



# 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

## NAKLÁPĚCÍ HLAVA PRO MINI RYPADLA

TILTING HEAD FOR MINI EXCAVATORS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Stanislav Zámečník

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2023



## Zadání diplomové práce

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

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

### **Naklápěcí hlava pro mini rypadla**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Konstrukční návrh naklápěcí hlavy pro mini rypadla do hmotnosti 2000 kg. Je vyžadováno jednodušší konstrukční řešení s ohledem na minimalizaci ceny.

#### **Cíle diplomové práce:**

Kritická rešerše obdobných zařízení.  
Zdůvodněná koncepce navrženého řešení.  
Funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent.  
Pevnostní kontrola a další výpočty hlavních komponent.  
Celková sestava zařízení.  
Podsestavy a výrobní výkresy.

#### **Seznam doporučené literatury:**

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

ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. [cit. 1. 10. 2018]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem naklápěcí hlavy určené pro mini-rypadla. Obsahem této práce je kritická rešerše obdobných zařízení. Na základě této rešerše je vytvořený vlastní konstrukční návrh naklápěcí hlavy s naklápěním pomocí přímočarých hydromotorů. Dále jsou provedeny všechny potřebné výpočty hlavních částí, pevnostní analýza nosné konstrukce a je vytvořena výkresová dokumentace. Tato diplomová práce byla vypracována ve spolupráci s firmou STAVES s.r.o..

## KLÍČOVÁ SLOVA

Naklápěcí hlava, přímočarý hydromotor, pevnostní analýza, rypadlo, brzdící ventil, lopata

## ABSTRACT

The diploma thesis deals with the structural design of the tilting hitch intended for mini-excavators. This thesis includes a critical research of similar devices. Based on this research, there is a custom design of tilting hitch with tilting using linear hydraulic motors created. Furthermore, all necessary calculations of the main parts and strength analysis of the supporting structure are carried out and drawing documentation is created. This diploma thesis was developed in cooperation with the company STAVES s.r.o..

## KEYWORDS

Tilting hitch, linear hydraulic motor, strength analysis, excavator, brake valve, bucket

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZÁMEČNÍK, Stanislav. *Naklápěcí hlava pro mini rypadla* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-04]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145912>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Miroslav Škopán.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. května 2023

.....

Bc. Stanislav Zámečník

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za cenné rady, připomínky a čas strávený při konzultacích. Děkuji také panu Ing. Milanu Vepřekovi z firmy STAVES s.r.o. za poskytnutí tématu práce a všech potřebných informací k tvorbě této diplomové práce. Poděkování patří i mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.



# OBSAH

<b>Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Naklápěcí hlava</b> .....	<b>12</b>
1.1 Naklápěcí hlavy v současné době .....	13
1.2 Parametry naklápěcí hlavy .....	14
1.3 Výrobci naklápěcích hlav .....	14
<b>2 Konstrukční typy</b> .....	<b>15</b>
2.1 Naklápění přímočarými hydromotory .....	15
2.2 Naklápění rotačním pohonem .....	16
2.3 Naklápěcí otočná hlava .....	17
<b>3 Hlavní části naklápěcí hlavy</b> .....	<b>18</b>
3.1 Hydraulický rotační pohon .....	18
3.2 Přímočarý hydromotor .....	19
3.3 Rychloupínače .....	19
3.3.1 Mechanické rychloupínače .....	19
3.3.2 Hydraulické rychloupínače .....	20
3.3.3 Standardy rychloupínačů .....	20
3.4 Základna.....	22
3.5 Hydraulické prvky .....	23
3.5.1 Pojistný ventil .....	23
3.5.2 Hydraulické hadice .....	23
<b>4 Přídavná zařízení vhodná pro použití s naklápěcí hlavou</b> .....	<b>24</b>
4.1 Svahovací lžíce .....	24
4.2 Podkopová lžíce .....	24
4.3 Rozrývací trny.....	25
4.4 Drapáky.....	25
<b>5 Konstrukční řešení vybraných výrobců</b> .....	<b>26</b>
5.1 Steelwrist AB .....	26
5.1.1 Naklápěcí hlava TC050/S40 .....	26
5.1.2 Naklápěcí hlava TCX S30/180.....	27
5.2 Attach2 Equipment .....	28
5.2.1 Naklápěcí hlava Heli-Tilt .....	28
5.2.2 Naklápěcí hlava Mini-Tilt .....	29
5.3 Kinshofer GmbH.....	30
5.3.1 Naklápěcí hlava TC02-180 KS01 .....	30
5.4 RF System AB .....	31
5.4.1 Naklápěcí hlava TMX2 .....	31
<b>6 Popis stroje Kubota KX019-4</b> .....	<b>32</b>
<b>7 Vlastní konstrukční provedení</b> .....	<b>33</b>
7.1 Rozbor tvorby vlastního konstrukčního provedení.....	33
7.2 Volba konstrukčního provedení.....	33
7.3 Popis vlastního konstrukčního provedení .....	34

---

7.4	Funkce a parametry naklápěcí hlavy .....	35
7.5	Konstrukční prvky naklápěcí hlavy .....	36
7.5.1	Nosná konstrukce .....	36
7.5.2	Spojení naklápěcí hlavy s přidavným zařízením .....	37
7.5.3	Uložení čepu .....	38
7.5.4	Uložení přímočarých hydromotorů .....	38
7.5.5	Hydraulické prvky .....	39
<b>8</b>	<b>Návrh jednotlivých komponent .....</b>	<b>41</b>
8.1	Zatěžující síla .....	41
8.2	Výpočet čepu .....	41
8.3	Návrh přímočarého hydromotoru .....	44
8.4	Volba hydromotoru .....	46
8.5	Kontrola tloušťky stěny tělesa hydromotoru .....	47
8.6	Kontrola pístní tyče na vzpěr .....	50
8.7	Kontrola pístní tyče na tlak .....	52
8.8	Kontrola svarů .....	53
<b>9</b>	<b>Pevnostní analýza .....</b>	<b>56</b>
9.1	Materiál modelu .....	56
9.2	Geometrie modelu .....	57
9.2.1	Náhrada čepů .....	57
9.3	Okrajové podmínky .....	58
9.4	Zátěžné stavy .....	59
9.4.1	Síla působící na hraně břitu .....	59
9.4.2	Síla působící uprostřed břitu .....	60
9.4.3	Dvojice excentricky působících sil .....	61
9.5	Napětíová analýza nosné konstrukce .....	62
9.5.1	Napětíová analýza pro zatížení silou působící na hraně břitu .....	62
9.5.2	Napětíová analýza pro zatížení silou působící uprostřed břitu .....	64
9.5.3	Napětíová analýza pro zatížení dvojicí excentricky působících sil .....	65
<b>10</b>	<b>Ekonomické zhodnocení .....</b>	<b>66</b>
	<b>Závěr .....</b>	<b>67</b>
	<b>Použité informační zdroje .....</b>	<b>68</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>72</b>
	<b>Seznam příloh .....</b>	<b>75</b>

---

## ÚVOD

Do šedesátých let minulého století se na rypadlech využívaly klasicky pevně připevněné pracovní nástroje. V této době začalo být zřejmé, že toto provedení přináší několik nevýhod, mezi ty hlavní se řadí omezená flexibilita a menší produktivita stroje. Z tohoto důvodu se začaly ve Švédsku vyrábět naklápěcí hlavy, které dokážou pracovní nástroj naklápět o určitý úhel na obě strany. Naklápěcí hlavy lze znát pod obchodním názvem PowerTilt.

Naklápěcí hlava může být velmi užitečná při práci v obtížných terénech. Jedná se především o kopcovité terény, kde může být díky svému náklonu nápomocná při svažování terénu. Dále jde také o různé výkopové práce kolem sloupů, v blízkosti základů domů nebo podkopávání potrubí a drátů. Díky své flexibilitě dokáže ušetřit čas a také náklady na pohonné hmoty a mzdové náklady na další pracovníky, kteří by museli ručně terén doupravit.

Tato diplomová práce se zabývá jednodušším konstrukčním návrhem naklápěcí hlavy pro rypadla hmotnostní kategorie do 2 tun s ohledem na minimalizaci výrobní ceny. Návrh konstrukčního provedení vychází z požadavků firmy STAVES s.r.o.

V první části práce je provedena kritická rešerše, která se zaměřuje na shrnutí základních informací o naklápěcích hlavách a porovnání konkurenčních výrobků. Druhá část práce se věnuje návrhu samotné naklápěcí hlavy, kde je proveden návrh jednotlivých komponent, model celého zařízení a funkční výpočty hlavních částí. V třetí části je vytvořen konečno-prvkový model, který slouží k pevnostní analýze, tato kapitola obsahuje také rozbor zátěžných stavů. Ve čtvrté části diplomové práce je provedeno ekonomické zhodnocení navržené naklápěcí hlavy. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

# 1 NAKLÁPĚCÍ HLAVA

Naklápěcí hlava (*Obr. 1*) je zařízení, umístěné mezi násadou rypadla a přídavným zařízením, které se používá k naklápění libovolného přídavného zařízení kolových či pásových rypadel. Rozsah naklápění může být až 180°. Obecně se jedná o zařízení rozšiřující vlastnosti stroje. Toto zařízení se na násadě rypadla ovládá pomocí přídavných hydraulických okruhů. Zmiňované zařízení lze využívat pro rypadla různých provozních hmotností. Naklápěcí hlava prodlužuje hloubkový dosah stroje a výrazně urychluje práci a variabilitu stroje, z toho vyplývá větší produktivita stroje. Kromě toho naklápěcí hlava nevyžaduje velkou údržbu a dá se říct, že je výhodnějším ekonomickým řešením, protože pomocí naklápění nástrojů je možné provést většinu prací „načisto“, aniž bychom museli vyměňovat pracovní nástroj. To vede k úspoře nejen času, ale i nákladů na pohonné hmoty a mzdových nákladů na další pracovníky. Udržením stroje ve statickém stavu může obsluha snadno pracovat v různých pozicích, dosáhnout širších pracovních oblastí bez nutnosti přemístování stroje a umožnit dosažení pozic, které nejsou možné se standardním vybavením. [1], [2]

Samotné zařízení lze využít také u demoličních prací, lesnictví, ale největší uplatnění nachází při profilování výkopů, úpravě nejrůznějších povrchů a dokončovacích prací obecně. [2]



*Obr. 1* Naklápěcí hlava (Bauma 2022)

## 1.1 NAKLÁPĚCÍ HLAVY V SOUČASNÉ DOBĚ

V současné době je naklápěcí hlavou vybavena většina denně užívaných rypadel. Jedná se o relativně nové zařízení, které vzniklo v 80. letech minulého století. Naklápěcí hlava je oblíbená hlavně kvůli své flexibilitě. Je to kombinace naklápěcích pracovních nástrojů a rychloupínačů. Proto práce s tímto zařízením dokáže být velmi produktivní. Výkopové práce kolem sloupů, v blízkosti základů domů nebo potrubí apod. je možné vykonat mnohem rychleji a bez přejíždění rypadla. Vlivem nových pohybů pracovního nástroje je možné provést většinu prací „načisto“ bez nutnosti ručního dodělávání. [3]

Cílem je možnost využívat několik různých pracovních nástrojů (a tím vykonávat několik typů operací), aniž by strojník opustil kabinu stroje. Proto je toto zařízení poznamenáno neustálým vylepšováním jeho dosavadních konstrukcí. Jedná se např. o vybavení zařízení rychloupínačem, díky kterému lze provést výměnu během několika vteřin přímo z kabiny. Dále se zařízení vybavuje centrálním mazáním. [4]

Aktuálně se může naklápěcí hlava na rypadlo upevnit buď přímo čepy, jako je znázorněno na *Obr. 2*, nebo pomocí rychloupínače. Volba způsobu upnutí záleží na druhu práce, kterou bude rypadlo vykonávat. Práce s hydraulickým kladivem nadměrně zatěžuje naklápěcí hlavu, a tím dochází ke zkracování životnosti zařízení. Proto by tyto práce měly být vykonávány bez naklápěcí hlavy. Pro tyto případy je lepší si naklápěcí hlavu pořídit s rychloupínačem a v případě potřeby ho odpojit a nástroj upnout přímo na násadu rypadla. Pokud je rypadlo využíváno jednoduše, například jen k terénním úpravám, pak je lepší zvolit variantu upnutí přímými čepy na násadu rypadla. V tomto případě dojde ke snížení konstrukční výšky, čímž se sníží úbytek rypné síly rypadla. [3], [4]



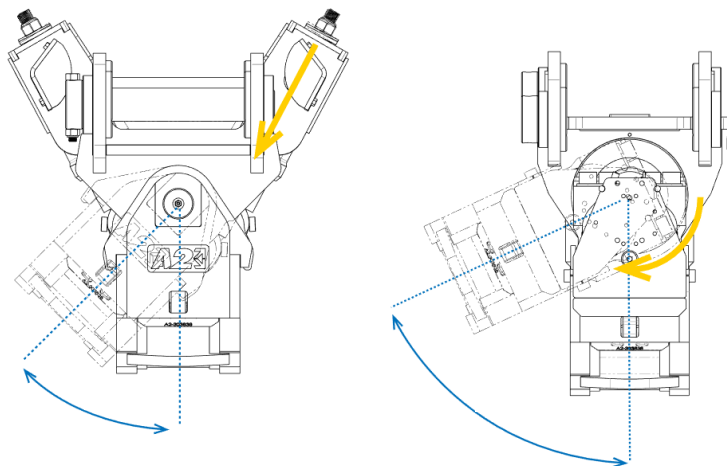
*Obr. 2* Naklápěcí hlava s přímým čepováním (Bauma 2022)

## 1.2 PARAMETRY NAKLÁPĚCÍ HLAVY

Parametry, které určují typ naklápěcí hlavy, jsou zejména [5]:

- hmotnost nosiče
- konfigurace upnutí
- moment naklápění
- jmenovitý přídržný moment
- vylamovací síla
- úhel naklápění
- potřebný průtok hydraulického oleje
- maximální pracovní tlak hydraulického oleje
- hmotnost zařízení
- šířka, délka, konstrukční výška, rozteč čepů, průměr čepů

Na základě těchto parametrů navrhujeme nebo pořizujeme nové naklápěcí hlavy.



