



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

OTOČNÝ RADLIČNÝ PLUH

REVERSIBLE MOUNTED PLOUGH

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Krutský

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Bc. Lukáš Krutský**
Studijní program: Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24

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

Otočný radličný pluh

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Koncepční návrh konstrukce otočného plně neseného radličného pluhu. Konstrukce radličného pluhu je v základu tříradličná s možností připevnění další jedné sekce dle možností trakčního výkonu traktoru. Součástí radličného pluhu je brzdové kolo určené pro nastavení hloubky orby.

Technické požadavky:

Zavěšení radličného pluhu na tříbodovém traktorovém nosiči třídy II.

Cíle diplomové práce:

Rešeršní rozbor radličného pluhu obdobné výkonové řady.
Rešeršní rozbor typu půd pro obdělávání v zemědělství.
Koncepční návrh radličného pluhu s návrhem dodavatelských komponent.
Funkční kinematiky nastavení, rozměrové a silové výpočty.
Pevnostní kontrola vybraných konstrukčních uzlů.
Doporučené výkonové parametry traktorů dle konfigurací.
Výkres sestavy radličného pluhu.
Podsestava svařence tříbodového závěsu radličného pluhu.
Dílenské výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

SYROVÝ, Otakar. Doprava v zemědělství. 1. vyd. Praha: Profi Press, 2008. ISBN 9788086726304.

VLK, František. Dynamika motorových vozidel. 2. vyd. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 8023900242.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). Konstruování strojních součástí. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne 24.5.2024

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá koncepčním návrhem neseného otočného radličného pluhu. Pluh je navržen pro agregaci s traktory s třibodovým závěsným systémem kategorie 2N/2. Byla provedena rešerše obdobných zařízení odpovídající výkonové řadě a dalších konstrukčních řešení pluhů pro orbu zemědělské půdy. Koncept je navržen a podložen analytickými výpočty rozměrových a funkčních vlastností. Pevnostní výpočty jsou provedeny v souladu s platnými normami. Kritická místa zařízení jsou kontrolována metodou konečných prvků. Práce obsahuje kinematické schéma nastavování zařízení, obrázky 3D modelů pluhu a výkresovou dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Otočný radličný pluh, traktor, třibodový závěs, zpracování půdy, pevnostní analýza

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the conceptual design of a reversible mounted plough. The plough is designed for aggregation with tractors with a three-point hitch category 2N/2. A search was made for similar devices corresponding to the performance range and other construction solutions of ploughs for ploughing agricultural land. The concept is designed and based on analytical calculations of dimensional and functional properties. Strength calculations are made according to the standard. The critical points of the equipment are checked by the finite element method. The thesis includes a kinematic diagram of setting up the device, pictures of 3D models of plough and drawing documentation.

KEYWORDS

Reversible mounted plough, tractor, three-point hitch, processing of soil, strength analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KRUTSKÝ, L. *Otočný radličný pluh*. Brno, 2024. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí diplomové práce Jaroslav Kašpárek. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/156801>.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. května 2024

.....

Bc. Lukáš Krutský

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mě podporovali a pomáhali mi při psaní této diplomové práce, především svému vedoucímu panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za ochotu a trpělivost při pravidelných konzultacích. Dále panu Ing. Pavlu Fajkusovi za cenné rady v oblasti zemědělské techniky a možnost seberealizace na tomto projektu. Velmi významné poděkování patří mým rodičům, kteří mi umožnili studovat na vysoké škole a vždy mě v tomto studiu plně podporovali.

OBSAH

Úvod.....	11
1 Vlastnosti a charakter půd zpracovávaných zemědělskou technikou	12
1.1 Druh půdy	12
1.2 Typ půdy.....	13
1.3 Vlastnosti půdy	13
2 Radličné pluhy	15
2.1 Rozdělení pluhů.....	15
2.2 Orba radličným pluhem	20
2.3 Radličný pluh a jeho části.....	21
2.3.1 Orební ústrojí.....	21
2.3.2 Rám pluhu	25
2.3.3 Otočný, zdvihací a stavěcí mechanismus	26
2.3.4 Tříbodový závěs	27
2.3.5 Podpěrné kolo	29
2.4 Pluhy obdobné výkonové řady používané v zemědělství.....	29
3 Teorie práce klínu v půdě	32
3.1 Práce třístranného klínu v půdě	32
3.2 Práce dvoustranného klínu v půdě.....	33
3.3 Tření na pracovní ploše klínu	34
4 Koncepční návrh pluhu.....	37
4.1 Rozmístění pracovních částí pluhu.....	37
4.2 Předradlička	40
4.2.1 Volba předradličky	41
4.2.2 Síla potřebná k tažení předradliček	42
4.3 Kotoučové krojidlo	43
4.3.1 Volba kotouče.....	43
4.3.2 Síla potřebná k tažení kotoučového krojidla	44
4.4 Volba podpěrného kola.....	47
4.5 Tahový odpor pluhu	47
4.6 Rovnice výkonů.....	49
4.7 Pevnostní kontrola vybraných konstrukčních uzlů.....	51
4.7.1 Jištění orebního tělesa.....	51
4.7.2 Uložení čepu přetáčení pluhu	54
4.7.3 Uložení čepu spojení tříbodového závěsu a rámu pluhu	58
5 Kinematika radličného pluhu.....	60
5.1 Stavění záběru pluhu	60
5.2 Pístní tyče – kontrola vzpěrné stability.....	62
6 Pevnostní analýza	66
6.1 Tříbodový závěsný systém pluhu	67
6.1.1 Přenos celkové tažné síly.....	67
6.1.2 Síla od HM na horní čep.....	69
6.2 Uchycení orebního ústrojí	70

6.2.1	Uchycení radlice	71
6.2.2	Uchycení radlice v kombinaci s předradličkou.....	73
6.3	Připojení přídatné sekce	74
Závěr	76
Použité informační zdroje	77
Seznam použitých zkratk a symbolů	81
Seznam příloh	84

ÚVOD

Zemědělství je jedním z nejstarších lidských aktivit, které ovlivňují formování krajiny a vytváří potravinové zabezpečení společnosti. Jedním z klíčových procesů v tradičním zemědělství je orba, která má zásadní vliv na zpracování půdy po sklizni předchozí plodiny a na celkovou úrodnost plodiny následující. Mezi nejčastěji používané zařízení pro orbu patří radličný pluh, který umožňuje efektivní zpracování půdy a její přípravu pro následující zemědělské činnosti na poli.

V dnešní době je kladen velký důraz na udržitelnost postupů používaných při obdělávání hospodářských ploch. To zahrnuje snahu minimalizovat negativní dopady orby na životní prostředí, jako je eroze půdy, ztráta živin, soudržnost půdy a ztráta biodiverzity. Dalším důležitým hlediskem je optimalizace využití půdy a zvyšování její úrodnosti. To znamená, že moderní přístupy k orbě se snaží minimalizovat množství přejezdů přes pole, což vede k menší spotřebě paliva a snížení emisí skleníkových plynů. Dalším důležitým bodem je efektivita orby, která zahrnuje optimalizaci hloubky orby a správné nastavení záběru pluhu, či jiných zařízení tak, aby byla zajištěna adekvátní příprava půdy.

Celkově se tedy dnešní přístupy k orbě snaží propojit ekonomická, ekologická a agronomická hlediska s cílem dosáhnout udržitelnějšího a efektivnějšího zemědělství.

Radličný pluh je zemědělské zařízení využívané k sekundárnímu zpracování půdy, tedy k posklizňovému zapravení rostlinných zbytků. Je agregován s univerzálním kolovým traktorem pomocí tříbodového závěsného systému.

Předchůdcem radličného pluhu, tak jak ho známe dnes, bylo ruchadlo. To bylo vynalezeno bratřenci Veverkovými, kteří pocházeli z Rybitví u Pardubic. Tento vynález znamenal značné ulehčení a zefektivnění zpracování zemědělské půdy.

Tato práce se zabývá koncepčním návrhem otočného radličného pluhu. Spolupráce probíhá se společností Famamont, s.r.o., která rozšiřuje své portfolio zemědělských zařízení.

Úvod je věnován složení zemědělských půd a jejich vlastnostem, které mají vliv na náročnost zpracování zemědělskou technikou. Dále je proveden rešeršní rozbor zařízení používaných pro orbu a radličných pluhů obdobné výkonové řady, jako je pluh navrhovaný v této práci. Následuje kapitola zaměřená na samotný koncepční návrh pluhu a kapitola věnující se pevnostní kontrole vybraných konstrukčních uzlů pomocí metody konečných prvků.

1 VLASTNOSTI A CHARAKTER PŮD ZPRACOVÁVANÝCH ZEMĚDĚLSKOU TECHNIKOU

Na fyzikální vlastnosti půdy je zapotřebí brát velký zřetel, a to jak při projektování zemědělských strojů, tak i při samotném provozu. Vzhledem k rozmanitým a proměnlivým vlastnostem (někdy i v rámci jednoho pole), mohou značně ovlivnit funkci stroje. Proto je zapotřebí věnovat pozornost základním charakteristickým vlastnostem půdy. Značení charakteru půdy a její vlastnosti jsou uvedeny v normě ČSN 46 5302 [1].

1.1 DRUH PŮDY

Druh půdy je dán její zrnitostní skladbou. Podle procentického obsahu zrn menších než 0,01 mm můžeme půdy dle normy ČSN 46 5302 [1] rozdělit takto do tabulky *Tab. 1*:

Tab. 1 Druhy půdy [1]

Číselné označení	Název druhu půdy	Obsah zrn menších než 0,01 mm [%]	Praktické označení
1	Jíl	nad 75	Velmi těžké půdy
2	Jílovitá půda	60 až 75	
3	Jílovito-hlinitá půda	45 až 60	Těžké půdy
4	Písčito-jílnatá půda	30 až 45	Středně těžké půdy
5	Hlinitá půda	30 až 45	
6	Písčito-hlinitá půda	20 až 30	
7	Hlinito-písčítá půda	10 až 20	Lehké až velmi lehké půdy
8	Písek	0 až 10	

1.2 TYP PŮDY

Typ půdy je převážně určen jejím vznikem působením přírodních podmínek. Charakteristické vlastnosti a místa nejčastějšího výskytu typů půd jsou uvedeny v tabulce *Tab. 2*.

Tab. 2 Typy půdy [1]

Číselné označení	Název typu půdy	Výskyt
1	Černozemě	Nížiny, 300 ÷ 400 m n. m.
2	Hnědozemě	Okraje černozemních oblastí
3	Illimerizované půdy a pseudogleje	Spodní části svahů, úvaly a kotliny
4	Rendziny	Vápencové a dolomitické vrchoviny
5	Hnědé půdy	Nížiny, pahorkatiny, nejrozšířenější typ v ČR
6	Podzolové půdy	Lesní porosty
7	Nivní půdy	Vodní toky, oblasti po záplavách
8	Glejové půdy	Údolí vodních toků
9	Zasolené půdy	Bezodtokové deprese

1.3 VLASTNOSTI PŮDY

Mezi základní vlastnosti půdy patří: a) vlhkost

- b) štěrkovitost
- c) struktura
- d) humóznost
- e) celková hloubka
- f) soudržnost
- g) měrná hmotnost
- h) měrný odpor

Z těchto vlastností bude výpočet a návrh pluhu nejvíce ovlivněn hodnotou měrného odporu, jehož orientační hodnoty jsou uvedeny v tabulce *Tab. 3*.

Měrným odporem se rozumí síla potřebná k obdělání jednotky plochy půdy, měřené ve svislé rovině kolmé na směr jízdy. Jedná se pouze o vžitý název, nikoli však normalizovaný. Měrný odpor nezávisí pouze na složení a stavu půdy, ale i na tvaru nástroje, kterým se půda zpracovává. Je ovlivněn řadou činitelů, jako je okamžitá vlhkost, zaplevelenost, zadrnělost, výskyt předplodin, předešlé zpracování, stav ostří nástroje, rychlost působení nástroje atd.

Tab. 3 Hodnoty měrného odporu půdy [2]

Praktické označení půd	Měrný odpor [kp.cm ⁻²]	Přepočet měrného odporu [N.cm ⁻²]
Lehké až velmi lehké půdy	0,2 ÷ 0,4	1,96 ÷ 3,92
Střední půdy	0,4 ÷ 0,6	3,92 ÷ 5,88
Těžké půdy	0,6 ÷ 0,9	5,88 ÷ 8,83
Velmi těžké půdy	0,9 ÷ 1,5	8,83 ÷ 14,74

Kilopond je definován jako tíha tělesa o hmotnosti 1 kilogram v místě s tíhovým zrychlením 9,81 m.s⁻².

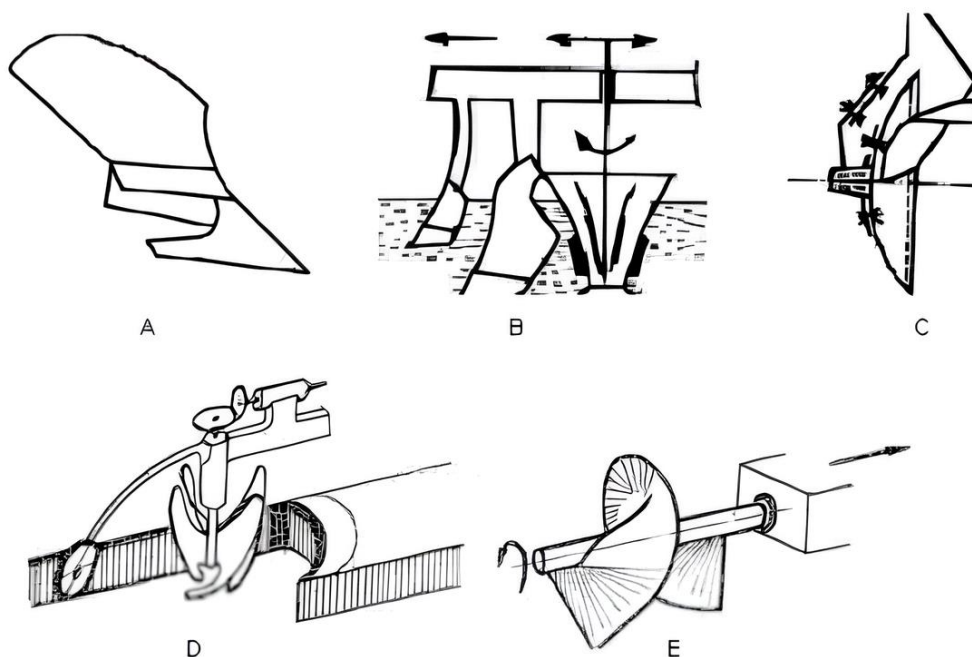
2 RADLIČNÉ PLUHY

Zpracování půdy pomocí pluhu se řadí mezi základní zpracování půdy. Orba je sama o sobě jednou z nejstarších pracovních operací, kterou zemědělci využívají k obdělávání zemědělské půdy. Postupné zdokonalování pluhu vedlo k tomu, že zemědělci přišli na způsob, jak půdu obrátit, zapravit do půdy organická hnojiva, plevele a škůdce ze svrchní vrstvy a připravit půdu na další založení porostů. [3]

2.1 ROZDĚLENÍ PLUHŮ

Pluhy můžeme rozdělit podle několika hledisek [10]:

- a) podle konstrukce pracovního ústrojí (*Obr. 1*):
- radličné
 - kombinované
 - talířové
 - rotační
 - šroubovicové



Obr. 1 Konstrukce pracovních ústrojí: A – radličné, B – kombinované, C – talířové, D – rotační, E – šroubovicové [10]

V našich podmínkách jsou nejčastěji využívány pluhy radličné. Mezi zajímavě konstrukčně řešené pluhy se řadí pluhy talířové *Obr. 2* a pluhy rotační *Obr. 3*.



Obr. 2 Talířový pluh Fieldking [22]

Talířové pluhy (*Obr. 2*) využívají obdobných disků jako diskové kultivátory, avšak s většími úhly vůči půdě a zpracování je do větší hloubky. Tento typ pluhů je poměrně dost oblíbený v Austrálii a jižní Americe.



Obr. 3 Rotační pluh BCS [23]

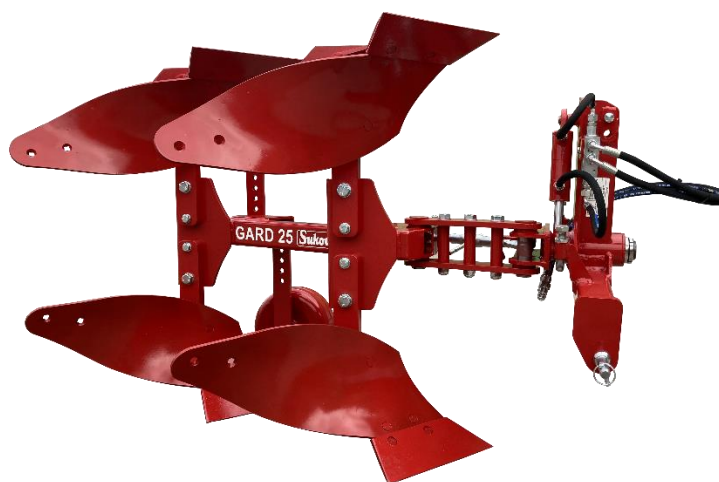
Rotační pluhy (*Obr. 3*) jsou převážně určeny na velmi malá pole. Jejich pracovní záběr je pouze do 30 cm a jsou schopny půdy zpracovávat do hloubky maximálně 30 cm podle druhu půdy. Nejčastěji jsou agregovány s jednoosými malotraktory.

- b) podle umístění orebních těles:
- jednostranné (*Obr. 4*)
 - oboustranné (*Obr. 5*)
 - výkyvné (*Obr. 6*)



Obr. 4 Jednostranný radličný pluh [24]

Při orbě s jednostranným pluhem je vždy zapotřebí orat tak, aby traktor měl pravé kolo v brázdě, pokud se jedná o pravostranný pluh. V opačném případě, v levostranné verzi pluhu, musí být levé kolo v brázdě.



Obr. 5 Oboustranný radličný pluh [25]

Výhodou oboustranného (otočného) pluhu oproti pluhu jednostrannému je, že pluh má pravé i levé radlice (jejich změna je realizována přetáčením kolem vertikální osy pomocí otočného mechanismu), a tudíž je možno pokračovat v orbě ve vedlejší brázdě.

Nesené pluhy jsou znázorněny na předchozích obrázcích (*Obr. 4–6*). Celá tíha neseného pluhu v mimopracovní poloze je nesená traktorem. Proto je zapotřebí umístit do předního tříbodového závěsu traktoru dostatečně těžké závaží, aby nedošlo k ztrátě styku přední nápravy traktoru s podložkou, nebo k úplnému překlopení traktoru.



Obr. 8 Polonesený pluh [28]

Polonesené pluhy (*Obr. 8*) mají podpěrné kolo, které nese část tíhy pluhu. Tyto pluhy jsou zpravidla více radličné (6-10 radlic).

Na našich polích se dnes nejčastěji používají pluhy nesené nebo polonesené, a to buď jednostranné nebo oboustranné (otočné). Zvolená koncepce budoucího návrhu vychází ze zadání a zbývající část práce se zabývá výhradně radličnými otočnými nesenými pluhy.

2.2 ORBA RADLIČNÝM PLUHEM

Orba (*Obr. 9*) je mechanické zpracování půdy, které se skládá z odkrojení, obrácení, rozdrobení, promísení a provzdušnění půdní skývy. Kromě těchto základních úkonů se při orbě obvykle zapravují hnojiva (chlévská mrva, digestát, zelené hnojení či průmyslová hnojiva), ničí plevely a zaorávají semena plevelů do anaerobních podmínek, kde nemají možnost vyklíčit. [2]



Obr. 9 Orba šestiradličným pluhem [6]

Ačkoliv je orba mezi zemědělci stále velmi oblíbená, zejména skrze mechanickou regulaci plevelů, dochází během této pracovní operace k negativnímu vytváření plužní pánve, znázorněné na obrázku *Obr. 10*, a to zejména, když je orba prováděna v nevhodnou dobu a na jednom pozemku opakovaně ve stále stejné pracovní hloubce. Tato plužní pánev pak vytváří nepropustnou desku, která znesnadňuje pronikání vody, minerálních látek a kořenů rostlin do hlubších vrstev půdy.



Obr. 10 Plužní pánev [3]

2.3 RADLIČNÝ PLUH A JEHO ČÁSTI

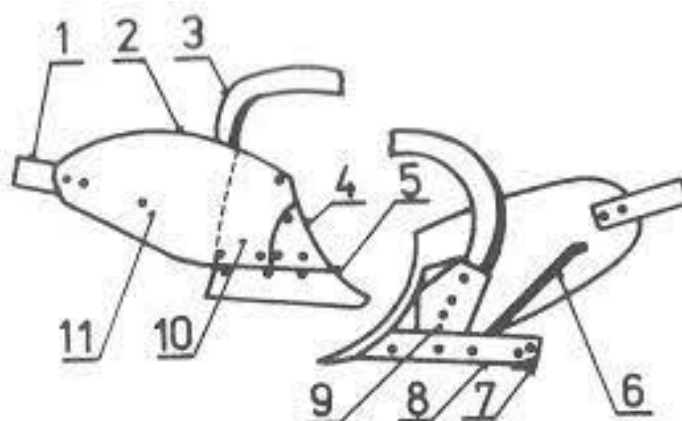
Pluh se skládá z těchto základních částí (*Obr. 11*): orební ústrojí, rám, otočný mechanismus, tříbodový závěs a podpěrné kolo.



Obr. 11 Čtyřradličný pluh: 1 – orební ústrojí, 2 – rám, 3 – otočný, zdvihací a stavěcí mechanismus, 4 – tříbodový závěs, 5 – podpěrné kolo [7]

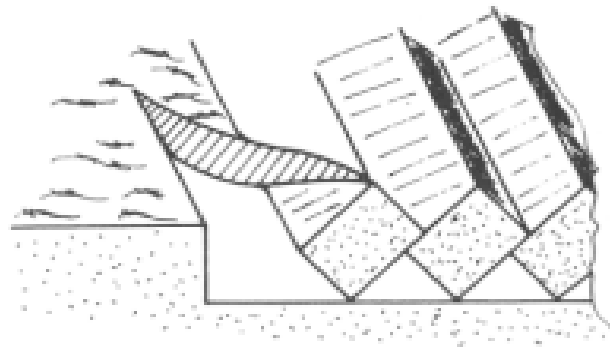
2.3.1 OREBNÍ ÚSTROJÍ

Orbu vykonává orební ústrojí (*Obr. 12*), které má tyto pracovní orgány: *orební těleso*, *předradličku*, *krojidlo*, popřípadě i *podrývák*. Orební těleso je základním pracovním orgánem. Jeho činnou částí je *radlice*, skládající se z *čepel*, která zajišťuje odříznutí půdy od dna brázdy, a *odhrnovačky*. Odhrnovačka půdu mísí s posklizňovými zbytky, drobí a zejména obrací svrchní vrstvu půdy na dno brázdy. Pomocné součásti radličného orebního tělesa bývají obvykle *slupice*, *plaz* (popřípadě i s *patkou*), *vzpěra* a *pružina*.



Obr. 12 Schéma orebního ústrojí; 1 – pero odhrnovačky, 2 – odhrnovačka, 3 – slupice, 4 – výměnná část odhrnovačky, 5 – čepel, 6 – vzpěra, 7 – patka plazu, 8 – plaz, 9 – část slupice tvořící rám orebního tělesa, 10 – hrud' odhrnovačky, 11 – křídlo odhrnovačky [5]

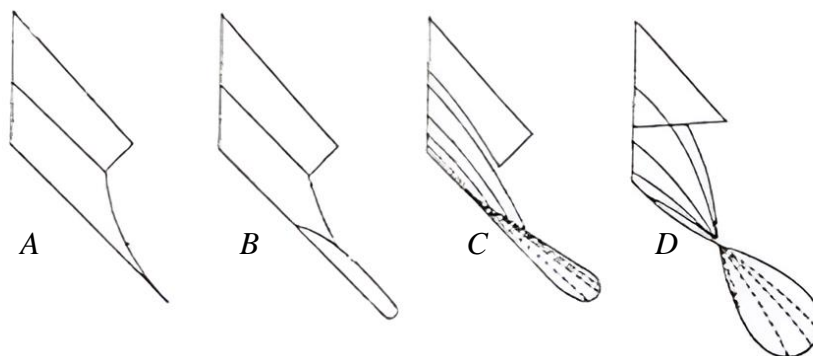
Radlice pluhu svou čepelí (5) vodorovně odřezává asi 30 cm široký pruh zeminy (tloušťka odřezávaného pruhu je nastavitelná dle potřeby). Pruh zeminy najíždí na spirálově stočenou odhrnovačku (2), která skývu nadzvedá, převrací a drolí (Obr. 13). Drobní efekt záleží na geometrii radlice a druhu půdy.



Obr. 13 Převrácení skývy radličným pluhem [5]

DRUHY ODHRNOVAČEK

Rozlišujeme tyto základní druhy odhrnovaček: válcové (Obr. 14 A), kulturní (Obr. 14 B), pološroubové (Obr. 14 C) a šroubové (Obr. 14 D). Materiál odhrnovaček je zpravidla třívrstvá ocel, případně speciální ocel určená přímo na jejich výrobu. Povrch základního kovu pro výrobu odhrnovaček je cementován nebo nitridován. Díky těmto tepelným zušlechťením oceli má pak odhrnovačka vysokou tvrdost na povrchu, ale stále velmi dobrou houževnatost uvnitř, což se hodí zejména při pohlcení rázů způsobených nárazem na větší kámen v zemi. Pracovní povrch válcové radlice je vytvořen z parabolického válce s horizontálními povrchovými přímkami. Drobní efekt této radlice je dobrý, nicméně dochází k nedostatečnému překlápění skývy. Válcové radlice se používají pro mělkou orbu lehkých půd. Kulturní a pološroubové radlice mají pracovní povrch ve tvaru horizontálního konoidu.



Obr. 14 Druhy odhrnovaček: A-válcová, B-kulturní, C-pološroubová, D-šroubová [10]

Kulturní radlice (Obr. 14 B) se používají pro hlubokou orbu lehkých a středně těžkých půd. Téměř vždy jsou kombinovány s předradličkou. Drobení, kypření a překlápění půdy je lepší než u radlic válcových. Někdy jsou označovány jako univerzální radlice.

Pološroubové radlice (Obr. 14 C) se používají pro orbu těžkých půd a luk. Lépe překlápějí než radlice kulturní, ovšem na úkor rozdrobení půdy.

Šroubové radlice (*Obr. 14 D*) jsou tvořeny šroubovou plochou, která vzniká rovnoměrným posouváním a současným natáčením buď tvořící přímky, nebo podle potřeby i křivky. Velmi dobré překlápění půdy, horší kypřící a drobní efekt. Používají se pro orbu luk, pastvin a zaplevelených pozemků.

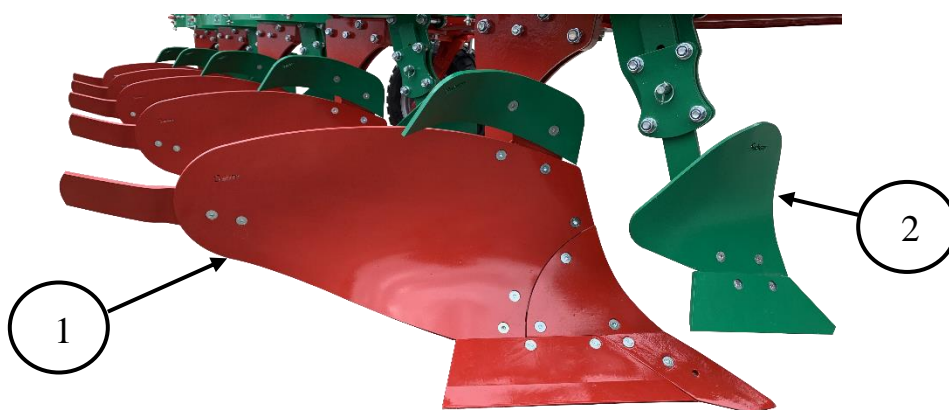
Dalším, v poslední době velmi rozšířeným, druhem odhrnovačky je odhrnovačka pásková (*Obr. 15*). Její obrovskou výhodou oproti předešlým druhům odhrnovaček je menší náchylnost na zalepování a v suchých půdách lépe drobní. Klade také menší odpor ve vlhkých a vazkých půdách. Náklady na provoz jsou poněkud nižší, neboť díly, pásy, mohou být vyměňovány jednotlivě.



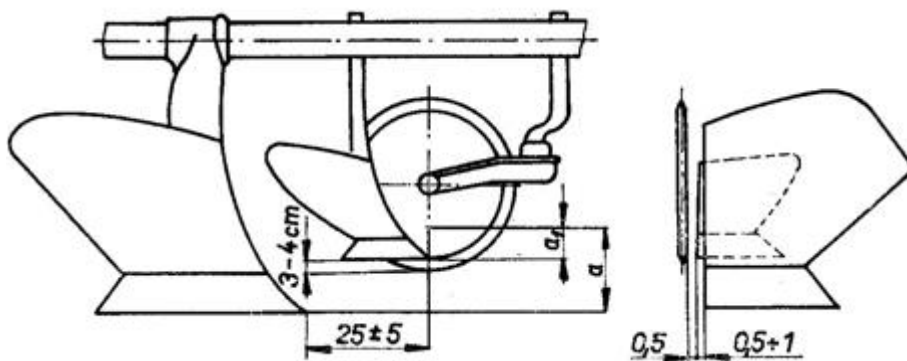
Obr. 15 Pásková odhrnovačka [18]

PŘEDRADLIČKA A KOTOUČOVÉ KROJIDLO

Předradlička (*Obr. 16 – 2*) je menší a zjednodušené orební těleso a je předsazena před dané hlavní orební těleso. Ke slupici je přišroubovaná čepel a válcová odhrnovačka. Slupice předradličky je pomocí šroubů a třmenů připevněna ke slupici hlavního orebního tělesa, a to umožňuje měnit zahloubení předradličky v rozmezí 8 až 12 cm. Nastavení a umístění předradličky je na obrázku *Obr. 17*.



