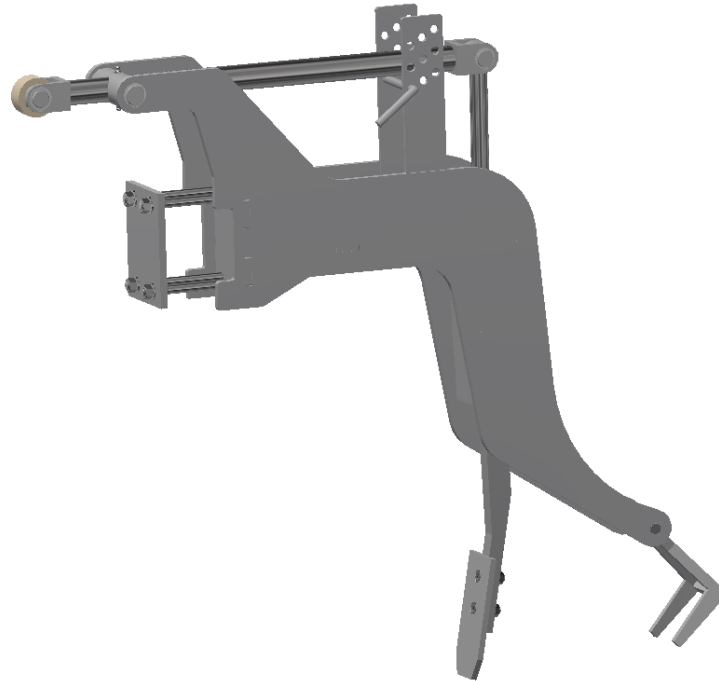
Z důvodu rozvržení a prostorového uspořádání stroje jsou použity slupice ve tvaru torzní pružiny typu Quadro 20x20 a průměru 90 mm dostupné na webu Kardanka.cz [35]. Slupice jsou připevněny sevřením plechu kolem příčného jeklu a zajišťují vlastní jištění při přetížení. Maximální jistící síla se dle výrobce pohybuje do 150 kg. Na konci slupice se nachází radlička, která je ke slupici připevněna dvěma pluhovými šrouby. Tvar a šířku radličky lze zvolit podle požadavku na kypření a podle druhu půdy tak, aby pasovala do rozteče děr na slupici 45 mm. Pro náš případ je zvolena univerzální radlička šířky 150 mm.



Obrázek 37: Torzní slupice s šípovou radličkou

3.2.4. Hrázkovací jednotka

Důležitou součástí stroje jsou hrázkovací jednotky. Ty je možné pomocí čtyř šroubů připevnit na profil 100x100 mm a jejich pozici libovolně nastavit podle rozteče řádku rostlin. Kostrou celé jednotky je svařenec sestavený ze dvou 10 mm výpalků a čtyř příčných vyztužovacích plechů. Dva plechy obsahují drážky a vytváří dráhu pro hrázkovací mechanismus. Hrázkovací mechanismus se skládá ze slupice, na které je osazen plech vytvářející drážku při práci stroje. Dále pak na slupici jsou dvě osičky s celkem čtyřmi kladkami, které jezdí v drážkách svařence. Slupice je připojena přes táhlo k páce, která ji uvádí do pochybu spolu s dlátem. Páka s táhlem a táhlo se slupicí jsou pospojovány čepy. Každý čep je mazán přes osazené mazničky. Součástí jednotky jsou také dva plechy s otvory, do kterých se zasouvá dorazový kolík. Ten slouží pro nastavení hloubky hrázkovacího dláta. Na svařenci a v trubce páky jsou otvory pro uchycení přítlačné pružiny, kterou lze dodatečně nainstalovat.



Obrázek 38: Hrázkovací jednotka

3.2.5. Pohonný mechanismus

Pro pohon centrálního hřídele byl zvolen orbitální hydraulický hydromotor HYDROLIDER BMR 80 s geometrickým objemem $80,3 \text{ cm}^3/\text{ot}$, vyobrazen na obrázku 39. Dalšími parametry pro nepřetržitý provoz jsou maximální otáčky $750 \text{ ot}/\text{min}$, maximální výkon 200 Nm a maximální průtok $60 \text{ l}/\text{min}$. Výstupní hřídel z hydromotoru má průměr 25 mm a obsahuje otvor se závitem M8. V naší aplikaci bude závit sloužit pro uchycení ozubeného řetězového kola.



Obrázek 39: Model použitého hydromotoru [28]

Příčná hřídel je zavěšena na třech vkládacích ložiscích s kuželovou dírou na upínacím pouzdru. Samotná ložiska jsou zasazena do těles (domků) s montážními drážkami, která jsou šrouby M12 chycena do hrazdové konstrukce rámu stroje. Samotná hřídel je vytvořena z oceli S355J2 o průměru 40 mm, pro lepší přesnost a kvalitu povrchu se doporučuje tyč tažená za studena, aby se následně nemusela obrábět. Na hřídel je dále připevněno ozubené kolo a čtyři jinak dlouhé tyče se svěrnými spoji.

3.2.5.1. Tyče se svěrným spojením

Jedná se o svařenec složený z tyče o průměru 20 mm. Na koncích tyče pokračují pásoviny, na kterých je přivařena svěrná objímka. Ta je sevřena čtyřmi šrouby na centrální hřídel. Tyče jsou na hřídeli dvě v delším provedení a dvě v kratším provedení. Tyče slouží k zvedání slupice hrázkovací jednotky, a to periodicky za minimální čas.

3.3. Výpočty vybraných uzlů

Pro výpočet a návrh jednotlivých uzlů stroje bylo nejdříve nutné porovnat 2. a 3. výkonovou třídu traktorů a určit návrhové veličiny, zejména výkonové parametry okruhu hydrauliky. Traktory třídy 2 dokáží vytvořit průtok 48 až 64 l/min a tlak 160 až 180 bar, liší se výrobcem. Podobné je to u vyšších výkonů kategorie třídy 3, průtoky dosahují 80 až 114 l/min a tlaku 160 až 200 bar.

Dalším parametrem potřebným pro výpočty je určení otáček v závislosti na délce hrázku. Průměrná rychlost při meziřádkové kultivaci se pohybuje od 8 do 12 km/h. Předpokládáme tedy, že hrázkování probíhá při nižších pracovních rychlostech. Byla proto vytvořena tabulka 5, která ukazuje závislost otáček při rychlostech 6, 8 a 10 km/h pro délky hrázku 50, 75 a 100 centimetrů.

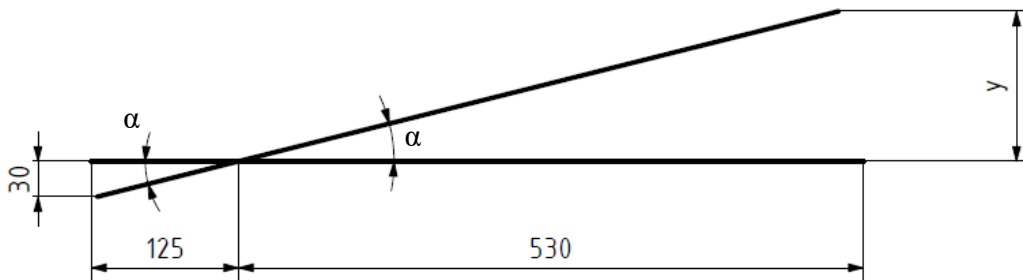
Tabulka 5: Závislost otáček na pojezdové rychlosti

Délka hrázku [cm]	Otáčky při rychlosti 6 km/h [ot/min]	Otáčky při rychlosti 8 km/h [ot/min]	Otáčky při rychlosti 10 km/h [ot/min]
50	199,9	266,4	333,6
75	133,28	177,6	222,4
100	99,96	133,2	166,8

U následných návrhů je počítáno s hodnotou dosažitelného průtoku vnějšího okruhu hydrauliky $Q_{ot} = 50$ l/min a tlak $p_{ot} = 160$ bar. Průměrná rychlost stroje při meziřádkové kultivaci je přibližně 8 km/h.

3.3.1. Návrh páky hrázkovací jednotky

Při určení geometrie páky vycházím z požadavku hloubky hrázkování 100 mm. Hrázkovací dláto se tedy musí zvedat minimálně o 120 mm. Naopak na druhé straně nelze vytvořit takový vertikální pohyb, proto je uvažován zdvih pouze 30 mm. Z návrhového modelu a velikosti hrázkovací jednotky vyplynula geometrie páky, rozměry delší části 530 mm a kratší 125 mm.



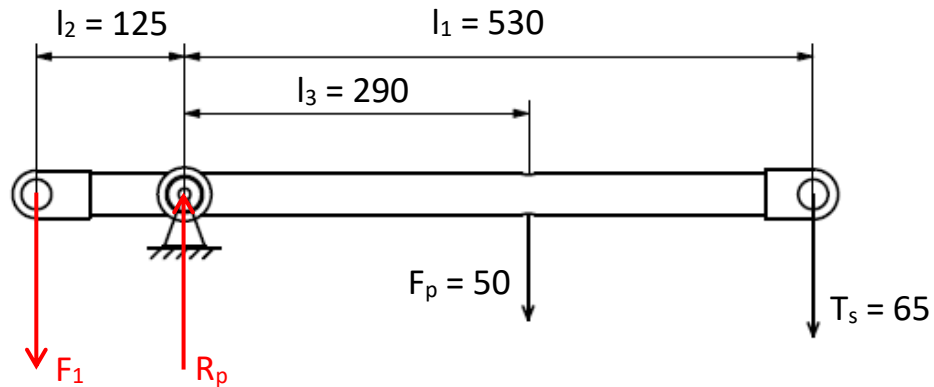
Obrázek 40: Schématické zobrazení natočení páky hrázkovacího mechanismu

Z obrázku 40 je patrné, že se obě ramena natočí o stejný úhel. Lze je tedy porovnat přes závislost úhlů a dopočítat zdvih druhého konce páky (1).

$$\sin \alpha = \frac{30}{125} = \frac{y}{530} \rightarrow y = \frac{30 \cdot 530}{125} = 127,2 \text{ mm} \quad (1)$$

Požadavek na minimální zdvih hrázkovacího dláta 120 mm je splněn. S dlátem lze pohybovat vertikálním směrem o 127,2 mm při rozsahu zdvihu 30 mm vyvozených tyčemi na centrálním hřídeli.

Co se týče silové rovnováhy a výpočtu sil na páce, vycházíme ze stanovených rozměrů a modelu hrázkovacího mechanismu. Na jedno rameno páky působí dvě síly, jednak tíha slupice, dláta a táhla, což v součtu dává hmotnost 6,615 kg a tíhu přibližně 65 N. Druhá působící síla je vyvozena předpětím pružiny, kterou uvažujeme okolo 50 N.



Obrázek 41: Rozložení sil na páce hrázkovacího mechanismu

Z momentové rovnováhy dopočítáme potřebnou sílu F_1 .

$$M_L = M_P \quad (2)$$

$$F_1 \cdot l_2 = F_p \cdot l_3 + T_s \cdot l_1 \quad (3)$$

$$F_1 \cdot 125 = 50 \cdot 290 + 65 \cdot 530 \quad (4)$$

$$F_1 = 391,6 \text{ N} \quad (5)$$

Síla působící na druhé straně páky jedné hrázkovací jednotky a tlačící na centrální hřídel je 391,6 N. S touto silou je potřeba počítat dál ve výpočtech při návrhu hydromotoru.