Obr. 3 Úhel naklápění [6]

## 1.3 VÝROBCI NAKLÁPĚCÍCH HLAV

V současné době se na světě nachází několik významných firem, které se zabývají výrobou a vývojem naklápěcích hlav.

Největší zahraniční výrobci:

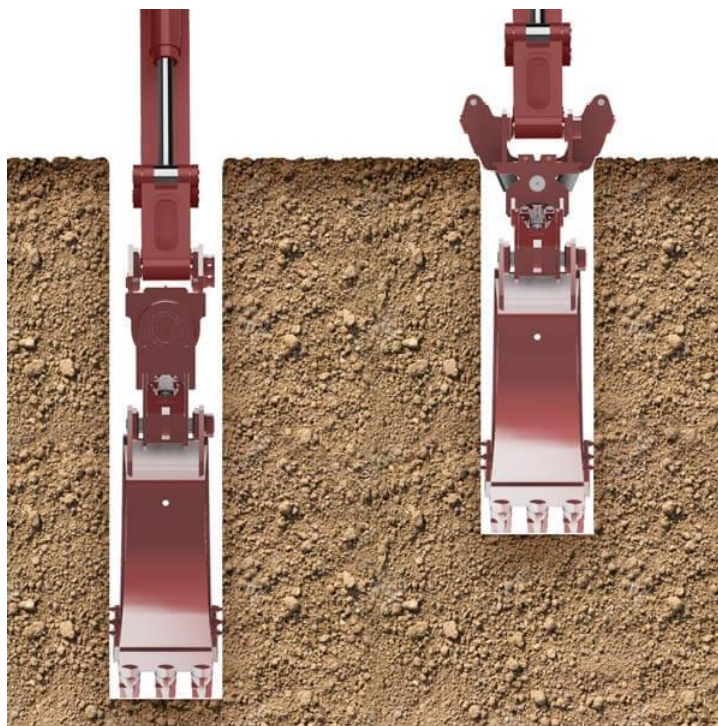
- Steelwrist AB (Švédsko)
- Kinshofer GmbH (Německo)
- Attach2 Equipment (Nový Zéland)
- Wedgelock (Nový Zéland)
- Geith (Irsko)

Největší čeští výrobci:

- Renomag s.r.o.
- Nehr s.r.o.

## 2 KONSTRUKČNÍ TYPY

Naklápěcí hlava se na trhu vyskytuje v několika konstrukčních provedeních. Jedním z nich je naklápění pomocí jedné nebo dvou pístnic. Další provedení je s naklápěním pomocí šroubového rotačního pohonu. Také existuje naklápěcí otočná hlava (tilt-rotátor), což je naklápěcí hlava doplněná o rotační část, díky níž může rypadlo pracovní nástroj naklápět a natáčet o 360° současně.



Obr. 4 Rozdíl mezi naklápěním rotačním pohonem (vlevo) a naklápěním přímočarými hydromotory (vpravo) [7]

### 2.1 NAKLÁPĚNÍ PŘÍMOČARÝMI HYDROMOTORY

Toto konstrukční provedení využívá k naklápění hlavy dva přímočaré hydromotory, které „tlačí“ příslušenství na jednu nebo druhou stranu, jako je znázorněno na Obr. 5. Naklápění lze provádět i jedním hydromotorem. Zmíněné konstrukční provedení umožňuje naklápění pouze o 45° v každém směru (celkem o 90°). Naklápění přímočarými hydromotory má výhodu ve větší rypné síle, protože naklápěcí hlava tohoto konstrukčního provedení má menší konstrukční výšku. [6], [7]

U této konfigurace s dvěma hydromotory je vyžadováno, aby byly hydraulické hadice vedeny k horní části válců, což může zapříčinit, že hadice nejsou nijak chráněné a může dojít k jejich poškození nebo zapletení. Pístnice jsou pravidelně při práci vystavovány hlíně, prachu, vodě a ostatním nečistotám. Proto jsou válce vybaveny odolným těsněním, které pístní tyč při vtažení do válce vždy očistí od zmiňovaných nečistot. Tohle provedení je zřídka náchylné k poškození přetlakem, proto nemá přetlakový ventil, který chrání komponenty před výkyvy nebo změnami v hydraulickém napájení. [6], [7]

Závěrem jde o levnější variantu. Protože se jedná o jednodušší systém, vyplývá z toho, že jde zároveň o spolehlivější variantu.



Obr. 5 Naklápění přímočarými hydromotory [8]

## 2.2 NAKLÁPĚNÍ ROTAČNÍM POHONEM

Toto konstrukční provedení využívá k naklápění hlavy rotační pohon, jako je znázorněno na Obr. 6. Tento hydraulický pohon je zároveň bodem otáčení a hnací silou naklápění. Proto umožňuje větší úhel náklonu než u naklápění pístnicemi. U větších naklápěcích hlav je úhel náklonu do  $60^\circ$  v každém směru (celkem  $120^\circ$ ), u menších je úhel náklonu do  $90^\circ$  v každém směru (celkem  $180^\circ$ ). [7], [10]

Rotační pohon funguje na principu lineárního pohybu pístu, který se převádí na rotaci hřídele. Pohon se skládá z pouzdra a dvou pohyblivých částí – hřídele a pístu. Při působení hydraulického tlaku se píst axiálně posouvá, zatímco šikmé ozubení na vnější straně pístu a věnec pouzdra způsobí současnou rotaci pístu. Pohon je vybaven koncovými kryty a těsněním, aby se dovnitř nedostaly nečistoty. U tohoto pohonu jsou všechny hadicové porty uloženy pohodlně na horní straně bubnu, což vede k větší ochraně hydraulických hadic než u provedení s naklápěním pomocí pístů. [7], [9]

Velikost naklápění a výkon se dají u tohoto typu pohonu měnit pomocí úhlu sklonu zubů. Čím je úhel větší, tím je větší naklápění, ale menší výkon. Naopak čím je úhel menší, tím je menší naklápění, ale větší výkon. [9]

Závěrem jde o dražší variantu. Na rozdíl od naklápění pomocí přímočarých hydromotorů má toto provedení menší šířku, proto není širší jako násada rypadla nebo většinou jako pracovní nástroj (viz. Obr. 4). Bez problému vlez do výkopu a nedochází tak k omezení vykonávané činnosti, jako to může nastat u konstrukčního provedení s naklápěním pomocí přímočarých hydromotorů. Má ale menší moment naklápění a větší konstrukční výšku, čímž dochází k většímu snižování rypné síly. Výhodou tohoto provedení je vytváření konstantního momentu naklápění, na rozdíl od provedení s přímočarými hydromotory, kde naklápěcí moment konstantní není.





Obr. 6 Naklápění rotačním pohonem [11]

### 2.3 NAKLÁPĚCÍ OTOČNÁ HLAVA

Jedná se o naklápěcí hlavu, která je doplněná o rotační část. Proto dokáže „tilt-rotátor“ pracovní nástroj naklápět i otáčet současně. Úhel naklápění může být až  $55^\circ$  (celkem  $110^\circ$ ) a úhel otáčení může být až  $360^\circ$  (viz. Obr. 7). Otáčení přídatného zařízení je zajištěno pomocí šnekového kola se šnekovým hřídelem. Naklápění u toho zařízení může být opět zajištěno přímočarými hydromotory nebo rotačním pohonem. Provedení s přímočarými hydromotory je opět širší, jako je to u naklápěcích hlav, a proto je do výkopů vhodnější provedení s rotačním pohonem. Na úkor toho má rotační pohon několik nevýhod: znatelně menší moment naklápění, horší mechanickou odolnost vůči poškození a větší konstrukční výšku (snížení rypné síly). [4]



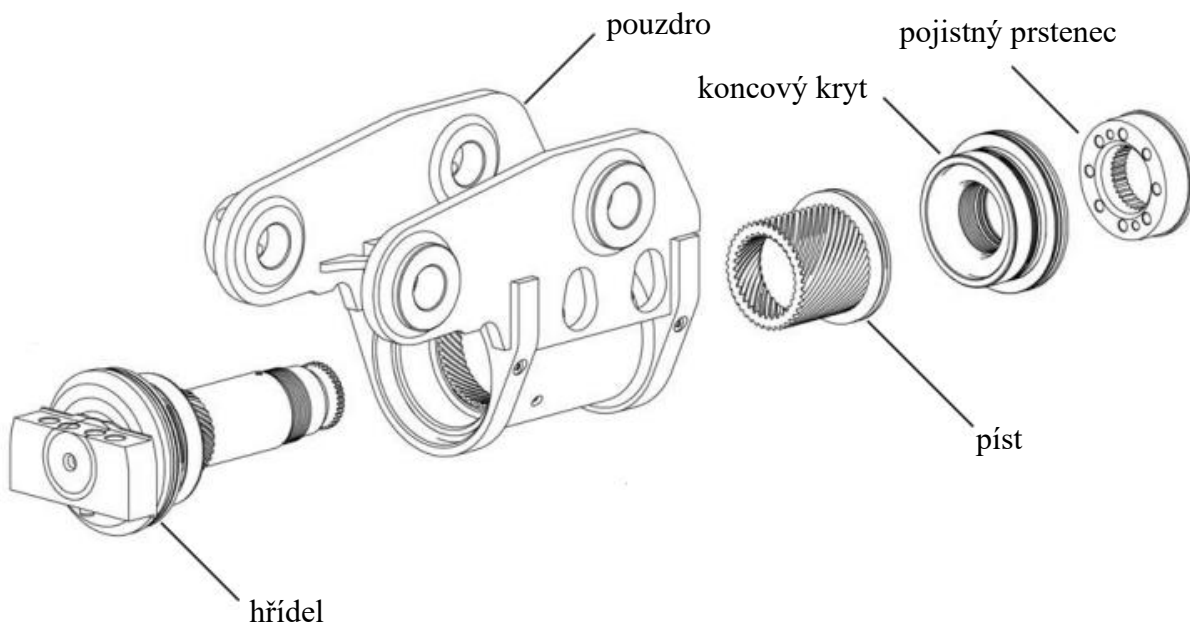
Obr. 7 Naklápěcí otočná hlava (tilt-rotátor) [4]

### 3 HLAVNÍ ČÁSTI NAKLÁPĚCÍ HLAVY

Mezi základní části naklápěcí hlavy se řadí především přímočaré hydromotory (*Obr. 9*) nebo hydraulický rotační pohon (*Obr. 8*). Tyto dvě části nám uskutečňují samotné naklápění. Další částí zařízení je tělo upínače, které se upíná k násadě rypadla, a tělo rychloupínače ve spodní části, na které se upíná přídatné pracovní zařízení. Důležitou částí je naklápěcí základna, ke které jsou připevněné samotné upínače a rotační pohon, popřípadě hydraulické válce. Další nepostradatelnou součástí jsou hydraulické hadice, kterými protéká hydraulický olej. U zařízení naklápěných pomocí hydraulického rotačního pohonu je zabudovaný ještě pojistný ventil.