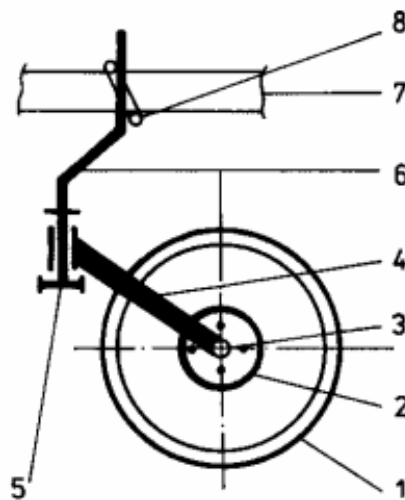
Obr. 16 Rozdíl mezi hlavním orebním tělesem a předradličkou: 1 – hlavní orební těleso, 2 – předradlička [22]



Obr. 17 Vzájemné umístění ořebního tělesa, předradličky a kotoučového krojidla [2]

Z obrázku Obr. 17 je vidět, že kotoučové krojidlo má osu rotace nad hrotem čepě předradličky, která bývá vzdálená od hlavního ořebního tělesa 25 ± 5 cm. Krojidlo svým spodním okrajem přesahuje pod úroveň předradličky o 3 až 4 cm.

Při čelním pohledu je předradličky vůči hlavnímu ořebnímu tělesu vysunuta asi o 0,5 až 1 cm a krojidlo vůči předradličce o 0,5 cm. Tímto posunutím se dosáhne, že za sebou následující pracovní orgány nezadírají do stěny brázdy. Stěna brázdy zůstává rovná, nevytrhaná a současně se snižuje celkový tahový odpor pluhu.

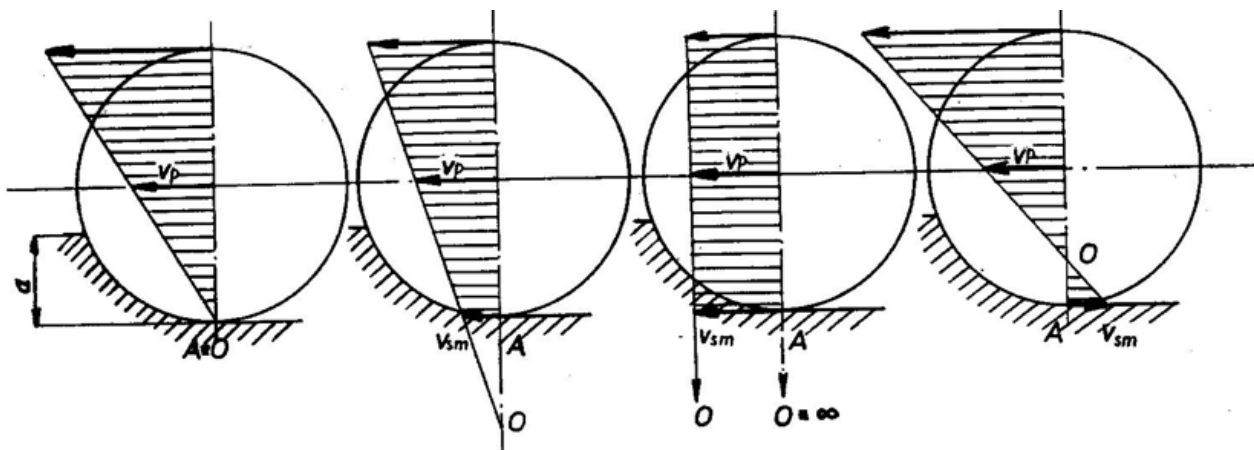


Obr. 18 Kotoučové krojidlo: 1 – kotouč, 2 – příruba, 3 – čep, 4 – vidlice, 5 – stavěcí kroužek, 6 – slupice, 7 – rám pluhu, 8 – třmen [10]

Kotoučové krojidlo (Obr. 18) má malý odpor, řeže půdu tlakem shora, a proto odděluje půdní skývu velmi kvalitně, neucpává se rostlinnými zbytky. V kamenitých půdách může dojít k vyštípnutí kotouče.

Řezný nástroj kotoučového krojidla se otáčí působením třecí síly mezi kotoučem a půdou. Obecně mohou nastat čtyři případy pohybu znázorněných na obrázku *Obr. 19*. Střed kotouče má vždy rychlost v_p , odpovídající pojezdové rychlosti rámu, protože kotouč je rámem tlačěn nebo tažen.

Na prvním obrázku zleva je znázorněn případ, kdy se kotouč valí po dnu vytvořené brázdy; okamžitý střed otáčení O kotouče je totožný s bodem A kotouče na dně. Další obrázek ukazuje rychlostní poměry v případě, kdy se kotouč otáčí těžce nebo má z jiných důvodů jistý skluz; okamžitý střed otáčení O bude pod dnem. Je-li kotouč úplně zablokovaný a neotáčí se, mají všechny jeho body stejnou rychlost v_p (viz třetí obrázek zleva); okamžitý střed otáčení je v nekonečnu. Poslední obrázek ukazuje rozdělení rychlostí v případě, kdy okamžitý střed otáčení O leží mezi bodem A a středem kotouče.



Obr. 19 Rychlostní poměry při různém charakteru pohybu kotoučového krojidla [2]

2.3.2 RÁM PLUHU

Samotný rám by měl mít dostatečnou tuhost, aby nedocházelo k trvalým deformacím vlivem odporů při pohybu zpracovávajících prvků v zemině a rovněž odolal při kontaktu s větším objektem v zemině, např. kusem kamene. Zároveň by však měl mít schopnost tyto proměnlivé síly tlumit v určité míře snižovat působení těchto rázů na traktor.

Centrální část pluhu (rám) je zpravidla tvořena nosníkem z uzavřeného profilu (jeklu). Na nosník jsou připevněny orební ústrojí. Pokud se jedná o otočný pluh (*Obr. 11*), je zapotřebí orební ústrojí připevnit z dvou protilehlých stěn profilu.

Dále je k rámu připevněno podpěrné kolo a otočný mechanismus se závěsným systémem, pro agregaci s traktorem.

JIŠTĚNÍ OREBNÍCH TĚLES

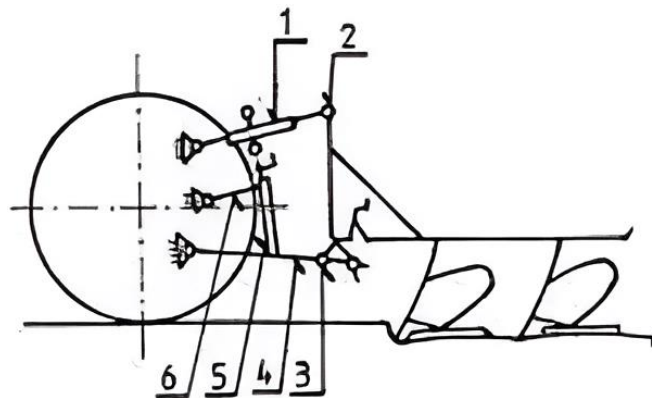
Orební tělesa je nezbytné jistit proti přetížení, které by mohlo způsobit poškození pluhu. Jištění se dělí na automatické (orební těleso se vrátí do pracovní polohy nezávisle na obsluze) nebo poloautomatické (obsluha musí po zásahu jištění přestavit orební tělesa do pracovní polohy) a z hlediska jisticího způsobu mechanické nebo hydraulické. Mechanické jištění je pružinové s listovými (*Obr. 20*) případně vinutými pružinami nebo pomocí střížného šroubu.



Obr. 20 Jištění orebních těles pomocí listových pružin [41]

2.3.3 OTOČNÝ, ZDVIHACÍ A STAVĚCÍ MECHANISMUS

Dále se u radličných pluhů objevují otočné, zdvihací a stavěcí mechanismy, které slouží k lepšímu ovládání, nastavování i seřizování pluhu (*Obr. 21*). Zdvihací mechanismus je součástí traktoru, jedná se o tříbodový závěs, kde dolní závěsná táhla (4) jsou výškově nastavitelná.



Obr. 21 Závěs neseného pluhu: 1 – horní rozpěrné táhlo, 2 – horní čep závěsu pluhu, 3 – spodní (levý) čep závěsu pluhu (stavitelný), 4 – dolní závěsná táhla, 5 – zvedací táhlo s plynulou regulací délky, 6 – zvedací rameno hydraulického zařízení [10]

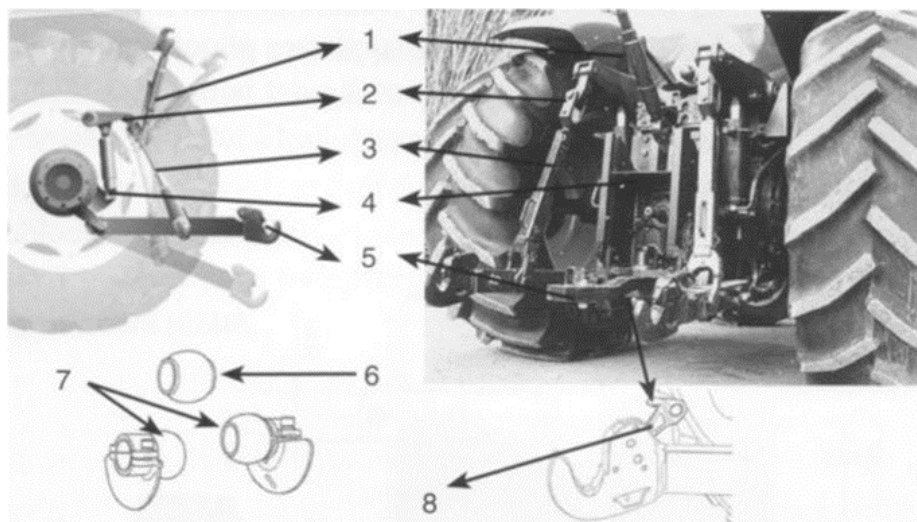
Zdvihací a regulační mechanismy jsou doplňující orgány, které zabezpečují správný chod pluhu, nebo ulehčují jeho obsluhu. Mají umožnit:

- a) zdvihání pluhu z pracovní do transportní polohy a opačně,
- b) regulaci hloubky,
- c) střídání (otáčení) pracovních orgánů

2.3.4 TŘÍBODOVÝ ZÁVĚS

POPIS TŘÍBODOVÉHO ZÁVĚSU

Tříbodový závěs (*Obr. 22*) slouží u traktorů k agregaci s nesenými a návěsnými stroji. Závěs se s nářadím spojuje pomocí dvou dolních táhel a horního táhla, které bývá délkově stavitelné. U nových traktorů jsou běžné závěsné automatické háky na dolních táhlech, případně i na horním, pro jednodušší zapřáhnutí.



Obr. 22 Tříbodový závěs traktoru; 1 – horní táhlo, 2 – ramena zvedacího ústrojí, 3 – zvedací táhla, 4 – přímočarý hydromotor, 5 – dolní táhla, 6 – koule horního čepu nářadí, 7 – koule dolních čepů s vodítky, 8 – samozajišťující západka [8]

V některých případech (polonesené pluhy, secí stroje) široko-záběrových strojů určených pro vyšší výkonové kategorie traktorů se využívá pouze spodních táhel do kterých je zapřažen pouze příčník s otočí, jak je běžně prováděno u secích strojů (*Obr. 23*).



Obr. 23 Secí stroj Pöttinger Terrasem [29]

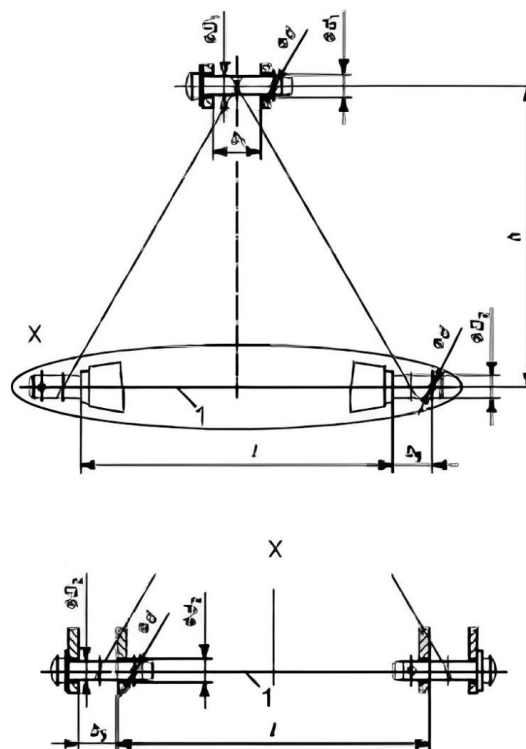
Třibodové závěsy se dělí do pěti hlavních kategorií, podle výkonové řady traktorů znázorněné v tabulce *Tab. 4*.

Tab. 4 Kategorie třibodových závěsů podle výkonové řady traktorů [9]

Kategorie závěsu	Výkon motoru traktoru měřený přes vývodový hřídel podle normy ČSN ISO 789-1 [kW]
1N	do 35
1	do 48
2N/2	30 až 92
3N/3	60 až 185
4N/4	110 až 350

ROZMĚRY TŘIBODOVÉHO ZÁVĚSU

Pro sjednocení připojovacích rozměrů od různých výrobců byla zavedena mezinárodní norma ISO 730:2009 [9]. Ta udává hlavní rozměry třibodového závěsu traktoru a rozměry přípojných strojů pro agregaci. Rozděleny jsou do několika kategorií. Zařazení do jednotlivých kategorií vždy uvádí výrobce daného traktoru či náradí. Na *Obr. 24* a v příloze *P2* jsou uvedeny normalizované rozměry pro nesené či návěsné stroje.



Obr. 24 Rozměry třibodového závěsného systému [9]

2.3.5 PODPĚRNÉ KOLO

U nesených pluhů připojených na hydraulické zvedací zařízení traktoru jsou podpěrná kola, která zamezují překročení nastavené hloubky a zachycují část tíhy pluhu. Nastavování hloubky může být mechanicky šroubem a přepákováním *Obr. 25* a *26* nebo u větších pluhů hydraulicky.

Na obrázcích *Obr. 25* a *26* jsou znázorněny druhy podpěrných kol. Prvním je kolo hladké, bez pneumatiky. Jeho výhodou je jednoduchá konstrukce a nižší cena. Druhým typem je kolo se vzorkem, tedy klasická pneumatika s duší na ráfku. Výhodou tohoto kola je jednoznačně větší únosnost a lepší vedení pluhu.



Obr. 25 Hladké kolo [17]



Obr. 26 Kolo se vzorkem [17]

2.4 PLUHY OBDOBNÉ VÝKONOVÉ ŘADY POUŽÍVANÉ V ZEMĚDĚLSTVÍ

Ve vývoji pluhů došlo v posledních letech ke značnému pokroku, i když koncepce zůstává stále stejná. Na trhu nalezneme nepřeberné množství typů pluhů, které umožňují i orbu mimo brázdu v takzvaném systému on-land, znázorněný na obrázku *Obr. 27*.

Orba on-land má celou řadu výhod. Působí menší utužování půdy podorníci, kola traktoru jsou rovnoměrně zatěžována, traktory mohou být osazeny dvoumontážemi kol či lze využívat pásové tahače. Řidič sedí na své sedačce v rovině a traktor nejede po hroudách v brázdě, ale po rovnějším povrchu pozemku. Při orbě na svažitých pozemcích se nenaklání ze svahu jízdou v brázdě. [12]

Velmi užitečnou pomoc v režimu orby on-land představuje automatická GPS navigace na traktoru, která jej navádí do souběžných jízd (musí ale pracovat s maximální přesností, tzn. se signálem RTK). Tím je řidič výrazně odlehčen od jinak dosti náročného úkolu řízení traktoru v určité vzdálenosti od brázdy; tahač totiž není veden stěnou brázdy. Při použití navigace je také najíždění do dalšího záběru výrazně jednodušší a rychlejší – řidič jen ve správný okamžik pustí volant a zapne navigaci.



Obr. 27 Orba v systému on-land [4]

Pluhy od firmy Lemken (Obr. 28) patří mezi nejoblíbenější pluhy na trhu, díky své jednoduché konstrukci a intuitivnímu nastavování pracovní hloubky. Nastavování je mechanické pomocí šroubů. Jištění pracovních orgánů proti přetížení je pomocí šroubů na střih. Dále je tento pluh vybaven předradličkami.



Obr. 28 Tříradličný pluh Lemken EurOpal 5 3 N 90 [14]



Obr. 29 Tříradličný pluh Pöttinger SERVO 25 NOVA [13]

Jištění u pluhu od firmy Pöttinger (Obr. 29) je pomocí hydraulické permanentní pojistky, kdy při nárazu radlice na kámen, nebo jinou překážku v zemině, dojde k vykývnutí celého pracovního orgánu. Nastavení pracovní šířky je mechanické pro 4 různé polohy. V tomto případě je pluh vybaven kotoučovými kroidly.

Český výrobce pluhů Sukov (*Obr. 30*) se odlišuje od ostatních výrobců tím, že jištění pracovního orgánu je pomocí šroubu na tah. Dále je možné u tohoto pluhu rozšíření o další segment s pracovním orgánem. V nadstandardní výbavě je pak možné na pluh namontovat předradličky a kotoučová krojidla.



Obr. 30 Třiradličný pluh Sukov Junior Roto 2+1
[15]



Obr. 31 Třiradličný pluh Amazone Cayros M 850
[16]

Pluh Cayros M (*Obr. 31*) je pluh pro univerzální použití. Jištění pracovních orgánů je možné buď mechanicky: střižný kolík nebo spirálová pružina, nebo automatické nonstop jištění. Pluh je osazen páskovými odhrnovačkami a předradličkami.

Tabulkový přehled parametrů pluhů obdobné výkonové řady je sepsán v příloze P1 [13, 14, 15, 16, 43].

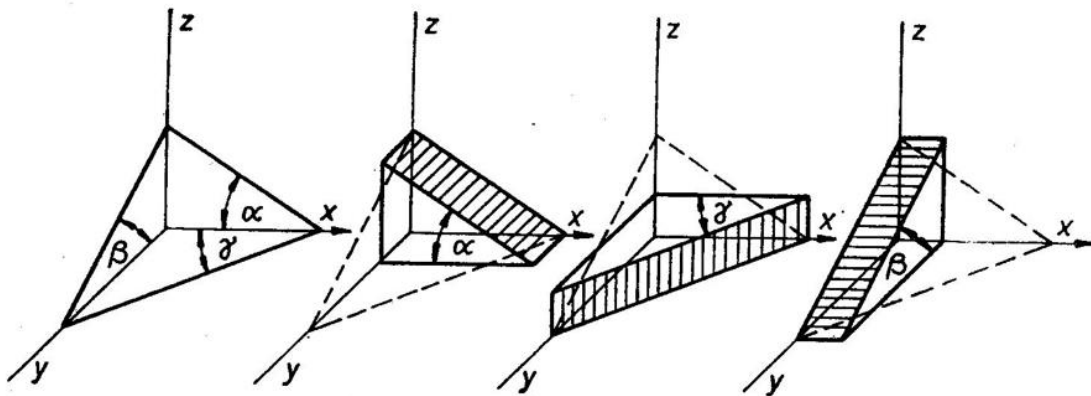
3 TEORIE PRÁCE KLÍNU V PŮDĚ

Velká část pracovních orgánů strojů na zpracování půdy i jiných strojů přicházejících do styku s půdou má tvar klínu. Mohou to být klíny s rovnou nebo zakřivenou pracovní plochou. Klín s rovnou pracovní plochou je například čepel orebního tělesa, některé radličky kypřiče, některé vyorávací radlice strojů na sklizeň brambor nebo cukrové řepy. Patří sem nožové krojidlo nebo zuby některých bran, jejich ostří pracují ve vertikální rovině, na rozdíl od strojů a nářadí uvedených předtím, kde břit řeže půdu v horizontální rovině.

Klín se zakřivenou pracovní plochou se vyskytuje u rozhrnovací radlice sázečů brambor, talířového orebního tělesa, radličného orebního tělesa apod. Proto elementární část klínu se zakřivenou pracovní plochou můžeme nahradit třístranným klínem velmi malých rozměrů.

3.1 PRÁCE TŘÍSTRANNÉHO KLÍNU V PŮDĚ

Pro názornost je umístěn třístranný klín velmi malých rozměrů v pravoúhlém souřadném systému: x, y, z (Obr. 32). Pohybujeme-li tímto klínem například ve směru osy x (směr jízdy traktoru), vykonává v půdě určitou práci. Stejnou práci mohou však vykonat za stejných podmínek i tři samostatné dvoustranné klíny.



Obr. 32 Nahrazení třístranného klínu třemi dvoustrannými klíny [2]

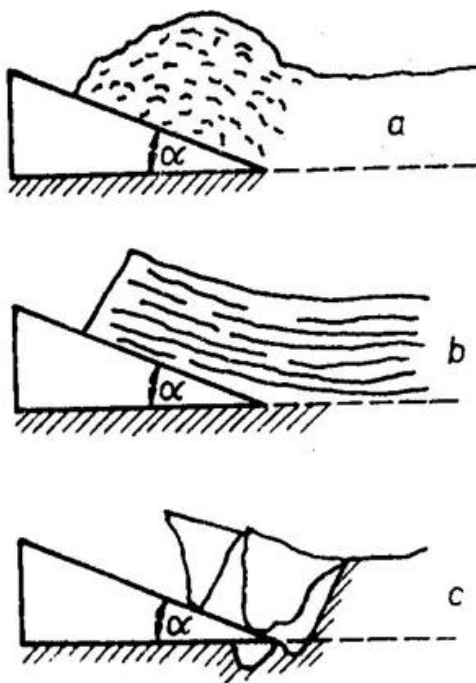
První klín, jehož pracovní plochy svírá s horizontální rovinou $x - y$, úhel α , bude oddělovat původní skývu od vodorovné roviny a bude ji nadzvedávat. Pracovní plocha druhého klínu svírá s vertikální rovinou $x - z$, rovnoběžnou se směrem pohybu traktoru, úhel γ , bude půdu oddělovat od vertikální roviny a posouvat ji na stranu. Třetí klín, jehož pracovní plocha svírá s horizontální rovinou $x - y$, úhel β , bude odříznutou skývu zvedat a natáčet ve svislé rovině $y - z$, kolmé na směr pohybu traktoru.

Elementární třístranný klín si tedy můžeme představit tak, jako kdyby byl složen ze tří elementárních jednoduchých klínů dvoustranných, díky tomu je možné je aplikovat i na klíny složitější.

Dále je podrobněji probráno technologické působení dvoustranného klínu v půdě. Zatímco klíny s úhlem α a γ se u pracovních orgánů zemědělských strojů vyskytují jak samostatně, tak i ve vzájemné součinnosti, klíny s úhlem β se samostatně nevyskytují pouze ve vazbě s předešlými. Proto není práce klínu s úhlem β dále samostatně probrána.

3.2 PRÁCE DVOUSTRANNÉHO KLÍNU V PŮDĚ

Oddělování skývy různých druhů půdy dvoustranným klínem (*Obr. 33*) je přirozeně odlišné. Záleží především na fyzikálně mechanických vlastnostech.

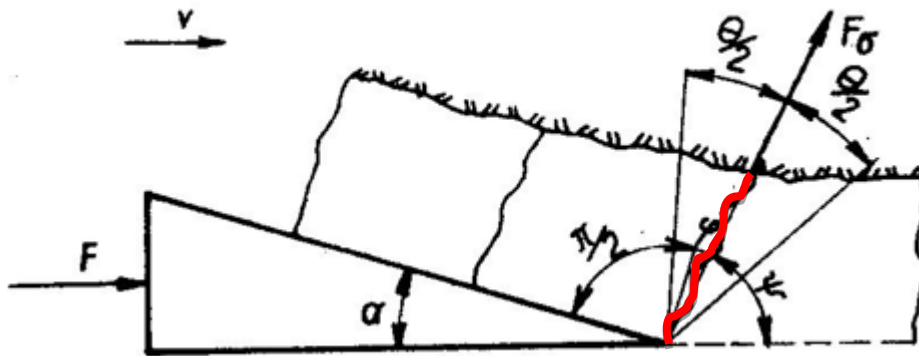


Obr. 33 Působení klínu na půdu různých vlastností; a) suchá, písčité půda, b) velmi vazká vlhká půda, c) těžká, jílovitá půda [2]

U případu *a*) na obrázku *Obr. 33* je zapotřebí aby byl úhel úkosu α volen co nejmenší, z důvodu, aby klín nehrnul půdu před sebou.

Uvedené případy lze ovšem považovat za krajní, při nichž se půda působením klínu chová skutečně mimořádně. Proto pro následující výpočty je uvažována běžná těžší půda, poněkud soudržnější a přiměřenou vlhkostí. Vniká-li klín do takovéto půdy (*Obr. 34*), začne ji stlačovat, ale také současně zvedat. Zvedáním roste napětí v nejméně namáhaném průřezu, až dosáhne mezní hodnoty odporu proti usmýknutí a část skývy se odtrhne od půdního monolitu. Tento proces se při soustavném posouvání klínu neustále opakuje.

Usmýknutí skývy nastává obvykle v rovině odkloněné od kolmé roviny vzhledem k horní ploše klínu o třecí úhel φ mezi půdou a materiálem klínu (ocel). Síla F působící tedy nejčastěji v tomto směru. K usmýknutí může ovšem dojít v průřezích největších tangenciálních napětí, která mohou být vzhledem ke směru síly F rozložena symetricky v rozmezí úhlu $\Theta = 40 \div 50^\circ$. Předpokládáme-li, že usmýknutí nastává střídavě v obou směrech, nastane praskání půdy podle lomené červené čáry na *Obr. 34*.

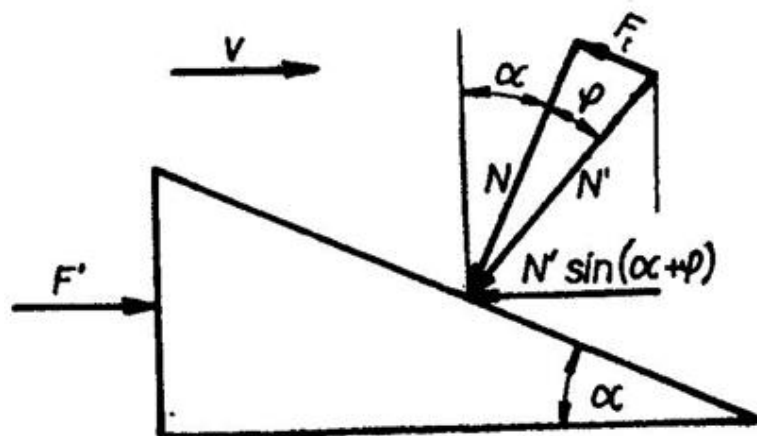


Obr. 34 Oddělování skývy od půdního monolitu horizontálním klínem [2]

3.3 TŘENÍ NA PRACOVNÍ PLOŠE KLÍNU

Je-li posouvám jednoduchý dvoustranný klín v půdě ve vodorovném směru (Obr. 35), působí na činnou plochu klínu reakce N . Kdyby neexistovalo tření, stačila by k posouvání síla:

$$F = N \cdot \sin \alpha \quad [N] \quad (1)$$



Obr. 35 Působení sil na klín při jeho pohybu v půdě s uvažovaným třením [2]

Tření však zanedbat nelze. Velikost třecí síly lze vyjádřit vztahem:

$$F_t = f \cdot N \quad [N] \quad (2)$$

kde f je součinitel smykového tření mezi klínem a půdou.

Na pracovní povrch klínu bude tedy působit výslednice sil N a F_t o velikosti:

$$N' = \sqrt{N^2 + f^2 \cdot N^2} = N\sqrt{1 + f^2} \quad [N] \quad (3)$$

Tuto výslednici však lze vypočítat přímo z *Obr. 35*, protože víme, že vlivem tření je síla N' odkloněna od normály o třecí úhel φ . A proto:

$$N' = \frac{N}{\cos \varphi} \quad [N] \quad (4)$$

Potřebná síla na posouvání klínu i s ohledem na tření bude tedy:

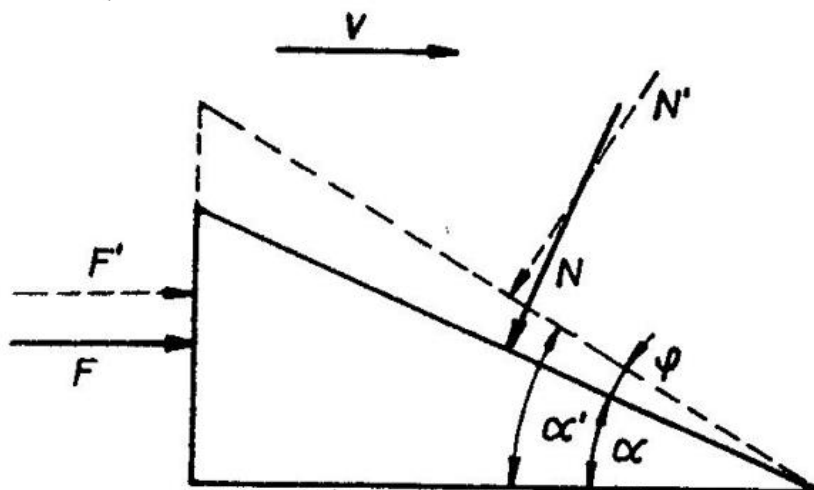
$$F' = N' \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad [N] \quad (5)$$

Položíme-li $\alpha + \varphi = \alpha'$, pak:

$$F' = N' \cdot \sin \alpha' \quad [N] \quad (6)$$

Tento výraz je analogický s prvním výrazem vyjadřujícím potřebnou sílu na posouvání klínu bez tření, ovšem $N' > N$ a $\sin \alpha' > \sin \alpha$. Protože $F' > F$. Rovnice pro F a F' mají stejný tvar a ukazují na to, že účinek tření po pracovní ploše klínu si lze též představit jako kdyby se úkos klínu, tj. úhel α , zvětšil vlivem tření o třecí úhel φ , tedy na úhel $\alpha' = \alpha + \varphi$, a síla N na $N' = \frac{N}{\cos \varphi}$ (to znázorňuje *Obr. 36*) [2].