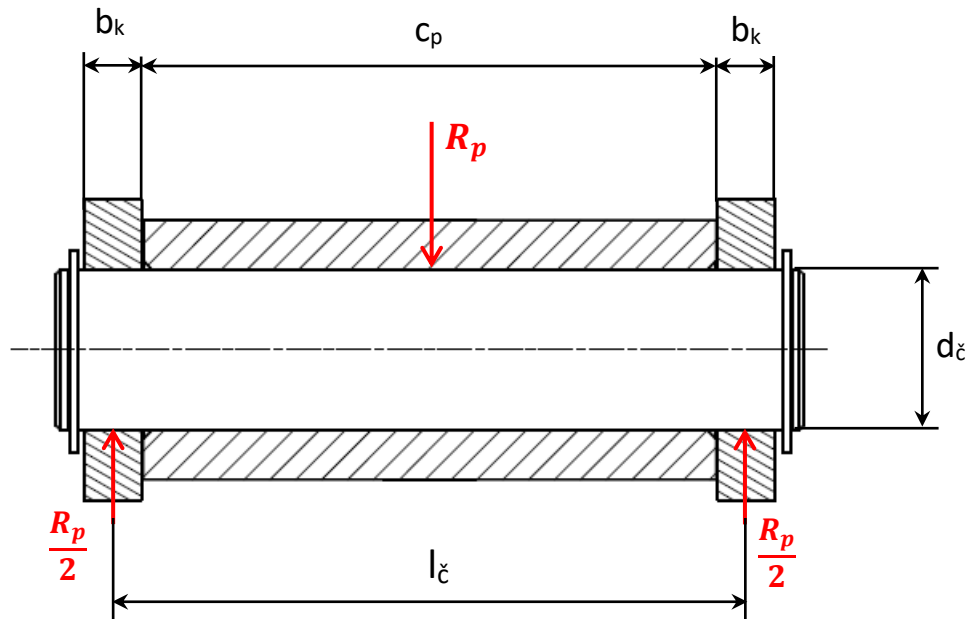
Další potřebnou silou pro návrh čepu je reakce R_p v podpoře, viz obrázek 41. Sílu dopočteme přes rovnováhu sil ve svislém směru.

$$R_p - F_1 - F_p - T_s = 0 \quad (6)$$

$$R_p = 391,6 + 50 + 65 \quad (7)$$

$$R_p = 506,6 \text{ N} \quad (8)$$

Reakce, kterou působí páka do uložení, je 506,6 N. Uložením se myslí čepové spojení. Páka je k plechu hrázkovací jednotky připevněna pomocí čepu zajištěného závlačkou. Pro snadnější představu lze na obrázku 42 vidět zjednodušený pohled na podepření a zatížení čepu. Čep je vyroben z oceli ČSN 12050.



Obrázek 42: Schéma zatížení čepu

Jelikož může v místě spojení působit velká pracovní síla, je nutné provést kontrolu čepu na ohyb, stříh a zajistit, zda nedojde k nežádoucímu otláčení povrchu čepu.

Kontrola na ohyb

$$M_{o\check{c}} = \frac{R_p}{2} \cdot \frac{l_{\check{c}}}{2} = \frac{506,6 \cdot 110}{4} = 13\,931,5 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (9)$$

$$\sigma_{o\check{c}} = \frac{M_{o\check{c}}}{W_{o\check{c}}} = \frac{M_{o\check{c}}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} = \frac{13931,5}{\frac{\pi \cdot 28^3}{32}} = 6,46 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (10)$$

Ocel ČSN 12050 má mez kluzu $R_e = 390 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$.

$$\sigma_{D_{o\check{c}}} = \frac{R_e}{k_{\check{c}}} = \frac{390}{1,5} = 260 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (11)$$

Podmínka je splněna. $\sigma_{D_{o\check{c}}} \geq \sigma_{o\check{c}}$

Kontrola na stříh

$$\tau_{\check{c}} = \frac{R_p}{2 \cdot S_{\check{c}}} = \frac{R_p}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4}} = \frac{2 \cdot 506,6}{\pi \cdot 28^2} = 0,41 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (12)$$

$$\tau_{D_{\check{c}}} = \frac{\sigma_{D_{o\check{c}}}}{2} = \frac{260}{2} = 130 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (13)$$

$$\tau_{D_{\check{c}}} \geq \tau_{\check{c}}$$

Kontrola čepu na otláčení

Dovolený tlak na tlačení $p_D = 80 \div 120$ MPa

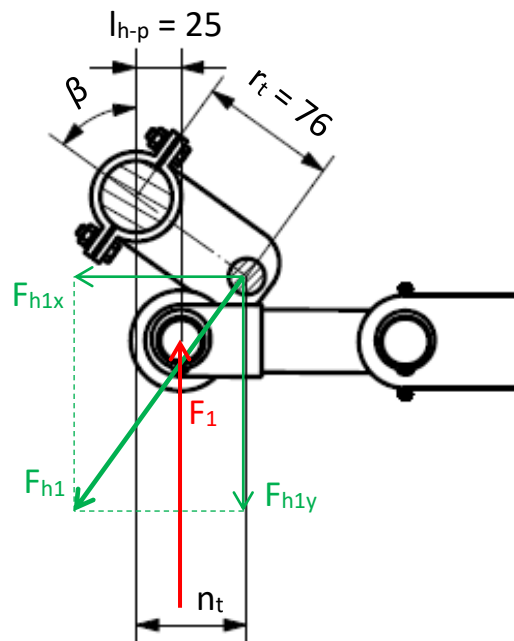
$$p_{\check{c}} = \frac{R_p}{2 \cdot d_{\check{c}} \cdot b_k} = \frac{506,6}{2 \cdot 28 \cdot 10} = 0,9 \text{ MPa} \quad (14)$$

$$p_{\check{c}} < p_D$$

Vyhovuje předepsané podmínce, nebyla překročena krajní hodnota 120 MPa.

3.3.2. Výpočet potřebného kroutícího momentu hydromotoru

Jak bylo vypočteno v předchozí kapitole, je potřeba překonat sílu F_1 od každé hrázkovací jednotky. Jelikož ale konec páky hrázkovacího mechanismu a centrální hřídel nejsou v jedné ose svisle nad sebou, je potřeba sílu od pohonu rozdělit na svislou a vodorovnou složku, viz obrázek 43.



Obrázek 43: Rozložení sil mezi centrální hřídelí a pákou hrázkovacího mechanismu

Rozložením hnacího momentu do složek získáme svislou hnací sílu, která musí být větší než síla F_1 od páky působící proti pohybu tyče. Jelikož velikost svislé síly F_{h1y} se mění podle úhlu natočení hřídele, je zapotřebí určit kritický úhel, kdy pro naši konkrétní situaci působí nejmenší síla. To nastane, když se hřídel pootočí tak, že střed tyče bude na stejné svislé ose jako střed konce páky.

$$\sin \beta = \frac{l_{h-p}}{r_t} = \frac{25}{76} \rightarrow \beta = 19,2^\circ \quad (15)$$

Ze zjištěného mezního úhlu lze určit minimální hnací sílu potřebnou na jednu hrázkovací jednotku. Z rovnováhy svislých sil platí $F_{h1y} > F_1$.

$$F_{h1} \cdot \sin \beta > F_1 \quad (16)$$

$$F_{h1} > \frac{F_1}{\sin \beta} = \frac{391,6}{\sin 19,2} = 1\,190,76 \text{ N} \quad (17)$$

Z vypočtené hnací síly jedné jednotky dopočítáme potřebný hnací moment pro jednu jednotku.

$$M_{h1} = F_{h1} \cdot r = 1190,6 \cdot 76 = 90\,497,5 \text{ Nmm} \rightarrow M_{h1} = 90,5 \text{ Nm} \quad (18)$$

Při prvotní úvaze se hrázkovací jednotky měly pohybovat současně, ale byla by to obrovská momentová zátěž na hydromotor. Bylo tedy rozhodnuto, že se při práci stroje budou zvedat současně pouze dvě jednotky, což sníží nároky na kroutící moment hydromotoru. Potřebný hnací moment tedy bude dvojnásobek hnacího momentu jedné hrázkovací jednotky.

$$M_{h2} = 2 \cdot M_{h1} = 2 \cdot 90,5 = 181 \text{ Nm} \quad (19)$$

Návrhový kroutící moment hydromotoru musí být alespoň 181 Nm.

3.3.3. Parametry hydromotoru

Nyní ověřím, zda zvolené čerpadlo s geometrickým objemem 80,3 cm³ na otáčku dokáže vyvodit potřebný moment z návrhu M_{h2} (19) a také jestli bude vyhovovat rozsahu pracovních otáček, viz tabulka 5 kapitola 3.3 Výpočty vybraných uzlů.

$$n_{max} = \frac{Q_{ot} \cdot 1000}{V_g} = \frac{50 \cdot 1000}{80,3} = 622,6 \text{ min}^{-1} \quad (20)$$

Maximální otáčky při průtoku 50 l/min jsou 622,6 min⁻¹. To je víc, než je požadavek, mělo by tedy dojít ke změně převodu centrálního hřídele a k přiblížení se požadované hodnotě okolo 270 otáček za minutu. Toho lze docílit rozdílným počtem zubů ozubených kol řetězového převodu. Jinak rozsah otáček lze nastavit škrcením přívodního oleje přímo v traktoru.

Výkon lze spočítat dvěma způsoby (21).

$$P_{HM} = \frac{Q_{ot} \cdot p_{ot}}{600} \cdot \eta_{c \text{ hydr.}} = \frac{M_k \cdot n_{max}}{9550} \quad (21)$$

Nejdříve si určím výkon, kterého může dosáhnout rotační hydromotor (22) se stanovenou účinností hydraulického okruhu 90 %. Když znám výkon hydromotoru, určím krouticí moment hydromotoru (23).

$$P_{HM} = \frac{Q_{ot} \cdot p_{ot}}{600} \cdot \eta_{c\ hydr.} = \frac{50 \cdot 160}{600} \cdot 0,9 = 12\ kW \quad (22)$$

$$M_{k\ HM} = \frac{9550 \cdot P_{HM}}{n_{max}} = \frac{9550 \cdot 12}{622,3} = 184\ Nm \quad (23)$$

Rotační orbitální hydromotor dokáže vyvinout v našem případě krouticí moment 184 Nm, což je hraniční minimální potřebný hnací moment. Proto by bylo dobré zvolit čerpadlo s větším krouticím moment nebo zvednout tlak v okruhu.

3.3.4. Svěrný spoj

Je zapotřebí zkontrolovat únosnost navržených svěrných spojů při maximálním krouticím momentu, který může hydromotor vyvinout, a to $M_{k\ max} = 200\ Nm$. Respektive je důležité napočítat potřebnou sílu předpětí ve šroubu.