#### 3.1 HYDRAULICKÝ ROTAČNÍ POHON

Každý pohon se skládá z pouzdra s integrovaným ozubením a dvou pohyblivých částí – centrálního hřídele a pístu. Centrální hřídel je také vybaven ozubením, stejně tak i píst, který má vnitřní i vnější ozubení. Pohon provádí přeměnu lineárního pohybu pístu na otáčení hřídele. Ozubení na hřídeli zapadá do odpovídajících zubů na vnitřním průměru pístu. Druhé ozubení na vnějším průměru pístu se spojí s ozubením v pouzdře. A tím je vytvořen naklápěcí moment, který naklápí hlavu. Dále je pohon vybaven koncovými kryty a těsněním, které brání pohon před nečistotami. [12]



*Obr. 8* Jednotlivé součásti rotačního pohonu [12]

### 3.2 PŘÍMOČARÝ HYDROMOTOR

Využívá se u naklápěcí hlavy, kde nechceme naklápění provádět pomocí rotačního pohonu. Tento způsob nám umožní zmenšit konstrukční výšku naklápěcí hlavy, na rozdíl od rotačního pohonu, a tím neubíráme tolik rypné síly. Ve většině případů se využívají dva válce, jeden na každé straně, které naklápí základnu naklápěcí hlavy z jedné strany na druhou okolo pevného bodu otáčení. Tímto vzniká naklápěcí moment, který naklápí hlavu. Každý přímočarý hydromotor se skládá z válce, pístu, pístní tyče a těsnění. [7]



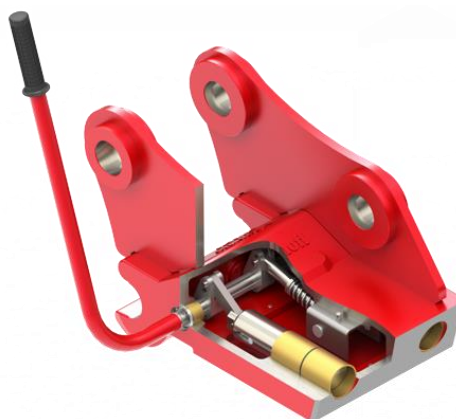
Obr. 9 Přímocharý hydromotor na naklápěcí hlavě (Bauma 2022)

### 3.3 RYCHLOUPÍNAČE

Tento prvek nahrazuje klasické upevnění přídavného zařízení k násadě rypadla přímo čepy. Je umístěn na konci násady a jeho cílem je usnadnění výměny pracovních nástrojů. Tímto způsobem se čas výměny nástroje výrazně snižuje, a také samotná výměna nástroje není pro obsluhu rypadla tak fyzicky náročná. Rychloupínače se rozdělují na mechanické (Obr. 10) a hydraulické (Obr. 11). [13]

#### 3.3.1 MECHANICKÉ RYCHLOUPÍNAČE

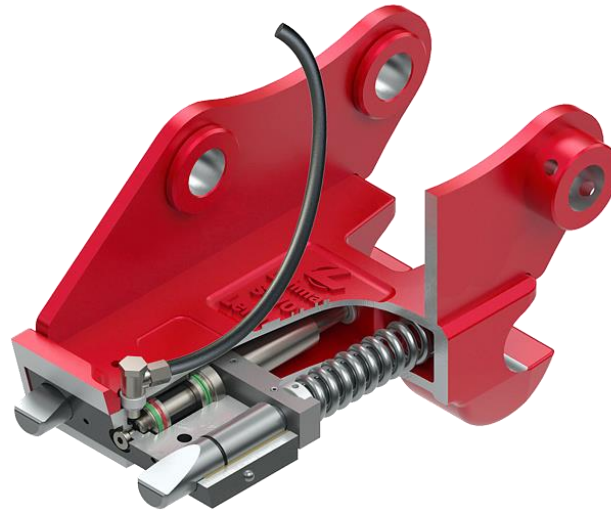
Tento typ upínače nepotřebuje svůj vlastní hydraulický okruh. Naopak jejich nevýhodou je potřeba vystoupení strojníka z kabiny rypadla při výměně pracovního nástroje.



Obr. 10 Detail mechanického rychloupínače [14]

### 3.3.2 HYDRAULICKÉ RYCHLOUPÍNAČE

Výhodou těchto upínačů je rychlejší výměna pracovního nástroje, aniž by strojník musel opustit kabinu stroje. Nevýhodou je, že pro ovládání je nutné zavést k upínači hydraulický obvod, což se projeví na celkové ceně stroje.



Obr. 11 Detail hydraulického rychloupínače [14]

### 3.3.3 STANDARDY RYCHLOUPÍNAČŮ

V současné době má každý výrobce snahu vyvinout svůj vlastní systém upínání a následkem toho neexistuje jednotný standard. Mezi nejznámější standardy se řadí především Pick Up Pin (Obr. 12), Severský standard S (Obr. 13), Lehnhoff (Obr. 14), SMP (Obr. 15).

#### PICK UP PIN

Principem je, že na pracovním nástroji zůstane původní upnutí s vloženými čepy. Rypadlo se doplní rychloupínačem, který upíná nástroj za původní čepy. Výhodou tohoto systému je zachování původních pracovních nástrojů bez jakýchkoliv úprav. [13]



Obr. 12 Rychloupínač Triga MF-standard Pick Up Pin [13]

**SEVERSKÝ STANDARD S**

Jde o standard, ke kterému jsou volně dostupné technické výkresy včetně všech rozměrů a tolerancí. Tento standard obsahuje 11 velikostí upnutí, a to S30 až S120. Tento skandinávský systém je podobný systému Pick up Pin. [15]



*Obr. 13* Rychloupínač severského S-standard od firmy SteelWrist AB [13]

**LEHNHOFF**

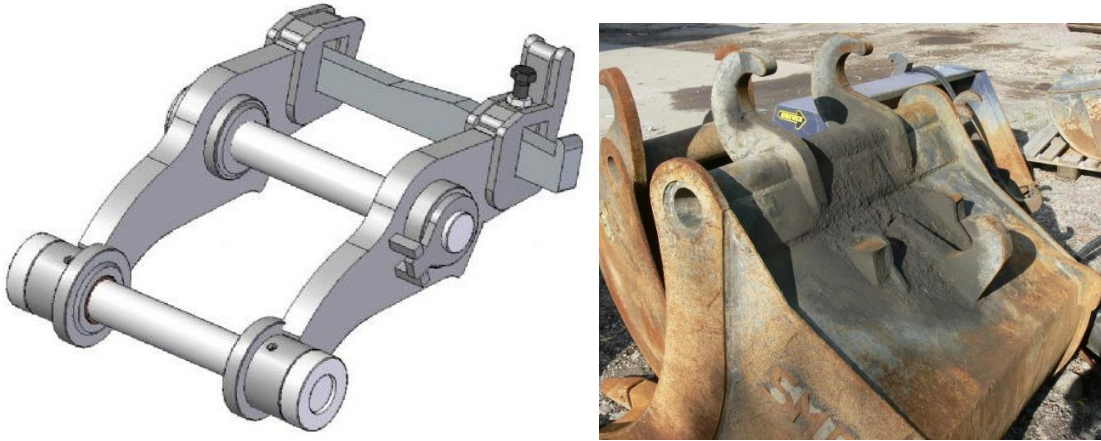
Tento systém vznikl v Německu, proto jej lze často vidět i v ČR. V současné době má zabudované integrované hydraulické rychlospojky pro připojení hydraulických nástrojů. [13]



*Obr. 14* Rychloupínač Lehnhoff [13]

## SMP

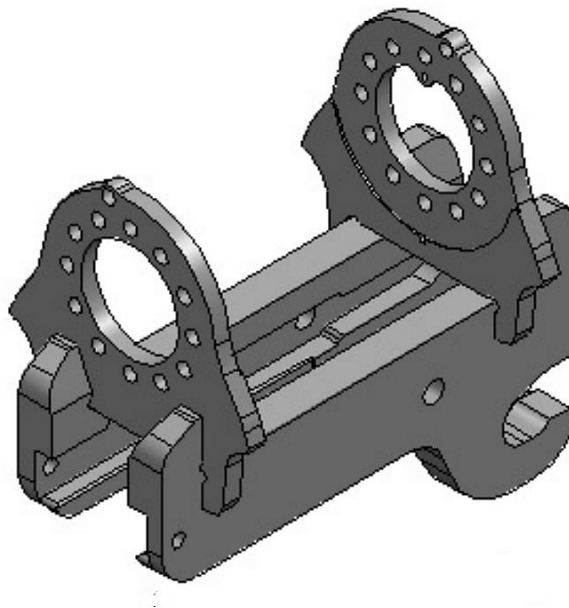
Výhodou těchto rychloupínačů je jejich nulová výška, tzn. že nesnižují rypnou sílu, jako je tomu u většiny ostatních systémů. [13]



Obr. 15 Mechanicky ovládaný rychloupínač firmy SMP Parts AB [13]

## 3.4 ZÁKLADNA

Je to část naklápěcí hlavy, která se naklápí a je k ní připevněný rotační pohon nebo přímočarý hydromotor. V konstrukčním provedení, kde naklápění probíhá pomocí přímočarých hydromotorů, je základna odlévána. U naklápění hydraulickým rotačním pohonem je spodní část základny odlévána a horní část je výpalek. Pak jsou tyto dvě části k sobě přivařeny. Do základny je zpravidla zabudovaný rychloupínač, kterým se upíná pracovní nástroj.



Obr. 16 Detail základny naklápěcí hlavy [16]

### 3.5 HYDRAULICKÉ PRVKY

Naklápěcí hlava musí být připojena na hydraulický okruh stroje. K tomu se využívají hydraulické prvky, mezi které se řadí např. hydraulické hadice (*Obr. 18*), popřípadě pojistné ventily (*Obr. 17*).

#### 3.5.1 POJISTNÝ VENTIL

Ventil se využívá k jištění obvodu proti tlakovému přetížení a otevírá se jen tehdy, kdy vzroste tlak nad přípustnou mez. Musí mít dokonalou těsnost, aby při běžném provozu nepropustil kapalinu. Tímto ventilem je vybaveno konstrukční provedení s rotačním pohonem. [17]



*Obr. 17* Pojistný ventil od firmy Hydroma [17]

#### 3.5.2 HYDRAULICKÉ HADICE

Hadice musí být navržena pro vysoké tlaky a také musí být odolná vůči minerálním a syntetickým olejům. Hadice je složená z duše, opletu a povrchu, jako je znázorněno na *Obr. 18*. Duše je vyrobená z olejivzdorné syntetické pryže, dvou opletů z vysokopevnostního ocelového drátu a povrch je ze syntetické pryže, která je odolná proti oděru, ozónu a povětrnostním vlivům. [18]

Hydraulické hadice bývají z pravidla vybavené ochranou hadic, která chrání hadici před ropnými látkami, UV zářením, a především před oděrem. Ochrana hadic může být formou páskového nylonového chrániče, pryžového ochranného návleku nebo formou spirálového chrániče, který se využívá nejčastěji. Spirálový chránič může být drátěný nebo plochý a vyrábí se např. z pozinkované pružinové ocele, z plastu nebo z PVC. [19]



*Obr. 18* Detail hydraulické hadice [18]

## 4 PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ VHODNÁ PRO POUŽITÍ S NAKLÁPĚCÍ HLAVOU

Na každý druh práce existuje daný pracovní nástroj. Některé z nich lze využít v kombinaci s naklápěcí hlavou, a díky tomu se zvyšuje produktivita práce rypadla. Jedná se například o svahovací (Obr. 19) a podkopové lžíce (Obr. 20), rozrývací trny (Obr. 21), odlesňovací nástroje, drapáky (Obr. 22). Každý z těchto pracovních nástrojů musí splňovat požadavky na vysoký výkon, trvanlivost a úsporu servisní nákladů. [20]

### 4.1 SVAHOVACÍ LŽÍCE

Tato lžíce je v kombinaci s naklápěcí hlavou využívána nejčastěji díky své univerzálnosti. Díky své šířce je používána k terénním úpravám a také ji lze využívat k nakládání, jelikož má velký objem. Svahovací lžíce se vyznačují robustní a odolnou konstrukcí, často jsou vyrobené z hardoxu. [21]



Obr. 19 Pevná svahovací lžíce [21]

### 4.2 PODKOPOVÁ LŽÍCE

Podkopová lžíce se využívá pro hloubkové výkopy. Tyto lžíce musí být pevné, tvrdé, houževnaté a také musí mít vyšší odolnost vůči deformaci, proto jsou nejčastěji vyrobené z hardoxu. Mohou být opatřené zuby nebo břitem, pro lepší vniknutí lžíce do materiálu. [22]



Obr. 20 Podkopová lžíce s břitem (vlevo) a zuby (vpravo) [23]



### 4.3 ROZRÝVACÍ TRNY

Pracovní nástroj, který se využívá na rozpojování tvrdé horniny, odstraňování kořenů a pařezů. Při použití rozrývacího trnu se veškerá síla stroje koncentruje do jediného bodu a ten pak dokáže proniknout do povrchů, do kterých by normální lžice vniknout nedokázala. Trny jsou osazené tvrzeným zubem, který je vyměnitelný. Tělo trnu se většinou vyrábí opět z hardoxu. [24]



Obr. 21 Rozrývací trn [24]

### 4.4 DRAPÁKY

Drapáky se vyrábí v několika provedeních, např. drapáky čelist'ové, které se používají k nakládání kusového sortimentu. Skládají se ze dvou drapákových čelistí. Dále existují demoliční drapáky, které jsou určeny k částečné těžbě a nakládce sypkých a kusových materiálů. Těžební drapáky se využívají k těžbě a nakládce sypkých materiálů. Čelisti drapáků jsou vyrobeny z oteruvzdorné oceli, převážně z hardoxu. [25], [26]



Obr. 22 Čelist'ový drapák (vlevo), demoliční drapák (uprostřed), těžební drapák (vpravo) [25], [26]

## 5 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÝCH VÝROBCŮ

V současné době se na světě nachází několik velkých výrobců naklápěcích hlav, kteří neustále funkci tohoto zařízení zlepšují a vyvíjejí. V následující kapitole jsou uvedeny parametry naklápěcích hlav jednotlivých výrobců. Každý z nich má své vlastní konstrukční řešení tohoto zařízení.