Takovéto nahrazení je při výpočtech pracovních prvků strojů na zpracování půdy časté.



Obr. 36 Fiktivní zvětšení úkosu klínu vlivem tření o půdu [2]

Součinitel smykového tření půdy po oceli kolísá ve značně širokém rozmezí $f = 0,25 \div 0,8$ (tomu odpovídají třecí úhly $\varphi = 14^\circ \div 39^\circ$) [2], nicméně může být i větší – záleží na druhu půdy a zejména její vlhkosti. V Tab. 5 jsou zapsány hodnoty tohoto součinitele pro vybrané druhy půdy.

Tab. 5 Součinitel tření půdy po hladké oceli [2]

Druh půdy	Vlhkost [%]	Součinitel smykového tření půdy po oceli $f = tg \varphi [-]$
Hlinitopísčítá	7,3	0,341
Hlinitá	10,8	0,357
Písčito hlinitá s velkým obsahem vápna	10,9	0,523
Jílovitá	34,5	0,825

Součinitel smykového tření půdy po oceli roste s vlhkostí. V Tab. 6 jsou zaznamenány hodnoty součinitele pro různé vlhkosti jílovitohlinité půdy typu černozem.

Tab. 6 Součinitel tření půdy po hladké oceli [2]

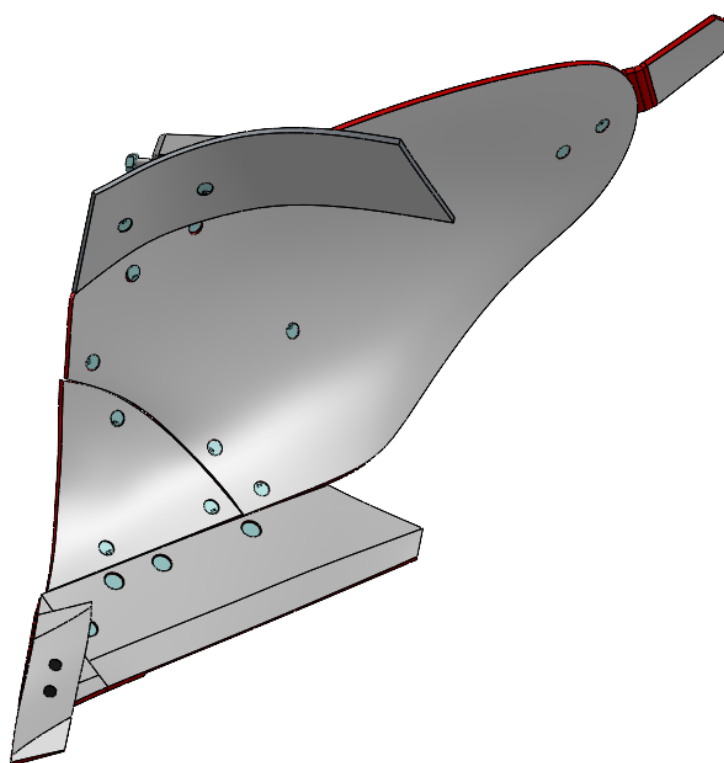
Vlhkost půdy (typ půdy: černozem) druh půdy: jílovitohlinitá [%]	Součinitel smykového tření půdy po oceli $f = tg \varphi [-]$
8,2	0,46
8,67	0,49
12,29	0,50
13,91	0,58
15,03	0,61
15,85	0,63
16,22	0,68
16,79	0,71
18,39	0,74
19,92	0,77

4 KONCEPČNÍ NÁVRH PLUHU

Pluh je navrhován jako modifikovatelné polní příslušenství. Podle výběru zákazníkovi konfigurace bude možné na pluhu mít: předradličky a kotoučová krojidla. Z toho důvodu je nutno propočítat všechny možné varianty sestavení. Vzorce a postupy výpočtů jsou převzaty z literatury [2].

4.1 ROZMÍSTĚNÍ PRACOVNÍCH ČÁSTÍ PLUHU

Na navrhovaném pluhu budou použity orební tělesa od výrobce Kverneland (*Obr. 37*). Toto orební těleso je používáno pro střední až těžké půdy a je možné ho použít i pro orbu polí ve svahu. Výhodou tohoto orebního tělesa je malý požadavek na tažnou sílu. Materiál tělesa je ocel. Maximální pracovní hloubka je 30 cm. Dle konstrukce se jedná o pološroubovou radlici.



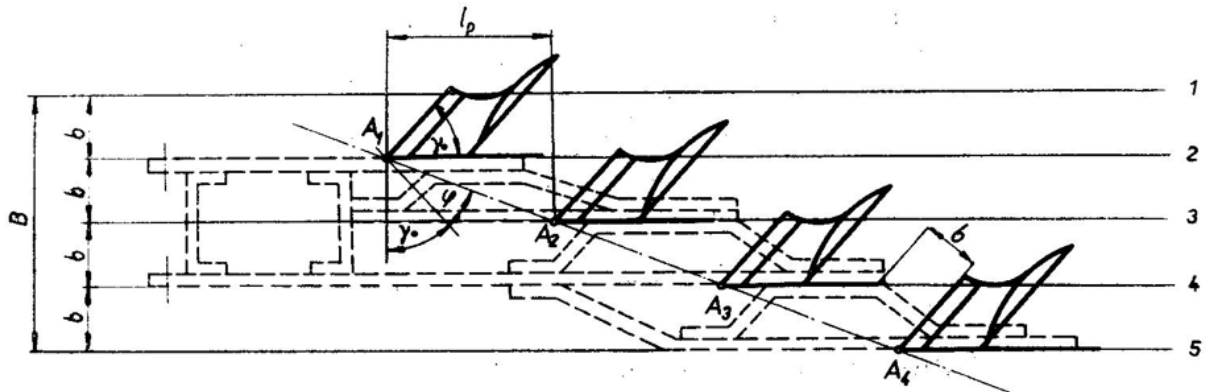
Obr. 37 Model orebního tělesa UN 400, výrobce Kverneland

Hlavní částí orebního tělesa je čepel (*Obr. 38*), která odřezává půdu od dna brázdy. Ve výpočtu se proto používá šířka ostří zvoleného orebního tělesa, v tomto případě je to 581 mm.



Obr. 38 Čepel orebního tělesa – Kvernelnd 18 " [19]

Při návrhu pluhu vycházíme z určení radlic, rozměrů brázdrového odvalu, půdních podmínek, které určují typ odhrnovačky (důležitý je úhel γ_0) a z požadovaného počtu orebních těles.



Obr. 39 Schéma pro rozmístění orebních těles na rámu pluhu [2]

Nejdříve je zapotřebí určit počet orebních těles a z nich umístění. Na Obr. 39 je půdorysný průmět pluhu a v něm jsou naznačeny rovnoběžky, které jsou od sebe vzdáleny o šířku brázdrového odvalu b . Na přímce 2 vyznačíme libovolný bod A_1 , který bude předním hrotem čepel prvního orebního tělesa. Přední hroty všech orebních těles musí ležet na jedné přímce. Tato přímka svírá se směrem jízdy úhel $90^\circ - (\gamma_0 + \varphi)$ a její průsečíky s přímkami 2 až 5 určují vzájemnou vzdálenost l_p orebních těles.

$$l_p = b \cdot \operatorname{tg}(\gamma_0 + \varphi) \quad [\text{mm}] \quad (7)$$

$$l_p = 581 \cdot \operatorname{tg}(40^\circ + 19,647^\circ)$$

$$l_p = 992,15 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvoleno } 1000 \text{ mm}$$

b ...šířka záběru jednoho orebního tělesa

γ_0 ...postavení čepel v brázdě (Tab. 7 – pološroubová radlice)

φ ...třecí úhel mezi půdou a ocelí

Hodnota l_p je zvolena vyšší z důvodu lepší průchodnosti rostlinných zbytků mezi orebními tělesy a z důvodu použití předradliček.

Tab. 7 Hodnoty úhlů postavení čepel v brázdě [2]

Druh radlice	Postavení čepel v brázdě $\gamma_0 [^\circ]$
Válcová radlice	45 ÷ 50
Kulturní radlice	40 ÷ 45
Pološroubová radlice	35 ÷ 40

Třecí úhel mezi půdou a ocelí je vypočítán z jednoduchého vztahu:

$$f = \operatorname{tg} \varphi \quad (8)$$

$$\Rightarrow \varphi = \operatorname{tg}^{-1} f \quad [^\circ]$$

$$\varphi = \operatorname{tg}^{-1} 0,357$$

$$\varphi = 19,647^\circ$$

f ...součinitel smykového tření

Součinitel smykového tření je volen z *Tab. 5* na straně 36. Pro výpočet je uvažována hodnota pro hlinitou půdu.

Světlá výška rámu nad povrchem půdy při práci musí být dostatečně velká, aby byl zabezpečený volný průchod brázdového odvalu a rostlinných zbytků. Podle praktických zkušeností výška rámu H od opěrné roviny orebních těles je:

$$H = a + b \quad [mm] \quad (9)$$

$$H = 300 + 581$$

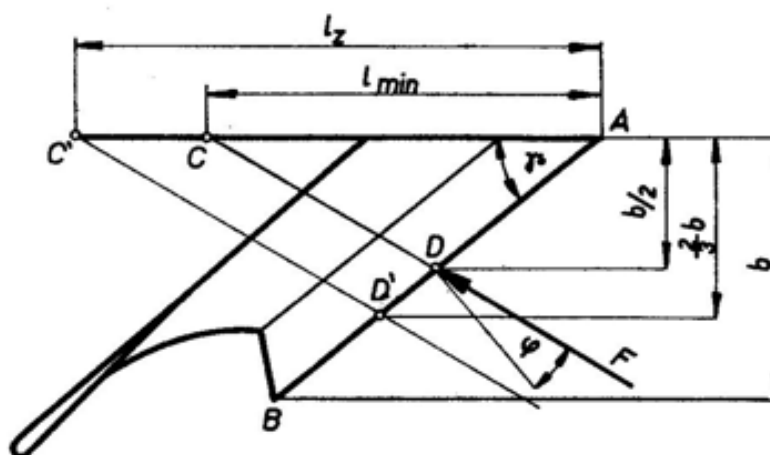
$$H = 881 \text{ mm} \Rightarrow \text{zvoleno } 900 \text{ mm}$$

a ...hloubka orby

b ...šířka záběru jednoho orebního tělesa

Hodnota H je zvolena vyšší z důvodu lepšího průchodu brázdového odvalu a rostlinných zbytků.

Navrženému rozmístění v předchozím kroku musí odpovídat tzv. průchodnost brázdového odvalu mezi sousedními orebními tělesy. Jedná se o vzdálenost mezi ostří čepelí a koncovým bodem odhrnovačky předcházejícího orebního tělesa. Podle praktických zkušeností se tato vzdálenost musí rovnat minimálně šířce záběru orebního tělesa (*Obr. 39*).



Obr. 40 Výpočet minimální délky odhrnovačky [2]

Odhřnovačka zlepšuje stabilitu pluhu při práci. Z funkčního hlediska je důležitá délka této odhřnovačky. Podle *Obr. 40* budeme uvažovat působení síly F uprostřed délky čepele a je odkloněná od normály o třecí úhel φ , z toho vyplývá tento vztah:

$$l_{min} = \overline{AC} \quad (10)$$

Matematickými úpravami dostaneme vzorec pro výpočet minimální délky odhřnovačky [2]:

$$l_{min} = \frac{b \cdot \cos \varphi}{2 \cdot \sin \gamma_0 \cdot \cos(\gamma_0 + \varphi)} \quad [mm]$$

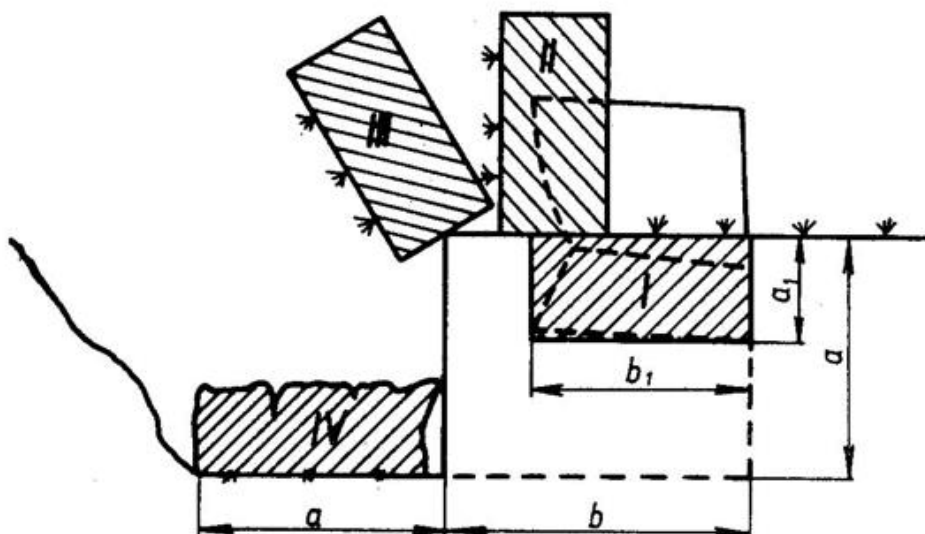
$$l_{min} = \frac{581 \cdot \cos 19,647}{2 \cdot \sin 45 \cdot \cos(45 + 19,647)}$$

$$l_{min} = 842,33 \text{ mm}$$

Tento výpočet je pouze kontrolní, jelikož odhřnovačka je součástí zvoleného orebního tělesa od firmy Kverneland. Výrobce udává délku odhřnovačky je 872 mm [45], z toho plyne, že kritérium pro minimální délku odhřnovačky je splněno.

4.2 PŘEDRADLIČKA

Na obrázku *Obr. 41* je znázorněna práce předradličky ve svislé rovině kolmé na směr jízdy. Z hlavní skývy odřízne předradlička horní travnatou, popřípadě bezstrukturní, vyprahlou část, vyzvedne ji a současně pootočí o 90° z polohy *I* do polohy *II*, pak ji křídlo předradličky posune na kraj nezaoraného pole do polohy *III* (přitom se tlačí na skývu přibližně ve výšce těžiště průřezu), odkud pak spadne obrácená dolů na dno brázdy, kde ji zasype hlavní skýva. Tím se dostanou rostlinné zbytky i semena plevelů z povrchu pole na dno brázdy do anaerobních podmínek, kde již nemají semena plevelů možnost vyklíčit.



Obr. 41 Schéma práce předradličky [2]

4.2.1 VOLBA PŘEDRADLIČKY

Zahloubení předradličky bývá v rozmezí $a_1 = 7 \div 15$ cm, při celkové hloubce orby $a = 18 \div 30$ cm i více. Je-li hloubka a menší než 18 cm, není již použití předradličky z agrotechnických hledisek účelné, protože tenká vrstva půdy, která by v tomto případě zůstala pro hlavní těleso, by nemohla dostatečně zasypat rostlinné zbytky.

Protože dno brázdy bývá v praxi čisté v šíři odpovídající hloubce orby (*Obr. 41*), volí se záběr předradličky $b_1 \leq a$. Položíme-li $b_1 = a$, pak pro nejčastější orební poměr bude:

$$k_o = \frac{b}{a} = 1,5 = \frac{3}{2} \quad (11)$$

$$b_1 = a = \frac{b}{k_o} = \frac{2}{3} b \quad [mm]$$

Pro zvolenou šířku záběru orebního tělesa $b = 581$ mm [45] pak vychází záběr předradličky:

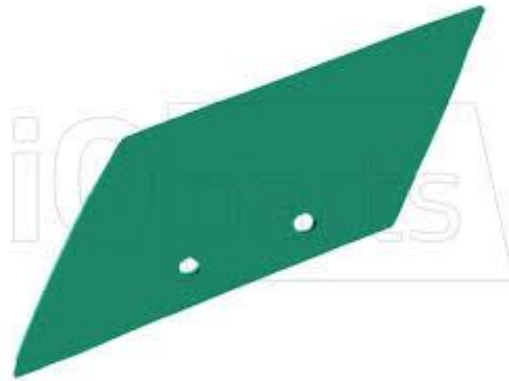
$$b_1 < \frac{2}{3} \cdot 581$$

$$b_1 < 387 \text{ mm}$$

Zvolená předradlička (*Obr. 42*) je taktéž od výrobce Kverneland. Předradlička je osazena ostřím o šířce 325 mm [45] (*Obr. 43*).



Obr. 42 Model předradličky, výrobce Kverneland



Obr. 43 Ostří předradličky – Kverneland 325 [20]

4.2.2 SÍLA POTŘEBNÁ K TAŽENÍ PŘEDRADLIČEK

Síla potřebná k tažení předradliček se vypočte z šířky záběru předradličky, jejího zahloubení a měrného odporu půdy. Potřebné síle potom odpovídá následující vztah [2]:

$$F_{tb} = k \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot i_{pr} \quad [N] \quad (12)$$

$$F_{tb} = 8,83 \cdot 15 \cdot 32,5 \cdot 4$$

$$F_{tb} = 17218,5 \text{ N}$$

a_1 ...zahloubení předradličky [cm]

b_1 ...šířka záběru předradličky [cm]

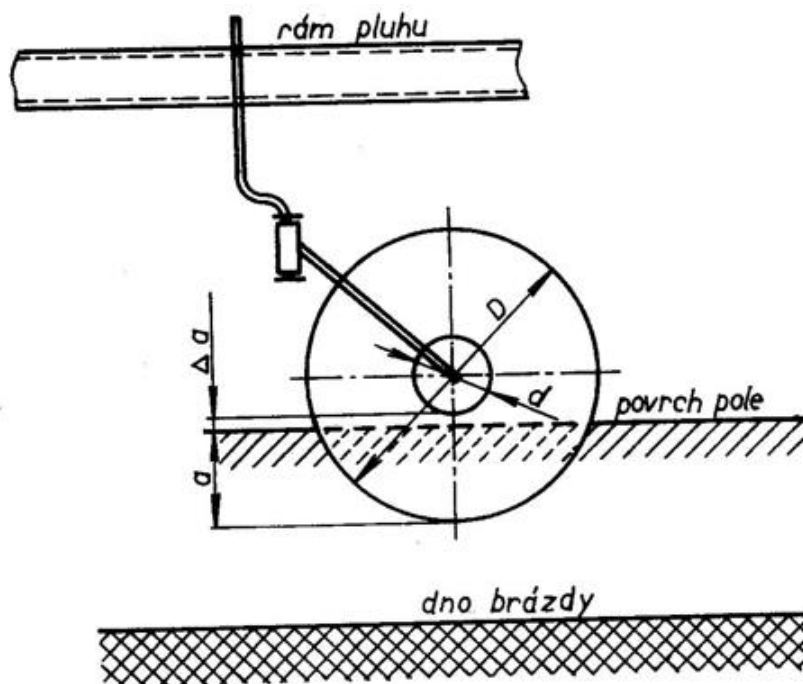
k ...měrný odpor půdy [$N \cdot cm^{-2}$]

i_{pr} ...počet předradliček [-]

4.3 KOTOUČOVÉ KROJIDLO

Kotoučové krojidlo je používáno pro lepší zarovnání hrany brázdy, která je vytvořena posledním orebním tělesem na rámu pluhu.

4.3.1 VOLBA KOTOUČE



Obr. 44 Schéma kotoučového krojidla [2]

Při volbě průměru kotouče D je zapotřebí uvažovat, že se zvětšením průměru se zvětší i svislá složka reakce půdy, která zapříčiňuje vytlačování krojidla z půdy. Proto je zapotřebí volit rozměr kotouče co možná nejmenší. Dle obrázku Obr. 44 vyplývá tento vzorec podle literatury [2]:

$$D = 2 \cdot \left(a_k + \Delta a + \frac{d}{2} \right) \quad [mm] \quad (13)$$

$$D = 2 \cdot \left(130 + 20 + \frac{100}{2} \right)$$

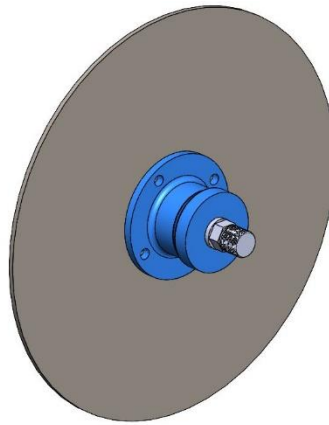
$$D = 400 \text{ mm}$$

a_k ...zahloubení krojidla (120 – 130 mm)

Δa ...přídavek s ohledem na nerovnost povrchu (10 – 20 mm)

d ...průměr příruby (≈ 100 mm) [2]

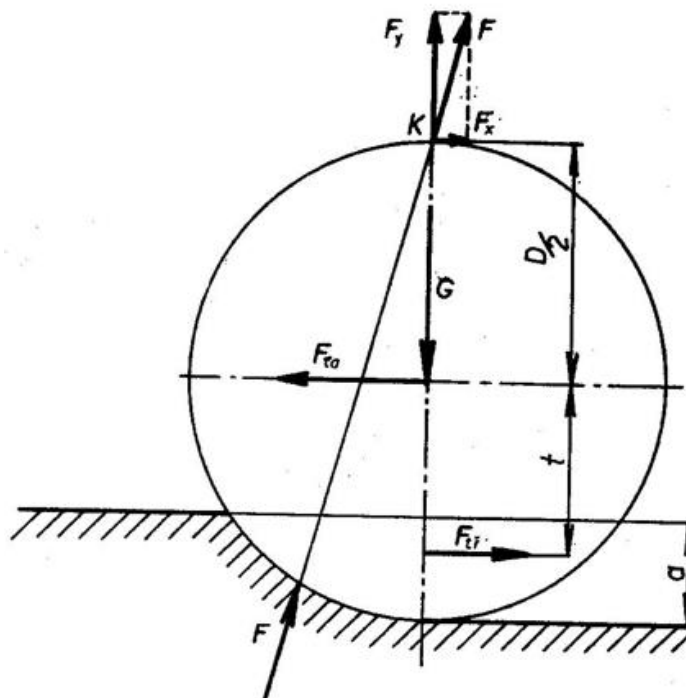
Dle vypočteného průměru kotouče je zvoleno kotoučové krojidlo od výrobce Vogel & Noot PE2.212.E1 s průměrem 400 mm [46]. Kotouč je přišroubován k přírubě náboje, který je také od firmy Vogel & Noot, jedná se o typ s označením PP0.233.00 [47] (Obr. 45).



Obr. 45 Model kotouče s nábojem

4.3.2 SÍLA POTŘEBNÁ K TAŽENÍ KOTOUČOVÉHO KROJIDLA

Při rovnoměrném pohybu působí na kotouč tyto síly (Obr. 46) [2].



Obr. 46 Celkové silové poměry u kotoučového krojidla [2]

F_{ta} ...síla potřebná k tažení

F_{RK} ...reakce na aktivní část břitu (protože všechny elementární reakce procházejí bodem K, prochází tímto bodem i jejich výslednice F_R)

G ...svíslá síla potřebná k udržení krojidla v půdě

$F_{tř}$...třecí síla mezi kotoučem a půdou; její působíště můžeme položit do těžiště plochy kruhové úseče, ve které se krojidlo dotýká po obou stranách půdy

Pro rovnovážný stav platí:

$$\sum X_i = 0 \dots F_{ta} - F_x - F_{tř} = 0 \quad (14)$$

$$\sum Y_i = 0 \dots G - F_y = 0 \quad (15)$$

$$\sum M_i = 0 \dots F_x \cdot \frac{D}{2} - F_{tř} \cdot t = 0 \quad (16)$$

Z předchozích rovnic rovnováhy vyplývá, že vztah pro výpočet síly potřebné k tažení krojidla je:

$$F_{ta} = F_x + F_{tř} \quad [N] \quad (17)$$

z momentové rovnice rovnováhy vyplývá vztah pro třecí sílu mezi kotoučem a půdou:

$$F_{tř} = \frac{F_x \cdot D}{2 \cdot t} \quad [N] \quad (18)$$

po do sazení do rovnice (16):

$$F_{ta} = F_x + \frac{F_x \cdot D}{2 \cdot t} \quad [N]$$

Z literatury [2] na straně 79 je použit vzorec pro výpočet reakce na aktivní část břitu krojidla:

$$F_{Rk} = q \cdot \sqrt{2D \left[D - \sqrt{D(D - a_k)} \right]} \quad [N] \quad (19)$$

$$F_{Rk} = 2232 \cdot \sqrt{2 \cdot 0,42 \cdot \left[0,42 - \sqrt{0,42 \cdot (0,42 - 0,13)} \right]}$$

$$F_{Rk} = 545,09 \text{ N}$$

q ...hodnota měrného odporu v závislosti na pracovní hloubce (13 cm) je 2232

$\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ (Tab. 8)

D ...průměr kotouče

a_k ...zahloubení krojidla

Tab. 8 Hodnoty měrného odporu v závislosti na pracovní hloubce [2]

Pracovní hloubka [cm]	Měrný odpor q [kp.m ⁻¹]	Přepočítaný měrný odpor q [N.m ⁻¹]
6	60-100	558-981
8	90-130	883-1275
10	110-170	1079-1668
12	120-210	1177-2060
16	200-300	1962-2943

Dále z literatury [2] na straně 79 je použit vztah pro výpočet složky F_x :

$$F_x = \frac{F_{Rk}^2}{2D \cdot q} \quad [N] \quad (20)$$

$$F_x = \frac{545,09^2}{2 \cdot 0,42 \cdot 2232}$$

$$F_x = 158,48 \text{ N}$$

Nyní lze dosadit do rovnice (16) a vypočítat potřebnou sílu k tažení krojidla:

$$F_{ta} = F_x + \frac{F_x \cdot D}{2 \cdot t} \quad [N]$$

$$F_{ta} = 158,48 + \frac{158,48 \cdot 0,42}{2 \cdot 0,14}$$

$$F_{ta} = 396,19 \text{ N}$$

Dle Obr. 46 je možno hodnotu kóty t vyjádřit následovně:

$$t = \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{2} = \frac{D}{3} \quad [m] \quad (21)$$

$$t = \frac{0,42}{3}$$

$$t = 0,14 \text{ m}$$

4.4 VOLBA PODPĚRNÉHO KOLA

Jako podpěrné kolo pluhu je zvolena flotační pneumatika P 200/60-14,5 10PR RIB-774 TT (Obr. 47) od výrobce BKT. Díky flotaci pneumatiky je značně sníženo zhutnění půdy při přejezdu, což vede k menším strukturálním změnám a zlepšení metabolismu živin v půdě a dále k zlepšení dýchání a odvodnění půdy. Pneumatika nemá hrubý vzorek, jelikož kolo není určeno k přenosu točivého momentu.



Obr. 47 Flotační pneumatika P 200/60-14,5 10PR RIB-774 TT BKT [42]

4.5 TAHOVÝ ODPOR PLUHU

Tahový odpor pluhu bude odlišný v závislosti na konfiguraci pluhu a pracovních podmínkách (druhu a vlhkosti půdy). Následující výpočty v této kapitole jsou provedeny pro nejtěžší možné pracovní podmínky a konfiguraci pluhu s namontovanými předradličkami a kotoučovými krojidly.

Pro další pracovní podmínky a odlišné konfigurace pluhu je sestavena tabulka v příloze P3. Hodnoty výkonů v tabulce jsou spočteny obdobným způsobem jako v této kapitole.

Odpor pluhu a jemu odpovídající tahová síla se nejčastěji počítá z rozměrů brázdového odvalu a měrného odporu půdy. Teoretické tahové síle potom odpovídá následující vztah [2]:

$$F_{Tt} = k \cdot a \cdot b \cdot i_r \quad [N] \quad (22)$$

$$F_{Tt} = 8,83 \cdot 30 \cdot 58,1 \cdot 4$$

$$F_{Tt} = 61562,76 \text{ N}$$

a ...hloubka orby [cm]

b ...šířka záběru orebního tělesa [cm]

k ...měrný odpor půdy pro těžkou půdu [$N \cdot cm^{-2}$], hodnota z tabulky Tab. 3 na str. 14

i_r ...počet radlic [-]

Přesnější teoretický rozbor tahového odporu pluhu je popsán v literatuře [2], který předpokládá, že odpor pluhu se skládá ze tří základních odporů: F_1 – odpor, který nezáleží na technologických podmínkách práce orebního tělesa, ale udává odpor vznikající pohybem

pluhu po poli; F_2 – odpor potřebný na deformaci půdy; F_3 – odpor, který vzniká důsledkem uvedení brázdivého odvalu do pohybu a na jeho odhazování na stranu. Výsledná tahová síla pak je [2]:

$$F_V = F_1 + F_2 + F_3 \quad [N] \quad (23)$$

Odpor vznikající pohybem pluhu po poli [2]:

$$F_1 = G \cdot f \quad [N] \quad (24)$$

$$F_1 = m \cdot g \cdot f$$

$$F_1 = 950 \cdot 9,81 \cdot 0,357$$

$$F_1 = 3327,06 \text{ N}$$

G ...tíhová síla pluhu [N]

m ...hmotnost pluhu [kg]

f ...součinitel smykového tření [-]

Součinitel smykového tření je volen z *Tab. 6* na straně 36. Pro výpočet je uvažována hodnota pro hlinitou půdu.