Nejprve určím svěrný moment přes podmínku přenosu krouticího momentu, kde koeficient přenosu $k_{sv} = 1,8$.

$$M_{sv} = k_{sv} \cdot M_{k\ max} = 1,8 \cdot 200 = 360\ Nm \quad (24)$$

Součinitel tření je pro kombinaci povrchů ocel – ocel v rozmezí 0,08 až 0,18. Pro naši úlohu volím $f = 0,13$ a spočítám normálovou sílu pro bezpečný přenos krouticího momentu (25). Je uvažováno skutečné (kosínové) rozložení kontaktního tlaku ve stykové ploše svěrného spoje.

$$M_{sv} = f \cdot N \cdot d_h \cdot \frac{4}{\pi} \rightarrow N = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{M_{sv}}{f \cdot d_h} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{360}{0,13 \cdot 0,04} = 54\ 373,7\ N \quad (25)$$

Předpětí jednoho šroubu získáme vydělením normálové síly N počtem šroubů. Tyč je přichycena dvěma svěrnými spoji a každá spojka pak 4 šrouby M6x20. Výslednou sílu tedy získáme vydělením celkové normálové síly číslem 8 (26).

$$F_{o\ š} = \frac{N}{8} = \frac{54\ 373,7}{8} = 6\ 796,7\ N \quad (26)$$

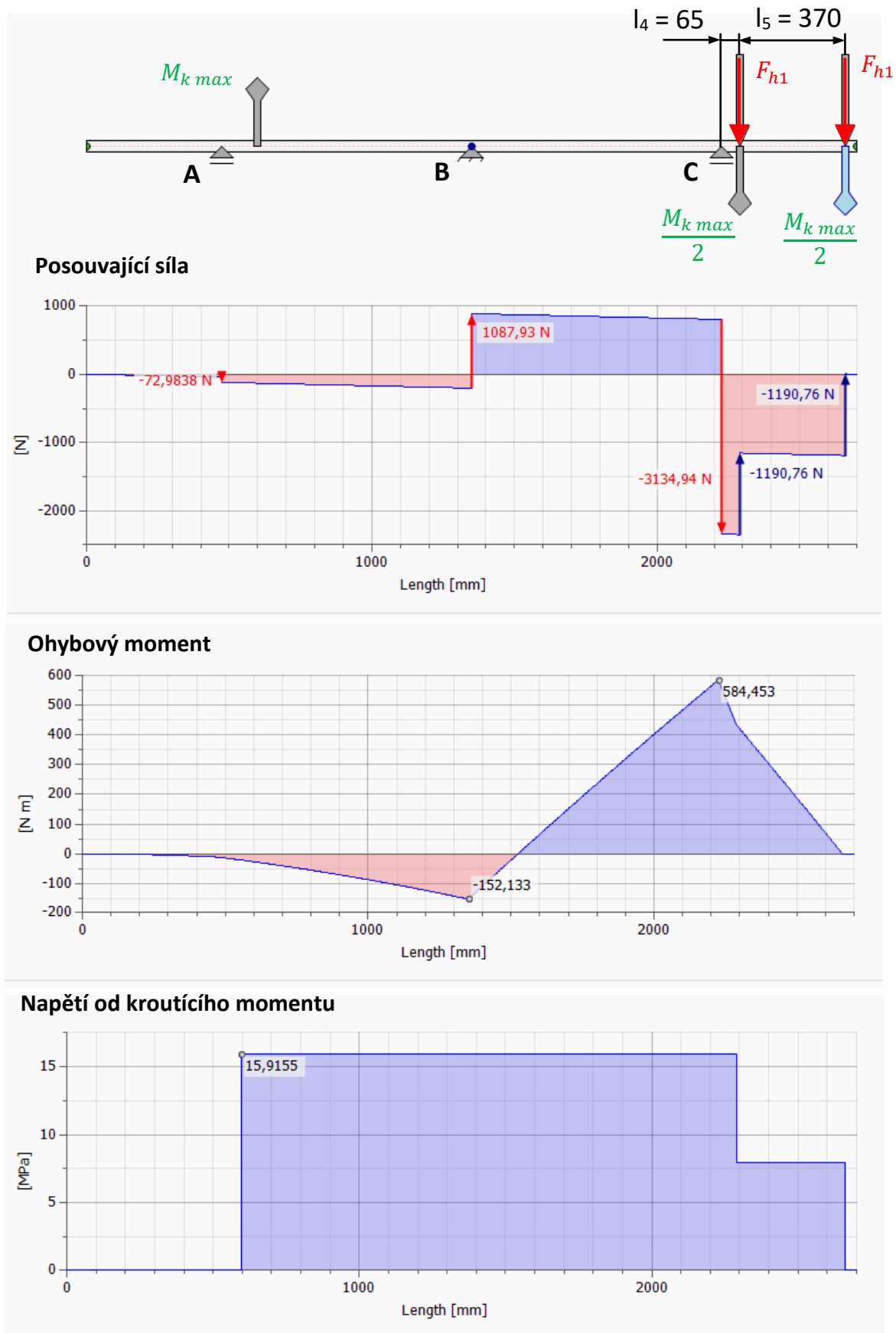
pevnost		5.8		8.8		10.9		12.9	
D	R	Mu	Fo	Mu	Fo	Mu	Fo	Mu	Fo
		N·m	N	N·m	N	N·m	N	N·m	N
M 6	1	6,4	5448	9,7	8302	14,3	12194	16,7	14269
M 8	1,25	16,1	10003	24,5	15242	35,9	22388	42	26198
M10	1,5	31,8	15930	48,4	24275	71	35655	83	41724
M12	1,75	54,9	23231	84	35401	123	51995	144	60845
M14	2	88	31905	133	48618	196	71408	229	83563
M16	2	137	43939	209	66955	307	98340	359	115079

Obrázek 44: Utahovací momenty a osová síla ve šroubech [9]

Porovnání minimálního předpětí šroubu (26) s tabulkou na obrázku 44 doporučené osově síly ve šroubu zjistíme, že šrouby M6 vyhovují, je ale nutné volit jejich pevnostní třídu 8.8 a vyšší.

3.3.5. Hřídel

Další kontrolovanou součástí je samotná centrální hřídel. Je nutné spočítat kombinované napětí složené z krutu a ohybu a porovnat ho s dovoleným napětím. Při pracovním stavu mohou nastat dvě varianty zátěže hřídele. Když jsou zatíženy úseky hřídele blíže ke středu mezi podporami B a C nebo když jsou zatíženy úseky na konci hřídele. Uvažuji, že větší redukované napětí bude v případě zatížení konce hřídele. Na obrázku 45 je znázorněno zatížení hřídele s vykreslenými průběhy posouvající síly, ohybového momentu a napětí od kroutícího momentu, které slouží pro určení kritického místa hřídele. Z toho vyplývá, že nejvíce namáhaným místem je krajní podpora C.



Obrázek 45: Průběh posouvající síly, ohybového momentu a napětí od krutu

Pro podporu C vypočítám redukované napětí a provedu kontrolu. Nejprve v místě podpory spočítám ohybový moment (27), tedy největší možné ohybové napětí na hřídeli (28).

$$M_{Oh} = F_{h1} \cdot (l_4 + l_5) + F_{h1} \cdot l_4 = 1190,7 \cdot (2 \cdot 65 + 370) = 595\,380 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (27)$$

$$\sigma_{Oh} = \frac{M_{Oh}}{W_{Oh}} = \frac{M_{Oh}}{\frac{\pi \cdot d_h^3}{32}} = \frac{595380}{\frac{\pi \cdot 40^3}{32}} = 94,76 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (28)$$

V dalším kroku zjistím kritické napětí v krutu (30). Musím si ale určit průřezový modul v krutu W_{kh} pro kruhový průřez (29), bez kterého by napětí na hřídeli nebylo možné spočítat.

$$W_{kh} = \frac{\pi \cdot d_h^3}{16} = \frac{\pi \cdot 40^3}{16} = 12\,566,4 \text{ mm}^2 \quad (29)$$

$$\tau_{kh} = \frac{M_{kmax}}{W_{kh}} = \frac{200\,000}{12\,566,4} = 15,92 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (30)$$

Pomocí energetické hypotézy je vypočteno redukované napětí hřídele.

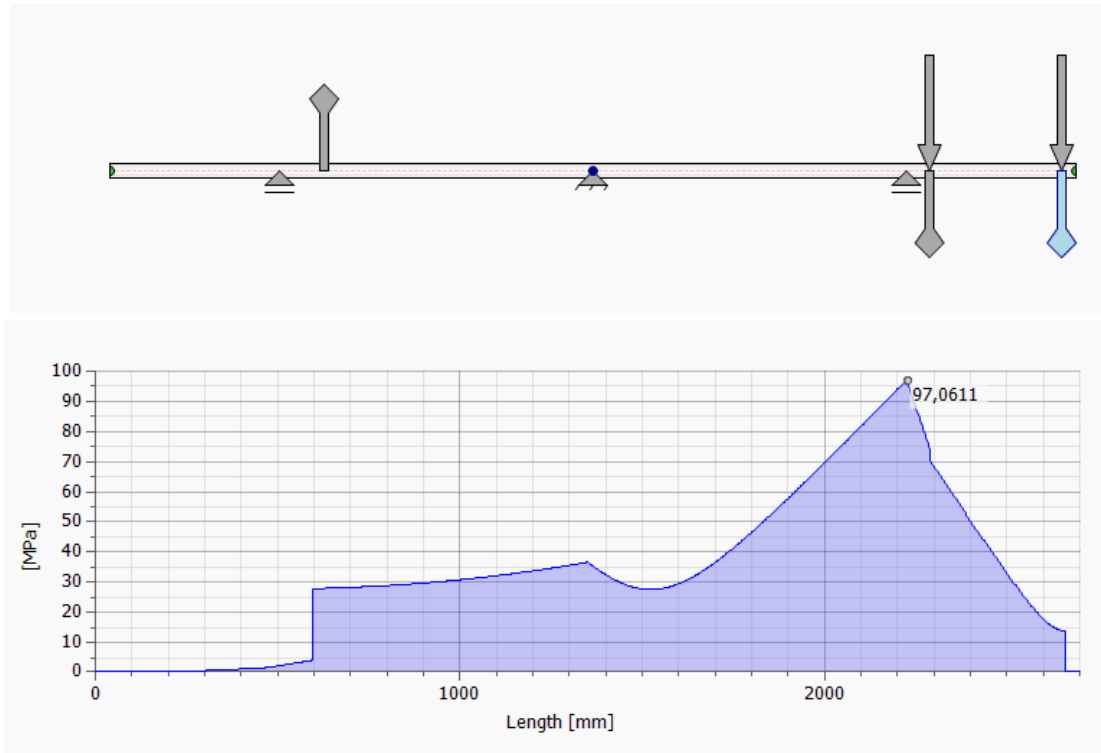
$$\sigma_{redh} = \sqrt{\sigma_{Oh}^2 + \alpha^2 \cdot \tau_{kh}^2} = \sqrt{94,76^2 + 3 \cdot 15,92^2} = 98,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (31)$$