### 5.1 STEELWRIST AB

SteelWrist AB je globální výrobce naklápěcích hlav a naklápěcích rotátorů pro rypadla se sídlem ve Švédsku.

#### 5.1.1 NAKLÁPĚCÍ HLAVA TC050/S40

Naklápěcí hlava TC050/S40 od SteelWrist AB určená pro minirypadla o hmotnosti 1-2 tuny. Hlava je vyrobena z robustních odlévaných součástí, jak je znázorněno na *Obr. 23*. První částí je rotační pohon s vrchním přímým čepováním. Druhou částí je základna a spodní rychloupínač S40 (severský standard typu S).

Tento typ disponuje poměrně velkou konstrukční výškou, což může mít za následek snížení rypné síly. Naopak má malou šířku, proto nezavazí při vykonávání výkopové práce.

*Tab. 1* Parametry naklápěcí hlavy TC050/S40 [27]

Typ	TC050/S40
Rozteč čepů [mm]	200
Šířka [mm]	180
Konstrukční výška [mm]	358
Úhel naklápění [°]	180
Hmotnost [kg]	95
Bezpečné pracovní zatížení [kg]	1000
Hydraulický tlak [bar]	210
Hmotnost nosiče [kg]	1000-2000
Cena bez DPH [Kč]	110 000



*Obr. 23* Naklápěcí hlava TC050/S40 od SteelWrist AB [27]

### 5.1.2 NAKLÁPĚCÍ HLAVA TCX S30/180

Naklápěcí hlava TCX S30/180 od SteelWrist AB určená pro miniryvadla o hmotnosti 1-2 tuny. Tento typ je také vyrobený z robustních odlévaných součástí. Jedná se o rychloupínač S30 (severský standard typu S) a horní část těla, ke které jsou přivařeny přímočaré hydromotory. Tyto hydromotory zajišťují samotné naklápění hlavy.

Tato naklápěcí hlava má větší šířku než naklápěcí hlava TC050/S40, protože přímočaré hydromotory jsou řazeny do V (viz. Obr. 24). Naopak konstrukční výška je výrazně menší, což má pozitivní vliv na rypnou sílu, u které nedochází tak k velkému snížení. Z parametrů uvedených v tabulkách lze vidět, že naklápěcí hlava TCX S30/180 má mnohokrát menší hmotnost než hlava TC050/S40. Menší hmotnost zajistí rypadlu větší flexibilitu. Nevýhodou je malý rozsah náklonu, který je třetinový oproti typu s naklápěním pomocí rotačního pohonu. Jak je již zmíněno, naklápěcí hlava TCX S30/180 se naklápí pomocí přímočarých hydromotorů, proto se jedná o jednodušší provedení, což má vliv na cenu, která je mnohem nižší.

Tab. 2 Parametry naklápěcí hlavy TCX S30/180 [28]

Typ	TCX S30/180
Rozteč čepů [mm]	120
Šířka [mm]	230
Konstrukční výška [mm]	190
Úhel naklápění [°]	60
Hmotnost [kg]	28
Bezpečné pracovní zatížení [kg]	700
Hydraulický tlak [bar]	210
Hmotnost nosiče [kg]	100-2000
Cena bez DPH [Kč]	60 000



Obr. 24 Naklápěcí hlava TCX S30/180 od SteelWrist AB [28]

## 5.2 ATTACH2 EQUIPMENT

Attach2 Equipment je specializovaný výrobce přídavných zařízení pro rypadla, především naklápěcích hlav. Tato firma sídlí na Novém Zélandu.

### 5.2.1 NAKLÁPĚCÍ HLAVA HELI-TILT

Naklápěcí hlava Heli-Tilt od Attach2 Equipment je určena pro minirypadla o hmotnosti 1-2 tuny. Tato naklápěcí hlava je vyrobena z robustních odlévaných částí. Jedná se o rotační pohon, horní přímé čepování, základnu a spodní rychloupínač (viz Obr. 25).

Konstrukční provedení Heli-Tilt od Attach2 Equipment má menší konstrukční výšku a je více kompaktní než konstrukční provedení TC050/S40 od SteelWrist AB. Hmotnost je také nižší než u provedení od SteelWrist AB, což umožňuje ještě větší flexibilitu rypadla. Tyto výhody ovlivňují cenu zařízení, která je poměrně vysoká. Heli-Tilt kvůli malé šířce není širší než násada rypadla, a proto je ideální pro práci ve stísněných a těžko přístupných výkopech.

Tab. 3 Parametry naklápěcí hlavy Heli-Tilt [29]

Typ	SGHT30-115-132-94-HTR02
Rozteč čepů [mm]	115
Šířka [mm]	200
Konstrukční výška [mm]	337
Úhel naklápění [°]	180
Hmotnost [kg]	40
Bezpečné pracovní zatížení [kg]	900
Hydraulický tlak [bar]	207
Hmotnost nosiče [kg]	1000-2000
Cena bez DPH [Kč]	123 000



Obr. 25 Naklápěcí hlava Heli-Tilt od Attach2 Equipment [29]

### 5.2.2 NAKLÁPĚCÍ HLAVA MINI-TILT

Naklápěcí hlava Mini-Tilt od Attach2 Equipment je určena pro minirypadla o hmotnosti 1-2 tuny. Zařízení se skládá z horního odlévaného přímého čepování, ke kterému jsou připevněné přímočaré hydromotory. Provedení Mini-Tilt se vyznačuje jednodílnou odlévanou základnou se zabudovaným rychloupínačem, jak je znázorněno na Obr. 26, proto je tato část pevnější, než kdyby byla svařovaná.

Konstrukční výška je výrazně menší než u provedení Heli-Tilt, to má opět pozitivní vliv na rypnou sílu, jejichž úbytek není tak vysoký jako u provedení s hydraulickým rotačním pohonem. Nevýhodou varianty Mini-Tilt je šířka, která je obvykle větší, než šířka násady případně šířka pracovního nástroje. Hmotnost hlavy Mini-Tilt je stejná jako hmotnost hlavy Heli-Tilt, to je zapříčiněno robustní odlévanou základnou. Cena je mnohem nižší, na úkor nízké ceny Mini-Tilt umožňuje malý úhel náklonu.

V porovnání s TCX S30/180 od SteelWrist AB je konstrukční výška stejná. Šířka je o trochu větší. Hlavní rozdíl je v hmotnosti a v úhlu náklonu. Hlava Mini-Tilt má větší hmotnost, ale umožňuje větší naklápění. Cenově jsou obě tyto hlavy srovnatelné.

Tab. 4 Parametry naklápěcí hlavy Mini-Tilt [30]

Typ	DPTR30-126-105-30
Rozteč čepů [mm]	126
Šířka [mm]	249
Konstrukční výška [mm]	190
Úhel naklápění [°]	70
Hmotnost [kg]	40
Bezpečné pracovní zatížení [kg]	750
Hydraulický tlak [bar]	206
Hmotnost nosiče [kg]	1000-2000
Cena bez DPH [Kč]	63 000



Obr. 26 Naklápěcí hlava Mini-Tilt od Attach2 Equipment [30]

### 5.3 KINSHOFER GMBH

Kinshofer GmbH je výrobce přídatných zařízení pro stroje s hydraulikou, které lze využívat při demolicích, stavbě tratí, terénních úpravách, odklizení sněhu, stavbě silnic, v lesnictví a recyklaci. Mezi přídatná zařízení, které firma vyrábí, jsou zahrnuty také naklápěcí hlavy, které se nakládají pomocí hydraulického rotačního pohonu. Tato firma sídlí v Německu.

#### 5.3.1 NAKLÁPĚCÍ HLAVA TC02-180 KS01

Naklápěcí hlava TC02-180 KS01 od Kinshofer GmbH je určena pro minirypadla o hmotnosti 1-2 tuny. Zařízení se skládá z horního přímého čepování, které je přišroubované k hydraulickému rotačnímu pohonu. Další součástí je spodní rychloupínač L-Lock, který je k pohonu přivařený.

Naklápěcí hlava TC02-180 KS01 se od již zmiňovaných naklápěcích hlav jednotlivých výrobců odlišuje v konstrukci. Ostatní naklápěcí hlavy s rotačním pohonem mají tělo přímého čepování přivařené přímo k pohonu, kdežto zde je připevněno pomocí šroubů, jak je znázorněno na *Obr. 27*.

Podstatnými výhodami oproti naklápěcím hlavám již zmiňovaných výrobců je šířka, konstrukční výška a hmotnost. Všechny tyto parametry jsou menší než u naklápěcích hlav TC050/S40 od SteelWrist AB a Heli-Tilt od Attach2 Equipment. Cena je srovnatelná se zařízením od SteelWrist, ale mnohem nižší v porovnání se zařízením od Attach2 Equipment.

Tab. 5 Parametry naklápěcí hlavy TC02-180 KS01 [31]

Typ	TC02-180 KS01
Rozteč čepů [mm]	200
Šířka [mm]	160
Konstrukční výška [mm]	320
Úhel naklápění [°]	180
Hmotnost [kg]	38
Bezpečné pracovní zatížení [kg]	1000
Hydraulický tlak [bar]	250
Hmotnost nosiče [kg]	1000-2000
Cena bez DPH [Kč]	105 000



Obr. 27 Naklápěcí hlava TC02-180 KS01 od Kinshofer GmbH [31]

## 5.4 RF SYSTEM AB

RF System AB byl z počátku výrobce zařízení na pokládku kabelů elektrického vedení. V současné době vyrábí veškerá přídatná zařízení na rypadla, mezi které se především řadí naklápací hlavy a naklápací rotační hlavy. Sídlo této firmy je ve Švédsku.

### 5.4.1 NAKLÁPĚCÍ HLAVA TMX2

Naklápací hlava TMX2 od RF Systém AB je určena pro minirypadla o hmotnosti 1-2 tuny. Zařízení se skládá z horního přímého čepování, které je svařované, a z přímočarých hydromotorů, které jsou k čepování připevněny. Dále se skládá ze spodního rychloupínače S30/150 (severský standard typu S), spodní část je také svařenec.

Tato naklápací hlava se od naklápacích hlav výrobců SteelWrist AB a Attach2 Equipment liší v konstrukci. Ostatní hlavy mají jednotlivé části vyrobené z odlitků a jsou více robustní, naklápací hlava TMX2 je však vyrobena ze svařence. Naklápací hlava TMX2 má přímočaré hydromotory řazené vertikálně (viz *Obr. 28*) na rozdíl od naklápacích hlav zmiňovaných výrobců, které mají přímočaré hydromotory řazené do V.

Podstatnou nevýhodou je konstrukční výška, která je větší než u naklápacích hlav Mini-Tilt a TCX S30/180. Konstrukční provedení s přímočarými hydromotory, by mělo mít menší konstrukční výšku za účelem menšího úbytku rypné síly. Zde je konstrukční výška obdobná jako u provedení s hydraulickým rotačním pohonem. Rozsah naklápění je pouze 50°, který je nejmenší ze všech zmiňovaných konstrukčních provedení s naklápěním pomocí přímočarých hydromotorů. Šířka a hmotnost je téměř srovnatelná.