Odpor potřebný na deformaci půdy [2]:

$$F_2 = k \cdot a \cdot B \quad [N] \quad (25)$$

$$F_2 = 8,83 \cdot 30 \cdot 150$$

$$F_2 = 39735 \text{ N}$$

a ...hloubka orby [cm]

k ...měrný odpor půdy [$\text{N} \cdot \text{cm}^{-2}$]

B ...šířka záběru pluhu [cm]

Odpor, který vzniká důsledkem uvedení brázdivého odvalu do pohybu a na jeho odhazování na stranu [2]:

$$F_3 = \varepsilon \cdot a \cdot B \cdot v_p^2 \quad [N] \quad (26)$$

$$F_3 = 6000 \cdot 0,3 \cdot 1,5 \cdot \left(\frac{6}{3,6}\right)^2$$

$$F_3 = 7500 \text{ N}$$

a ...hloubka orby [m]

ε ...koeficient závislý na tvaru odhrnovací desky a vlastnostech půdy [$\text{N} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-4}$], bývá v rozsahu 3000 – 10000 $\text{N} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}^{-4}$ [2]

B ...šířka záběru pluhu [m]

v_p ...pracovní rychlost traktoru [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], nejčastější pracovní rychlost při orbě je 6 km/h

Tahová síla dle literatury [2]:

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 \quad [N]$$

$$F_T = 3327,06 + 39735 + 7500$$

$$F_T = 50562,06 \text{ N}$$

Výsledná tahová síla je pak součet sil: tahová síla dle Gorjačkina F_T , síla potřebná k tažení předradliček F_{tb} a síla potřebná k tažení krojidla F_{ta} :

$$F = F_T + F_{tb} + F_{ta} \quad [N] \quad (27)$$

$$F = 50562,06 + 17218,5 + 396,2$$

$$F = 68176,76 \text{ N}$$

4.6 ROVNICE VÝKONŮ

Pro zjištění potřebného celkového výkonu motoru traktoru P_e je použita rovnice vyjadřující rovnováhu přivedených a spotřebovaných výkonů. Ta má tvar [30]:

$$P_e = P_t + P_\delta + P_f + P_H \quad (28)$$

kde: P_e ...výkon motoru = 220 hp \approx 164 kW
 P_t ...výkon ztracený v převodech [kW]
 P_δ ...výkon ztracený prokluzem [kW]
 P_f ...výkon ztracený odporem valení [kW]
 P_H ...užitečný výkon [kW]

$P_\delta + P_f$...ztráty ve styku hnacího mechanismu s podložkou

Z rovnice je zřejmé, že přivedeným výkonem je pouze výkon motoru. Ostatní výkony jsou ztrátové. Následující výpočet vychází z literatury [30] a [37].

Pro kontrolní výpočet potřebného výkonu traktoru je uvažována hodnota 154 kW (udávaná výrobcem) [48], na základě možnosti agregace se silnějším traktorem do náročných podmínek ve svazích. Tímto výkonem disponuje například traktor značky Fendt s označením 720, sedmé generace.

VÝKON ZTRACENÝ V PŘEVODECH:

Tento výkon je spotřebován pro překonání vnitřních ztrát traktoru, klasicky se jedná o mechanické ztráty v převodovém ústrojí.

$$P_t = P_e \cdot (1 - \eta_t) \quad [kW] \quad (29)$$

$$P_t = 164 \cdot (1 - 0,9)$$

$$P_t = 16,4 \text{ kW}$$

Mechanická účinnost kolového traktoru η_t se pohybuje v rozmezí $0,9 \div 0,95$ [30], je voleno 0,9.

VÝKON ZTRACENÝ PROKLUZEM:

$$P_\delta = P_e \cdot (1 - \eta_\delta) \text{ [kW]} \quad (30)$$

$$P_\delta = 154 \cdot (1 - 0,9)$$

$$P_\delta = 16,4 \text{ kW}$$

Velikost prokluzu závisí především na nahuštění pneumatik a stavu vzorku pneumatik. Dále prokluz ovlivňuje povrch, po kterém traktor jezdí. Rozsah prokluzové účinnosti je $0,9 \div 0,95$ [30], je voleno 0,9.

VÝKON ZTRACENÝ ODPOREM VALENÍ:

$$P_f = F_{VO} \cdot v_p = m_{traktor} \cdot g \cdot c_R \cdot v_p \text{ [kW]} \quad (31)$$

$$P_f = 8800 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot \frac{6}{3,6}$$

$$P_f = 7,19 \text{ kW}$$

F_{VO} ...síla od valivého odporu

$m_{traktor} = 8800 \text{ kg}$...hmotnost traktoru obdobné výkonové řady (Fendt 720, sedmé generace) [48]

g ...tíhové zrychlení

$c_R = 0,05$...činitel valivého odporu [31]

v_p ...pracovní rychlost, nejčastější pracovní rychlost při orbě je 6 km/h

UŽITEČNÝ VÝKON:

$$P_H = F \cdot v_p \text{ [kW]} \quad (32)$$

$$P_H = 68176,76 \cdot \frac{6}{3,6}$$

$$P_H = 113,63 \text{ kW}$$

F ...výsledná tahová síla [N]

v_p ...pracovní rychlost [m/s]

Užitečný výkon udává potřebný výkon pro tažení zemědělských strojů a příslušenství. Hodnota tohoto výkonu se zjišťuje pomocí dynamometrické zkoušky. Hodnota je především ovlivněna pracovními podmínkami, ve kterých je stroj provozován.

POROVNÁNÍ VÝKONU MOTORU TRAKTORU A POTŘEBNÉHO VÝKONU:

$$P_e = 164 > P_t + P_\delta + P_f + P_H = \quad (33)$$

$$= 16,4 + 16,4 + 7,19 + 113,63 = 153,62 \text{ kW vyhovuje}$$

Potřebný výkon traktoru i se započítanými ztrátami je dostatečný.

Tahová účinnost η_H se vypočítá:

$$\eta_H = \frac{P_H}{P_e} \cdot 100 \quad [\%] \quad (34)$$

$$\eta_H = \frac{153,62}{164} \cdot 100$$

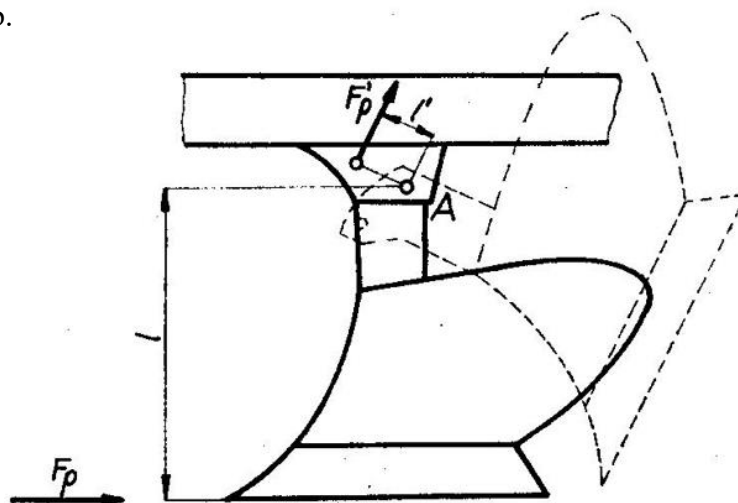
$$\eta_H = 94 \%$$

4.7 PEVNOSTNÍ KONTROLA VYBRANÝCH KONSTRUKČNÍCH UZLŮ**4.7.1 JIŠTĚNÍ OREBNÍHO TĚLESA**

Pojistky pluhů zabezpečují ochranu pluhu, respektive orebního tělesa. Mohou být umístěné v tříbodovém zavěšení pluhu nebo přímo na slupici orebního tělesa. V dnešní době se už prakticky využívají jen pojistky chránící každé orební těleso zvlášť.

Dalším rozdělením je dle konstrukce pojistky, a to na tvrdé pojistky a pružné pojistky. Tvrdé pojistky plní funkci ochrany, pokud odpor překročí dovolenou hodnotu. Pružné pojistky, které změkčují okamžité nárazy a pokud odpor překročí dovolenou hodnotu, vyřadí orební těleso z činnosti.

Na navrhovaném pluhu je použita střížná pojistka, která se dá klasifikovat jako pojistka tvrdá. Na obrázku *Obr. 48* je znázorněna střížná pojistka jednoho orebního tělesa. Pokud zatěžující síla F_p překročí dovolenou hodnotu, dojde k přestřížení lícovaného šroubu – pojistka a orební těleso se otočí okolo druhého upevňovacího šroubu (označeno bodem A), která zároveň slouží jako otočný kloub.



Obr. 48 Střížná pojistka umístěná na slupici orebního tělesa [2]

Z obrázku *Obr. 48* je možno vyjádřit momentovou rovnováhu k bodu A vztahem:

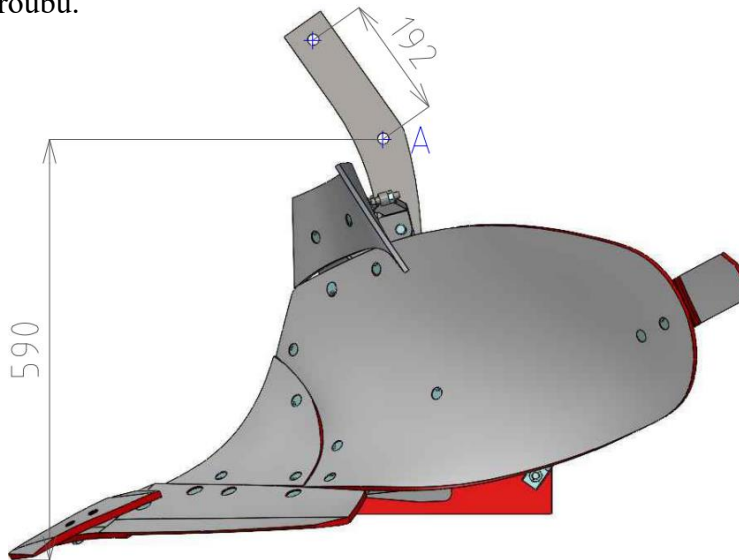
$$\sum M_A = 0 \quad (35)$$

$$F_p \cdot l - F_p' \cdot l' = 0$$

Velikost síly potřebné na přestřihnutí pojistky je vyjádřena rovnicí:

$$F_p' = 2 \cdot \tau_{STŘ} \cdot \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \quad [N] \quad (36)$$

Pojistka bude realizována lícovaným šroubem o pevnosti 8.8. Z následujícího výpočtu je zvolen průměr šroubu.



Obr. 49 Rozměry upevňovacích bodů orebního tělesa

Dosažením rovnice (36) do rovnice (35) je poté možno vyjádřit potřebný průměr pojistky.

$$d_p = \sqrt{\frac{2 \cdot F_p \cdot l}{\pi \cdot \tau_{STŘ} \cdot l'}} \quad [mm] \quad (37)$$

$$d_p = \sqrt{\frac{2 \cdot 15390,69 \cdot 590}{\pi \cdot 192 \cdot 192}}$$

$$d_p = 12,52 \text{ mm}$$

⇒ je zvolen lícovaný šroub M12, průměr válcové části je 13 mm

Průměr zvolené pojistky je větší než spočítaný. Zvolená pojistka přenesne přibližně o 7,82 % větší zatížení.

Velikosti síly F_P odpovídá vztah:

$$F_P = k \cdot a \cdot b \quad [N] \quad (38)$$

$$F_P = 8,83 \cdot 30 \cdot 58,1$$

$$F_P = 15390,69 \text{ N}$$

a ...hloubka orby [cm]

b ...šířka záběru orebního tělesa [cm]

k ...měrný odpor půdy [$N \cdot cm^{-2}$]

Dovolené napětí ve stříhu:

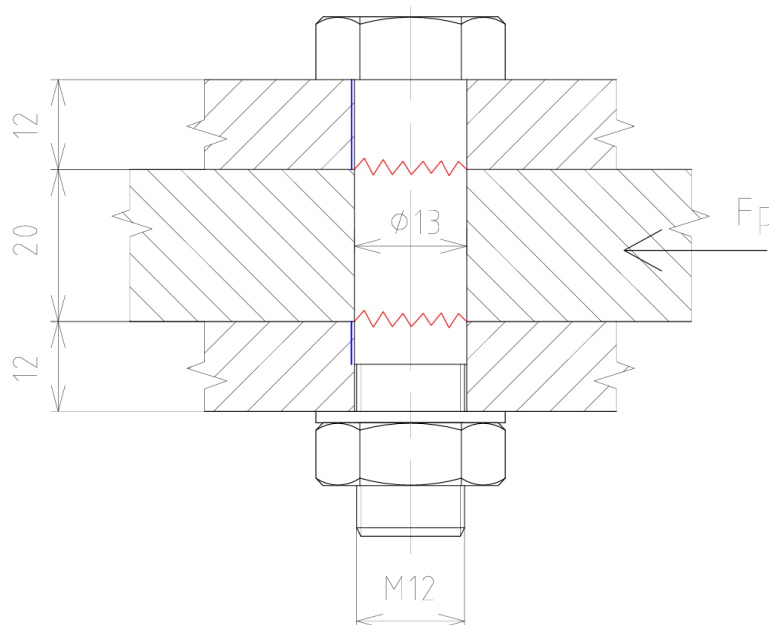
$$\tau_{STŘ} = \frac{0,6 \cdot Re_{\xi}}{k_{\xi}} \quad [MPa] \quad (39)$$

$$\tau_{STŘ} = \frac{0,6 \cdot 640}{2}$$

$$\tau_{STŘ} = 192 \text{ MPa}$$

Re_{ξ} ...mez kluzu šroubu [MPa], pro pevností třídu šroubu 8.8 odpovídá smluvní mez kluzu 640 MPa

k_{ξ} ...bezpečnost šroubu [-]



Obr. 50 Střížný pojistka orebního tělesa – lícovaný šroub M14x60

Na obrázku Obr. 50 jsou červenou křivkou znázorněny místa namáhaná na stříh a modrou místa, která jsou kontrolována na otláčení (je uvažována nejmenší plocha styku materiálu a dřívku: 12 + 6 mm). Hodnota dovoleného napětí je převzata z literatury [32]

Kontrola na otlačení:

$$p_{\xi} = \frac{F_p}{d_p \cdot s_{\xi}} \quad [MPa] \quad (40)$$

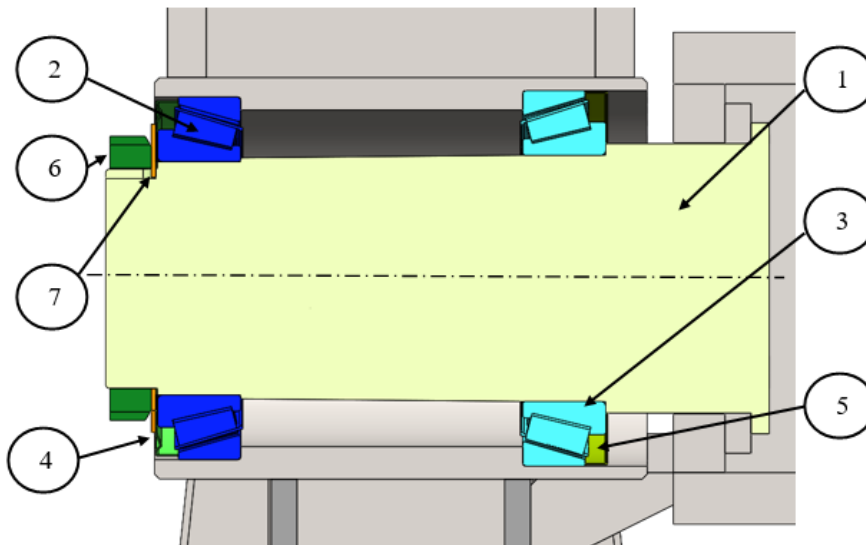
$$p_{\xi} = \frac{15390,69}{15 \cdot 18}$$

$$p_{\xi} = 57 \text{ MPa} < p_d = 80 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

4.7.2 ULOŽENÍ ČEPU PŘETÁČENÍ PLUHU

Čep v centrální části tříbodového závěsu plní dvě funkce. Slouží k přetáčení pluhu z jedné do druhé úvrati a zároveň musí být schopen přenést celkovou tahovou sílu vyvozenou traktorem. Je ale také zapotřebí brát v potaz možný vznik rázů, způsobených nárazem na překážky v půdě. Těmto rázům musí čep taktéž odolat.

Na obrázku *Obr. 51* je znázorněno uložení tohoto čepu. Uložení je realizováno dvojicí kuželíkových ložisek v tak zvaném „uspořádání do O“. Pro správnou funkci kuželíkových ložisek je zapotřebí, aby bylo v čepu vyvozeno předpětí. V tomto případě je použita KM matice v kombinaci s MB podložkou. Ložiska jsou utěsněna pomocí Nilos kroužků, což jsou lisované ocelové kroužky.



Obr. 51 Uložení čepu přetáčení pluhu v kuželíkových ložiskách: 1 – čep, 2 – ložisko SKF 32018 X, 3 – ložisko SKF 32019 X, 4 – Nilos kroužek 32018 AV, 5 – Nilos kroužek 32019 AV, 6 – KM matice 17, 7 – MB podložka 17

KONTROLA ČEPU – OTLAČENÍ V ZÁVITECH

Závit matice KM 17 je M85x2–6H. Průměry potřebné pro výpočet tohoto závitu dle literatury [32] jsou následující:

$d_{85} = 85 \text{ mm}$...velký průměr závitu

$D_1 = 82,835 \text{ mm}$...malý průměr závitu

$d_2 = 83,701 \text{ mm}$...střední průměr závitu



Obr. 52 Schéma jmenovitých profilů vnějšího a vnitřního metrického závitu [32]

Podle schématu na obrázku Obr. 52 se nosná hloubka závitu H_1 spočítat dle následujícího vztahu:

$$H_1 = \frac{d_{85} - D_1}{2} \quad [mm] \quad (41)$$

$$H_1 = \frac{85 - 82,835}{2}$$

$$H_1 = 1,0825 \text{ mm}$$

Kontrolní výpočet spočívá ve výpočtu potřebného počtu závitů z , aby nedošlo k jejich otláčení.

$$p_{Dz} \geq \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot z \cdot H_1} \quad (42)$$

$$\Rightarrow z \geq \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot p_{Dz}} \quad [-]$$

$$z \geq \frac{68176,76}{\pi \cdot 83,701 \cdot 1,0825 \cdot 40}$$

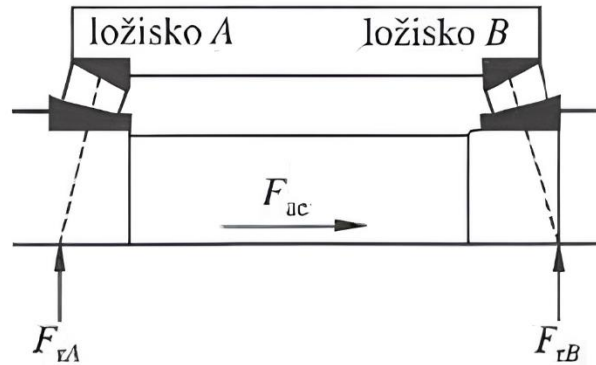
$z \geq 5,99$ počet závitů matice KM 17 je 8 \Rightarrow vyhovuje

p_{Dz} ...dovolené otláčení v závitu [MPa], dle literatury [32]

KONTROLA KUŽELÍKOVÝCH LOŽISEK

Následující výpočet slouží pro kontrolu zvolených kuželíkových ložisek. Výpočet je proveden podle literatury [38].

Na schématu Obr. 53 je znázorněno uložení ložisek v „uspořádání do O“ a vnější zatěžující síly působící na ložiska.



Obr. 53 Schéma uspořádání ložisek a zatěžujících sil [38]

Síla F_{ae} znázorňuje výslednou tahovou sílu F . Radiální síly F_{rA} a F_{rB} jsou síly způsobené momentem od tíhové síly, která působí v těžišti rámu pluhu.

Tab. 9 Parametry zvolených ložisek [39]

Označení ložiska	Typ ložiska	Součinitel axiálního zatížení K [-]	Základní dynamická únosnost C_{90} [kN]
A	32018 X	1,4	208
B	32019 X	1,35	206

Ložisko A – 32018 X

Axiální zatížení ložiska [38]:

$$F_{aA} = \frac{0,47 \cdot F_{rA}}{K_A} + F_{ae} \quad [N] \quad (43)$$

$$F_{aA} = \frac{0,47 \cdot 98100}{1,4} + 70102,96$$

$$F_{aA} = 103036,53 \text{ N}$$

Dynamické radiální ekvivalentní zatížení [38]:

$$P_A = 0,4 \cdot F_{rA} + K_A \cdot F_{aA} \quad [N] \quad (44)$$

$$P_A = 0,4 \cdot 98100 + 1,4 \cdot 103036,53$$

$$P_A = 183491,14 \text{ N}$$

Hodinová trvanlivost ložiska [38]:

$$L_{hA} = \left(\frac{C_{90A}}{P_A} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} \quad [hod] \quad (45)$$

$$L_{hA} = \left(\frac{208000}{183491,14} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{2 \cdot 60}$$

$$L_{hA} = 12656,48 \text{ hod}$$

Ložisko B – 32019 X

Axiální zatížení ložiska [38]:

$$F_{aB} = \frac{0,47 \cdot F_{rB}}{K_B} \quad [N] \quad (46)$$

$$F_{aB} = \frac{0,47 \cdot 196200}{1,35}$$

$$F_{aB} = 68306,67 \text{ N}$$

Dynamické radiální ekvivalentní zatížení [38]:

$$P_B = F_{rB} \quad [N] \quad (47)$$

$$P_B = 196200 \text{ N}$$

Hodinová trvanlivost ložiska [38]:

$$L_{hB} = \left(\frac{C_{90B}}{P_B} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} \quad [hod] \quad (48)$$

$$L_{hA} = \left(\frac{206000}{196200} \right)^{\frac{10}{3}} \cdot \frac{10^6}{2 \cdot 60}$$

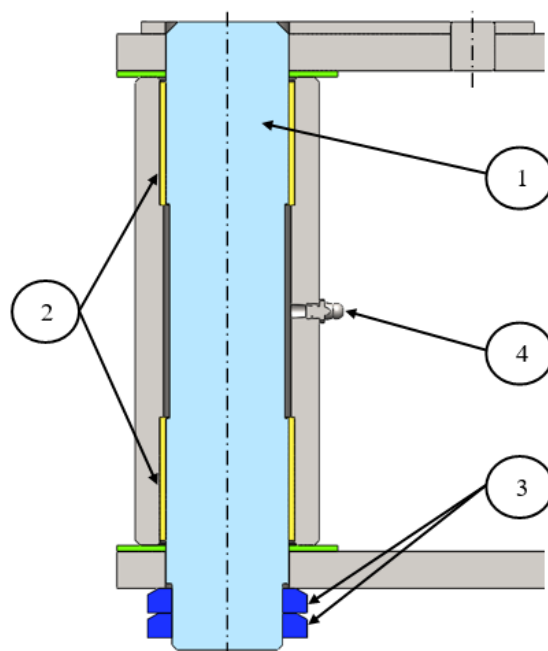
$$L_{hA} = 9803,46 \text{ hod}$$

Obě ložiska jsou schopna přenášet zatěžující síly a hodinová trvanlivost je vzhledem k četnosti použití pluhu dostačující.

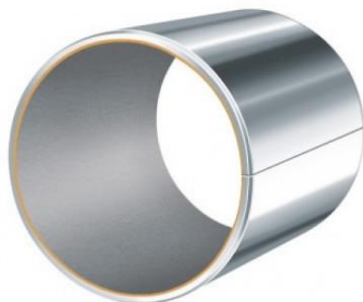
4.7.3 ULOŽENÍ ČEPU SPOJENÍ TŘÍBODOVÉHO ZÁVĚSU A RÁMU PLUHU

Pomocí tohoto čepu (*Obr. 54*) je realizován spoj přípojného tříbodového závěsu a rámu pluhu, na kterém jsou rozmístěna orební tělesa. Čep je uložen v kluzných pouzdrech CN KU 5050 (*Obr. 55*). Tato pouzdra jsou vyrobena ze svinutého ocelového plechu s vrstvou kompozitu PTFE. Pouzdra díky této vrstvě jsou téměř bezúdržbová, nicméně pro zlepšení jejich výkonosti, a především prodloužení životnosti je možno pomocí kulové mazací hlavice k ložiskům dopravovat mazivo.

Čep je proti axiálnímu posunutí zajištěn ze spodní strany pomocí dvou matic KM 9 a z vrchní strany plechem přivařeným k čepu a kolík slouží k zabránění otáčení čepu.



Obr. 54 Uložení čepu v kluzných pouzdrech: 1 – čep, 2 – kluzné pouzdro CN KU 5050, 3 – matice KM 9, 4 – kulová mazací hlavice H1 M8x1



Obr. 55 Kluzné pouzdro CN KU 5050 [33]

KONTROLA ČEPU NA SMYK

Čep je vyroben z oceli S355JR. Dle následujícího výpočtu je vypočteno dovolené napětí ve smyku pro tuto ocel.

Dovolené napětí ve smyku:

$$\tau_{DS} = \frac{0,6 \cdot Re_{355}}{k_{\check{c}}} \quad [MPa] \quad (49)$$

$$\tau_{DS} = \frac{0,6 \cdot 355}{2}$$

$$\tau_{DS} = 106,5 \text{ MPa}$$

Re_{355} ...mez kluzu oceli S355JR [MPa], dle literatury [32]

$k_{\check{c}}$...bezpečnost čepu [-]

Dle uložení čepu zobrazeného na obrázku *Obr. 54*, je patrné, že přestřížení čepu může nastat ve dvou místech. Proto následující vztah má tento tvar:

$$\tau_S = \frac{\frac{F}{2}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4}} = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_{\check{c}}^2} \leq \tau_{DS} \quad [MPa] \quad (50)$$

$$\tau_S = \frac{2 \cdot 68176,76}{\pi \cdot 47^2}$$

$$\tau_S = 19,65 \text{ MPa} \leq 106,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

Ve výpočtu je uvažováno, že čep musí být schopen přenést celkovou tažnou sílu F . Tomuto zatížení například odpovídá stav při zahlubování pluhu, kdy po určitou dobu je v zemi pouze první radlice a přenáší značné zatížení.

KONTROLA OTLAČENÍ V POUZDRECH

Podle následující vztahu je vypočítáno otláčení v kluzných pouzdrech:

$$p_p = \frac{F}{2 \cdot a_l \cdot d_l} \quad [MPa] \quad (51)$$

$$p_p = \frac{68176,76}{2 \cdot 50 \cdot 50}$$

$$p_p = 13,64 \text{ MPa} < 30 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

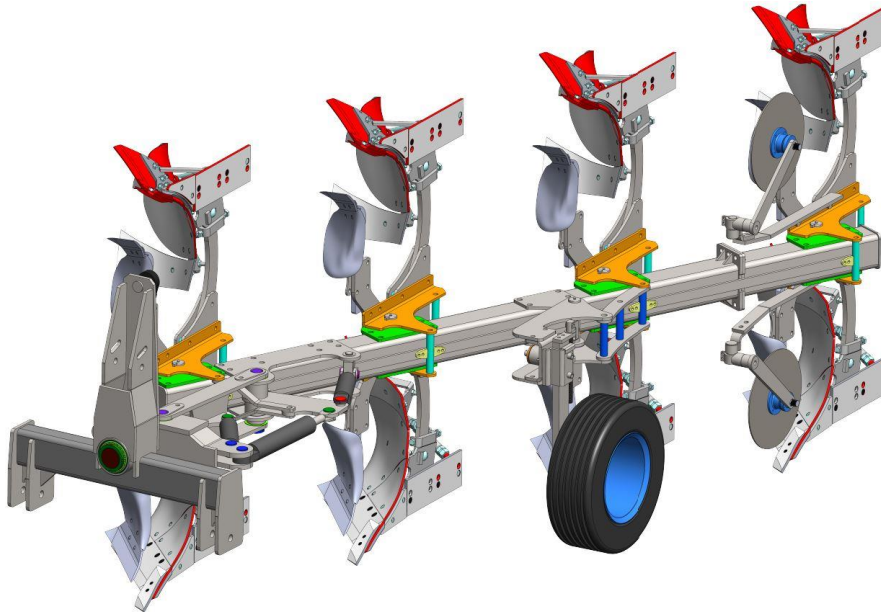
a_l ...výška pouzdra [mm]

d_l ...vnitřní průměr pouzdra [mm]

$p_{dp} = 30 \text{ MPa}$...dovolené otláčení v kluzném pouzdru, dle literatury [32]

5 KINEMATIKA RADLIČNÉHO PLUHU

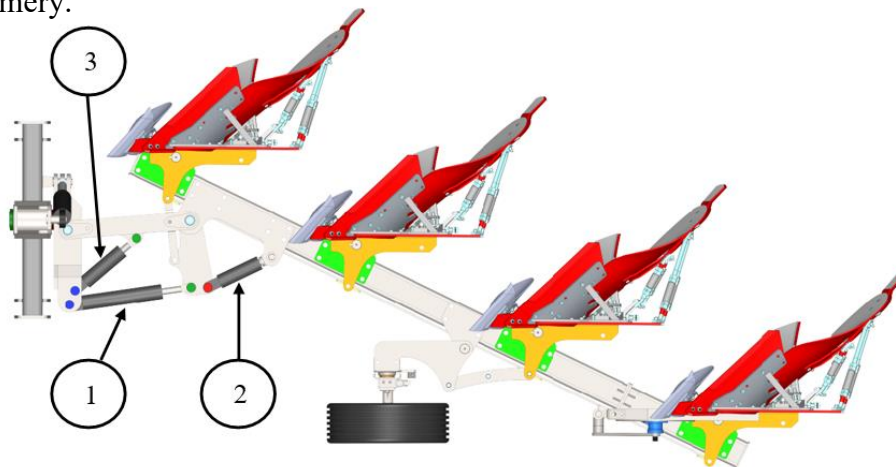
V této kapitole je popsána kinematika navrhovaného radličného pluhu (*Obr. 56*). Stavění záběru pluhu je v takzvaném systému „vario“. Je tedy možné nastavit záběr pluhu plynule v určitém rozsahu, a ne pouze skokově. Další výhodou je stavění všech orebních těles najednou pomocí kinematického mechanismu, který je ovládán třemi přímočarými hydraulickými motory. Z toho plyne další výhoda pro obsluhu traktoru, že není zapotřebí opouštět kabinu a nastavovat záběr orebních těles manuálně.