Dále určím dovolené napětí hřídele. Mez kluzu hřídele pro průměr 40 mm podle technického listu vlastností oceli S355J2 je $335 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Součinitel statické bezpečnosti volím $k_r = 2$.

$$\sigma_{Dh} = \frac{\sigma_{Kr}}{k_r} = \frac{355}{2} = 177,5 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (32)$$

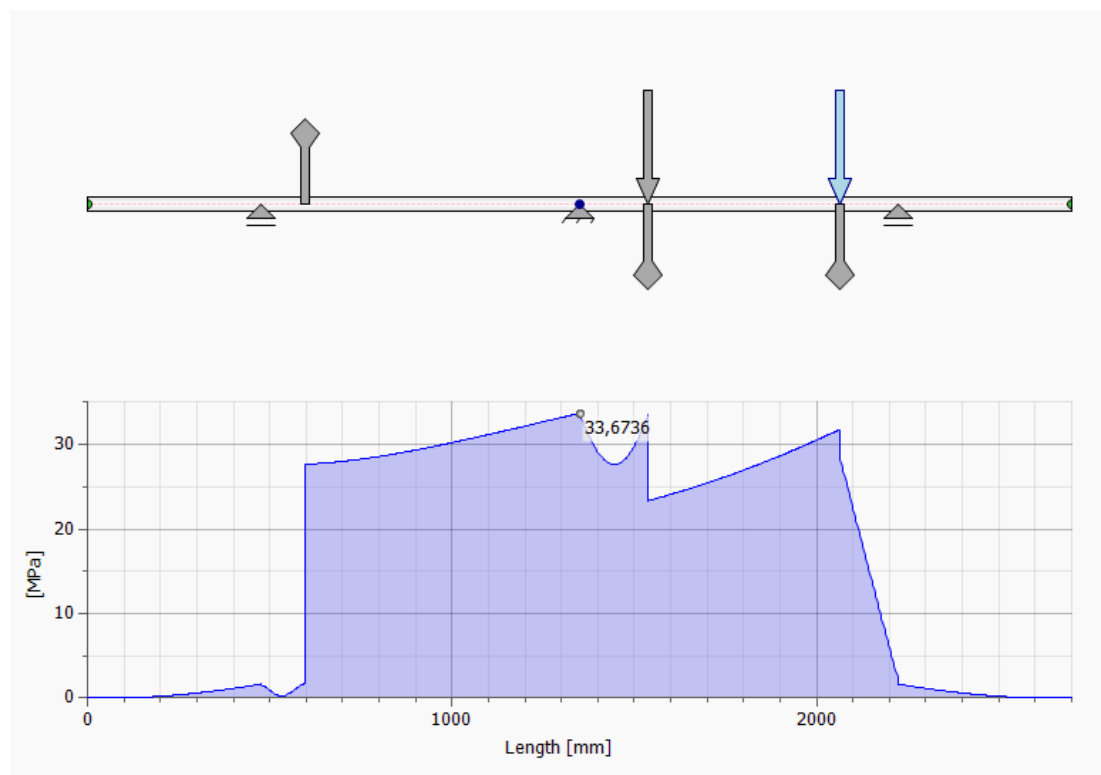
Pevnostní podmínka $\sigma_{redh} \leq \sigma_{Dh}$ je splněna z hlediska statické bezpečnosti. Jelikož je součást namáhána dynamicky, a to střídavým ohybem a krutem, bylo by dobré provést i dynamickou kontrolu hřídele. Ta porovnává výsledná napětí s dovolenou mezí únavy. V této práci je provedena pouze statická kontrola hřídele.

Získané hodnoty jsem si ověřil výpočtem v Inventoru, kde jsem zadal průřez hřídele a zatěžující sílu s kroutícími momenty. Inventor dokáže vykreslit jednak posouvající sílu, ohybový moment, napětí v krutu, ale také celkové redukované napětí podle energetické hypotézy HMM, více obrázek 46, kde vyšla hodnota redukovaného napětí $97,06 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Analyticky spočítané redukované napětí vyšlo $98,7 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$ (31). Tyto hodnoty jsou si blízké a liší se pouze o necelá dvě procenta. Lze tedy považovat výsledky za věrohodné.



Obrázek 46: Průběh redukovaného napětí na hřídeli

U druhé varianty zatížení, obrázek 47, kdy síly působí mezi podporami B a C, jen ověřím, zda je redukované napětí opravdu menší než v případě zatížení převislého konce hřídele.



Obrázek 47: Průběh redukovaného napětí příznivější varianty

Dále je také důležité zkontrolovat hřídel na přípustný poměrný zkrut. Modul pružnosti ve smyku pro uhlíkatou ocel je $81\,000\text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$. Pro výpočet zkrutu je zapotřebí zjistit ještě polární moment průřezu hřídele I_{ph} (33).

$$I_{ph} = \frac{\pi \cdot d_h^4}{32} = \frac{\pi \cdot 40^4}{32} = 251\,327,4\text{ mm}^4 \quad (33)$$

$$\vartheta_h^\circ = \frac{M_{k\max}}{G_h \cdot I_{ph}} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{200\,000}{81\,000 \cdot 251\,327,4} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,000563^\circ \quad (34)$$

Podmínka pro přípustné zkroucení zní $\vartheta_h^\circ \leq \vartheta_{Dh}^\circ$, kdy dovolený zkrut na 1 m délky je od $0,25^\circ$ do $0,35^\circ$ u součástí běžné konstrukce. Výsledek poměrného zkroucení hřídele (34) vyhovuje podmínce.

3.3.6. Hertzovy tlaky

Hertzovy tlaky řeší mechanické kontaktní pnutí, které vzniká v místě vzájemného silového působení dvou těles. V našem případě se jedná o kontakt tyče připevněné na centrálním hřídeli a kladky na konci páky hrázkovacího mechanismu.

Pro valení bez tření je mez kontaktního tlaku čtyřnásobkem meze kluzu ve smyku [10] nebo až dvojnásobek meze pevnosti. Pro výpočet kontaktního tlaku (36) nejdříve musím spočítat společný poloměr kontaktu R .

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_t} + \frac{1}{r_l} = \frac{1}{28} + \frac{1}{10} = \frac{19}{140} \rightarrow R = 7,368\text{ mm} \quad (35)$$

$$p_o = \left(\frac{E \cdot F_1}{\pi \cdot b \cdot R} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{210000 \cdot 391,6}{\pi \cdot 28 \cdot 7,368} \right)^{\frac{1}{2}} = 356,2\text{ Pa} \quad (36)$$

Výsledný tlak porovnám s hodnotou tlakové meze kluzu σ_{FI} pro ocel S355J2 z obrázku 48. Tlaková mez kluzu pro Hertzův tlak je hodnota, kdy začíná plastická deformace na povrchu jednotlivých součástí při jejich vzájemném kontaktu.

Steel Quality	E_k [N/mm ²]	$\sigma_{0,2}$ [N/mm ²]	k_c	σ_{FI} [N/mm ²]
S355 J2G3	$21,0 \cdot 10^4$	850	1.0	560
1.4418	$19,0 \cdot 10^4$	1250	1.1	1020

Obrázek 48: Mezní hodnoty Hertzových tlaků [11]

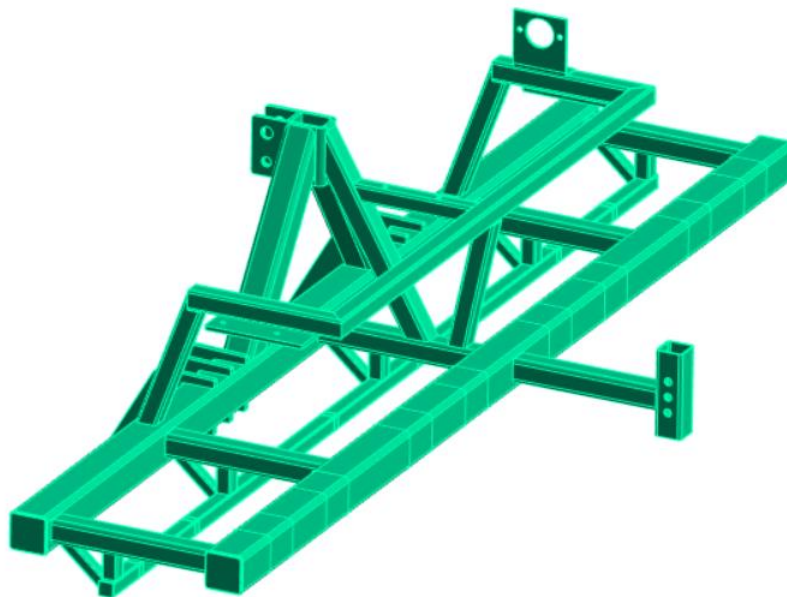
Jelikož je hodnota $\sigma_{FI} = 560 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, je tedy splněna podmínka $p_0 < \sigma_{FI}$ a není nutné měnit parametry kontaktních součástí. Ale šlo by kontaktní tlak snížit zvětšením průřezu tyče nebo prodloužit délku kladky a zvýšit tím tak styčnou plochu.

3.4. Pevnostní kontrola při pracovním zatížení

Další důležitou částí konstrukčního návrhu je pevnostní kontrola, která souvisí s nadimenzováním a případnou optimalizací výsledné konstrukce. Je provedena metodou konečných prvků v programu Ansys. Této kontrole je podroben rám stroje a hrázkovací slupice v pracovním zátěžném stavu. Tento stav nastane, když jsou všechny radličky a hrázkovací dláta v zemi a rozrývají půdu.

3.4.1. Rám

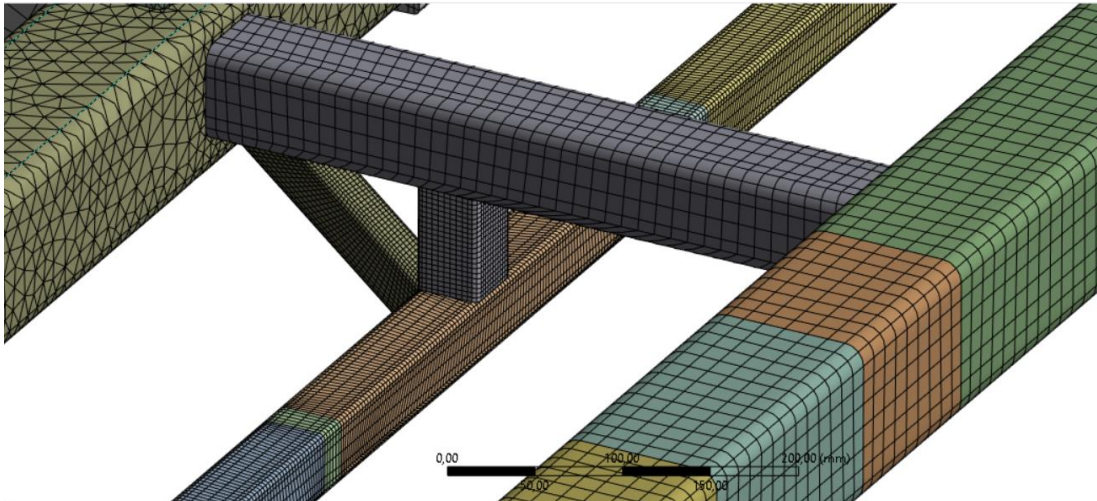
Výpočetní model byl vytvořen nainportováním 3D modelu rámu do programu Ansys. Z důvodu náročnosti výpočtu byly odstraněny svary a byly přidány různé technologické prvky, aby model co nejvíce odpovídal realitě. Tělesům modelu byly ponechány charakteristické rozměry, jedná se tedy o objemový model rámu. Do programu byl definován materiál a vlastnosti oceli S355J2, které byly přiřazeny ke každému tělesu. Mezi jednotlivými tělesy byly použity vazby bonded nahrazující svary.