Tab. 6 Parametry naklápací hlavy TMX2 [32]

Typ	TMX2
Rozteč čepů [mm]	126
Šířka [mm]	210
Konstrukční výška [mm]	314
Úhel naklápění [°]	50
Hmotnost [kg]	35
Bezpečné pracovní zatížení [kg]	650
Hydraulický tlak [bar]	206
Hmotnost nosiče [kg]	1000-2000
Cena bez DPH [Kč]	52 000



Obr. 28 Naklápací hlava TMX2 od RF System AB [32]

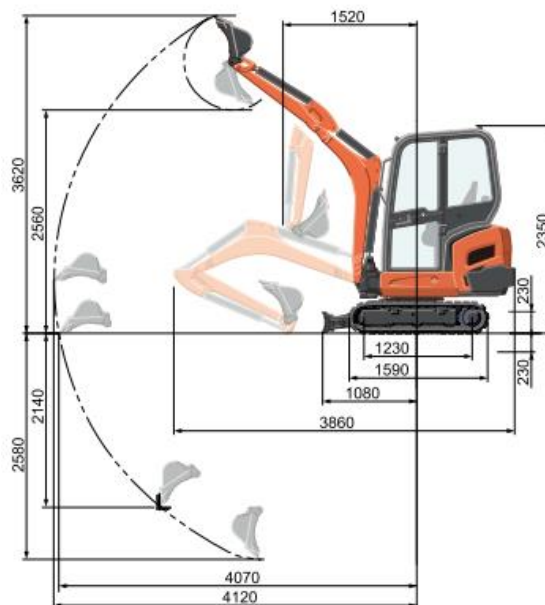
## 6 POPIS STROJE KUBOTA KX019-4

Jedná se o malé kompaktní pásové minirypadlo s 3 - válcovým vznětovým motorem Kubota D902-BH o objemu 898 ccm a výkonem 12 kW. Rypadlo je vybaveno roztažitelným podvozkem s rozsahem 990–1300 mm a přídatným okruhem, který má maximální hydraulický tlak 21,6 MPa a maximální průtok 27,7 l/min. Dále je rypadlo vybaveno ovládním proporcionálního hydraulického okruhu na joysticku a systémem zabezpečení proti krádeži Kubota Anti Theft. Hmotnost rypadla Kubota řady KX019-4 je 1855 kg. Rypadlo disponuje maximální rypnou silou 7,8 kN na násadě a maximální vylamovací silou na lžici 15,9 kN. [33]



Obr. 29 Minirypadlo Kubota KX019-4 [33]

Vzhledem ke svým rozměrům a designu je rypadlo Kubota KX019-4 vhodné do stísněných prostor a pro menší a jednodušší výkopové práce v oblasti stavebnictví a zahradní architektury.



Obr. 30 Rozměry stroje Kubota KX019-4 [33]



## 7 VLASTNÍ KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ

Kapitola „Vlastní konstrukční provedení“ se zabývá rozбором tvorby vlastního konstrukčního provedení, volbou konstrukčního provedení a samotným popisem konstrukce naklápěcí hlavy na zmiňované rypadlo Kubota KX019-4 (*Obr. 29*).

### 7.1 ROZBOR TVORBY VLASTNÍHO KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ

Na základě rešerše a po domluvě s firmou STAVES s.r.o. z Olomouce, která se zabývá prodejem a půjčováním stavebních strojů a přídatných zařízení je vytvořen 3D model naklápěcí hlavy v softwaru Autodesk Inventor Professional 2023. Dále jsou provedeny výpočty zatěžujících stavů a výpočty základních částí naklápěcí hlavy. Jako poslední částí je provedena pevnostní analýza konstrukce naklápěcí hlavy v softwaru MSC Apex 2021.4.

### 7.2 VOLBA KONSTRUKČNÍHO PROVEDENÍ

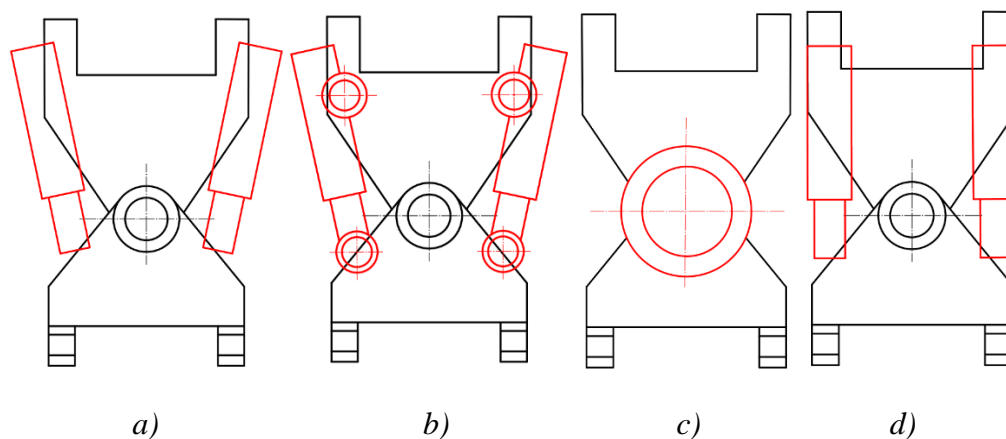
Firma STAVES s.r.o. požaduje jednodušší konstrukční řešení s ohledem na minimalizaci ceny. Na základě těchto požadavků je vybráno vhodné konstrukční řešení.

Na *Obr. 31 a)* je konstrukční provedení, kde jsou přímočaré hydromotory řazeny do tvaru V a jsou k horní části konstrukce přivařeny. Pístnice, které nejsou k dolní části konstrukce naklápěcí hlavy nikterak připevněny, „tlačí“ do nálitků a tímto dochází k samotnému naklápění.

Další konstrukční provedení má také přímočaré hydromotory řazeny do V, ale k horní i dolní části konstrukce jsou připevněny pomocí čepů, jak je to znázorněno na *Obr. 31 b)*. Toto provedení má jednotlivé části vyráběné většinou jako odlitek.

Konstrukční provedení na *Obr. 31 c)* využívá k naklápění hydraulický rotační pohon (PowerTilt). Zmiňované provedení má největší rozsah naklápění, ale je příliš drahé.

Poslední konstrukční řešení využívá k naklápění přímočaré hydromotory řazeny vertikálně, jak je znázorněno na *Obr. 31 d)*. Horní i spodní část konstrukce je svařovaná, proto je toto provedení levnější, než kdyby byly jednotlivé části odlévány. Přímocíhy motory jsou k horní části konstrukce naklápěcí hlavy přivařené a pístnice „tlačí“ do nálitku, čímž dochází k naklápění.

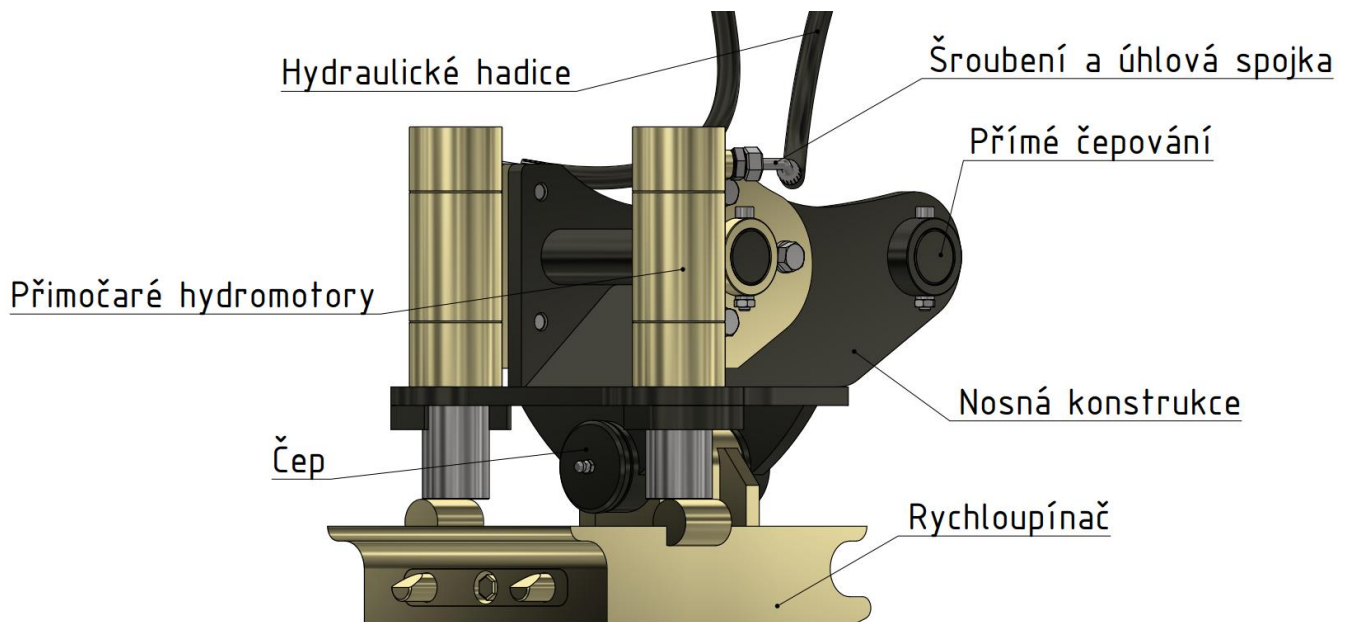


*Obr. 31* Konstrukční provedení naklápěcí hlavy

Za vhodné konstrukční provedení splňující požadavky firmy STAVES s.r.o. je zvoleno řešení s vertikálně řazenými přímočarými hydromotory viz. *Obr. 31 d*). Tento typ je nejjednodušším konstrukčním provedením a zároveň díky svařované konstrukci a přímočarým hydromotorům se jedná o nejlevnější variantu. Cílem je také zajistit, co nejmenší šířku naklápací hlavy, a to vertikální řazení hydromotorů umožňuje.

### 7.3 POPIS VLASTNÍHO KONSTRUKČNÍHO PŘÍMÉHO ČEPOVÁNÍ

Tato část práce se zabývá popisem návrhu naklápací hlavy (*Obr. 32*) určené k nakládání libovolného přídavného zařízení, urychlení práce a variability stroje, a to pro rypadla nacházející se v hmotnostní kategorii do 2 tun. Spojení naklápací hlavy a rypadla je zajištěno pomocí přímého čepování a spojení naklápací hlavy s přídavným zařízením je řešeno pomocí mechanického rychloupínače.



*Obr. 32* Vlastní konstrukční řešení naklápací hlavy

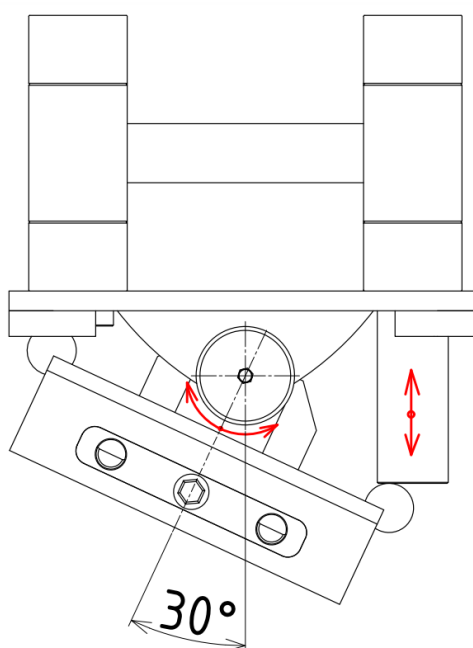
Konstrukce naklápací hlavy je řešena jako svařenec z plechových dílců. Naklápací systém je tvořen dvěma jednočinnými přímočarými hydromotory, které jsou usazeny a připevněny k hornímu svařenci. Horní svařenec a rychloupínač jsou k sobě spojeni čepem.

Hydraulický okruh je tvořen dvěma přímočarými hydromotory. Dále je tvořen vysokotlakými hadicemi, brzdicím ventilem a vysokotlakými spojkami, kterými jsou hydromotory připojeny k hydraulickému okruhu rypadla.