Obr. 56 Model navrženého radličného pluhu

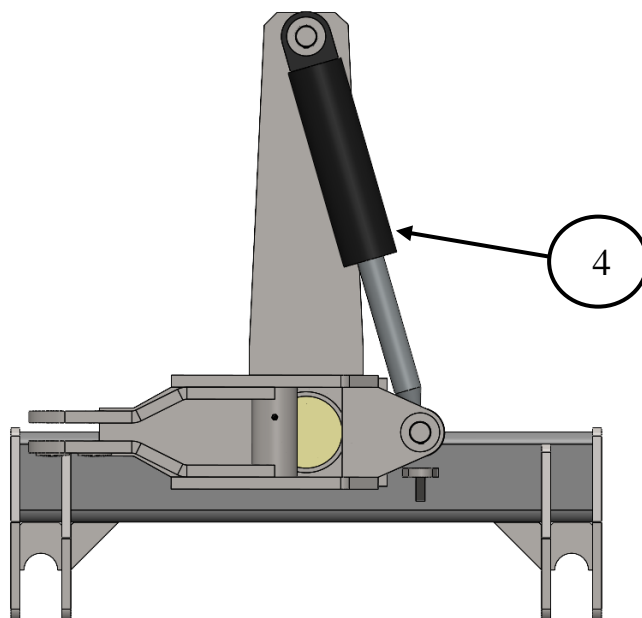
5.1 STAVĚNÍ ZÁBĚRU PLUHU

Na obrázku *Obr. 57 a Obr. 58* jsou zobrazeny pozice jednotlivých lineárních hydromotorů (dále v textu zkráceně HM). V tabulce *Tab. 10* jsou pak vypsána jejich označení dle výrobce a funkční rozměry.



Obr. 57 Půdorysný pohled modelu radličného pluhu

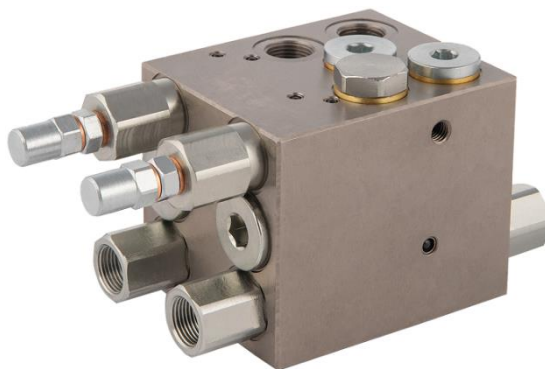
HM na pozicích 1 až 3 (Obr. 57) slouží k nastavení záběru pluhu. HM na pozici 1 je takzvaný „memory válec“. Z názvu plyne, že má určitou formu paměti, tedy že se vždy vysune do předem nastavené polohy při přetáčení z levé do pravé pracovní polohy. HM na pozici 2 plní funkci nastavení celkového záběru pluhu. Dále HM na pozici 3 slouží k nastavení záběru první radlice. Poslední HM na pozici 4 (Obr. 58) je určen pro přetáčení pluhu mezi pracovními polohami.



Obr. 58 Model třibodového závěsu a překlápěcího mechanismu

Pro správné přetáčení pluhu je zapotřebí řídit dva HM, přesněji HM 1 a HM 4 a to paralelně. K tomu se používá přímo určený druh ventilu s označením VRAP 80-100 DE SV 3/8" (Obr. 58). Ventil zajišťuje automatické přepínání průtoku hydraulického oleje pro HM 4, čímž je docílena změna pohybu HM a tím rotační pohyb pluhu. A dále nastavuje polohu HM 1 do požadované pracovní polohy, jelikož před samotným přetáčením pluhu, je zapotřebí pluh pomocí HM 1 narovnat, aby nedocházelo ke kolizi pracovních těles s podložkou.

Řídící ventil je vybaven vratným ventilem, pro zajištění ochrany v libovolné poloze. V příloze P4 je pomocí hydraulického schématu znázorněno zapojení tohoto ventilu a dvou HM.



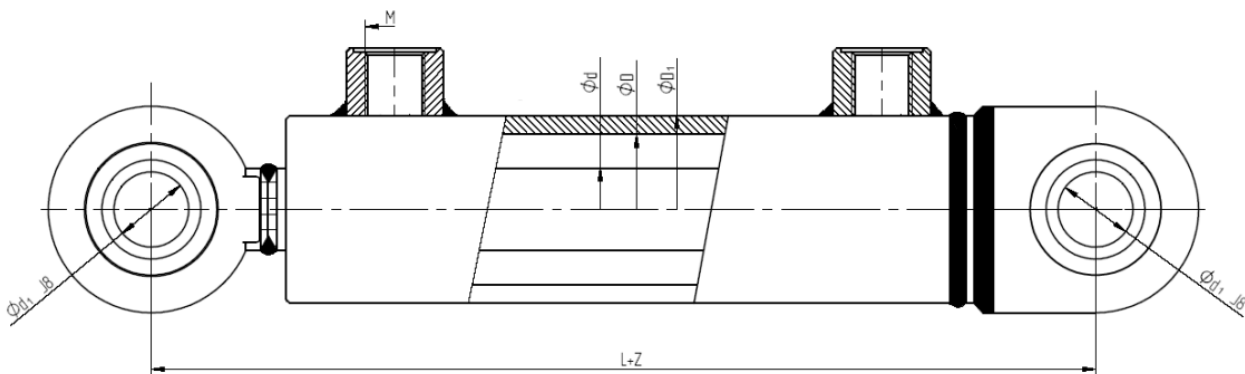
Obr. 59 Ventil na otáčení pluhu VRAP 80-100 DE SV 3/8" [40]

5.2 PÍSTNÍ TYČE – KONTROLA VZPĚRNÉ STABILITY

Pro nastavování celkového záběru pluhu, záběru první radlice a přetáčení pluhu z levé do pravé pracovní polohy jsou použity přímočaré hydromotory výrobce Hydraulics. V tabulce Tab. 10 jsou vypsány jednotlivé přímočaré hydromotory s jejich označením, plněním funkce na pluhu a konstrukčními rozměry. Pístní tyče těchto hydromotorů jsou z vanadiové oceli 20MnV6.

Tab. 10 Rozměry zvolených přímočarých hydromotorů [34, 35]

Pozice HM	Označení HM	Funkce HM na pluhu	Průměr pístní tyče $d_{\text{píst}}$ [mm]	Průměr pístu $D_{\text{píst}}$ [mm]	Vzdálenost mezi oky v zasunutém stavu L [mm]	Zdvih Z [mm]	Maximální tlak p_{max} [MPa]
1	HM1.2 80/40x45 0 R/MAX 20	Memory válec	40	80	205	450	20
2	HM1.2 63/32x36 0 R/MAX 20	Nastavení celkového záběru pluhu	32	63	185	360	20
3	HM1.2 63/32x36 0 R/MAX 20	Nastavení záběru první radlice	32	63	185	360	20
4	CJ2F 80/45/240 U35	Přetáčení pluhu	45	80	460	240	25

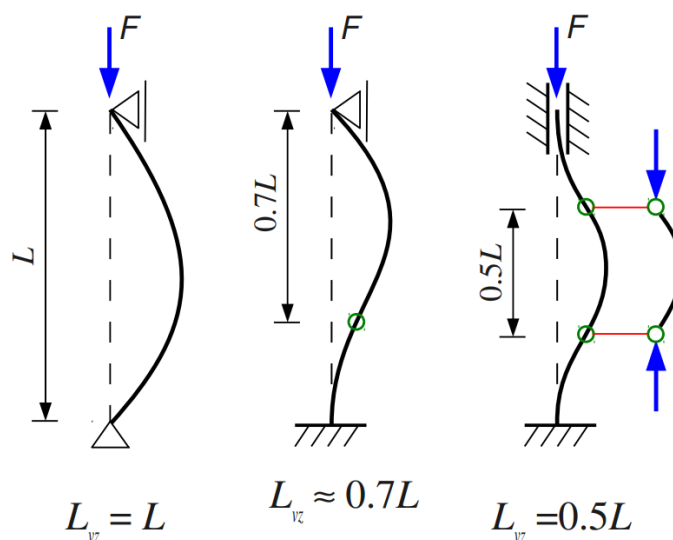


Obr. 60 Rozměrové schéma lineárního hydromotoru [34]

Následující výpočet slouží ke kontrole vzpěrné stability pístních tyčí zvolených přímočarých hydromotorů. Pro ukázkou je spočítán první hydromotor. Výsledky kontrol dalších hydromotorů jsou zapsány v tabulce *Tab. 11*.

REDUKOVANÁ DÉLKA

Pro výpočet je důležité určit o jaký typ uložení přímočarého hydromotoru se jedná. Dle obrázku *Obr. 61* se jedná o uložení zobrazeném na první pozici zleva. Z toho je patrné, že redukovaná délka pístní tyče L_{RED} je rovna součtu vzdálenosti mezi oky L a zdvihem Z .



Obr. 61 Typy uložení prutů – vzpěr [36]

$$L_{RED} = L + Z \quad [mm] \quad (52)$$

$$L_{RED} = 205 + 450$$

$$L_{RED} = 655 \text{ mm}$$

MEZNÍ ŠTÍHLOST

Mezní štíhlost λ_m se dá vypočítat pomocí vztahu z literatury [32]:

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{\frac{E_{píst}}{Re_{píst}}} \quad [-] \quad (53)$$

$$\lambda_m = \pi \cdot \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^5}{390}}$$

$$\lambda_m = 72,90$$

$E_{píst}$...modul pružnosti v tahu pístní tyče [MPa], dle literatury [34]

$Re_{píst}$...mez kluzu oceli 20MnV6 [MPa], dle literatury [34]

POLOMĚR SETRVAČNOSTI

Poloměr setrvačnosti písní tyče se dá vypočítat pomocí vztahu z literatury [32]:

$$i = \sqrt{\frac{J_{pmin}}{S_{pist}}} = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot d_{pist}^4}{64}}{\frac{\pi \cdot d_{pist}^2}{4}}} \quad [mm] \quad (54)$$

$$i = \sqrt{\frac{\frac{\pi \cdot 40^4}{64}}{\frac{\pi \cdot 40^2}{4}}}$$

$$i = 10 \text{ mm}$$

J_{pmin} ...minimální kvadratický moment plochy písní tyče

S_{pist} ...plocha průřezu písní tyče

d_{pist} ...průměr písní tyče

ŠTÍHLOST

Štíhlost písní tyče se dá vypočítat pomocí vztahu z literatury [32]:

$$\lambda_{pist} = \frac{L_{RED}}{i} \quad [-] \quad (55)$$

$$\lambda_{pist} = \frac{655}{10}$$

$$\lambda_{pist} = 65,5 < 72,9$$

$$\lambda_{pist} < \lambda_m$$

KRITICKÁ SÍLA

Štíhlost písní tyče je menší než mezní štíhlost, tudíž se jedná o nepružný vzpěr a musí být aplikována teorie Tetmajer-Jasinského [32]:

$$\sigma_{kr} = 589 - 3,82 \cdot \lambda_{pist} \quad [MPa] \quad (56)$$

Z tohoto vztahu je možné vypočítat kritickou sílu:

$$F_{kr} = \sigma_{kr} \cdot S_{pist} = (589 - 3,82 \cdot \lambda_{pist}) \cdot \frac{\pi \cdot d_{pist}^2}{4} \quad [N] \quad (57)$$

$$F_{kr} = (589 - 3,82 \cdot 65,5) \cdot \frac{\pi \cdot 40^2}{4}$$

$$F_{kr} = 425736,07 \text{ N}$$

BEZPEČNOST PÍSTNÍ TYČE

Výpočet bezpečnosti pístní tyče je provede jednoduchým poměrem kritické síly F_{kr} ku síle působící na píst $F_{píst}$, které odpovídá celková tažná síla F .

$$k_{píst} = \frac{F_{kr}}{F_{píst}} \quad [-] \quad (58)$$

$$k_{píst} = \frac{425736,07}{68176,76}$$

$$k_{píst} = 6,24$$

Bezpečnost pístní tyče vzhledem ke vzpěrné stabilitě je dostačující.

Tab. 11 Bezpečnosti jednotlivých pístních tyčí vzhledem ke vzpěrné stabilitě

Pozice HM	Označení HM	Průměr pístní tyče $d_{píst}$ [mm]	Síla působící na pístní tyč $F_{píst}$ [N]	Bezpečnost pístní tyče $k_{píst}$ [-]
1	HM1.2 80/40x450 R/MAX 20	40	68176,76	6,24
2	HM1.2 63/32x360 R/MAX 20	32	-	-
3	HM1.2 63/32x360 R/MAX 20	32	-	-
4	CJ2F 80/45/240 U35	45	95504,4	5,85

Vzhledem k malému výsuvu u HM 1 a 2 nedochází na pístních tyčích ke vzpěru, pouze jsou namáhány prostým tlakem.

6 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

V této kapitole jsou znázorněny postupy příprav vybraných konstrukčních uzlů pluhu pro konečno-prvkové analýzy a vyhodnocení jejich výsledků. Pevnostní analýzy byly provedeny v programu Ansys Workbench, pomocí statického řešiče Static Structural. Vypočtená napětí z analýzy jsou posuzována k mezím kluzu materiálu, ze kterých jsou dané součásti konstrukce zhotoveny.

Pro provedení analýzy je zapotřebí přiřadit, jednotlivým dílům konstrukce, materiál. Téměř celá konstrukce je navržena z hutních materiálů z oceli S355JR, z důvodu zaručené vzájemné svařitelnosti jednotlivých dílů. Pouze více namáhané části pluhu jsou z oceli C45E. Pro analýzu postačuje definovat hodnoty pružnosti, které jsou pro obě oceli obdobné (Tab. 12).

Tab. 12 Hodnoty použité pro MKP analýzu

Vlastnost oceli	Hodnota
Modul pružnosti v tahu – E	210 GPa
Modul pružnosti ve smyku – G	81 GPa
Poissonova konstanta - μ	0,3

Pro výpočet dovolených napětí ocelí byl použit tento vztah:

$$\sigma_D = \frac{R_e}{k} \quad [MPa] \quad (59)$$

$$\sigma_D = \frac{355}{1,5}$$

$$\sigma_D = 237 \text{ MPa}$$

R_e ...mez kluzu materiálu

k ...koeficient bezpečnosti [44]

Bezpečnost u dovolených napětí vychází z legislativního předpisu č.320/2017 Sb [44].

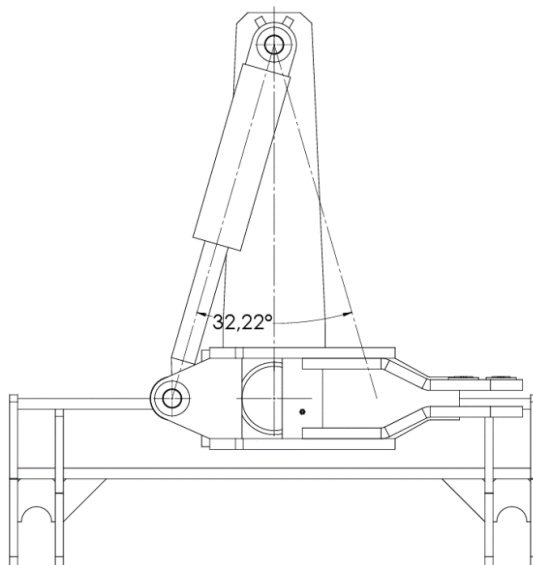
V tabulce Tab. 13 jsou zapsána dovolená napětí ocelí, odpovídající daným mezím kluzu materiálů.

Tab. 13 Použité oceli na konstrukci pluhu

Označení oceli	Mez kluzu R_e [MPa]	Vypočítané dovolené napětí σ_d [MPa]
S355JR	355	237
C45E	430	287

6.1 TŘÍBODOVÝ ZÁVĚSNÝ SYSTÉM PLUHU

Tato část konstrukce je zatěžována dvěma hlavními stavy. K prvnímu dochází při samotném tažení pluhu při orbě, kdy musí centrální část závěsného systému přenést celkovou tažnou sílu (je uvažována výsledná tahová síla F) a roznést tuto sílu do přípojných bodů tříbodového závěsného systému (TZS) traktoru. Druhý stav nastává při přetáčení pluhu, kdy působí síla od lineárního hydromotoru (HM) na horní čep uložení tohoto HM (Obr. 62).



Obr. 62 Rozsah výkmitu HM při přetáčení pluhu

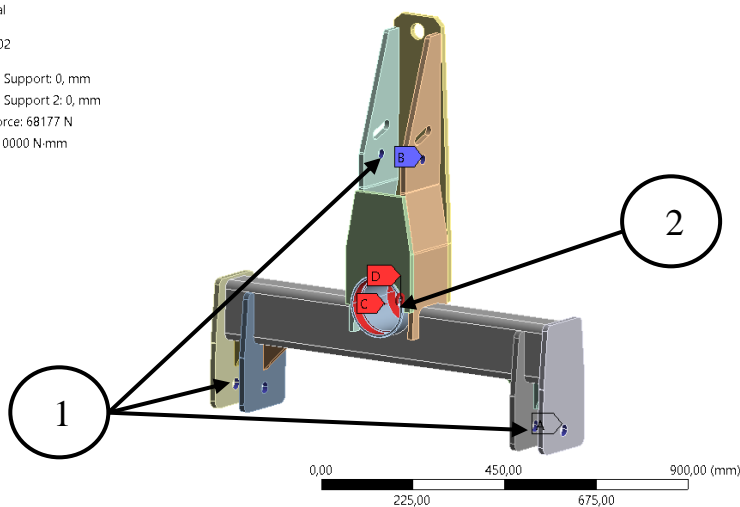
6.1.1 PŘENOS CELKOVÉ TAŽNÉ SÍLY

DEFINICE OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Při prvním zátěžovém stavu (přenos celkové tažné síly, Obr. 63) bylo zapotřebí nastavit upevnění v přípojovacích bodech, k tomu byly použity vazby *Cylindrical Support*. Dále bylo zapotřebí nadefinovat zatěžující sílu a moment vznikající od hmotnosti samotného pluhu. Síla působí na plochu, o kterou se opírá kuželíkové ložisko a působí v záporném směru osy z (proti směru jízdy traktoru). Moment působí na vnitřní průměry, ve kterých jsou uložena ložiska.

A: Třetí bod_(tažná síla)
Static Structural
Time: 1, s
28.03.2024 10:02

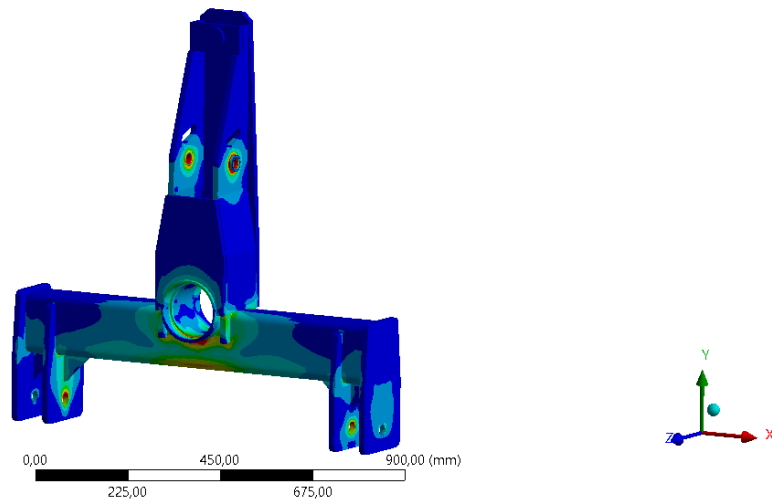
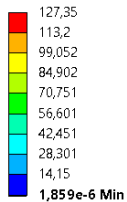
- A Cylindrical Support: 0, mm
- B Cylindrical Support 2: 0, mm
- C Remote Force: 68177 N
- D Moment: 10000 N-mm



Obr. 63 Nastavení okrajových podmínek pro první zátěžný stav: 1 – přípojovací body, 2 – zatěžující síla a moment

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ Z MKP ANALÝZY

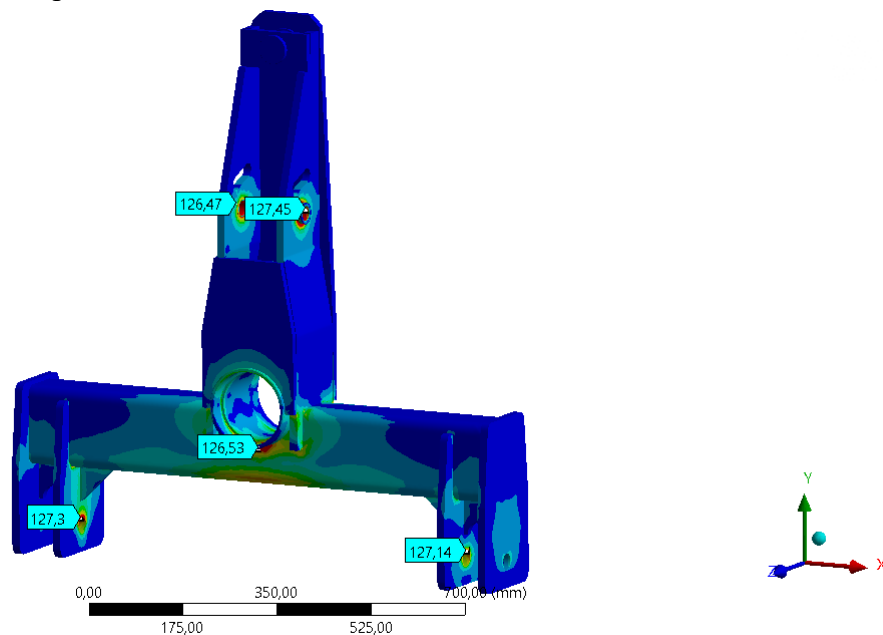
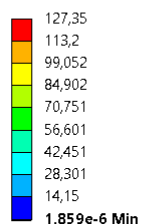
B: Treti_bod(tazna_sila)
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 29.02.2024 9:40



Obr. 64 Napěťová analýza modelu svařence TZS (přenos celkové tažné síly) dle podmínky HMH, měřítko deformace 1:1, legenda napětí 0 – 127 MPa

Z obrázku *Obr. 64* je patrné, že na konstrukci TZS nevzniká žádné napětí, které by překračovalo dovolené napětí 237 MPa odpovídající oceli S355JR. Na obrázku *Obr. 65* jsou potom znázorněna místa s největší koncentrací napětí. Jedná se především o upevňovací body TSZ, kde dochází k otlacení v otvorech. Dalším koncentrátorem napětí je střední část obdélníkového profilu, což se dalo předpokládat, jelikož se vlastně jedná o nosník na dvou podporách zatíženého silou uprostřed.

B: Treti_bod(tazna_sila)
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1 s
 01.03.2024 8:45



Obr. 65 Zobrazení míst s největším napětím

Detailnější zobrazení výsledků pevnostní analýzy pro tento zátěžový stav je pak v příloze P5 a P6.

6.1.2 SÍLA OD HM NA HORNÍ ČEP

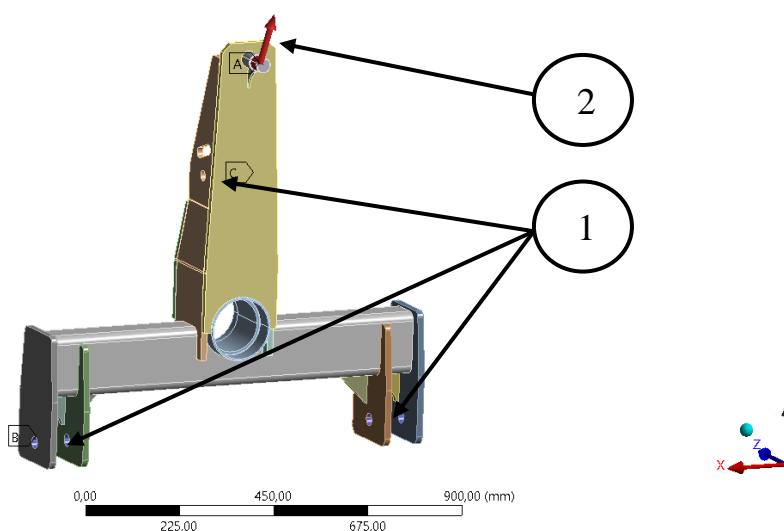
DEFINICE OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Postup nastavení okrajových podmínek u druhého zátěžného stavu (síla od HM na horní čep *Obr. 66*) byl obdobný jako u předešlého stavu. Nejdříve bylo zapotřebí nadefinovat upevnění TZS, opět byly použity vazby *Cylindrical Support*. V tomto případě byla zatěžující síla působící na horní čep nadefinována pomocí *Bearing Load*. Tato funkce definuje přenos síly přes plochu kluzného ložiska, které je v oku přímočarého hydromotoru, pomocí něhož je upevněn na horním čepu. Jelikož směr působení této síly je v čase proměnný (úhlový rozsah na *Obr. 62*) bylo zapotřebí sílu nadefinovat pomocí funkce. Funkce spočívá v jednoduchém rozkladu síly do os y a x pomocí goniometrických funkcí.

F: Třetí bod(síla od pístu)

Static Structural
Time: 3, s
28.03.2024 10:10

- A Bearing Load: 100000 N
- B Cylindrical Support: 0, mm
- C Cylindrical Support 2: 0, mm

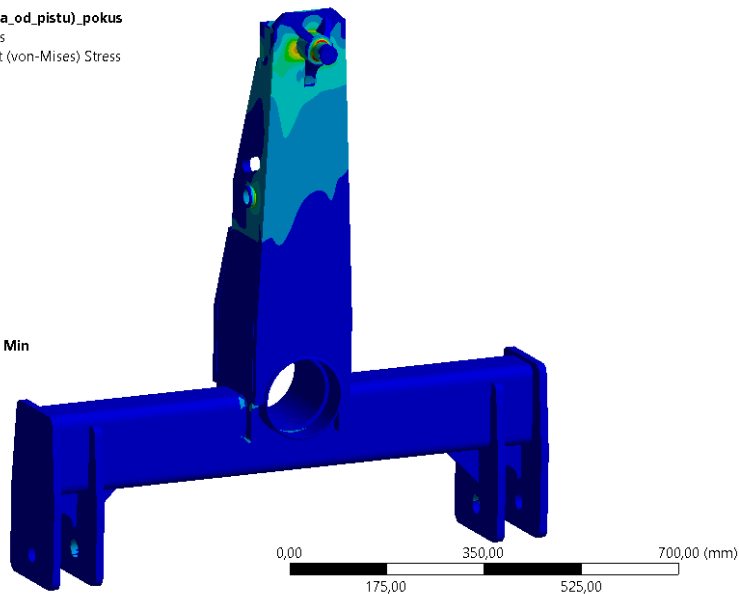
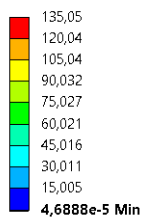


Obr. 66 Nastavení okrajových podmínek pro druhý zátěžný stav: 1 – připojovací body, 2 – zatěžující síla

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MKP ANALÝZY

Na obrázku (*Obr. 67*) je znázorněna napěťová analýza zátěžového stavu. V přílohách (P7 a P8) jsou detailnější zobrazení, na kterých jsou vidět kritická místa, kterými jsou uložení horního čepu a přechodový rádius na čepu mezi dvěma odlišnými průměry, jedná se o koncentrátor napětí. Tento rádius bylo nutné po první analýze zvětšit, aby vznikl plynulejší přechod mezi průměry a tím došlo ke snížení napětí v tomto místě. Jelikož čep musí odolat různým přenášených přes HM, je čep vyroben z oceli C45E s vyšší mezí kluzu.

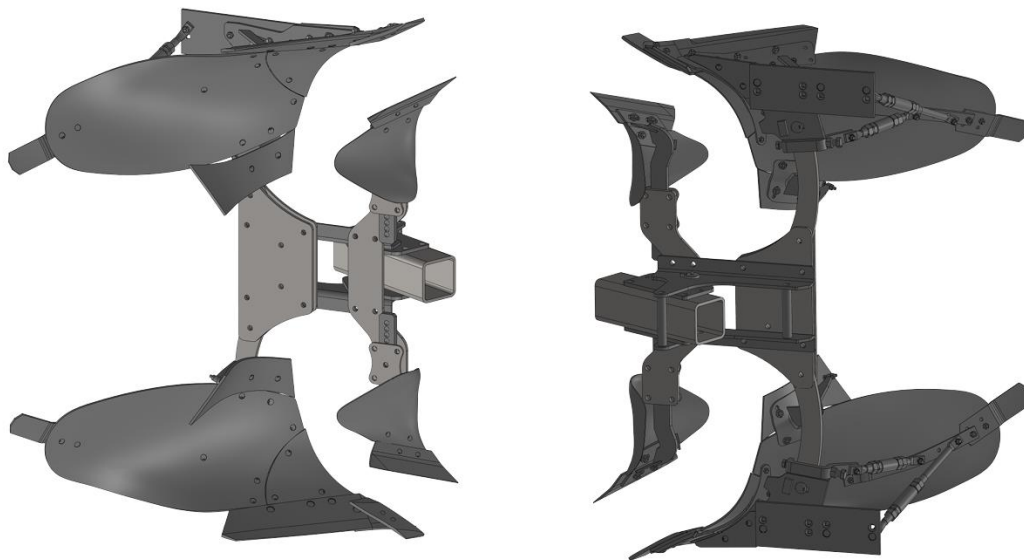
D: Treti_bod(sila_od_pistvu)_pokus
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 3 s
29.02.2024 9:45



Obr. 67 Napěťová analýza modelu svařence TZS (působení síly od HM na horní čep) dle podmínky HMH, měřítko deformace 1:1, legenda napětí 0 – 135 MPa

6.2 UCHYCENÍ OREBNÍHO ÚSTROJÍ

Orební ústrojí (radlice a předradlička) jsou pomocí slupic připevněny k nastavovacímu mechanismu, který je spojen pomocí šroubových spojů k hlavnímu nosnému rámu pluhu (Obr. 68). Hlavním zátěžným stavem působící na toto uchycení jsou síly, které vznikají záběrem radlice a předradličky v půdě. Analýzy tohoto konstrukčního uzlu jsou provedeny pro situaci při největším záběru pluhu v největší hloubce.