Obrázek 49: Výpočetní model rámu hrázkovačky

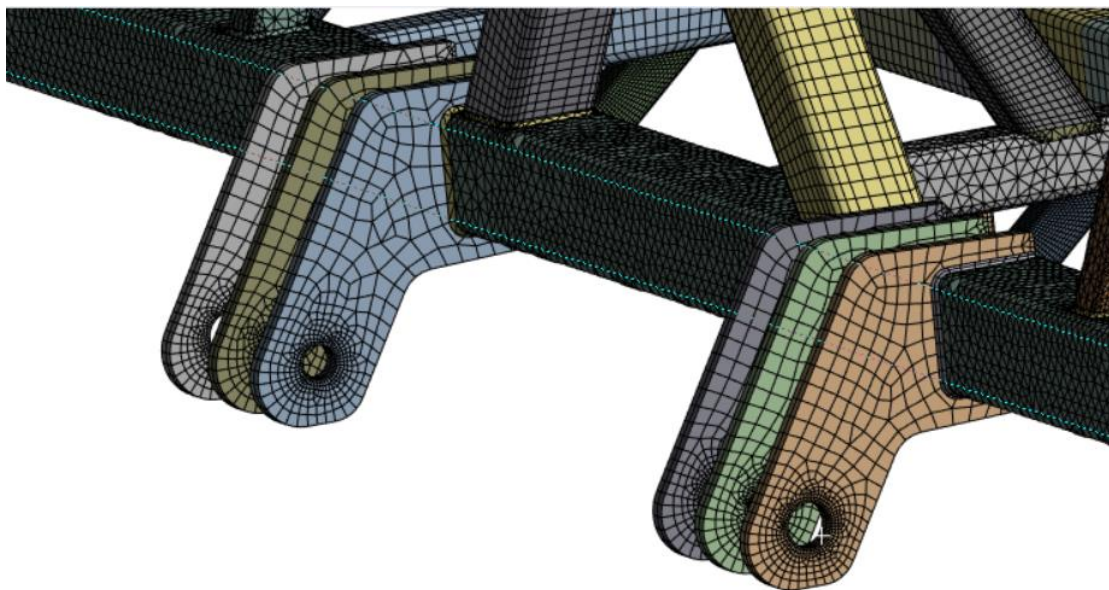
3.4.1.1. Síťování rámu

Z důvodu náročnosti výpočtu nelze udělat jemné síťování kompletně celého modelu. V základu byl použit čtyřuzlový prvek o velikosti elementu 14 mm. V problémových místech nebo pro menší konstrukční prvky byla síť zjemněna. Konkrétně jde o jekly, na které jsou přidělovány radličky, detail obrázek 50. U těchto jeklů byly použity elementy velikosti 4 mm.



Obrázek 50: Ukázka síťování rámu

Další zjemnění sítě bylo provedeno kolem otvorů uchycovacích plechů. Zde je velikost elementu nastavena na 1 mm, zadaná od válcové plochy otvoru, viz obrázek 51.



Obrázek 51: Detail zjemnění síťování kolem otvoru plechu uchycení

3.4.1.2. Zatížení a uchycení rámu

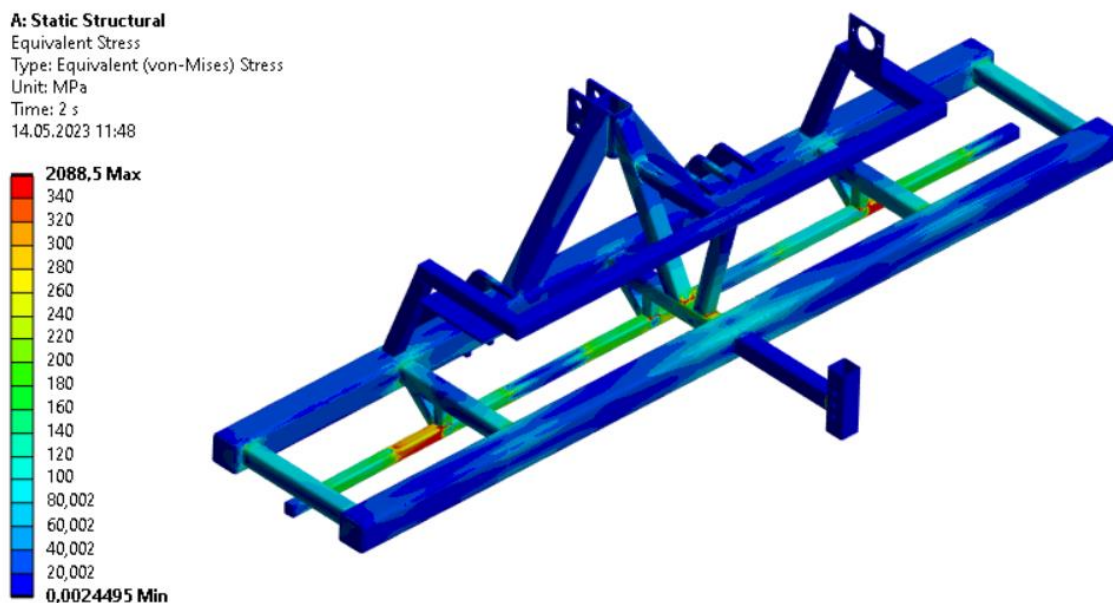
Rám se při používání může objevit ve dvou situacích. Jedním zatěžovacím stavem je přeprava stroje po komunikaci, kdy hraje roli pouze hmotnost stroje. Druhým zatěžovacím stavem, který může nastat a provádím pro něj pevnostní analýzu, je zatížení při práci na poli. Statické zatížení rámu ovlivňují síly působící proti směru pohybu práce stroje. Ty jsou vyvozeny sekcí radliček a sekcí hrázkovacích dlát. Maximální síla zatížení od jednoho pracovního prvku je dána maximální silou jistění. Jistící síla jedné radličky je 120 kg respektive 1 200 N. Zátěžná síla od každé radličky je spřažena přes funkci vzdálené

síly na příčný jekl 40x40x2 mm s reálnou plochu upevnění radličky. Dále je rám zatížen silami od hrázkovacích dlát, kdy jistící sílu slupice uvažujeme dle požadavku zadavatele 2 000 N. Tím vzniká zatížení rámu od každého dláta. Na rozdíl od radliček, kde lze hmotnost zanedbat, u hrázkovacích jednotek s tíhou musíme počítat. Každá jednotka váží okolo 30 kg, proto přidáme do místa těžiště jednotky sílu 300 N. Hrázkovací jednotky jsou připevněny sevřením k silnostěnnému jeklu 100x100 mm, proto také přes vzdálenou sílu definujeme vazbu reálného kontaktu a posunutí síly v souřadném systému do místa dláta, kde síla působí. U celého rámu je pak také bráno v úvahu gravitační tíhové zatížení.

Co se týče uchycení, jsou v oblasti děr pro čepy tříbodového závěsu definovány válcové podpory.

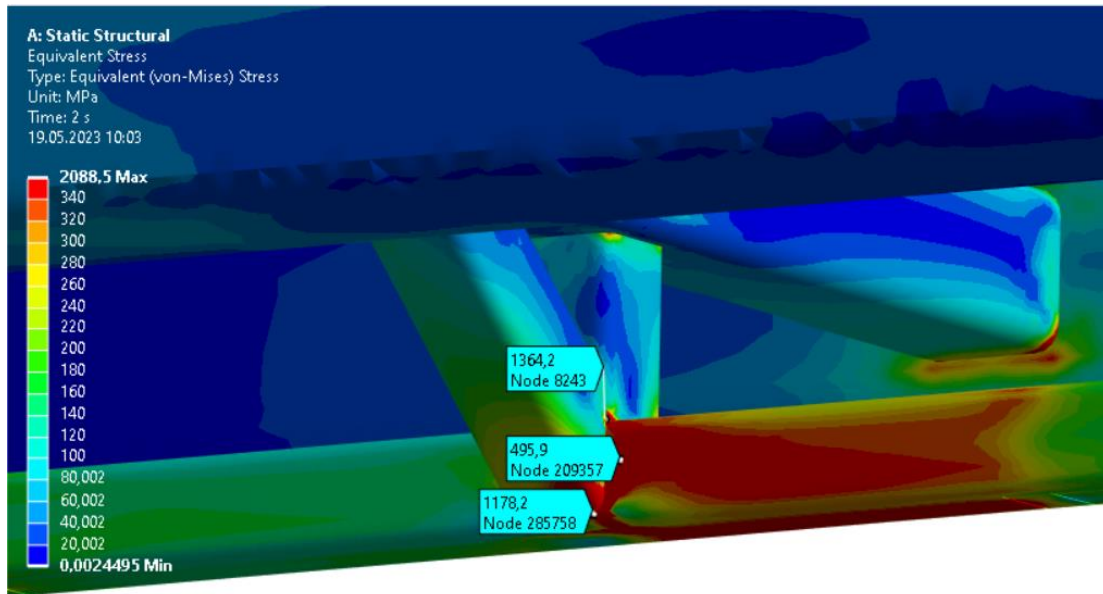
3.4.1.3. Výsledky pevnostní analýzy rámu

Pro vyhodnocení bylo použito vykreslení napětí podle Misese. Shrnutím napěťového pole pro zátěžný pracovní stav se nejkritičtější místo nachází nejen na dlouhém příčném jeklu nesoucím radličky, ale i v jeho okolí, obrázek 52.