## 7.4 FUNKCE A PARAMETRY NAKLÁPĚCÍ HLAVY

Naklápěcí hlava se využívá k usnadnění práce strojníka, který ovládá rypadlo, na jehož násadu je naklápěcí hlava připevněná. Jak je obecně známo, nejdříve musí dojít k naklopení hlavy, ke které je připevněný pracovní nástroj, a až potom může dojít k samotnému rýpání. Z toho vyplývá, že se nesmí provádět naklápění hlavy během rypného procesu. To výrazně přetěžuje naklápěcí hlavu a mohlo by dojít k deformaci a poškození tohoto zařízení.

Funkce naklápění je zajištěna pomocí translačního pohybu pístnice hydromotoru (*Obr. 33*). Tyto přímočaré hydromotory nám zajišťují naklápění na obě strany.



*Obr. 33* Princip naklápění hlavy

Vlastním konstrukčním návrhem byly dosaženy parametry, které jsou uvedeny v *Tab. 7*. Podařilo se dosáhnout relativně malé konstrukční výšky oproti zařízením na trhu, což nevede k příliš velkému snížení rypné síly. Dále navržené zařízení disponuje úhlem naklápění 30° (celkově 60°), jedná se téměř o maximální možný úhel naklápění u tohoto konstrukčního uspořádání přímočarých hydromotorů.

*Tab. 7* Parametry vlastního konstrukčního provedení

Parametry naklápěcí hlavy	
Šířka [mm]	240
Celková výška [mm]	268
Úhel naklápění [°]	60
Maximální naklápěcí moment [Nm]	1780
Hmotnost [kg]	30
Hydraulický tlak [bar]	216
Hmotnost nosiče [kg]	0-2000

## 7.5 KONSTRUKČNÍ PRVKY NAKLÁPĚCÍ HLAVY

Konstrukce hlavy je rozdělena na několik základních konstrukčních prvků. Nejdříve konstrukční návrh naklápěcí hlavy vychází z poznatků firmy STAVES s.r.o. a z informací na základě provedené rešerše. Po následujícím provedení potřebných výpočtů jsou tyto konstrukční prvky tvarově a rozměrově optimalizovány.

Mezi základní konstrukční prvky se řadí:

- nosná konstrukce
- spojení naklápěcí hlavy s přídatným zařízením
- uložení čepu
- uložení přímočarých hydromotorů
- hydraulické prvky

### 7.5.1 NOSNÁ KONSTRUKCE

Jedná se o hlavní konstrukční prvek naklápěcí hlavy (*Obr. 34*). Tato konstrukce musí být dostatečně tuhá a mít dostatečnou pevnost, jelikož jsou k ní připevněny všechny ostatní konstrukční prvky, jako je rychloupínač nebo přímočaré hydromotory.

Nosná konstrukce je svařenec z plechů o tloušťce 10 mm. Nosná konstrukce je tvořena základní deskou, ve které jsou otvory pro usazení přímočarých hydromotorů. Dále je nosná konstrukce tvořena dvěma bočními deskami, ve kterých jsou otvory pro čepy, kterými se upíná naklápěcí hlava k násadě rypadla. Mezi bočními deskami a základní deskou je umístěna výztuha (žebro) pro zvýšení tuhosti celé nosné konstrukce.



*Obr. 34* Nosná konstrukce

Poslední částí nosné konstrukce je uložení pro čep (*Obr. 35*), který spojuje nosnou konstrukci s rychloupínačem a je zároveň osou rotace při naklápění hlavy.



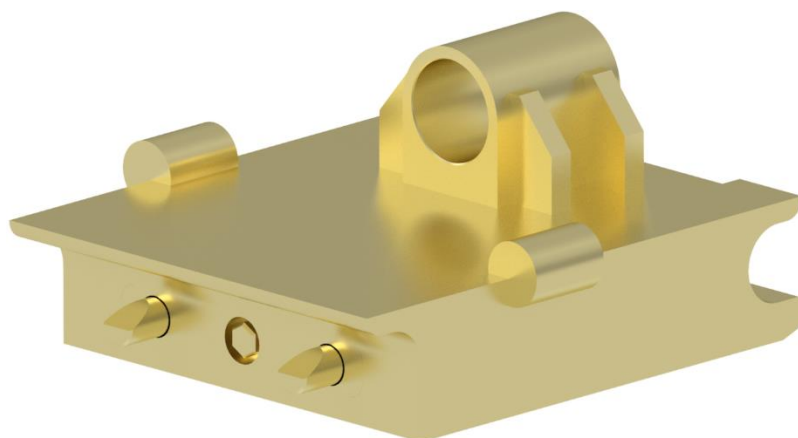
*Obr. 35* Detail nosné konstrukce

### 7.5.2 SPOJENÍ NAKLÁPĚCÍ HLAVY S PŘÍDAVNÝM ZAŘÍZENÍM

Spojení naklápěcí hlavy s přídatným zařízením je provedeno pomocí poloautomatického rychloupínače S30/180 od firmy Steelwrist AB (*Obr. 36*). Jedná se o rychloupínač severského standardu S. Tento standard využívá větší množství výrobců těchto i obdobných zařízení, jelikož rozměry tohoto standardu jsou všem volně přístupny. [34]

K odblokování poloautomatického rychloupínače dochází ručně a při připojení pracovního nástroje dochází k automatickému uzamknutí. Dvě robustní pružiny udržují pojistku v zajištěné poloze.

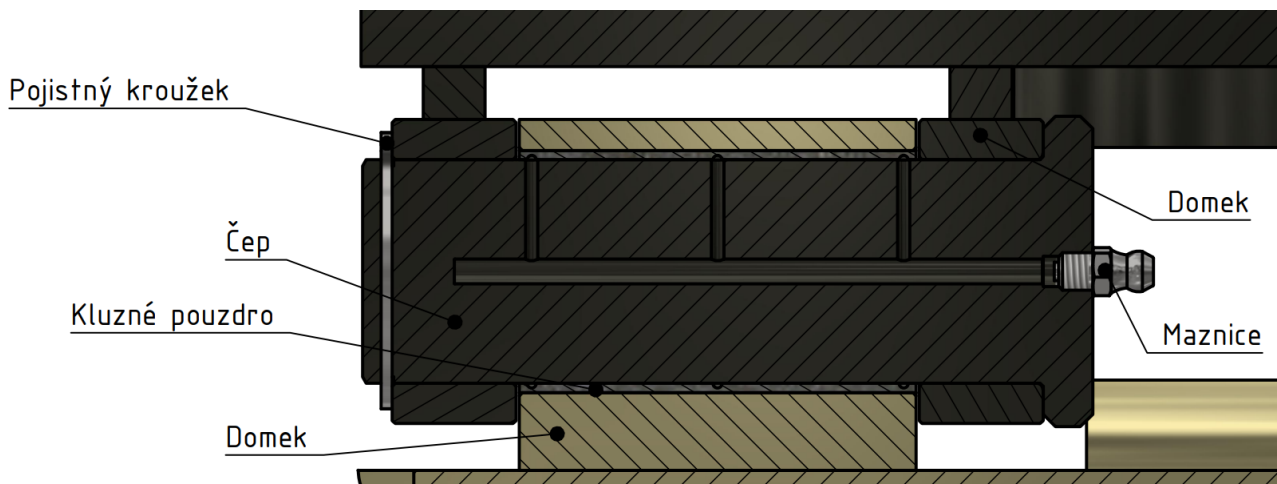
V konstrukčním návrhu naklápěcí hlavy je k rychloupínači přivařený domek pro uložení čepu a žebra k dosažení potřebné tuhosti. Dále také dva válečky, do kterých „tlačí“ pístnice. Válečky jsou indukčně kaleny. Toto tepelné zpracování zvyšuje tvrdost povrchu a zároveň také ořezvzdornost.



*Obr. 36* Rychloupínač S30/180

### 7.5.3 ULOŽENÍ ČEPU

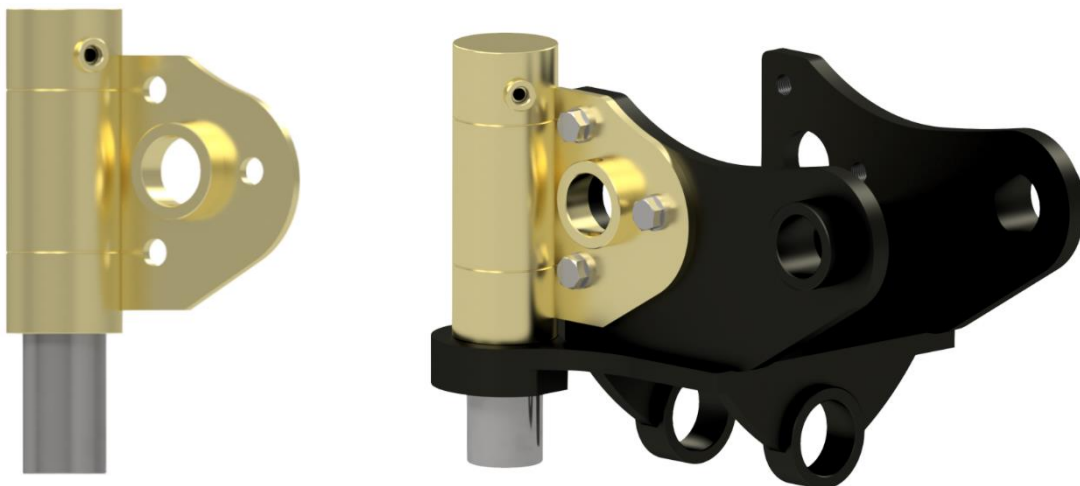
Spojení nosné konstrukce a poloautomatického rychloupínače je zajištěno pomocí čepu (Obr. 37). Tento čep je zároveň osou rotace při naklápění hlavy přímočarými hydromotory. V nosné konstrukci je čep uložený ve dvou domcích a v rychloupínači v jednom. Uložení v rychloupínači je otočné, je zde kluzné pouzdro a čep je vybaven mazacími kanálky, přes které prostřednictvím maznice dochází k dopravě maziva ke kluznému pouzdru. Čep je na konci zajištěný pomocí pojistného kroužku.



Obr. 37 Detail uložení čepu naklápěcí hlavy

### 7.5.4 ULOŽENÍ PŘÍMOČARÝCH HYDROMOTORŮ

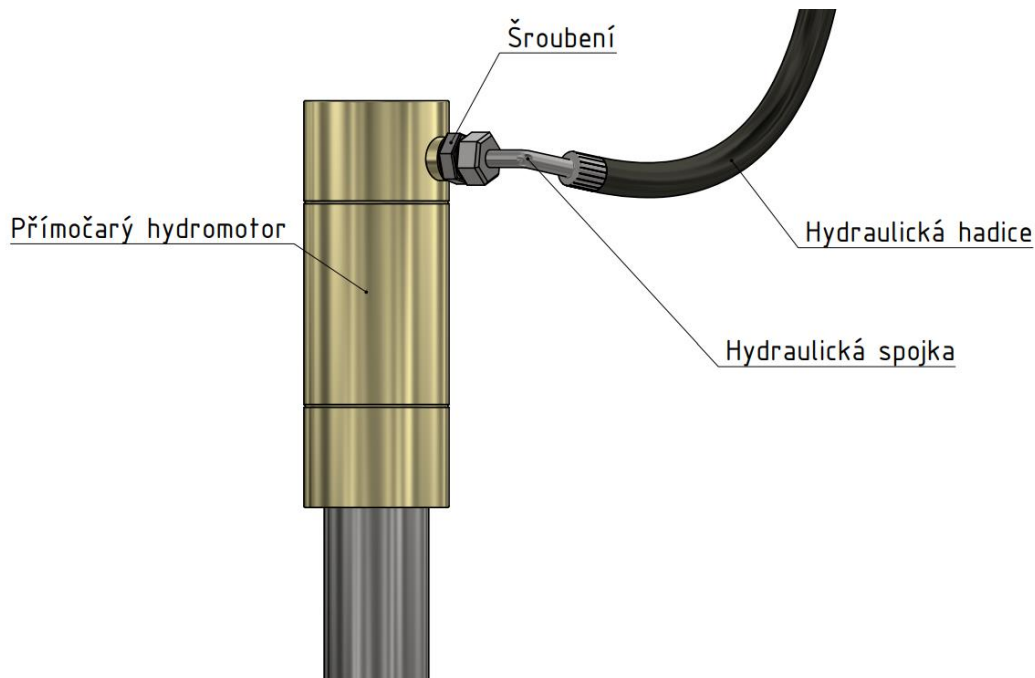
Systém naklápění naklápěcí hlavy je proveden dvojicí přímočarých hydromotorů. Tyto hydromotory mají k sobě přivařené držáky, které k hydromotoru přivařuje přímo výrobce (Hydraulics s.r.o.) na požádání. Hydromotory jsou usazeny v nosné konstrukci přímo na základní desce a dále jsou hydromotory přes držáky přišroubovány k nosné konstrukci, jak je vidět na Obr. 38.