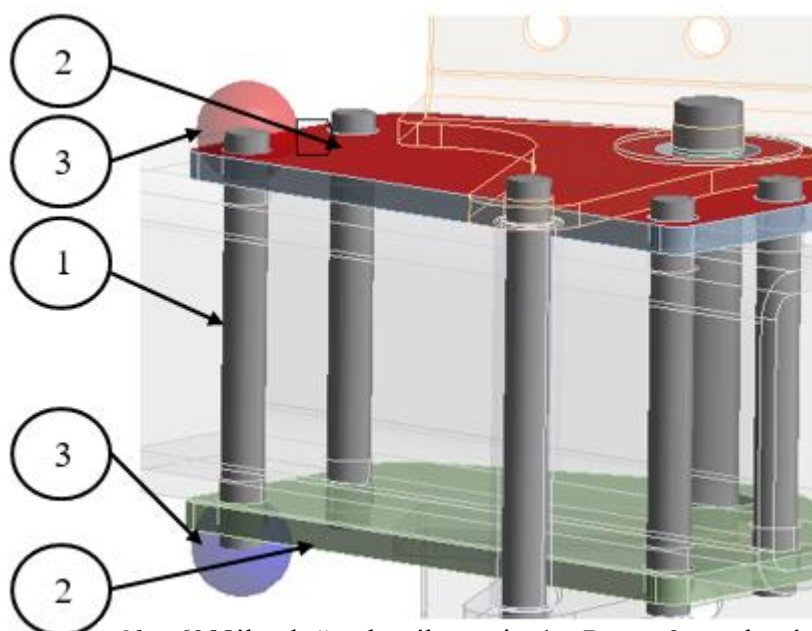


Obr. 68 Model uchycení orebního ústrojí (vlevo – přední pohled, vpravo – zadní pohled)

6.2.1 UCHYCENÍ RADLICE

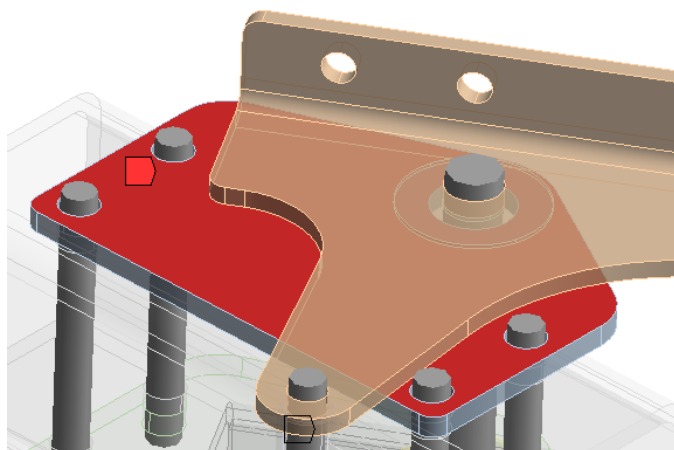
DEFINICE OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Při tomto zátěžném stavu je na uchycení orebního ústrojí namontována pouze radlice. Pro samotný výpočet analýzy byl model zjednodušen náhradami. Šroubové a čepové spoje byly nahrazeny funkcí *Beam* (Obr. 69), která představuje profil kruhového průřezu, jemuž odpovídá velikost výpočtového průměru šroubu, respektive průměr čepu. *Beam* přesahuje stykové plochy přibližně o 50% výšky hlavy šroubu, respektive výšky matice, čímž je vytvořena náhrada těchto částí šroubového spoje. Funkcí *Pinball Region* je nastavena oblast styku podložky šroubového spoje a stykové plochy. Jednotlivým šroubům dále bylo zapotřebí přiřadit funkci *Bolt Pretension*, čímž je nadefinováno předpětí šroubů (Obr. 72).



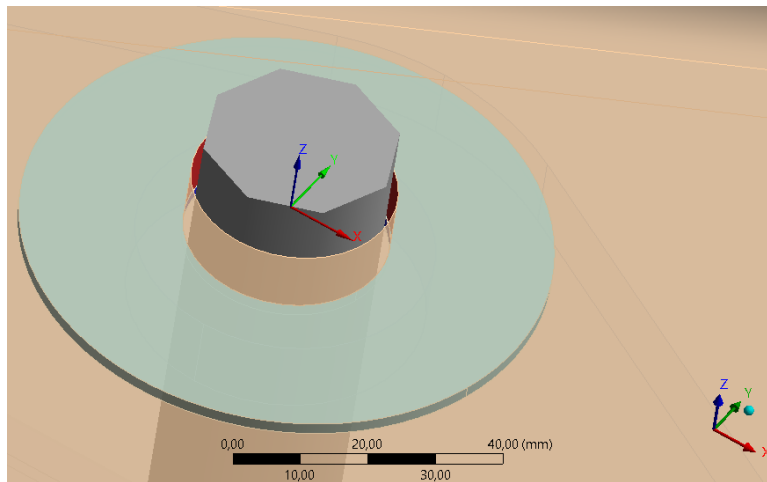
Obr. 69 Náhrada šroubového spoje: 1 – Beam, 2 – stykové plochy, 3 – Pinball Region

Na obrázku Obr. 70 jsou znázorněny třecí plochy, které byly definovány kontaktem *Frictional*, hodnota součinitele tření je nastavena na 0,2.



Obr. 70 Zobrazení třecích ploch

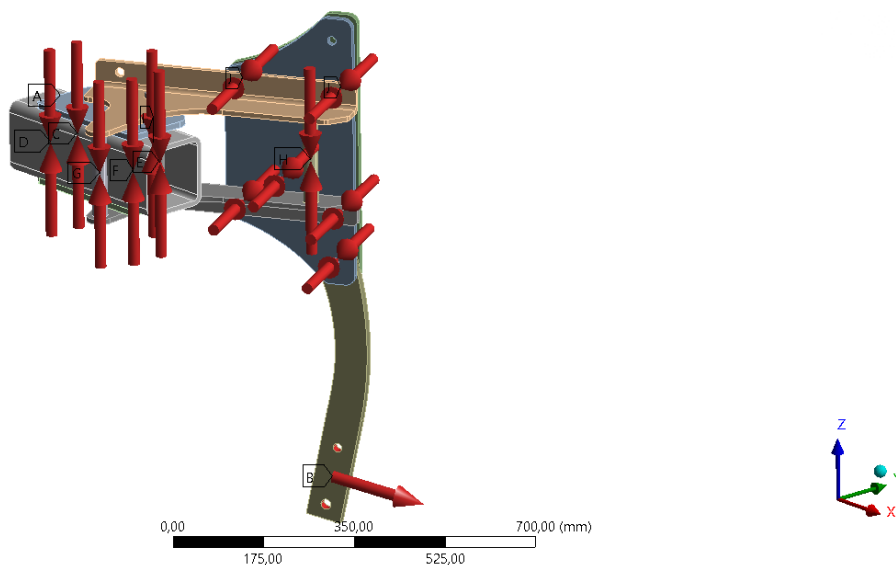
Na obrázku *Obr. 71* je zobrazena náhrada uložení čepu v kluzných pouzdech. Pro toto uložení byla použita vazba *Cylindrical* s volnou rotací kolem osy *z*.



Obr. 71 Zobrazení náhrady uložení čepu

Na následujícím obrázku *Obr. 72* jsou vidět veškeré zatěžující síly působící na uchycení orebního ústrojí. Náhrada nosného rámu je upevněna pomocí vazby *Fixed Support*. Na slupici radlice působí síla F_p , která působí v polovině výšky odhrnovací desky radlice.

- H: Uchytení radlice
Static Structural
Time: 3, s
Items: 10 of 15 indicated
04.03.2024 8:49
- A Fixed Support
 - B Remote Force: 15391 N
 - C Bolt Pretension: Lock
 - D Bolt Pretension 2: Lock
 - E Bolt Pretension 3: Lock
 - F Bolt Pretension 4: Lock
 - G Bolt Pretension 5: Lock
 - H Bolt Pretension 6: Lock
 - I Bolt Pretension 7: Lock
 - J Bolt Pretension 8: Lock

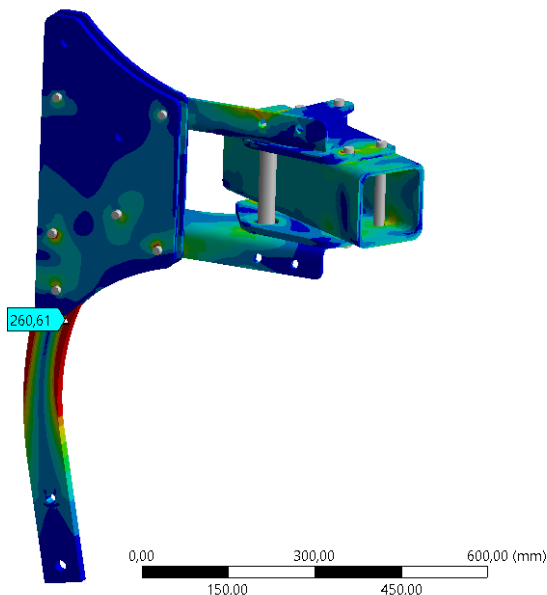
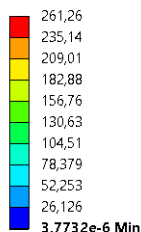


Obr. 72 Nastavení okrajových podmínek pro uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice)

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MKP ANALÝZY

H: Uchytení radlice

Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 3 s
04.03.2024 10:04



Obr. 73 Napěťová analýza modelu uchycení ořebního ústrojí (uchycení radlice) dle podmínky HMH, měřítko deformace 1:1, legenda napětí 0 – 261 MPa

Největší napětí vzniká na slupici, jde o hodnotu 261 MPa. Nicméně slupice je zhotovena z oceli C45E, pro kterou platí hodnota dovoleného napětí 287 MPa. Dále při tomto zátěžném stavu (při působení síly F_p) dojde k přestřihnutí pojistného šroubu této slupice, tudíž ke vzniku takto vysokého napětí by teoreticky nemělo ani dojít. Detailnější zobrazení výsledků této analýzy je v příloze P9 a P10.

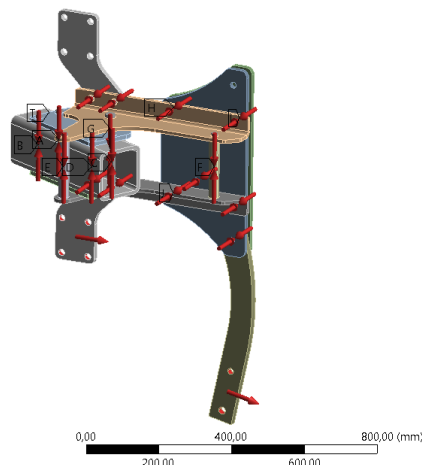
6.2.2 UCHYCENÍ RADLICE V KOMBINACI S PŘEDRADLIČKOU

DEFINICE OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Tento zátěžný stav je obdobný jako předchozí, pouze je přidána sekce s předradličkou. Postup definice okrajových podmínek je obdobný jako v předchozím zátěžném stavu. Je přidána síla působící na uchycení předradličky (Obr. 74).

I: Uchytení_radlice_předradlička
Static Structural
Time: 3, s
Items: 10 of 20 indicated
04.03.2024 10:35

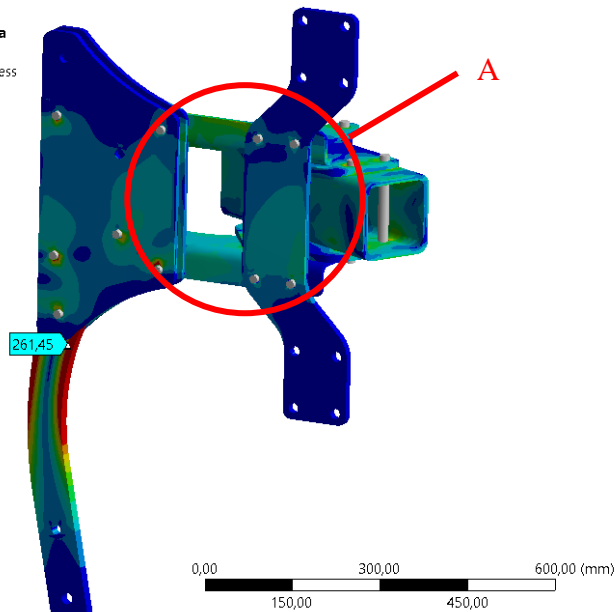
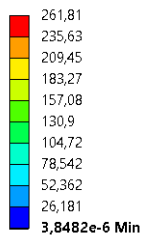
- A Bolt Pretension: Lock
- B Bolt Pretension 2: Lock
- C Bolt Pretension 3: Lock
- D Bolt Pretension 4: Lock
- E Bolt Pretension 5: Lock
- F Bolt Pretension 6: Lock
- G Bolt Pretension 7: Lock
- H Bolt Pretension 8: Lock
- I Bolt Pretension 9: Lock
- J Bolt Pretension 10: Lock



Obr. 74 Nastavení okrajových podmínek pro uchycení ořebního ústrojí (uchycení radlice v kombinaci s předradličkou)

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MKP ANALÝZY

I: Uchytení_radlice_předradlička
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 3 s
 04.03.2024 10:33

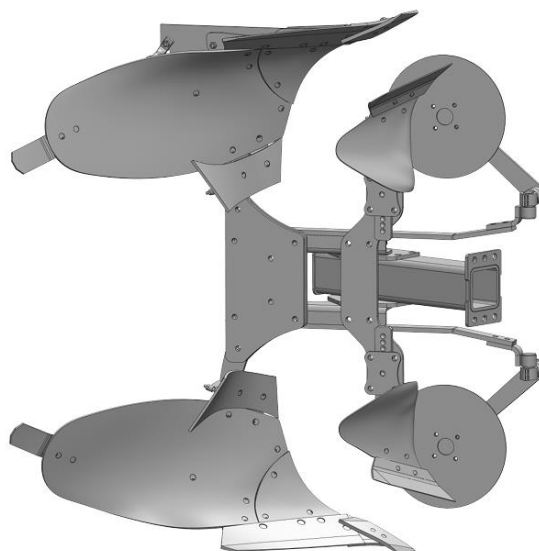


Obr. 75 Napěťová analýza modelu uchytení orebního ústrojí (uchycení radlice v kombinaci s předradličkou) dle podmínky HMH, měřítko deformace 1:1, legenda napětí 0 – 261 MPa

Největší napětí opět vzniká na slupici, hodnota 261 MPa. V tomto případě je ale patrné, že díky přidání předradličkové sekce dojde ke zpevnění v oblasti A na Obr. 75. Detailnější zobrazení výsledků této analýzy je v příloze P11 a P12.

6.3 PŘIPOJENÍ PŘÍDAVNÉ SEKCE

Připojení přídatné sekce (Obr. 76), na které se nachází radlice a volitelná předradlička s kotoučovým krojidlem, je realizováno pomocí přírub a šesti šroubů. Tento přírubový spoj musí přenést tahovou sílu vyvozenou záběrem radlice a předradličky v půdě.



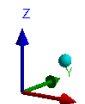
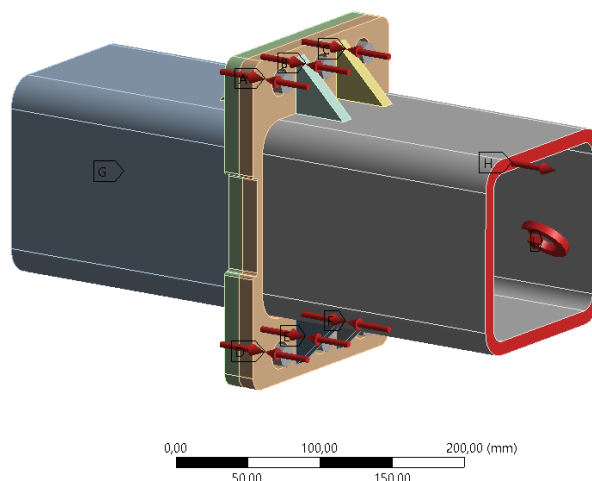
Obr. 76 Model přídatné sekce

DEFINICE OKRAJOVÝCH PODMÍNEK

Pro zjednodušení a urychlení simulace byl vytvořen pouze model přírubového spoje (Obr. 77). Model je z jedné strany uchycen vazbou *Fixed Support* simulující rám pluhu a z druhé strany je zatížen tažnou silou a momentem vyvozených záběrem radlice a předradličky na přidavné sekci. Náhrada šroubů, spojujících dvě příruby k sobě, je provedena obdobně jako v kapitole 6.2.1 pomocí předepjatých šroubů.

G: Pridavna_sekce_2
 Static Structural
 Time: 3 s
 11.03.2024 9:22

- A Bolt Pretension: Lock
- B Bolt Pretension 2: Lock
- C Bolt Pretension 3: Lock
- D Bolt Pretension 4: Lock
- E Bolt Pretension 5: Lock
- F Bolt Pretension 6: Lock
- G Fixed Support
- H Force: 19696 N
- I Moment: 1,4177e+005 Nmm



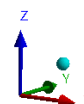
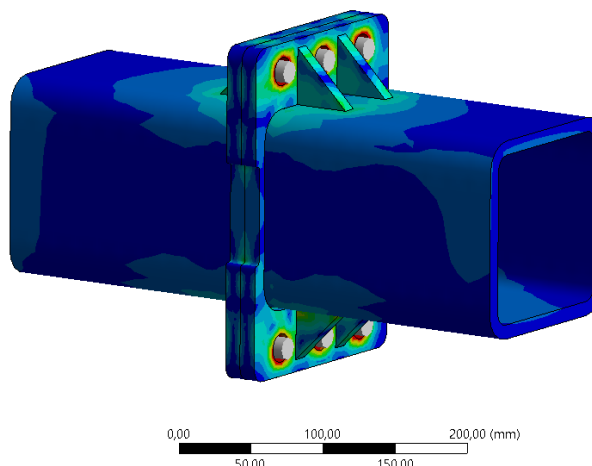
Obr. 77 Nastavení okrajových podmínek pro upevnění přidavné sekce

VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MKP ANALÝZY

Na obrázku Obr. 78 je znázorněna pevnostní analýza tohoto konstrukčního uzlu. Je patrné, že největší napětí vzniká v oblasti náhrady šroubových spojů. Toto napětí nabývá hodnoty 98 MPa, které je způsobeno předpětím šroubů a styku náhrady podložky šroubového spoje s přírubou. Napětí nepřesahuje dovolenou hodnotu 237 MPa. Detailnější zobrazení výsledků této analýzy je v příloze P13.

G: Pridavna_sekce_2
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 3 s
 11.03.2024 9:22

98,07 Max
 53,641
 48,778
 43,916
 39,053
 34,19
 29,328
 24,465
 19,602
 14,739
 9,8767
 5,014
 0,15134 Min



Obr. 78 Napěťová analýza modelu upevnění přidavné sekce dle podmínky HMH, měřítko deformace 1:1, legenda napětí 0 – 98 MP

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce byl návrh neseného otočného radličného pluhu pro agregaci s traktory s tříbodovým závěsným systémem kategorie 2. Rozměry tříbodového závěsného systému a výkonnostní požadavky na traktor vycházejí z normy ISO 730:2009. Při návrhu pluhu byla vzata v potaz možnost osazení pluhu dodatečnými komponentami zpracovávajících půdu (předradlička a kotoučové kojidlo).

V úvodní části jsou popsány vlastnosti a charakter půd zpracovávaných zemědělskou technikou. Dále je provedena rešerše používaných druhů pluhů pro orbu zemědělské půdy, přičemž větší část se zabývá nesenými otočnými radličnými pluky. V další kapitole je popsána teorie práce klínu v půdě, z níž vyplývají výpočty, které byly použity při návrhu pluhu. Samotným výpočtům a koncepčnímu návrhu je věnována druhá polovina práce.

Nedílnou součástí koncepčního návrhu byla taktéž volba komponent zpracovávajících půdu, tedy radlice, předradlička a kotoučové kojidlo. Veškeré výpočty, ať už rozmístění a upevnění komponent na rámu, nebo silové poměry jsou dány volbou komponent. Při návrhu rámu a tříbodového závěsu pluhu byl kladen velký důraz na použití co nejmenšího počtu různých polotovarů, od čehož se pak odvíjí jednoduchost výroby a montáže a konečná cena zařízení. Proto byl použit velký počet výpalků z plechu a normalizovaných hutních polotovarů.

Ze silových poměrů bylo dále možno spočítat potřebné výkony pro tažení zařízení v různých konfiguracích a použití v odlišných pracovních podmínkách. To bylo provedeno pomocí rovnice výkonů, která v sobě zahrnovala různé druhy ztrát. Byla vytvořena tabulka s těmito požadovanými výkonnostními parametry, kterými musí traktor disponovat. Rozsah výkonů spadá do intervalu odpovídajícímu výkonnostní kategorii, pro kterou byl pluh navrhován.

Dále byla řešena kinematika navrhovaného pluhu. Pro nastavování záběru a přetáčení pluhu jsou použity lineární hydromotory. Volba těchto hydromotorů je podložena kontrolním výpočtem vzpěrné stability pístních tyčí. Pro přetáčení pluhu je použit speciální, přímo určený ventil, který zajišťuje automatické přepínání průtoku hydraulického oleje.

V poslední části práce je provedena pevnostní analýza vybraných konstrukčních uzlů pomocí metody konečných prvků v programu Ansys Workbench. Byla zjištěna maximální redukovaná napětí, která byla následně porovnána s dovolenými napětími zvolených materiálů. Ve všech případech nebyla hodnota dovoleného napětí překročena.

Součástí práce je taktéž výkresová dokumentace, která obsahuje výkres sestavy pluhu, výkres svařence tříbodového závěsu pluhu a dílenské výrobní výkresy dalších dílů.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN 46 5302 *Značení charakteru půd zpracovávaných mechanizačními prostředky*, Praha: Český normalizační institut 1981.
- [2] FRIEDMAN, Mikuláš. *Zemědělské stroje I: Teorie a výpočet*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1973.
- [3] *Bednar FMT*. Zpracování půdy [online]. Copyright © 2022 [cit. 27.10.2022]. Dostupné z: <https://www.bednar.com/zpracovani-pudy/>
- [4] *Future farming*. Gateway to the world of smart farming [online]. [cit. 27.10.2022] Dostupné z: <https://www.futurefarming.com/>
- [5] KUMHÁLA, František. *Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. Praha: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.
- [6] *Kuhn*. Ploughs [online]. Copyright © [cit. 14.11.2022]. Dostupné z: <https://www.kuhn.com/en/crop/ploughs>
- [7] *Nopozm*, Pluhy [online]. Copyright © 2022 [cit. 14.11.2022]. Dostupné z: <https://nopozm.cz/pluhy>
- [8] *Agroportal24h.cz Vše ze světa agro* [online]. Hradec Králové, Agroportal24h.cz, © 2011-2021 [cit. 14.11.2022] 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>
- [9] ISO 730:2009. *Agricultural wheeled tractors - Rear mounted three point linkage*. Geneva: International Organization for Standardization, 2009.
- [10] BEZDĚKOVSKÝ, Miroslav. *Technologie rostlinné výroby*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1982.
- [11] *Lemken*. Mounted ploughs EurOpal [online]. Copyright © 2022 LEMKEN GmbH [cit. 24.11.2022]. Dostupné z: <https://lemken.com/en-en/agricultural-machines/soil-cultivation/ploughing/mounted-ploughs/europol-variopal>
- [12] FUKA, Vladislav. Zpracování půdy: Výhody orby on-land [online]. 2019 [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/vyhody-orby-on-land/>
- [13] *Pöttinger*. Servo 25 lehké nesené otočné pluhy [online]. [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: https://www.poettinger.at/cs_cz/produkty/detail/se25/servo-25-lehke-nesene-otocne-pluhy
- [14] *Mascus*. Zemědělské stroje oboustranné pluhy [online]. Copyright © 2022 [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: <https://www.mascus.cz/zemedelske-stroje/oboustranne-pluhy/lemken-europol-5/d17v9t9y.html>

- [15] *Sukov.cz*. Junior Roto [online]. Copyright © 2022 [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: <https://www.sukov.cz/produkty/junior-roto/>
- [16] *Amazone*. Cayros mounted reversible ploughs [online]. Copyright © 2022 [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: <https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/cultivation/ploughs/cayros-mounted-reversible-plough-53628>
- [17] *Balatech*. Pluhy [online]. Copyright © 2022 [cit. 12.12.2022]. Dostupné z: <https://www.balatech.sk/354-pluhy>
- [18] *Agrozet*. Náhradní díly, zemědělské stroje a technika [online]. Copyright © 2016 [cit. 24.1.2023]. Dostupné z: <https://www.agrozet.cz/e-shop/servo-650-d78653.html>
- [19] *Agrozet*. Ostří pluhové 18 Kverneland [online]. [cit. 2.10.2023]. Dostupné z: https://www.agrozet.cz/e-shop/ostri-pluhove-18-1-kverneland-1-d23020.html?gclid=Cj0KCQjw1OmoBhDXARIsAAAYGSGn3-T_Y8nGPE9VV3wtPjYf1XOIWNsIp6hwWnN0An3XMOFSVdp0kUoaApr2EALw_wcB
- [20] *IQparts*. Dungereinlegeschar-056852 [online]. Copyright © 2023 [cit. 23.8.2023]. Dostupné z: <http://www.iqparts.com:38019/shop/product/ck000107-dungereinlegeschar-056852-88628?category=14316&order=name+asc>
- [21] *AGS*. Agro sortiment [online]. Copyright © 2023 [cit. 13.9.2023]. Dostupné z: <https://www.ags-shop.cz/cz/e-shop/2402187/c31617-pluhy/krojidlo-kotoucove-kompletni-bomet-lyra-uo13-1-25-35.html>
- [22] *Fieldking.com*. Mounted disc plough [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <https://www.fieldking.com/product-portfolio/plough/mounted-disc-plough/>
- [23] *Gardenland.com*. BCS rotary plow [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <https://www.gardenland.com/product/bcs-rotary-plow>
- [24] *Mamtechnika.cz*. Pluh nesený jednostranný [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <https://www.mamtechnika.cz/pluh-neseny-jednostranny-pnj212>
- [25] *Sukov.cz*. Gard 25 [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <https://www.sukov.cz/produkty/gard-25/>
- [26] *Grossa Nova.sk*. Výkyvný priorávací, odorávací pluh [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <http://grossanova.sk/produkt/ai-15-vykyvny-prioravaci-odoravaci-pluh>
- [27] *AllBiz.cz*. Polonesený obracecí pluh Arco Agro [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <https://cz.all.biz/poloneseny-obraceci-pluh-arcoagro-np-on-land-ps40-g60780>

- [28] *Novatar.com*. Semimounted reversible plow [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: <https://www.novatar.com.tr/en/urun/soil-preparation/semi-mounted-reversible-plow>
- [29] *Pöttinger.at*. Univerzální secí stroj Terrasem [online]. Copyright © [cit. 10.10.2023]. Dostupné z: https://www.poettinger.at/cs_cz/newsroom/artikel/12677/univerzalni-seci-stroj-terras
- [30] ŠTEFFL, Zdeněk. *Mechanizace rostlinné výroby*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1969.
- [31] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství a vydavatelství Vlk, 2000.
- [32] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA, *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 1. vyd. Úvaly: Albra, 2003. ISBN 8086490742.
- [33] *Prumex.cz*. CN KU 5050 pouzdro kluzné, ocel-PTFE [online]. Copyright © [cit. 22.1.2024]. Dostupné z: https://www.prumex.cz/cn-ku-5050-pouzdro-kluzne-ocel-ptfe-pb/?gclid=Cj0KCQjw1OmoBhDXARIsAAAAYGSeryzAklOu1WQliWA4YG3DuW7VS4yU6zQe-8z7cllX6krFscUgsHy4aAhy2EALw_wcB
- [34] Výrobní katalog přímočarých hydromotorů 2019. Hydraulics [online]. 2019 [cit. 24.1.2024]. Dostupné z: https://www.hydraulics.cz/wcd/pdf/vyrobní_katalog_cz2019.pdf
- [35] *Hydrolider.cz*. Válec pro hydraulicky otočné pluhly 80/45/240 U35 [online]. Copyright © [cit. 24.1.2024]. Dostupné z: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Valec-pro-hydraulicky-otocne-pluhly-8045240-U35/18236
- [36] Přednáška 05. ČVUT, Fakulta strojní, Ústav mechaniky, biomechaniky a mechatroniky [online]. [cit. 24.1.2024]. Dostupné z: https://mech.fsv.cvut.cz/~smilauer/teaching/PP_prednaska_05_vzper.pdf
- [37] KRUTSKÝ, L. *Návrh kultivátoru pro agregaci s traktorem 75k*. Brno, 2022. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Jaroslav Kašpárek. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139292>.
- [38] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 9788021426290.
- [39] *SKF.com*. Tapered roller bearings [online]. Copyright © [cit. 8.2.2024]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/rolling-bearings/roller-bearings/tapered-roller-bearings>
- [40] *Hydrolider.cz*. Ventil na otáčení pluhu VRAP 80-100 DE SV 3/8" [online]. Copyright © [cit. 19.2.2024]. Dostupné z: https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Ventil-na-otaceni-pluhu-VRAP-80-100-DE-SV-38/17899