Obrázek 52: Napěťové pole návrhového modelu rámu

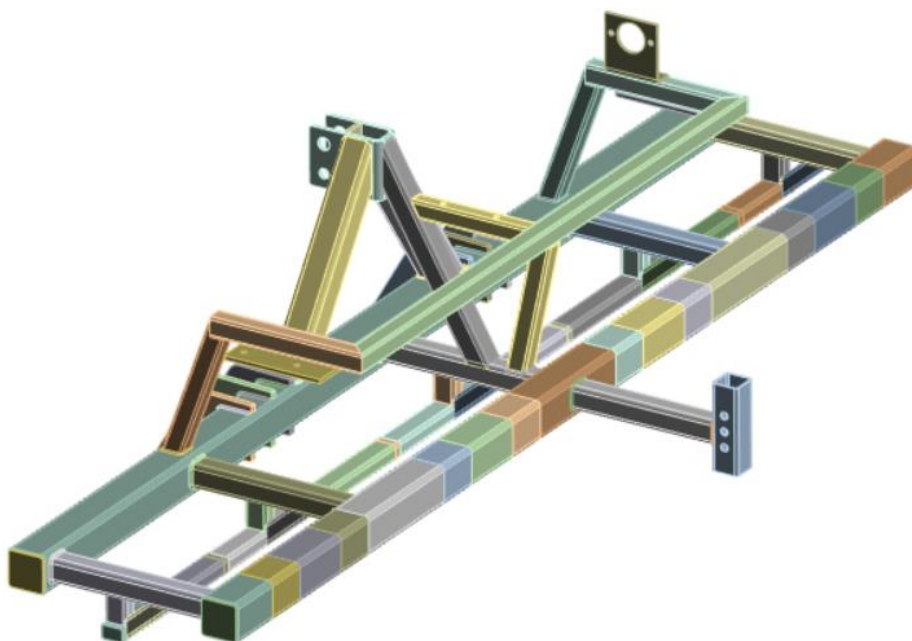
Vysoké napětí vzniká na příčném jeklu v oblasti, kde dochází k ohybu převislého konce. Dalšími místy se špičkami napětí přes 1 360 MPa jsou body kontaktu hran jeklu. Jelikož síly od radliček jsou na velkém rameni a vnáší do příčného jeklu velký krut, je pravděpodobné, že byl zvolen jekl malé tloušťky a stěny se tak provalují a deformují.



Obrázek 53: Detailní pohled na kritické místo

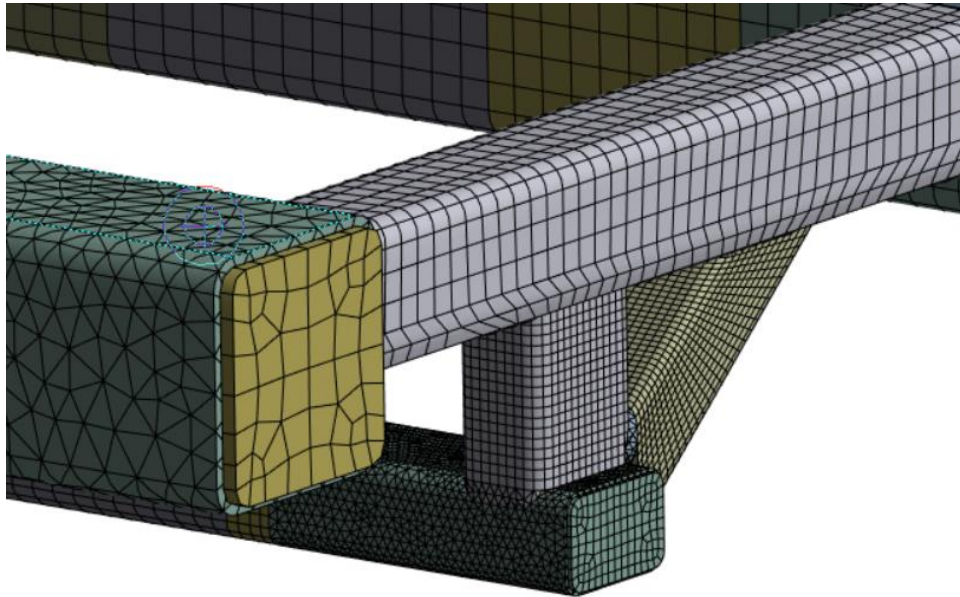
3.4.1.4. Úprava rámu

Z předchozí kapitoly výsledků je patrné, že je zapotřebí udělat několik konstrukčních úprav rámu. Aby nedocházelo k ohybu převislého konce, byly na každý konec přidány podpůrné jekly. Šikmé jekly zachycující kroučící moment byly přemístěny na druhou stranu dlouhého příčného jeklu. Protože na příčný jekl působí kroučící moment, muselo dojít ke zvětšení tloušťky jeklu a ke zvětšení průřezu. Dlouhý příčný jekl má proto rozměry 60x40x4 mm. Stejné rozměry má pak i svislý podpěrný jekl a šikmé jekly jsou změněny na rozměr 40x40x3 mm.



Obrázek 54: Upravený výpočetní 3D model rámu

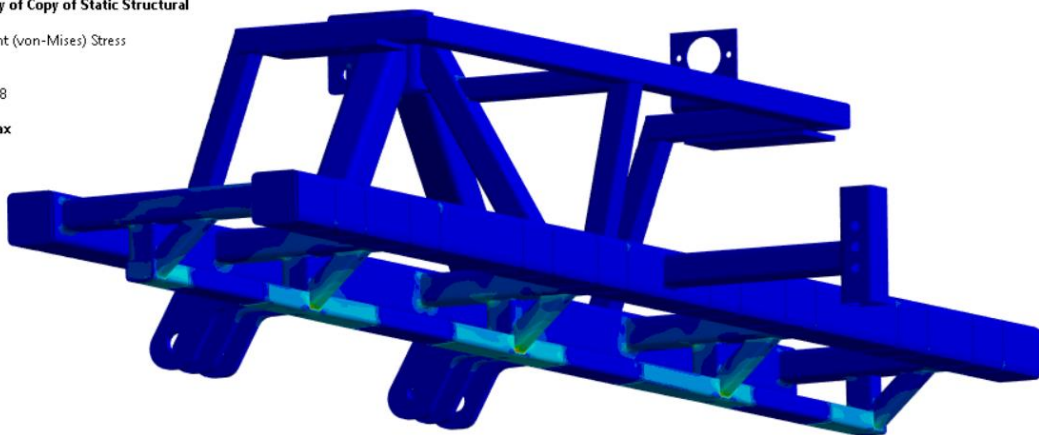
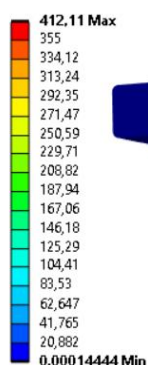
Na detailním pohledu obrázku 55 je vidět uspořádání jechlů a zjemnění sítě u namáhané konstrukce nesoucí radličky, které je stejné jako v předchozím případě.



Obrázek 55: Detail vyztužení konstrukce

Při zvětšení průřezu jechlů nesoucích sekci radliček výrazně kleslo napětí v jednotlivých nosnících. Největší analyzované napětí je 412 MPa. Jde pouze o špičkové napětí nacházející se v jednom uzlovém bodě kontaktu dlouhého příčného jecku a kratšího šikmého, což může být způsobeno buď důsledkem nedokonalého přenosu zatížení, nebo důsledkem špatného napojení sítě dílčích součástí. Nyní jsou krátké jeckly zatěžovány tlakem. Oproti první variantě, kdy docházelo k natahování jecklu a mohlo snadněji dojít k prasknutí svarů.

E: Copy of Copy of Copy of Static Structural
 Figure 2
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 2 s
 14.05.2023 17:38

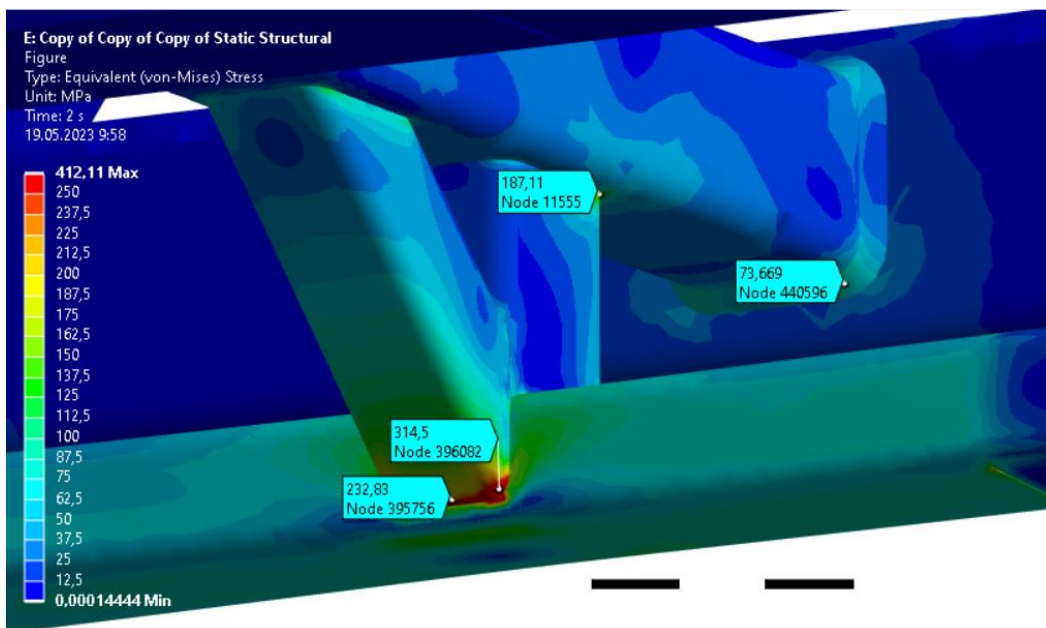


Obrázek 56: Průběh napětí upravené konstrukce

Detailní pohled na nejkritičtější místo, viz obrázek 57. Pro názornější zobrazení průběhu napětí je upravena barevná škála stupnice na 250 MPa. Vyšší napětí objevující se na rozích šikmých jechlů je pak okolo 314 MPa. Důvodem vysoké hodnoty napětí může být

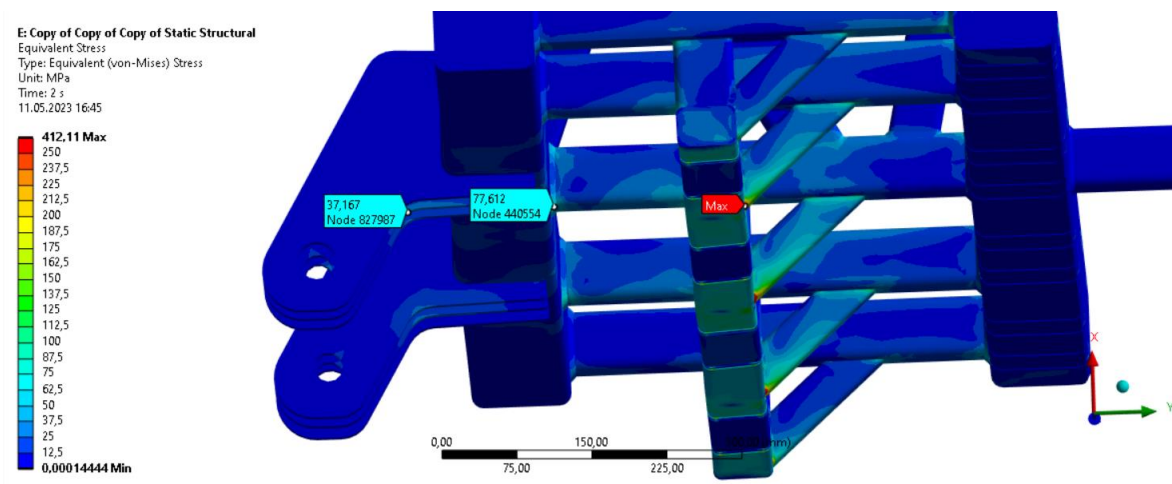
nedostatečná tloušťka jeklu, rádius jeklu nebo nepřesné vymodelování svaru. Jinak napětí v celém rámu nepřesahují 233 MPa, což je ve výsledku na straně bezpečnosti přibližně 1,52, jedná-li se o jekly a plechy. Pro koutové svary je tato hodnota ještě snížena o koeficient anizotropie. Hodnota součinitele anizotropie pro čelní koutové svary je zvoleno 0,9. Tato hodnota vychází z normy ČSN 05 0120 pro koutové svary. Výsledná statická bezpečnost koutových svarů z rovnici (37) vychází 1,37.