Obr. 38 Uložení přímočarých hydromotorů

### 7.5.5 HYDRAULICKÉ PRVKY

Mezi hydraulické prvky, které spojují přímočaré hydromotory a hydraulický okruh rypadla se řadí hydraulické hadice, brzdící ventil, hydraulické spojky PN AB 45 a šroubení G HB HJR nabízené firmou HANSA FLEX (Obr. 39). [35]



Obr. 39 Hydraulické prvky vlastního konstrukčního řešení

Pro vedení hydraulického oleje z okruhu rypadla do přímočarých hydromotorů jsou využity vysokotlaké hydraulické hadice 2SN DN10 (Obr. 40) nabízené firmou Hydrolider. [36]



Obr. 40 Hydraulické hadice 2SN DN10 od firmy Hydrolider [36]

Parametry zvolené hydraulické hadice [36]:

- maximální průtok  $Q_h=45$  l/min
- maximální tlak  $p_h=33$  MPa
- vnitřní průměr  $D_h=10$  mm

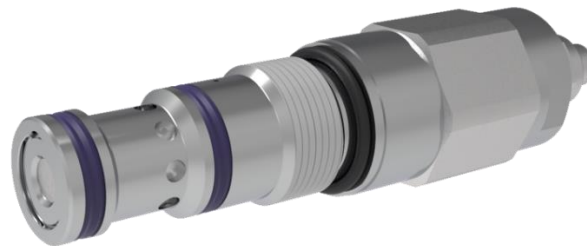
Dále je hydraulický okruh vybaven brzdícím ventilem, který je umístěn mezi hydraulickou spojkou rypadla a hydraulickou hadicí naklápěcí hlavy na násadě rypadla.

Brzdící ventil zajišťuje bezpečný pohyb zátěže v případě negativního působení síly, kde by mohlo dojít ke ztrátě kontroly pohybu. Dále také omezuje maximální tlak v obvodu a chrání obvod proti přetížení tlakem. [37]

Zde je brzdící ventil využitý proto, aby docházelo k vymezení vůle při naklápění hlavy. V momentě, kdy dochází k náklonu naklápěcí hlavy, je jeden přímočarý hydromotor přetlačován druhým přímočarým hydromotorem, v tu chvíli může vzniknout vůle mezi prvním zmiňovaným hydromotorem a spodní částí naklápěcí hlavy, což by vedlo ke ztrátě kontroly náklonu. Proto je do hydraulického okruhu vložen brzdící ventil, který pomocí nastavení otevíracího tlaku vymezí vůli.

Parametry zvoleného brzdícího ventilu SO5A-CP3 od firmy AGRO HYTOS [37]:

- maximální průtok  $Q_h=80$  l/min
- maximální tlak  $p_h=35$  MPa
- pilotní poměr 2,5:1; 5:1; 8:1



Obr. 41 Brzdící ventil SO5A-CP3 [37]



## 8 NÁVRH JEDNOTLIVÝCH KOMPONENT

Tato kapitola se zabývá návrhem hlavních konstrukčních uzlů naklápací hlavy. Nejdříve je proveden návrh průměru čepu a jeho následná kontrola na sřih a otláčení. Dále je proveden návrh přímočarého hydromotoru a následná kontrola jeho tloušťky tělesa a pístnice na vzpěrnou stabilitu dle [38]. V poslední řadě je provedena kontrola svarů konstrukce naklápací hlavy.

### 8.1 ZATĚŽUJÍCÍ SÍLA

Rypadlo Kubota KX019-4 disponuje vylamovací silou 15,9kN. Tuto sílu je potřeba ještě vynásobit koeficientem překonání vlastní tíhy konstrukce a pasivních odporů. Tímto již získám jmenovitou zatěžující sílu, která je po domluvě s vedoucím práce využita pro výpočet.

$$F = F_v \cdot k_1 = 15900 \cdot 1.1 = 17490N \quad (1)$$

kde:

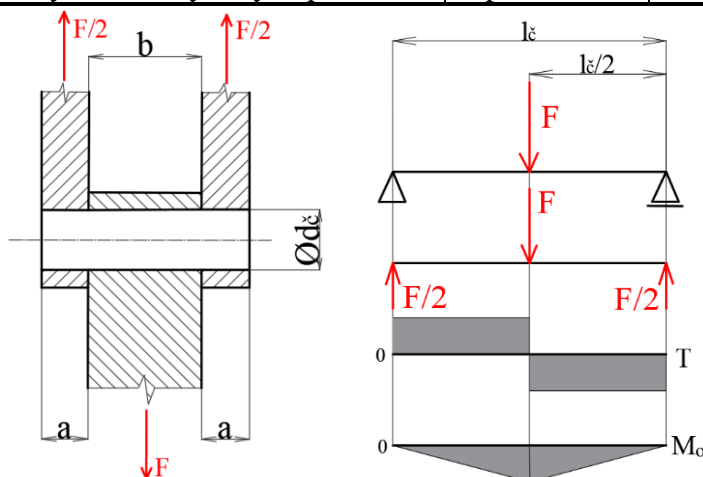
$F$	[N]	- jmenovitá zatěžující síla
$F_v$	[N]	- vylamovací síla
$k_1$	[-]	- koeficient překonání vlastní tíhy a pasivních odporů

### 8.2 VÝPOČET ČEPU

V konstrukci naklápací hlavy se nachází jeden čepový spoj. Nejdříve je proveden návrh průměru čepu z maximálního ohybového momentu. Dále výpočet zahrnuje kontrolu čepu na sřih a otláčení stykových ploch. Kontrola čepu je provedena vůči dovoleným napětím při míjivém zatěžování (Tab. 8).

Tab. 8 Mechanické vlastnosti oceli E335 [39]

ocel E335		
Minimální mez kluzu	$R_{eH}$ [MPa]	295
Dovolené napětí v ohybu	$\sigma_{Do}$ [MPa]	180
Dovolené napětí ve smyku	$\tau_{Ds}$ [MPa]	105
Dovolený tlak ve stykových plochách	$p_D$ [MPa]	90



Obr. 42 Schéma a silové působení na čep

**MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT**

$$M_{o_{MAX}} = \frac{F}{2} \cdot \frac{l_{\check{c}}}{2} = \frac{F \cdot l_{\check{c}}}{4} \quad (2)$$

$$M_{o_{MAX}} = \frac{17490 \cdot 105}{4}$$

$$M_{o_{MAX}} = 459113 \text{ Nmm}$$

kde:

$M_{o_{MAX}}$  [Nmm] - maximální ohybový moment

$l_{\check{c}}$  [mm] - délka čepu

**VÝPOČET PRŮMĚRU ČEPU**

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{MAX}}}{W_o} \leq \sigma_{Do} \Rightarrow \sigma_o = \frac{459113}{\frac{\pi \cdot 36^3}{32}} = 100,2 \text{ MPa} \quad (3)$$

$$\sigma_o = \frac{M_{o_{MAX}}}{\frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^3}{32}} \leq \sigma_{Do}$$

$$d_{\check{c}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_{o_{MAX}}}{\pi \cdot \sigma_{Do}}}$$

$$d_{\check{c}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 459113}{\pi \cdot 180}}$$

$$d_{\check{c}} = 29,62 \text{ mm}$$

Dle [39] volen průměr čepu  $d_{\check{c}} = 36 \text{ mm}$

kde:

$\sigma_{Do}$  [MPa] - dovolené napětí materiálu E335 v ohybu

$\sigma_o$  [MPa] - napětí materiálu v ohybu

$d_{\check{c}}$  [mm] - průměr čepu

**KONTROLA ČEPU NA STŘIH**

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot S_{\check{c}}} \leq \tau_{Ds} \quad (4)$$

$$\tau_s = \frac{F}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_{\check{c}}^2}{4}} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot F}{\pi \cdot d_{\check{c}}^2} \leq \tau_{Ds}$$

$$\tau_s = \frac{2 \cdot 17490}{\pi \cdot 36^2} \leq 105$$

$$\tau_s = 8,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_s = 8,6 \text{ MPa} \leq 105 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde:

$\tau_{Ds}$	[MPa]	- dovolené smykové napětí materiálu E335
$\tau_s$	[MPa]	- smykové napětí materiálu
$S_{\check{c}}$	[mm <sup>2</sup> ]	- střižná plocha čepu

**KONTROLA PODMÍNKY HMH**

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \leq \sigma_{Dov} \quad (5)$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_o^2 + 3 \cdot \tau_s^2} \leq \frac{R_{eH}}{k}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{100,2^2 + 3 \cdot 8,6^2} \leq \frac{295}{2}$$

$$101,3 \text{ MPa} \leq 147,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde:

$R_{eH}$	[MPa]	- mez kluzu materiálu E335
$\sigma_{red}$	[MPa]	- redukované napětí dle podmínky HMH
k	[-]	- součinitel bezpečnosti

**KONTROLA ČEPU NA OTLAČENÍ**

$$p = \frac{F}{S_p} \leq p_D \quad (6)$$

$$p = \frac{F}{a \cdot d_\xi} \leq p_D$$

$$p = \frac{17490}{20 \cdot 36} \leq 90$$

$$p = 24,3 \text{ MPa}$$

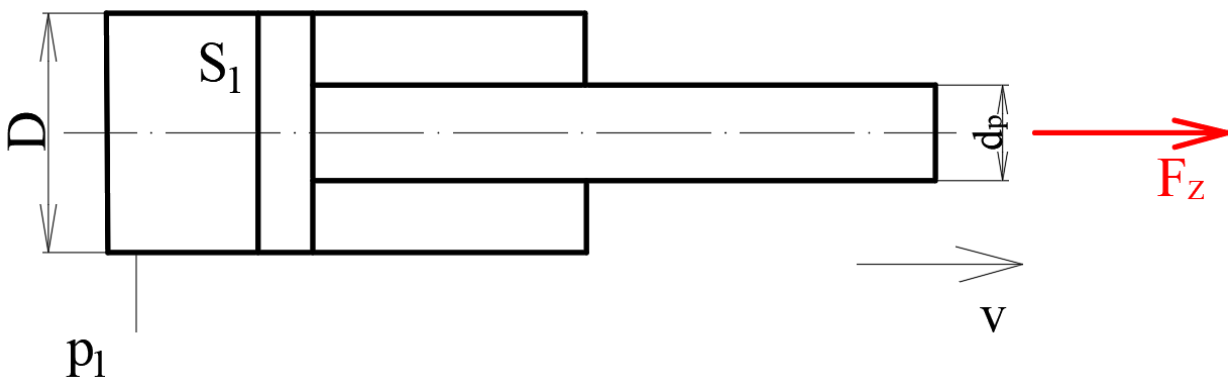
$$24,3 \text{ MPa} \leq 90 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde:

$p$	[MPa]	- stykový tlak
$p_d$	[MPa]	- dovolené otláčení materiálu E335
$a$	[mm]	- šířka spoje

**8.3 NÁVRH PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU**

Tato kapitola zahrnuje návrh dvou jednočinných přímočarých hydromotorů, které se využívají k naklápění naklápěcí hlavy. Jelikož jsou průtokové ztráty hydromotorů zanedbatelné, ve výpočtech nejsou uvažovány.