- [41] *Sukov.cz*. Downhill - spring [online]. Copyright © 2024 [cit. 19.2.2024]. Dostupné z: <https://www.sukov.cz/produkty/downhil-spring/>
- [42] *Koltico.cz*. Zemědělské a lesnické pneu P 200/60-14,5 10PR RIB-774 TT BKT [online]. Copyright © 2024 [cit. 23.2.2024]. Dostupné z: <https://cdn.koltico.cz/images/0/bdce212beed74355/1/p-200-60-14-5-10pr-rib-774-tt-bkt.jpg?hash=-1194518444>
- [43] Mechanizace zemědělství – tabulkový přehled. *Zpracování půdy a setí*. Praha, 2017: Profi Press.
- [44] Nařízení vlády č. 320/2017 Sb.: Nařízení vlády o technických požadavcích na strojní zařízení. In: Sběrka zákonů č. 320/2017. Praha: Tiskárna Ministerstva vnitra, p. o., 2017, ročník 2017, částka 110, číslo 320.
- [45] *Spare parts manual: SPM (150 Series)*. Kverneland, 2014. Dostupné z: https://www.kvgportal.com/W_global/Media/lexcom/KK/A1/A133093940-150%20SERIES_2014.PDF
- [46] *Prillinger.at*. Kotoučové krojidlo hladké Vogel Noot [online]. Copyright © 2024 [cit. 17.4.2024]. Dostupné z: <https://www.prillinger.at/cs/p/Kotoucove-krojidlo-hladke-Vogel-Noot-PE2.212.E1~00225503>
- [47] *Prillinger.at*. Náboj kotoučového krojidla Vogel Noot [online]. Copyright © 2024 [cit. 17.4.2024]. Dostupné z: <https://www.prillinger.at/cs/p/Naboj-kotoucoveho-krojidla-kompletni-Vogel-Noot-PP0.233.00~00225585>
- [48] *Fendt.com*. Fendt 700 Vario Gen7 [online]. Copyright © 2024 [cit. 17.4.2024]. Dostupné z: <https://www.fendt.com/int/agricultural-machinery/tractors/fendt-700-vario-gen7>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	Hloubka orby
a_k	[mm]	Zahloubení krojidla
a_l	[mm]	Výška kluzného pouzdra
a_1	[mm]	Zahloubení předradličky
Δa	[mm]	Přídavek s ohledem na nerovnost terénu
b	[mm]	Šířka záběru jednoho orebního tělesa
b_1	[mm]	Šířka záběru předradličky
C_{90A}	[N]	Základní dynamická únosnost ložiska A
C_{90B}	[N]	Základní dynamická únosnost ložiska B
D	[mm]	Průměr kotouče
D_1	[mm]	Malý průměr závitu
$D_{píst}$	[mm]	Průměr pístu
d	[mm]	Průměr příruby
$d_{\check{c}}$	[mm]	Průměr čepu
d_i	[mm]	Vnitřní průměr kluzného pouzdra
d_p	[mm]	Průměr pojistky
$d_{píst}$	[mm]	Průměr pístní tyče
d_2	[mm]	Střední průměr závitu
d_{85}	[mm]	Velký průměr závitu
$E_{píst}$	[MPa]	Modul pružnosti v tahu pístní tyče
F	[N]	Výsledná tahová síla
F_{aA}	[N]	Axiální zatížení ložiska A
F_{aB}	[N]	Axiální zatížení ložiska B
F_{ae}	[N]	Síla v ose čepu
F_{kr}	[N]	Kritická síla
F_{rA}	[N]	Radiální zatížení ložiska A
F_{rB}	[N]	Radiální zatížení ložiska B
F_P	[N]	Síla působící na radlici
F_P'	[N]	Síla potřebná pro přestřihnutí pojistky
F_t	[N]	Třecí síla
F_{ta}	[N]	Síla potřebná k tažení krojidla

F_{tb}	[N]	Síla potřebná k tažení předradliček
F_T	[N]	Tahová síla
F_{Tt}	[N]	Tahová teoretická síla
F_V	[N]	Výsledná tahová síla
f	[-]	Součinitel smykového tření půdy po oceli
G	[N]	Tíhová síla pluhu
H	[mm]	Světlá výška rámu pluhu
H_l	[mm]	Nosná hloubka závitu
h	[mm]	Výška radlice
i	[mm]	Poloměr setrvačnosti pístní tyče
i_{pr}	[-]	Počet předradliček
i_r	[-]	Počet radlic
J_{pmin}	[mm ⁴]	Minimální kvadratický moment plochy pístní tyče
K_A	[-]	Součinitel axiálního zatížení ložiska A
K_B	[-]	Součinitel axiálního zatížení ložiska B
k_{ζ}	[-]	Bezpečnost čepu
k_o	[-]	Orební poměr
k_{pist}	[-]	Bezpečnost pístní tyče
k_{δ}	[-]	Bezpečnost šroubu
L	[mm]	Vzdálenost mezi oky v zasunutém stavu
L_{hA}	[hod]	Hodinová trvanlivost ložiska A
L_{hB}	[hod]	Hodinová trvanlivost ložiska B
L_{RED}	[mm]	Redukovaná délka pístní tyče
l_{min}	[mm]	Minimální délka odhrnovačky
l_p	[mm]	Vzdálenost mezi orebními tělesy
m	[kg]	Hmotnost pluhu
N	[N]	Normálová síla
N'	[N]	Silová výslednice působící na horizontální klín
n	[min ⁻¹]	Otáčky čepu
P_A	[N]	Dynamické radiální ekvivalentní zatížení ložiska A
P_B	[N]	Dynamické radiální ekvivalentní zatížení ložiska B
p_d	[MPa]	Dovolené otláčení
p_{dp}	[MPa]	Dovolené otláčení v pouzdru

p_{dz}	[MPa]	Dovolené otláčení v závitu
p_{max}	[MPa]	Maximální tlak v přímočarém hydromotoru
p_p	[MPa]	Otláčení v pouzdru
$p_{\dot{s}}$	[MPa]	Otláčení lícovaného šroubu
$Re_{píst}$	[MPa]	Mez kluzu pístní tyče
$Re_{\dot{s}}$	[MPa]	Mez kluzu šroubu
Re_{355}	[MPa]	Mez kluzu oceli S355JR
$S_{píst}$	[mm ²]	Plocha průřezu pístní tyče
$s_{\dot{s}}$	[mm]	Styčná plocha lícovaného šroubu
Z	[mm]	Zdvih lineárního hydromotoru
z	[-]	Počet závitů
α	[°]	Úkos horizontálního klínu
β	[°]	Úhel překlápění skývy
β_{min}	[°]	Minimální úhel překlápění skývy
γ_0	[°]	Postavení čepele v brázdě
δ	[°]	Úhel ke dnu brázdy
ε	[°]	Sklon čepele ke dnu brázdy
κ	[°]	Úhel sklonu svahu
λ_m	[-]	Mezní štíhlost
$\lambda_{píst}$	[-]	Štíhlost pístní tyče
σ_{kr}	[MPa]	Kritické napětí
τ_{DS}	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
τ_S	[MPa]	Napětí ve smyku
$\tau_{STŘ}$	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
φ	[°]	Třecí úhel

SEZNAM PŘÍLOH

- P1 Tabulkový přehled pluhů obdobné výkonové řady
- P2 Tabulka s rozměry třibodového závěsného systému u nesených zařízení [9]
- P3 Tabulka s požadovanými výkony traktoru pro různé konfigurace navrženého pluhu
- P4 Hydraulické schéma zapojení ventilu VRAP 80-100 DE SV 3/8" a dvou lineárních hydromotorů
- P5 Napět'ová analýza modelu svařence TZS (přenos celkové tažné síly)
- P6 Zobrazení průhybu TZS (přenos celkové tažné síly)
- P7 Detail napět'ové analýzy modelu svařence TZS (síla od HM na horní čep)
- P8 Detail napětí na horním čepu TZS (síla od HM na horní čep)
- P9 Napět'ová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice) – přední pohled
- P10 Napět'ová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice) – zadní pohled
- P11 Napět'ová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice v kombinaci s předradličkou) – přední pohled
- P12 Napět'ová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice v kombinaci s předradličkou) – zadní pohled
- P13 Napět'ová analýza modelu upevnění přídavné sekce
- P14 Model pluhu – pracovní poloha pravá (konfigurace 3+1)
- P15 Model pluhu – pracovní poloha levá (konfigurace 3+1)
- P16 Model pluhu – přepravní poloha (konfigurace 3+1)

Výkresová dokumentace:

171041-1000 Otočný_radličný_pluh	Sestava otočného radličného pluhu
171041-1600 Třibodový_závěsný_systém	Svařenec a kusovník
171041-1033 Pouzdro_centrální	Výrobní výkres
171041-1003 Držák_slupic_pravý	Výrobní výkres

P1 – Tabulkový přehled pluhů obdobné výkonové řady

Výrobce	Lemken	Pöttinger	Sukov	Amazone	Famamont
Model	EurOpal 5 3 N 90	SERVO 25 NOVA	Junior Roto	Cayros M 850	-
Typ	Nesený	Nesený	Nesený	Nesený	Nesený
Kategorie	Otočný	Otočný	Otočný	Otočný	Otočný
Kategorie tříbodového závěsu	II	II	II	II	II/III
Nastavení záběru	Stupňovitě/vario	Stupňovitě	Stupňovitě	Stupňovitě/vario	Vario
Jištění orebních těles	Šroub/pružina/hydraulicky	Hydropneumatické	Šroub	Hydraulicky	Šroub
Pracovní záběr [m]	0,6 – 3,015	0,66 – 1,92	-	max 1,32	1,1 – 1,5
Přepavní šířka [m]	do 2,5	-	-	-	-
Hmotnost [kg]	552 – 1940	1020 – 1230	863 – 1002	890 – 1020	750 – 950
Pracovní hloubka [cm]	do 40	10 – 35	do 30	-	do 30
Výška rámu [cm]	75 nebo 80	74 – 80	71	78	90
Rám (trubka čtvercová)	110 x 110 x 8	100 x 100 x 8	120 x 120 x 10	100 x 100 x 8	140 x 140 x 10
Počet orebních těles	2 – 6 +1	2 – 4	2 – 4	3 – 4	3 – 4
Záběr na orební těleso [cm]	30/35/40/45	33 – 48	30/35/40	32/44	-
Vzdálenost těles [cm]	90 nebo 100	85 – 102	85	85	100
Možnost předradliček	ano	ano	ano	ano	ano
Požadovaný výkon [kW]	35 – 180	74	45 – 90	50 – 120	67 – 148

P2 – Tabulka s rozměry tříbodového závěsného systému u nesených zařízení [9]

Označení	Název	Kategorie				
		1N	1	2	3	4
D₁	Průměr otvoru u horního táhla	19 ⁰ _{-0,08}	19 ⁰ _{-0,08}	25,5 ⁰ _{-0,13}	31,75 ⁰ _{-0,2}	45 ⁰ _{-0,8}
b₁	Šířka uchycení u horního táhla	52 min.	52 min.	52 min.	52 min.	65 min.
D₂	Průměr otvoru u koule dolního táhla	22 ⁰ _{-0,2}	22 ⁰ _{-0,2}	28 ⁰ _{-0,2}	36,6 ⁰ _{-0,2}	50,8 ⁰ _{-0,2}
b₃	Vzdálenost díry u dolního kolíku	49 min.	49 min.	49 min.	68 min.	68 min.
b₅	Šířka uchycení u koulí	65 ⁺² ₀	65 ⁺² ₀	65 ⁺² ₀	72,5 ⁺² ₀	72,5 ⁺² ₀
l	Vzdálenost mezi uchycením u koulí	400 ± 1,5	683 ± 1,5	825 ± 1,5	965 ± 1,5	1166,5 ± 1,5
d	Průměr otvoru pro závlačku	12 min.	12 min.	12 min.	12 min.	17 min.
	Horní táhlo u koulí	12 min.	12 min.	12 min.	17 min.	17 min.
h	Vzdálenost mezi dolním a horním uchycením	300 – 375	500 – 575	550 – 625	575 – 675	575 – 675

P3 – Tabulka s požadovanými výkony traktoru pro různé konfigurace navrženého pluhu

Orební podmínky		Konfigurace pluhu [počet radlic]					
		3			3+1		
Hloubka orby [cm]	Druh půdy	pouze radlice	+ předradličky	+ kotoučové krojidlo	pouze radlice	+ předradličky	+ kotoučové krojidlo
20	1	59,88	+ 6,37	+ 0,66	68,49	+ 8,49	+ 0,66
	2	67,06	+ 9,55	+ 0,66	78,29	+ 12,74	+ 0,66
	3	77,87	+ 14,34	+ 0,66	93,03	+ 19,12	+ 0,66
25	1	64,99	+ 7,96	+ 0,66	75,47	+ 10,61	+ 0,66
	2	73,98	+ 11,94	+ 0,66	87,71	+ 15,92	+ 0,66
	3	87,49	+ 17,93	+ 0,66	106,14	+ 23,91	+ 0,66
30	1	70,11	+ 9,55	+ 0,66	82,45	+ 12,73	+ 0,66
	2	80,89	+ 14,32	+ 0,66	97,14	+ 19,10	+ 0,66
	3	97,11	+ 21,51	+ 0,66	119,25	+ 28,02	+ 0,66

Pozn.:

Hodnoty jsou uvedeny v kW.

Pracovní rychlost traktoru 6 km/h.

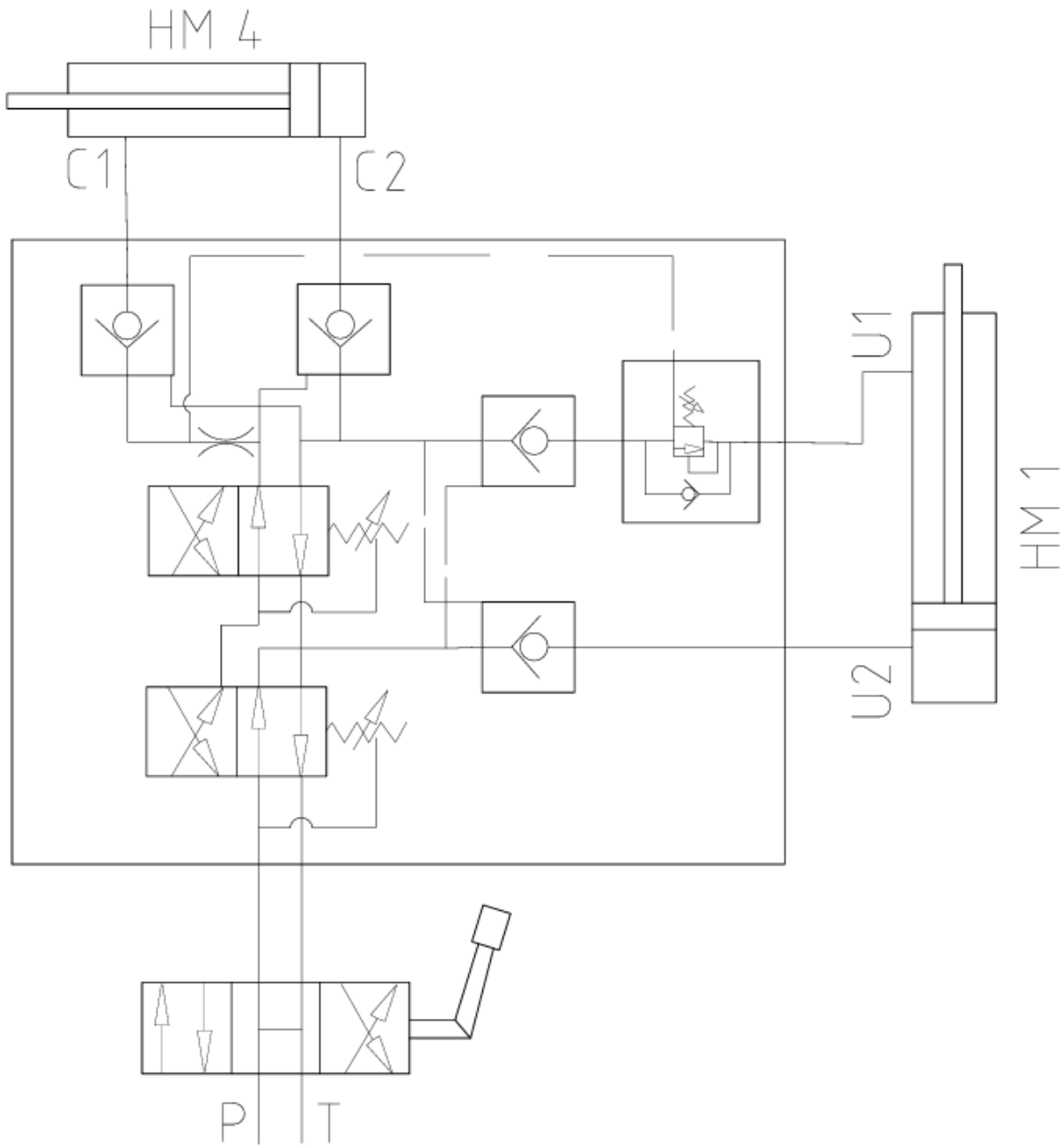
Konfigurace „pouze radlice“ je základní požadovaný výkon traktoru, s přidáním dalšího vybavení se hodnota výkonu navyšuje o uvedenou hodnotu daného přídatného vybavení.

Označení druhu půdy: 1 – lehké až velmi lehké půdy (měrný odpor = $1,96 \div 3,92 \text{ N.cm}^{-2}$)

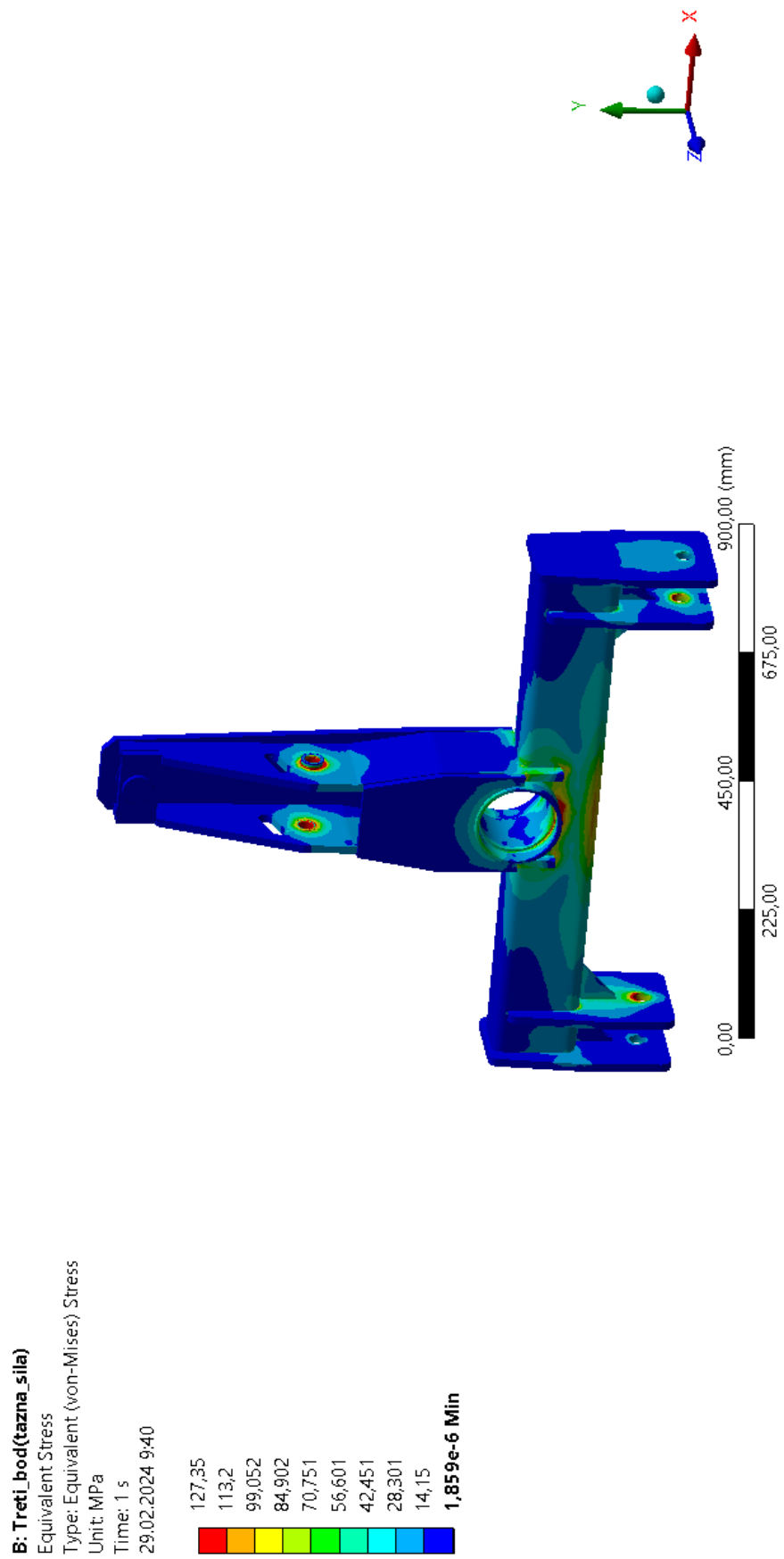
2 – střední půdy (měrný odpor = $3,92 \div 5,88 \text{ N.cm}^{-2}$)

3 – těžké půdy (měrný odpor = $5,88 \div 8,83 \text{ N.cm}^{-2}$)

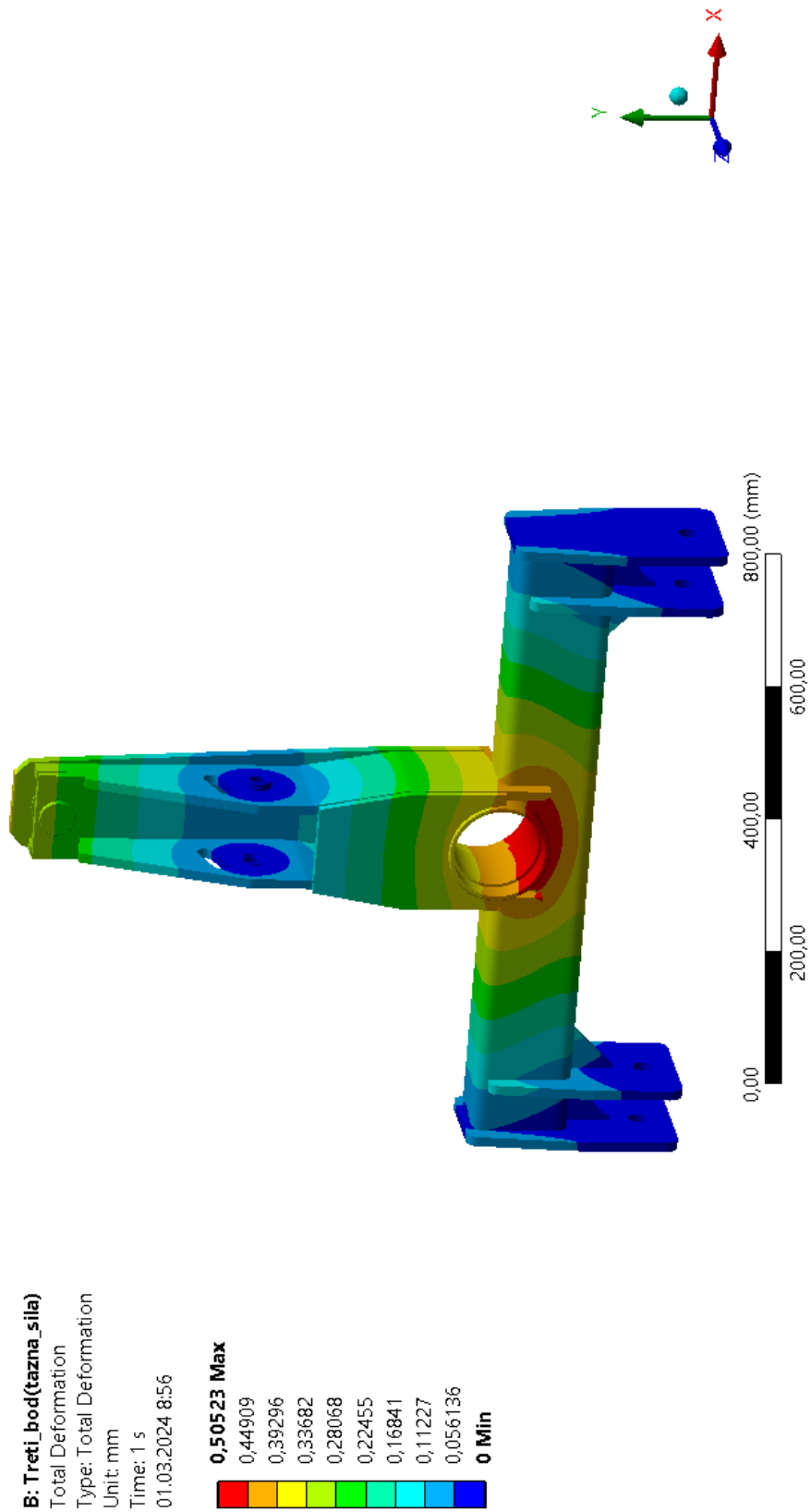
P4 – Hydraulické schéma zapojení ventilu VRAP 80-100 DE SV 3/8" a dvou lineárních hydromotorů



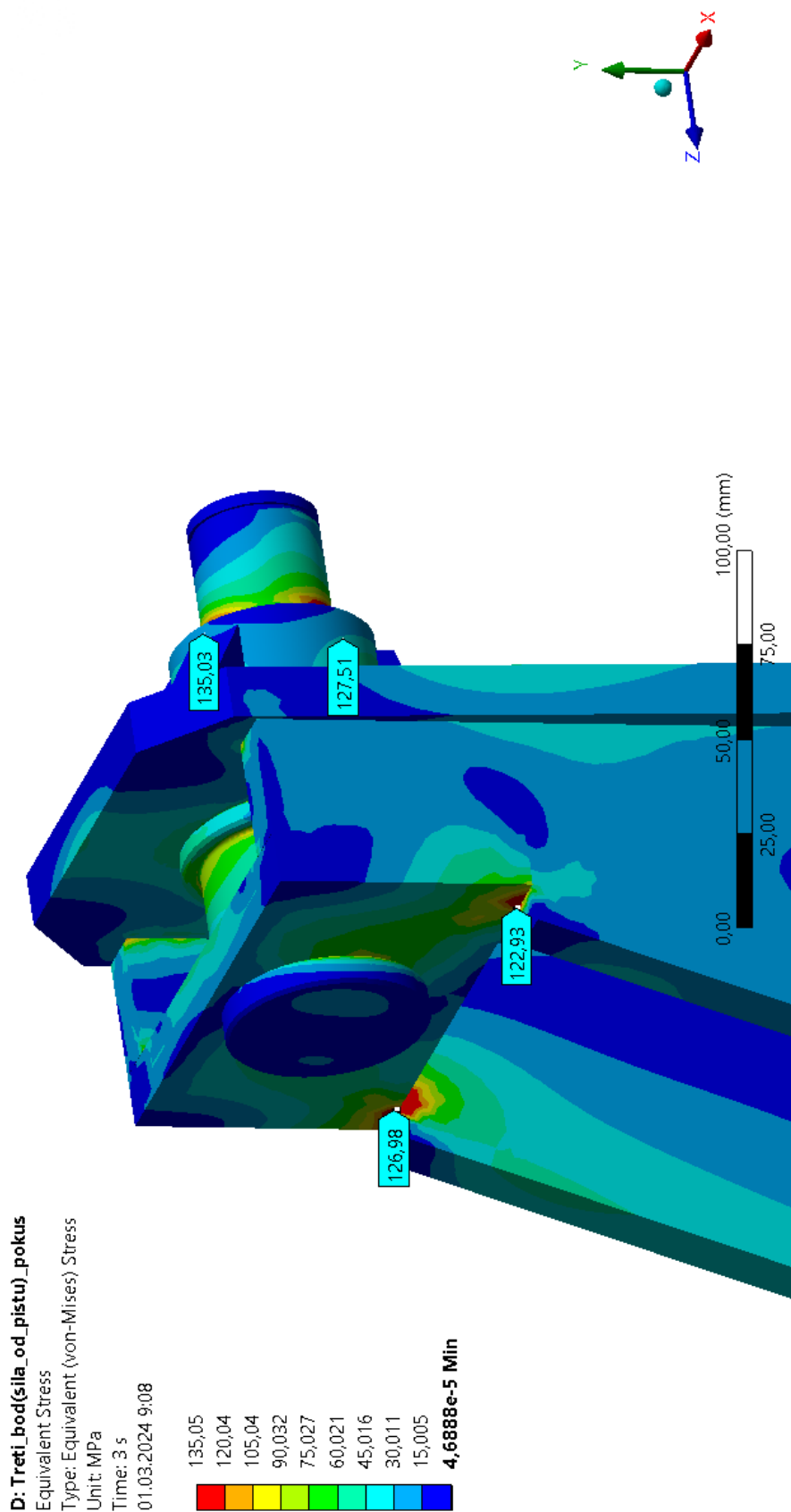
P5 – Napěťová analýza modelu svařence TZS (přenos celkové tažné síly)