$$k_{sv} = \frac{\sigma_{Kr}}{\sigma_{ram}} \cdot \alpha_{\tau} = \frac{355}{233} \cdot 0,9 = 1,37 \quad (37)$$



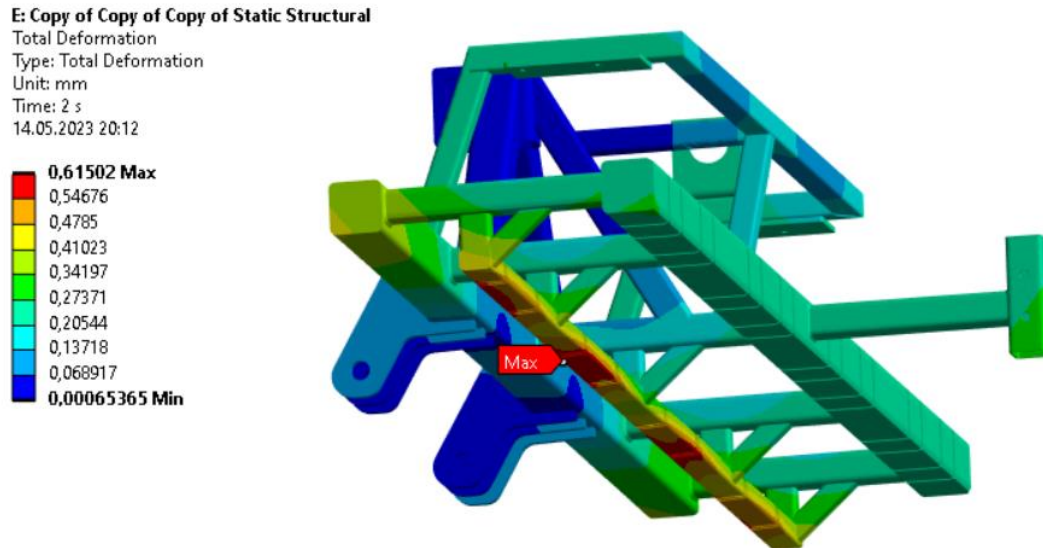
Obrázek 57: Detailní pohled kritického místa upraveného rámu

Mezi další namáhaná místa patří svary podélných jeklů s hlavními nosnými jekly 100x100 mm a plechy sloužící k připojení k traktoru, kde se objevuje bezpečné napětí 37 MPa, místa označená na obrázku 58.



Obrázek 58: Pohled na další místa napětí

Co se týče celkové deformace, jeví se konstrukce rámu jako velmi tuhá a neumožňuje při zatížení velké deformace, viz obrázek 59. Nejvíce dochází k deformaci příčného jeklu, který je namáhán krutem a ohybem od radliček.



Obrázek 59: Celková deformace zatíženého rámu

3.4.2. Slupice

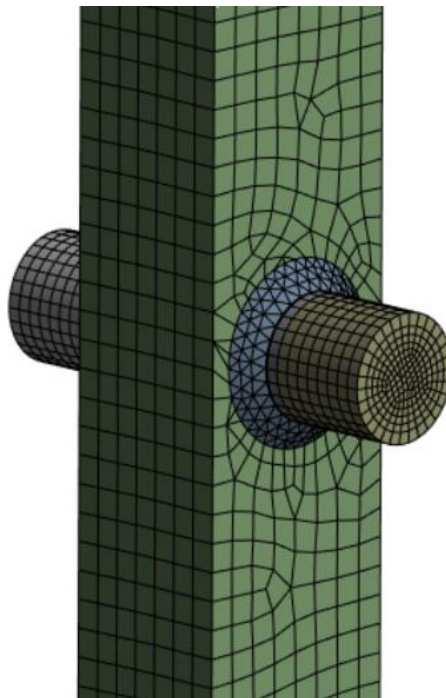
Model slupice byl také nainportován do programu Ansys. Jelikož se jedná o relativně jednoduchý díl, nebylo potřeba upravovat konstrukční model a přidávat další technologické prvky. Objemový model se skládá ze slupice, dvou čepů a čtyř koutových svarů, viz obrázek 60. Materiál zůstal stejný pro všechna tělesa, tedy ocel S355J2. Mezi jednotlivými částmi byly použity vazby bonded a frictionless.



Obrázek 60: Výpočetní model slupice hrázkovací jednotky

3.4.2.1. Síťování slupice

Jedná se o menší objemové těleso. Oproti rámu je tedy možné zvolit jemnější síť. Pro čepy a svary bylo zvoleno síťování s velikostí elementu 2 mm. Pro slupici byla vybrána metoda síťování šestistěnnými elementy, které lze vidět na obrázku 61.



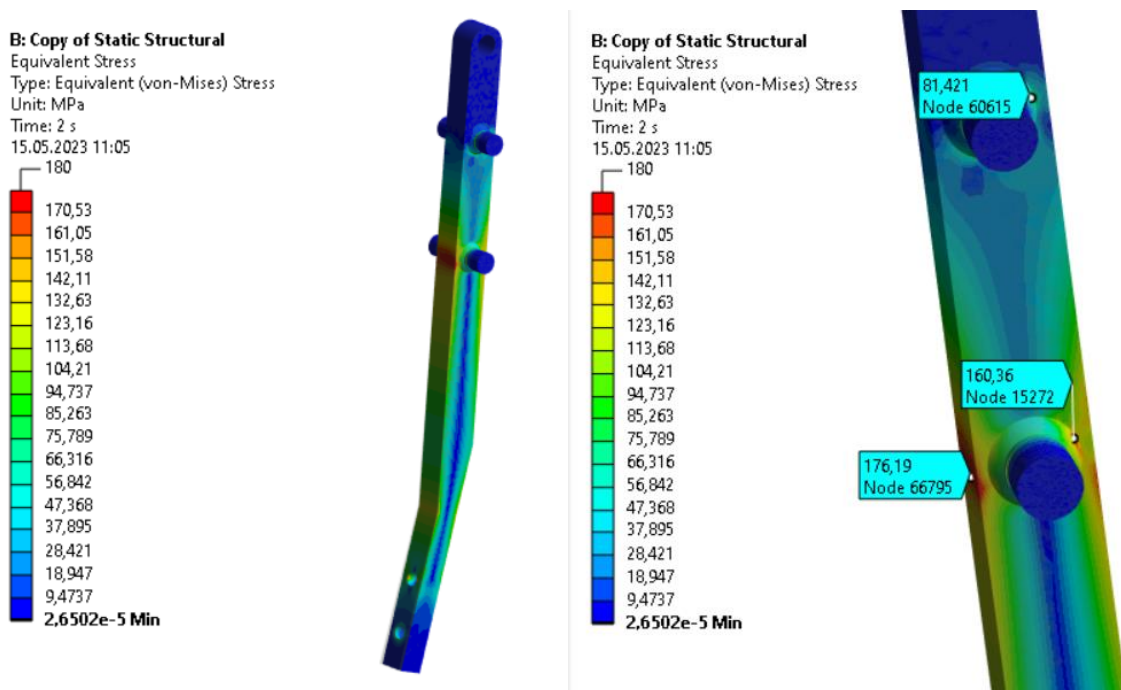
Obrázek 61: Síťování slupice a čepu

3.4.2.2. Zatížení a uchycení slupice

Je zapotřebí ověřit, jestli slupice dokáže odolat odporovým silám a zda je navržena na jistící sílu 2 000 N. Proto je slupice chycena za konce čtyř čepů válcovou vazbou a vytvořena tak podpora. Zatěžující síla působí na plochu, kam dosedá dláto.

3.4.2.3. Výsledek pevnostní analýzy slupice

Z výsledků je patrné, že slupice vyhovuje pevnostní kontrole. Nejvyšší napětí 176 MPa je na stěnách v místě dolního čepu. To ale odpovídá dostatečné bezpečnosti i pro dynamicky namáhanou součást, jakou je právě slupice. Další vyšší vypočtená hodnota je pak 160 MPa ve svaru dolního čepu. Hodnoty v nejméně namáhaných místech jsou vyznačeny na obrázku 63.



Obrázek 62: Průběh napětí slupice

Obrázek 63: Detail na nejméně namáhaná místa

Největší deformace na slupici je na samotném konci slupice, kde působí zatěžující síla. Celková deformace je vykreslena na obrázku 64.

B: Copy of Static Structural

Directional Deformation

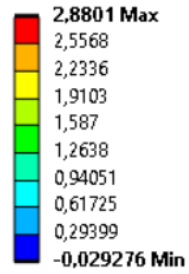
Type: Directional Deformation(X Axis)

Unit: mm

Global Coordinate System

Time: 2 s

15.05.2023 11:28



Obrázek 64: Celková deformace slupice

4. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout nesené zařízení za traktor pro zlepšení vsakování srážkové vody do vrstev půdy. Konstrukční návrh zohledňuje používané zemědělské technologie zpracování půdy a požadavky uživatele na nastavitelnost a jednoduchost používání stroje. Požadováno bylo využití pro širokořádkové rostliny, a to pro kukuřici nebo řepu.

V teoretické části byla provedena rešerše strojů, které se využívají pro zpracování půdy a infiltraci vody do ní. U jednotlivých skupin jsou pro názornost uvedeny běžně vyráběné modely. Také je zde vytvořený přehled variant pracovních nástrojů a výběr vhodného hydromotoru pro pohon hrázkovacích jednotek.

Na základě rešerše byl sestaven koncept stroje a vytvořen nosný rám hrázkovačky. Tento rám je svařen z normalizovaných dílců oceli S355J2. Na něj jsou namontovány podpěrná kolečka, radličky, hrázkovací jednotky a ústrojí zajišťující pohyb hrázkovacích dlát. Součástí práce je detailní popis navržené konstrukce.

V další části práce jsou provedeny návrhové a kontrolní výpočty vybraných uzlů konstrukce. Konkrétně návrh páky hrázkovací jednotky a výpočet působících sil, kontrola čepu páky, výpočet potřebného kroutícího momentu a návrh hydromotoru, únosnost svěrného spoje, kontrola napětí centrálního hřídele a Hertzovy tlaky mezi pákou hrázkovací jednotky a tyčí svěrného spoje. Při návrhu vycházím z dosavadních znalostí získaných během studia a z uvedené literatury.

Na závěr praktické části je provedena statická pevnostní kontrola rámu hrázkovacího stroje pomocí metody konečných prvků. Zde je detailně popsána tvorba výpočetního modelu rámu, síťování a zatížení rámu při pracovním stavu stroje. Jelikož při prvotním návrhu rámu dochází k výraznému překročení meze kluzu, byly navrženy konstrukční úpravy jeklů nesoucích radličky a provedena nová kontrola v MKP programu. Po provedení změn došlo k výraznému poklesu napětí pod mez kluzu. Kromě toho byla provedena pevnostní kontrola hrázkovací slupice. U slupice byl postup obdobný. Nejprve je popsáno kompletní vytvoření modelu, síťování slupice a zatížení odporovou silou vznikající při zpracování půdy. Návrh slupice dosáhl maximální hodnoty redukováného napětí 180 MPa, což vyhovuje pevnostní podmínce.

Zařízení bylo navrženo podle požadovaných parametrů a po úpravách vyhovuje všem pevnostním kontrolám.

Seznam použité literatury

- [1] KUMHÁLA, František. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.
- [2] BRANT, Václav. Efektivní hospodaření s vodou a eliminace degradace půdy v pěstebních systémech kukuřice seté. Praha: Agrární komora České republiky, 2020. ISBN 978-80-88351-13-9.
- [3] JANEČEK, Miloslav. Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika. Praha: Powerprint, 2012. ISBN 978-80-87415-42-9.
- [4] PROFI PRESS. Ochrana půdy proti erozi. Zemědělec [online]. 2009, 26.06.2009 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/ochrana-pudy-proti-erozi/>
- [5] Vodní eroze půdy. EAGRI [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/vodni-eroze-pudy/>
- [6] Eroze. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Eroze>
- [7] FISCHEROVÁ, Monika. Stanovení ztráty půdy erozí a návrh protierozních opatření. Brno, 2016. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [8] AUER, Petr. Stroje pro mělké zpracování půdy (stroje pro podmítku). Brno, 2017. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně.
- [9] Utahovací momenty metrických šroubů. Briol: Spojovací materiály [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/cs/m-364-utahovací-momenty-metrických-sroubu>
- [10] Maximum contact pressuer. ScienceDirect [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/maximum-contact-pressure>
- [11] EGGERT, Helmut a Wolfgang KAUSCHKE. Structural bearings. Berlin: Ernst, 2002. ISBN 3-433-01238-5.
- [12] Contact mechanics: Study of the deformation of solids that touch each other. Wikiwand [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://www.wikiwand.com/en/Contact_mechanics
- [13] ISO 730:2009. Agricultural wheeled tractors — Rear-mounted three-point linkage — Categories 1N, 1, 2N, 2, 3N, 3, 4N and 4. Geneva: ISO copyright office, 2009.
- [14] Třibodový závěs je geniálním řešením, které usnadňuje připojení nářadí k traktoru. Všichni na něj čekali, vynálezce ho zadarmo nedal. Agroportal24h.cz [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.agroportal24h.cz/clanky/tribodovy-zaves-je-genialnim-resenim-ktere-usnadnuje-pripojeni-naradi-k-traktoru-vsichni-na-nej-cekali-vynalezce-ho-zadarmo-nedal>
- [15] Agrozet [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.agrozet.cz/e-shop/zetor-54446929-tahlo-spodni-leve-automat-hak-cbm-d12276.html>
- [16] DLOUHÝ, Petr. Návrh měřicího zařízení na třibodový závěs. Praha, 2021. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [17] ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Brno, 2001.

- [18] Přímočarý dvojitý hydromotor ZH2T. In: Hydraulics: Hydraulické mechanismy [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/24974-zh2t-primocary-hydromotor-dvojcinnny-tlumeni>
- [19] Hydromotory a hydrogenerátory. Spssol [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.spssol.cz/rsimages/DIGI1/html/cad/Hydromotory%20a%20hydrogen er%C3%A1tory/Modul.html>
- [20] Pöttinger [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://www.poettinger.at/cs_cz/newsroom/artikel/14243/mechanicka-starostlivost-o-plodiny-s-firmou-poettinger#
- [21] Bednar FMT [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.bednar.com/>
- [22] Väderstad [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.vaderstad.com/en/>
- [23] Lemken [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://lemken.com/en-en/>
- [24] Hlubkový kypřič Digger. In: Farmet [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.farmet.cz/cs/hlubkovy-kypric-digger>
- [25] Větrná eroze nabývá na síle. Stále víc ohrožuje zemědělskou půdu. In: Lidovky.cz [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://www.lidovky.cz/ceska-pozice/vetrna-eroze-nabyva-na-sile-stale-vic-ohrozuje-zemedelskou-pudu.A200908_011700_pozice-tema_lube
- [26] Teoretické minimum k vodní erozi [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://encyklopedie.vumop.cz/index.php/TEORETICK%C3%89_MINIMUM_K_VODN%C3%8D_EROZI
- [27] Kypření. In: Opall-Agri [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.opall-agri.cz/cz/kypreni>
- [28] Hydraulický motor BMR absorpce. In: Hydrolider: hydraulic components [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicky-motor-BMR-absorpce-80cm3ot-otacky-750otmin/7891
- [29] Nová půdoochranná opatření při pěstování brambor. Agromanuál [online]. 2016 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/nova-pudoochranna-opatreni-pri-pestovani-brambor>
- [30] Striptill jako lék na zhutnělé půdy. In: Agromanual.cz [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/striptill-jako-lek-na-zhutnele-pudy>
- [31] Dammer diker. In: Ag engeneering and development company [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.dammerdiker.com/dammer-diker.html>
- [32] 2022 Logan 6-Row Yield Pro Water Dammer. In: SpudEquip.com [online]. [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.spudequip.com/listing/2022-logan-6-row-yield-pro-water-dammer>
- [33] Mechanizace zemědělství: Odborný časopis pro zemědělskou techniku. 2023. Praha: Profi Press, 2023.
- [34] Základy zpracování půdy (4): Mechanizační prostředky pro provedení podmínky a mělkého zpracování půdy. Agromanuál [online]. 2021 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/technologie/zaklady-zpracovani-pudy-4-mechanizacni-prostredky-pro-provedeni-podmitky-a-melkeho-zpracovani-pudy>



- [35] Pero levé typ Quadro 20X20 Ø 90 mm. Kardanka [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.kardanka.cz/pero-leve-typ-quadro-20x20-90-mm-26086?SearchedText=quadro%2020x20&AutocompleteName=pero%20lev%C3%A9%20typ%20quadro%2020x20%20%C3%98%2090%20mm&lds=17>
- [36] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5. upr. vyd. Úvaly: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [37] ŠVEC, Vladimír. Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2008, ISBN 978-80-01-04138-3.
- [38] POSPÍCHAL, Jaroslav. Technické kreslení. Vyd. 3., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 978-80-01-03214-52008.

Seznam obrázků

- Obrázek 1: Působení vodní eroze na poli
Obrázek 2: Degradace úrodné půdy na poli s kukuřicí
Obrázek 3: Vznik vodního škraloupu na povrchu půdy v meziřádku kukuřice
Obrázek 4: Univerzální radličkový kypřič Neptun od firmy Opall-Agri
Obrázek 5: Talířový kypřič Lemken Heliodor
Obrázek 6: Väderstad Carrier XT
Obrázek 7: Hlubkový kypřič Farmet Digger
Obrázek 8: Meziřádkový kypřič BEDNAR ROV-MASTER RN_PROFI
Obrázek 9: Vytváření hrázek v meziřádku brambor
Obrázek 10: Ukázka zadržování vody ve vytvořených hrázcích
Obrázek 11: Hrázkovačka brambor
Obrázek 12: Rozvod hnojiva ze zásobníku
Obrázek 13: Typy radliček a druhů jištění
Obrázek 14: Tvar talířů
Obrázek 15: Uchycení slupice na rám
Obrázek 16: Prutový válec
Obrázek 17: Typy pěchů
Obrázek 18: Schéma třibodového uchycení na stroji - varianta 1
Obrázek 19: Schéma třibodového uchycení na stroji - varianta 2
Obrázek 20: Schéma třibodového závěsu
Obrázek 21: Spodní rameno - kloubová oka
Obrázek 22: Spodní rameno - rychloupínací hák
Obrázek 23: Zubový hydromotor s vnějším ozubením
Obrázek 24: Rotační orbitální hydromotor s vnitřním ozubením
Obrázek 25: Radiální pístový hydromotor
Obrázek 26: Schéma lamelového hydromotoru
Obrázek 27: Konstrukční typy přímočarých hydromotorů
Obrázek 28: Přímočarý dvojčinný hydromotor
Obrázek 29: Model stroje na hrázkování
Obrázek 30: Výsledný model rámu
Obrázek 31: Rám - označená kostra
Obrázek 32: Rám - přípojná část do třibodového závěsu
Obrázek 33: Rám - nosný jekl radliček a držák podpěrné nohy
Obrázek 34: Rám - překlenovací konstrukce
Obrázek 35: Opěrné stavitelné kolečko
Obrázek 36: Podpěrná noha
Obrázek 37: Torzní slupice s šípovou radličkou
Obrázek 38: Hrázkovací jednotka
Obrázek 39: Model použitého hydromotoru
Obrázek 40: Schématické zobrazení natočení páky hrázkovacího mechanismu
Obrázek 41: Rozložení sil na páce hrázkovacího mechanismu
Obrázek 42: Schéma zatížení čepu
Obrázek 43: Rozložení sil mezi centrální hřídelí a pákou hrázkovacího mechanismu
Obrázek 44: Utahovací momenty a osová síla ve šroubech
Obrázek 45: Průběh posouvající síly, ohybového momentu a napětí od krutu
Obrázek 46: Průběh redukováného napětí na hřídeli
Obrázek 47: Průběh redukováného napětí příznivější varianty

- Obrázek 48: Mezní hodnoty Hertzových tlaků
- Obrázek 49: Výpočetní model rámu hrázkovačky
- Obrázek 50: Ukázka síťování rámu
- Obrázek 51: Detail zjemnění síťování kolem otvoru plechu uchycení
- Obrázek 52: Napěťové pole návrhového modelu rámu
- Obrázek 53: Detailní pohled na kritické místo
- Obrázek 54: Upravený výpočetní 3D model rámu
- Obrázek 55: Detail vyztužení konstrukce
- Obrázek 56: Průběh napětí upravené konstrukce
- Obrázek 57: Detailní pohled kritického místa upraveného rámu
- Obrázek 58: Pohled na další místa napětí
- Obrázek 59: Celková deformace zatíženého rámu
- Obrázek 60: Výpočetní model slupice hrázkovací jednotky
- Obrázek 61: Síťování slupice a čepu
- Obrázek 62: Průběh napětí slupice
- Obrázek 63: Detail na nejvíce namáhaná místa
- Obrázek 64: Celková deformace slupice

Seznam tabulek

- Tabulka 1: Kinetická energie dešťových kapek
- Tabulka 2: Redukce eroze v závislosti pokryvnosti rostlinnými zbytky
- Tabulka 3: Rozdělení kategorie závěsu podle výkonu traktoru
- Tabulka 4: Připojovací rozměry stroje
- Tabulka 5: Závislost otáček na pojezdové rychlosti

Seznam příloh

- Příloha 1: Hrazkovacka_model