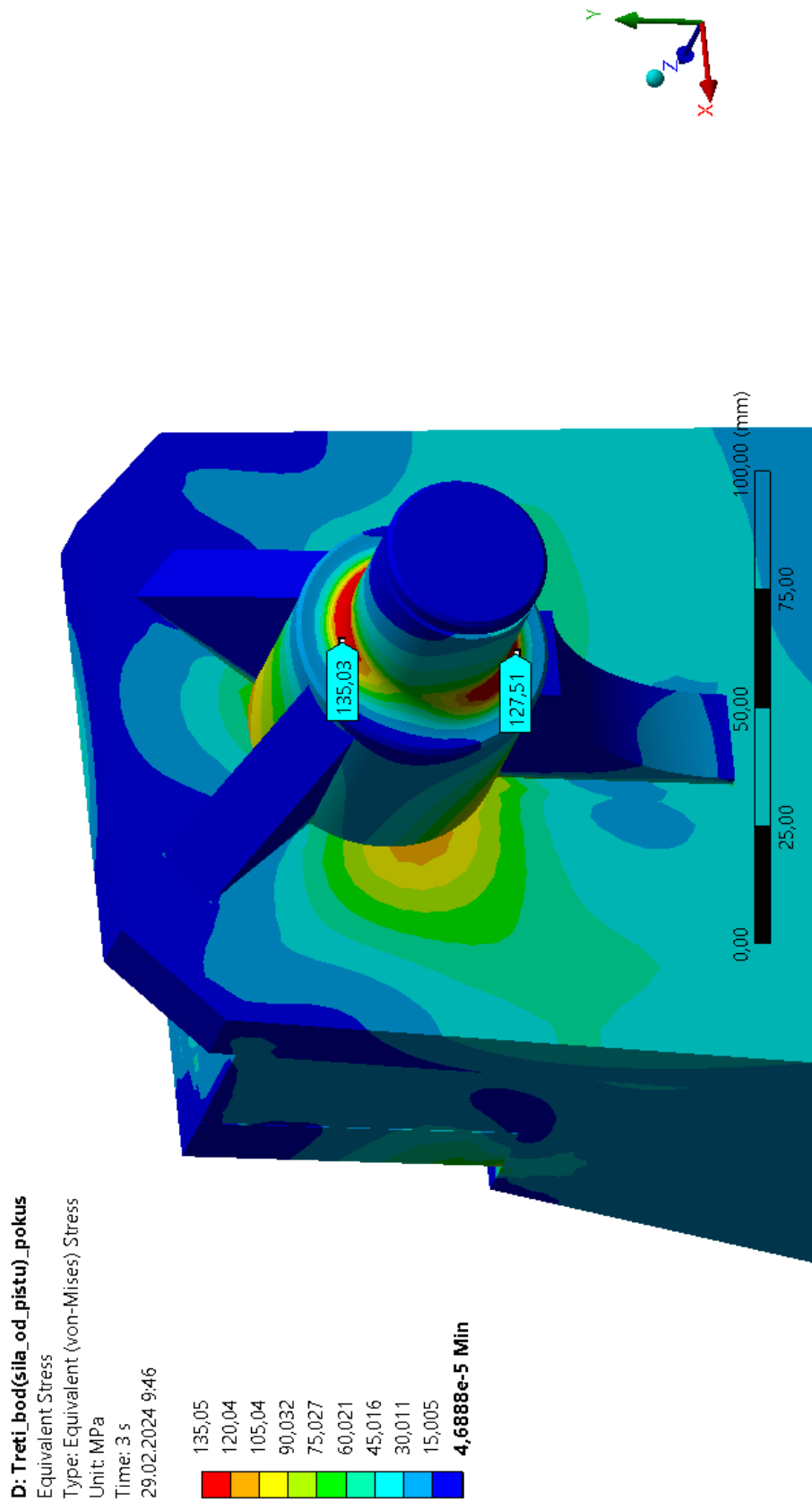
P6 – Zobrazení průhybu TZS (přenos celkové tažné síly)



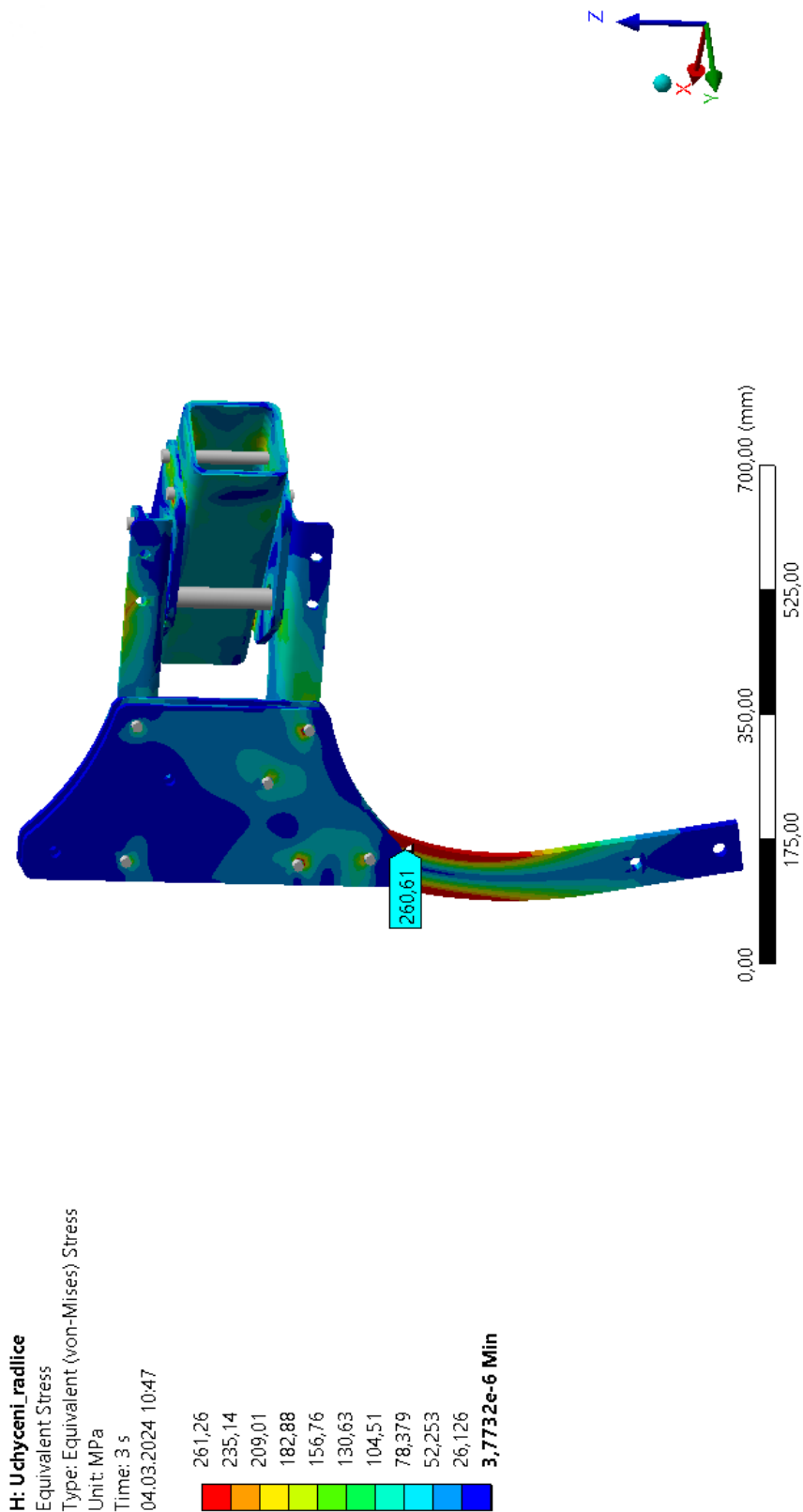
P7 – Detail napěťové analýzy modelu svařence TZS (síla od HM na horní čep)



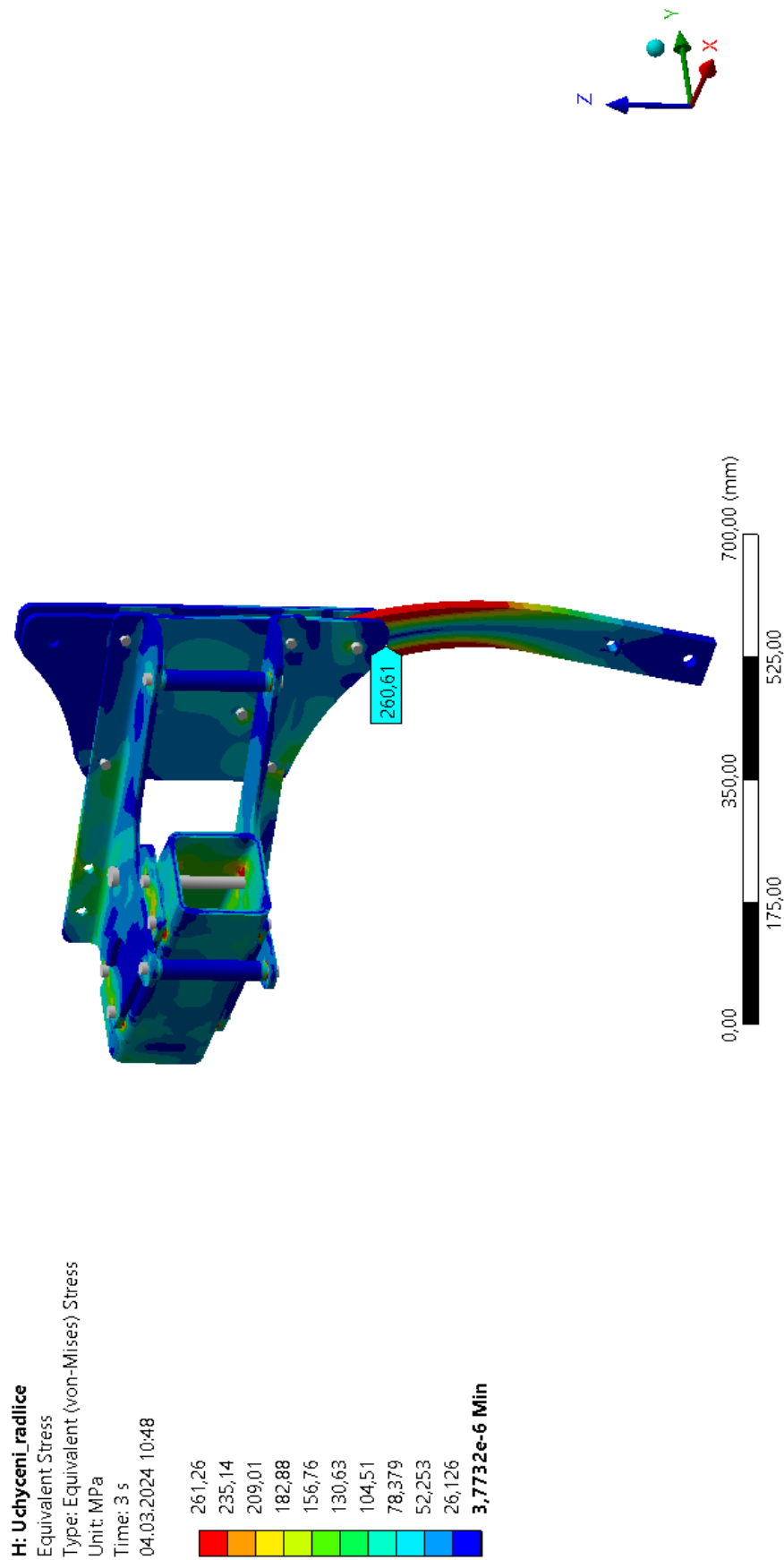
P8 – Detail napětí na horním čepu TZS (síla od HM na horní čep)



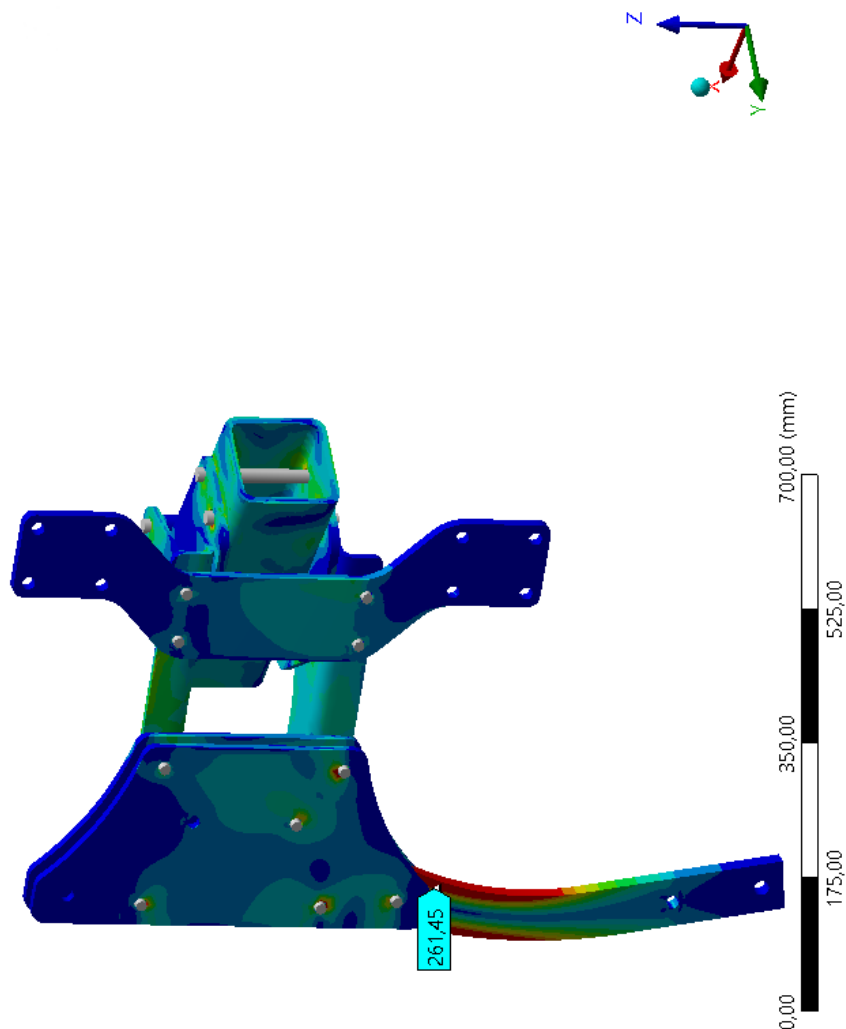
P9 – Napěťová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice) – přední pohled



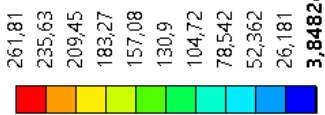
P10 – Napěťová analýza modelu uchytení orebního ústrojí (uchycení radlice) – zadní pohled



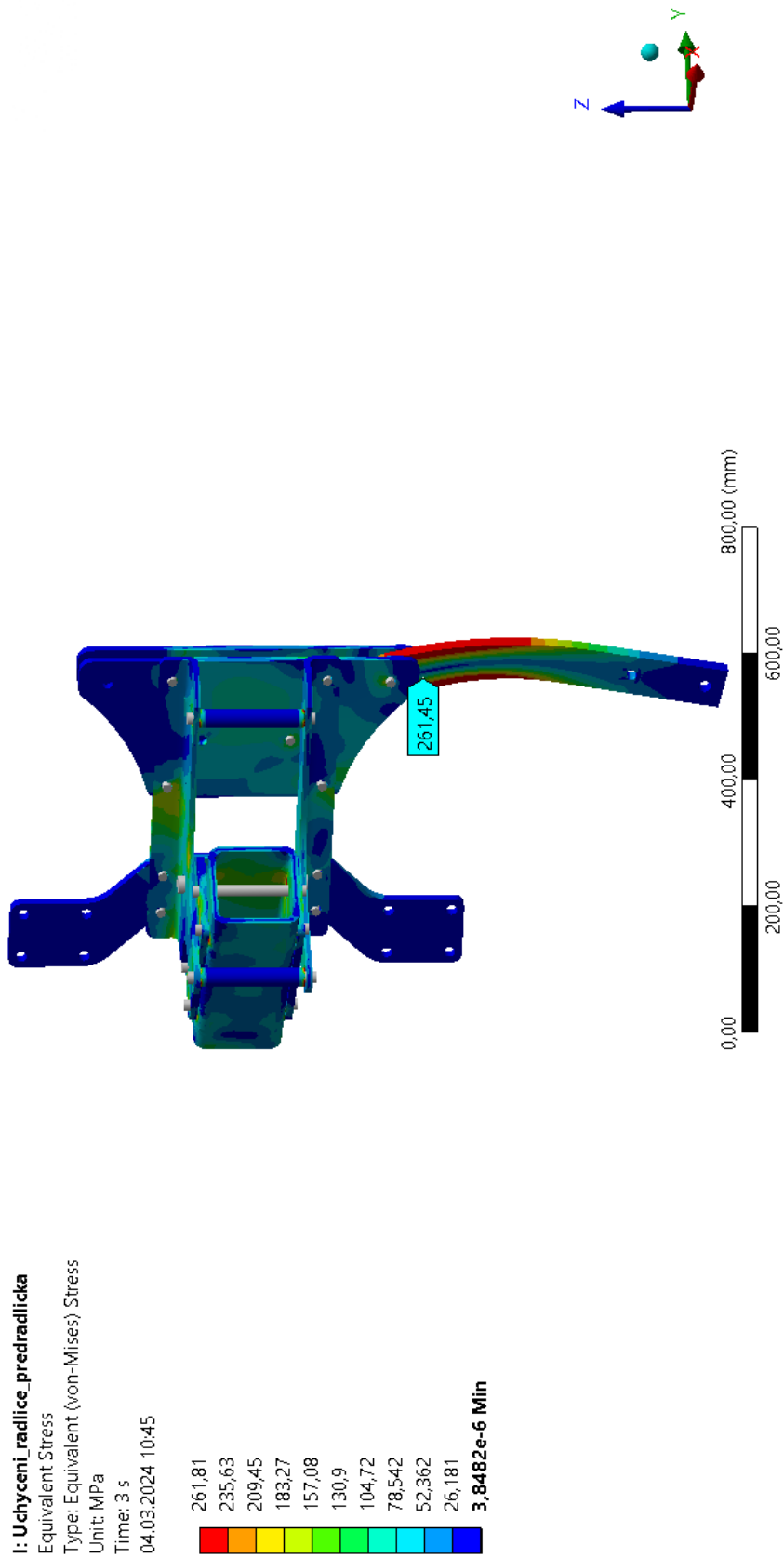
P11 – Napěťová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice v kombinaci s předradličkou) – přední pohled



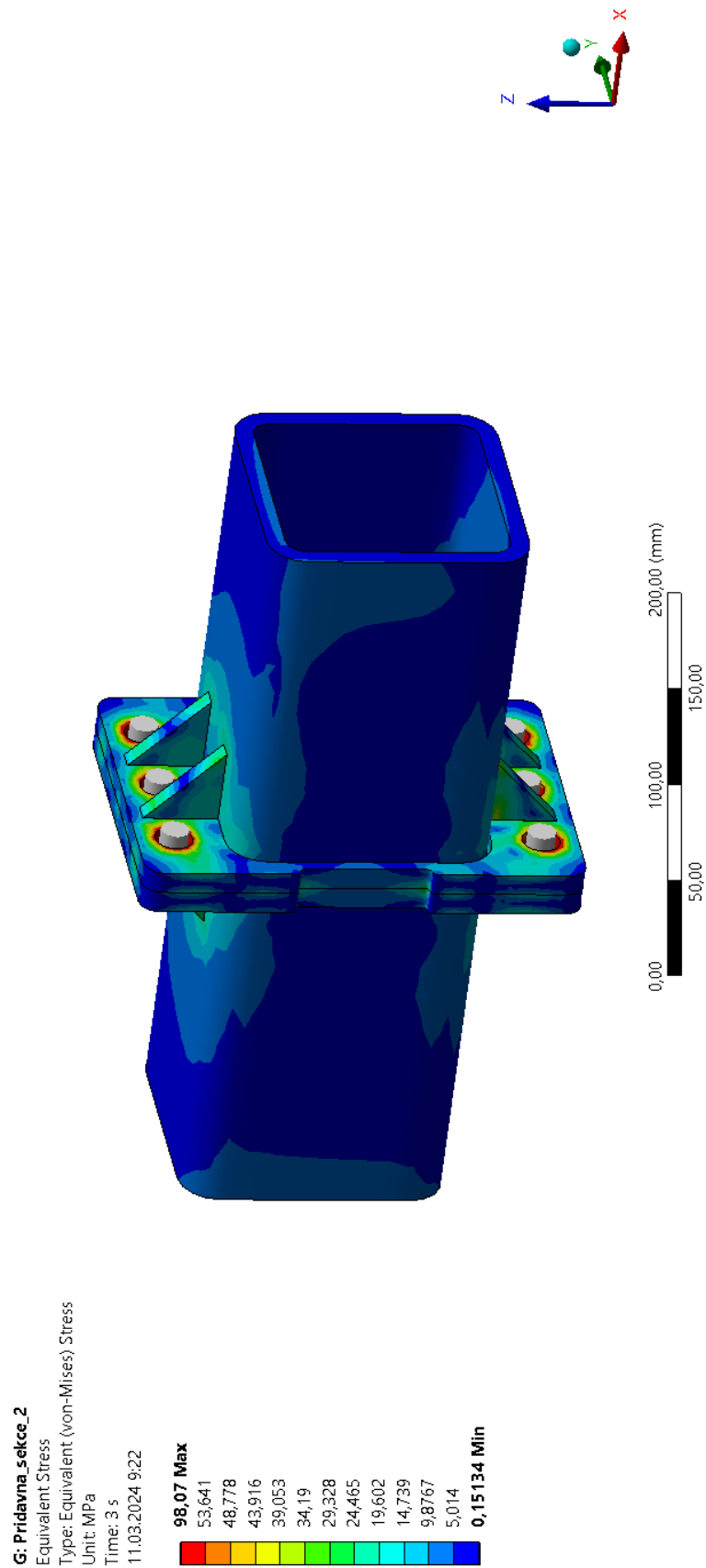
I: Uchyceni_radlice_predradlicka
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 3 s
 04.03.2024 10:46



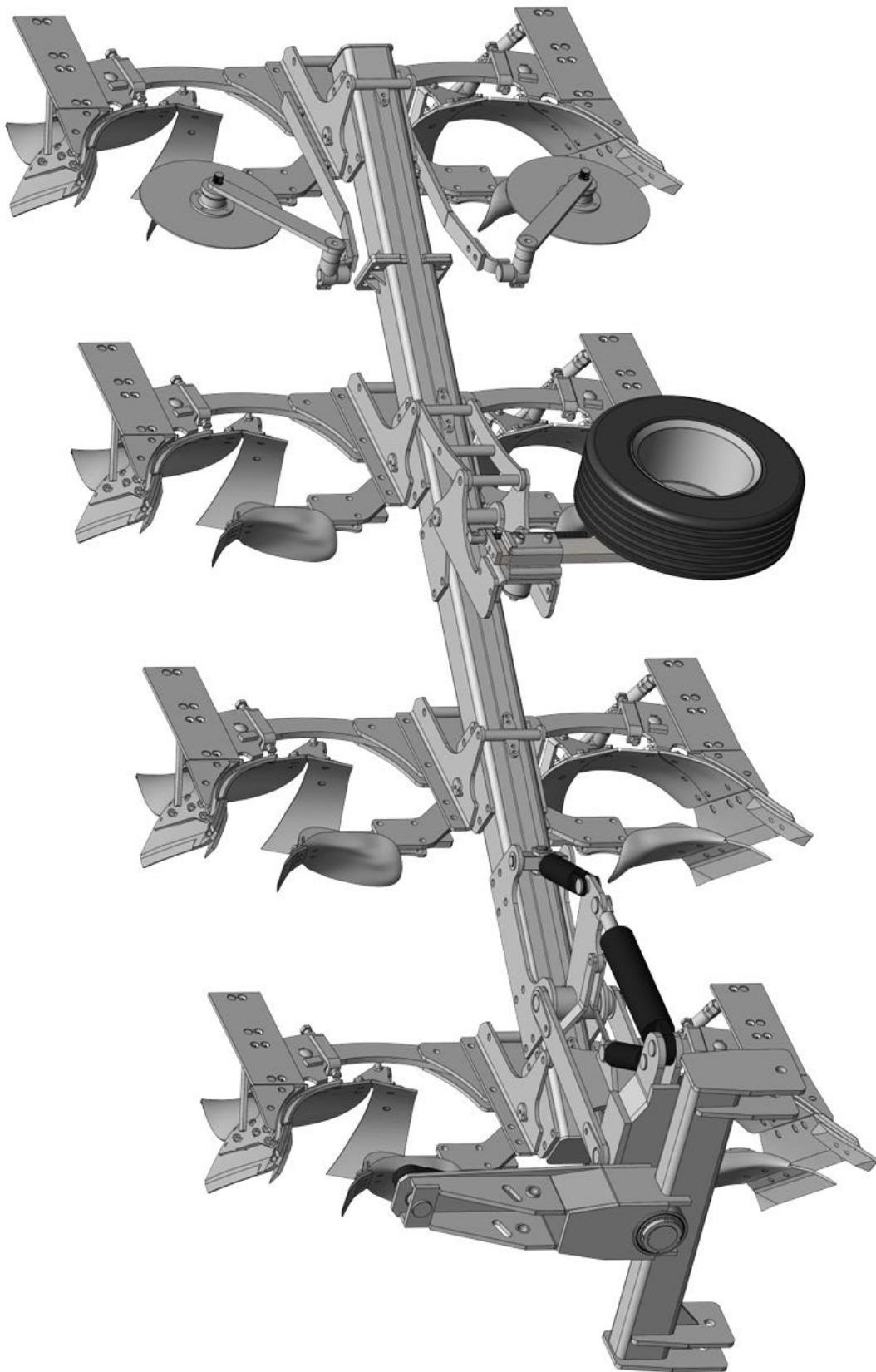
P12 – Napěťová analýza modelu uchycení orebního ústrojí (uchycení radlice v kombinaci s předradličkou) – zadní pohled

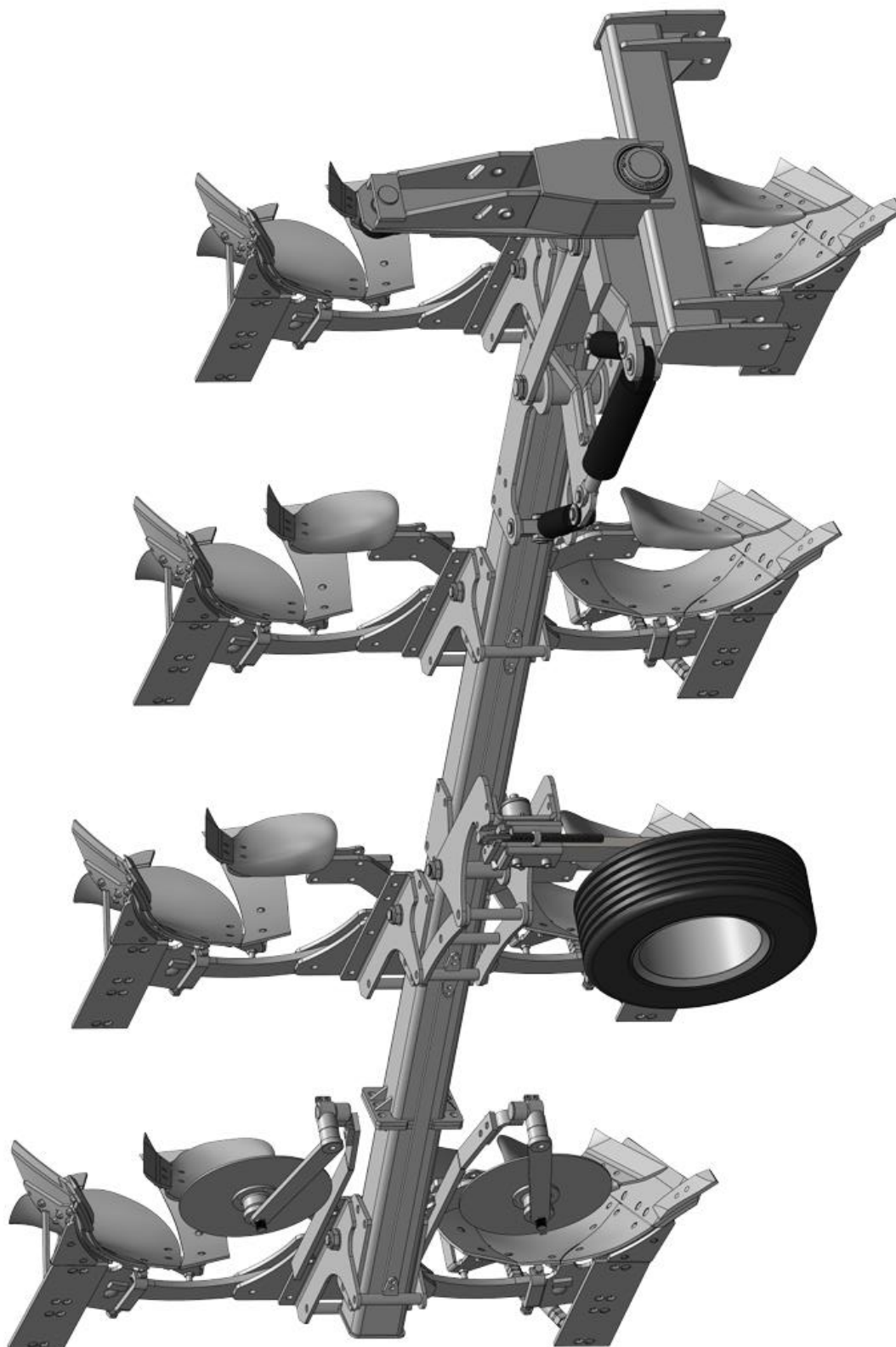


P13 – Napěťová analýza modelu upevnění přídatné sekce



P14 – Model pluhu – pracovní poloha pravá (konfigurace 3+1)



P15 – Model pluhu – pracovní poloha levá (konfigurace 3+1)

P16 – Model pluhu – přepravní poloha (konfigurace 3+1)