Obr. 43 Schéma přímočarého hydromotoru

**SÍLA PRO NÁVRH PŘIMOČARÉHO HYDROMOTORU**

Při návrhu přímočarého hydromotoru je po konzultaci s vedoucím práce jmenovitá zatěžující síla  $F$  ještě vynásobena součinitelem  $k_t$  vyjadřujícím vliv třecích odporů těsnění pístu a pístnice. Tímto je získaná jmenovitá síla pro návrh přímočarého hydromotoru.

$$F_z = F \cdot k_t \quad (7)$$

$$F_z = 17490 \cdot 1,1$$

$$F_z = 19239N$$

kde:

$F_z$	[N]	- jmenovitá síla pro návrh hydromotoru
$k_t$	[-]	- součinitel vlivu třecích odporů těsnění

**SILOVÁ ROVNOVÁHA NA HYDROMOTORU**

Vstupní tlak hydromotoru je  $p_1=21,6\text{MPa}$ , jde o maximální hydraulický tlak přídatného okruhu rypadla. Výstupní tlak z hydromotoru je  $p_2=0\text{MPa}$ , jelikož se jedná o jednočinný hydromotor.

$$p_1 \cdot S_1 - p_2 \cdot S_2 + F_z = 0 \quad (8)$$

$$p_1 \cdot S_1 = F_z$$

kde:

$p_1$	[MPa]	- vstupní provozní tlak kapaliny
$p_2$	[MPa]	- výstupní tlak kapaliny
$S_1$	[mm <sup>2</sup> ]	- pracovní plocha pístu
$S_2$	[mm <sup>2</sup> ]	- pracovní plocha pístu

**VÝPOČET PRACOVNÍ PLOCHY PÍSTU**

$$S_1 \geq \frac{F_z}{p_1} \quad (9)$$

$$S_1 \geq \frac{19239}{21,6}$$

$$S_1 \geq 890,7 \text{ mm}^2 \doteq 891 \text{ mm}^2$$

**VÝPOČET PRŮMĚRU PÍSTU**

$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (10)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S_1}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 891}{\pi}}$$

$$D = 33,7 \text{ mm}$$

Volím vnější průměr pístu  $D=36\text{mm}$ , tento průměr je zároveň vnitřním průměrem válce.

kde:

$D$  [mm] - průměr vrtání válce (průměr pístu)

**8.4 VOLBA HYDROMOTORU**

Na základě výpočtu je zvolen jednočinný přímočarý hydromotor ZHPL od firmy Hydraulics s.r.o., který je určený pro středně těžké až těžké provozní podmínky. [40]

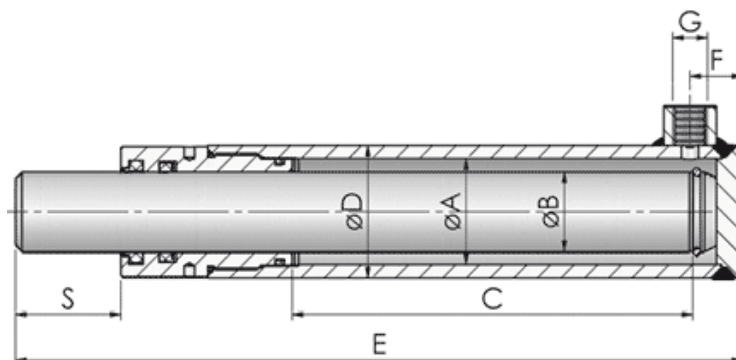
Přímočarý hydromotor ZHPL je prvek, který přeměňuje tlakovou energii na energii mechanickou – axiální sílu pístní tyče v jednom směru – výsuvu. Zpětný pohyb pístní tyče musí být zajištěn vnější silou. [40]

Firma Hydraulics s.r.o. standartně nabízí několik typů uchycení v různé kombinaci, proto lze tento přímočarý hydromotor využít v konstruovaném zařízení, kde je k tělesu hydromotoru přivařen uchycovací plech a pístní tyč nemá uchycovací oko, ale pouze rovnou tlačnou plochu.

Z hlediska možného působení radiální síly má tento hydromotor ve víku válce přesnější, masivnější a těsnější vedení pístní tyče, které je vyrobeno z bronzu. To musí zajišťovat minimální vůli mezi pístnicí a tímto vedením. Tím dojde k zamezení styku pístní tyče s vnitřním průměrem víka, ve kterém je osazeno těsnění, a nedojde k následnému vydírání pístní tyče. Tato úprava přímočarého hydromotoru slouží k co největší eliminaci radiální síly.

Parametry hydromotoru [40]:

- maximální tlak  $p_{\text{MAX}}=25\text{MPa}$ ,
- maximální pracovní rychlost  $v=0,5 \text{ ms}^{-1}$
- vrtání válce (průměr pístu)  $D=36\text{mm}$
- zdvih  $Z=103\text{mm}$



Obr. 44 Jednočinný přímočarý hydromotor [40]

Firma Hydraulics s.r.o. využívá při výrobě hydromotorů běžně používané jakosti materiálů i doporučený rozsah zdvihu hydromotoru. Zároveň je však výrobce schopen splnit požadavek zákazníka a vyrobit hydromotor z jakékoliv požadované jakosti materiálu, a ke všemu i s vyšším zdvihem a jakoukoliv tepelnou úpravou pístní tyče.

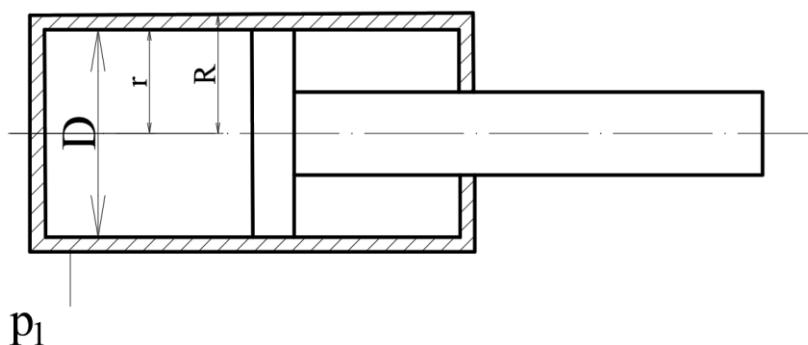
## 8.5 KONTROLA TLOUŠŤKY STĚNY TĚLESA HYDROMOTORU

Jedná se o hydromotor vyráběný na zakázku, jehož parametry jsou rozdílné od parametrů uváděných v katalogu výrobce, které jsou standartní pro výrobu. Proto výrobce doporučuje provést kontrolní výpočet tloušťky stěny válce hydromotoru.

Firma Hydraulics.cz nabízí pro výrobu tělesa hydromotoru dvě oceli. Jedná se o oceli ST52.0 a ST52.3 BK+S. Pro těleso hydromotoru je zvolena ocel ST52.3 BK+S (E355SR). Tato ocel je dle ČSN podobná oceli 11 523. Jde o nízkouhlikovou třídu se zaručenou svařitelností. Tento materiál je nejběžnější a nejvíce používaný při výrobě přímočarých hydromotorů. [41]

Tab. 9 Mechanické vlastnosti oceli ST52.3 BK+S [41]

ocel ST52.3 BK+S (E355SR)		
Minimální mez pevnosti v tahu	$R_m$ [MPa]	500
Minimální mez kluzu	$R_{eH}$ [MPa]	355



Obr. 45 Tloušťka stěny přímočarého hydromotoru

**NAPĚTÍ NA VNITŘNÍM POVRCHU**

$$\sigma_{r1} = -p_1 \quad (11)$$

$$\sigma_{r1} = -21,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t1} = p_1 \cdot \frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} \quad (12)$$

$$\sigma_{t1} = 21,6 \cdot \frac{27,5^2 + 18^2}{27,5^2 - 18^2}$$

$$\sigma_{t1} = 54 \text{ MPa}$$

kde:

$\sigma_{r1}$	[MPa]	- radiální napětí na vnitřním povrchu
$\sigma_{t1}$	[MPa]	- tečné napětí na vnitřním povrchu
$R$	[mm]	- vnější poloměr válce
$r$	[mm]	- vnitřní poloměr válce

**REDUKOVANÉ NAPĚTÍ NA VNITŘNÍM POVRCHU DLE GUESTA**

$$\sigma_{red1} = \sigma_{t1} - \sigma_{r1} \quad (13)$$

$$\sigma_{red1} = 54 - (-21,6)$$

$$\sigma_{red1} = 75,6 \text{ MPa}$$

kde:

$\sigma_{red1}$	[MPa]	- redukované napětí na vnitřním povrchu
-----------------	-------	---

**NAPĚTÍ NA VNĚJŠÍM POVRCHU**

$$\sigma_{r2} = 0 \quad (14)$$

$$\sigma_{t2} = p_1 \cdot \frac{2 \cdot r^2}{R^2 - r^2} \quad (15)$$

$$\sigma_{t2} = 21,6 \cdot \frac{2 \cdot 18^2}{27,5^2 - 18^2}$$

$$\sigma_{t2} = 32,4 \text{ MPa}$$

kde:



- $\sigma_{r2}$  [MPa] - radiální napětí na vnějším povrchu  
 $\sigma_{t2}$  [MPa] - tečné napětí na vnějším povrchu

**REDUKOVANÉ NAPĚTÍ NA VNĚJŠÍM POVRCHU DLE GUESTA**

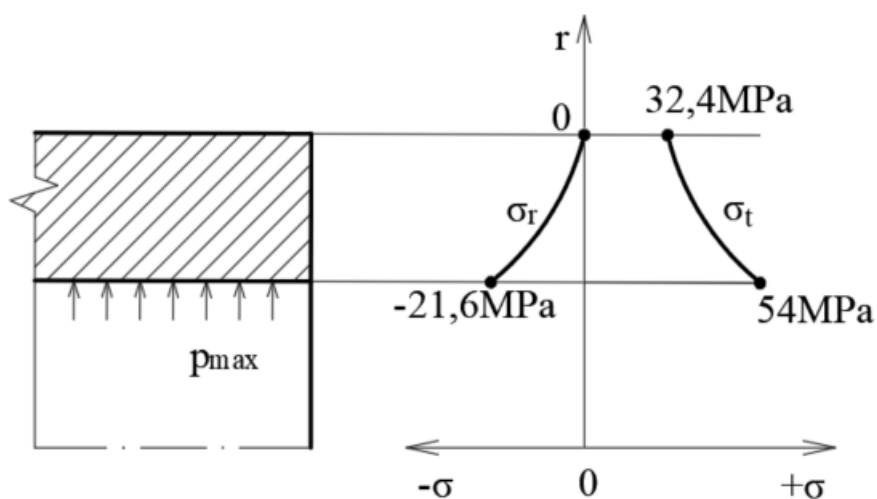
$$\sigma_{red2} = \sigma_{t2} - \sigma_{r2} \quad (16)$$

$$\sigma_{red2} = 32,4 - 0$$

$$\sigma_{red2} = 32,4 \text{ MPa}$$

kde:

- $\sigma_{red2}$  [MPa] - redukované napětí na vnějším povrchu

**PRŮBĚH NAPĚTÍ VE STĚNĚ TĚLESA**

Obr. 46 Průběh napětí ve stěně tělesa přímočarého hydromotoru

**MAXIMÁLNÍ REDUKOVANÉ NAPĚTÍ**

$$\sigma_{red\ max} = \sigma_{red1} \quad (17)$$

$$\sigma_{red\ max} = 75,6 \text{ MPa}$$

kde:

- $\sigma_{red\ max}$  [MPa] - maximální redukované napětí

**BEZPEČNOST TLOUŠŤKY STĚNY PŘI  $P_{MAX}$** 

$$k_{T1} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{red\ max}} \quad (18)$$

$$k_{T1} = \frac{355}{75,6} = 4,7$$

kde:

$k_{T1}$ [-]	- bezpečnost tloušťky stěny
$R_{eH}$ [MPa]	- mez kluzu materiálu ST52.3 BK+S (E355SR)

Tloušťka stěny válce pro provoz vyhovuje.

**8.6 KONTROLA PÍSTNÍ TYČE NA VZPĚŘ**

Jelikož se jedná o jednočinný přímočarý hydromotor, jsou píst a pístnice jednou součástí se stejným průměrem.

Na doporučení výrobce (Hydraulics.cz) je provedena kontrola pístní tyče na vzpěr, protože zvolený hydromotor je vyráběný na zakázku a má rozdílné parametry od katalogových parametrů.

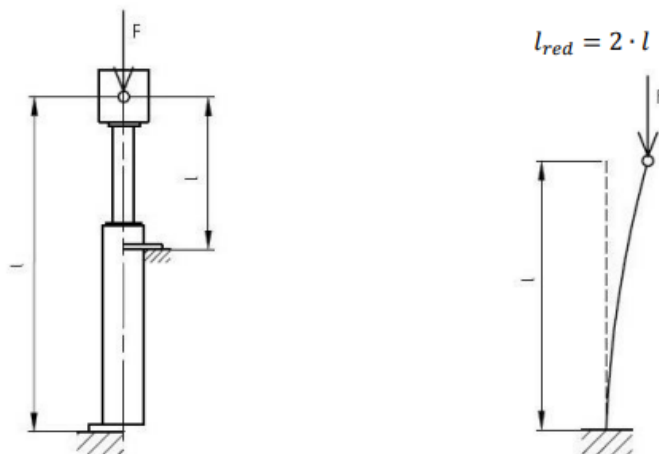
Firma Hydraulics.cz nabízí pro výrobu pístní tyče dvě oceli. Jedná se o oceli 20MnV6 a 42CrMo4. Pro pístní tyč přímočarého hydromotoru využitou v naklápěcí hlavě je zvolena ocel 42CrMo4, dle ČSN je tento materiál podobný oceli 15 341. Jde o slitinovou ocel, která je zakalená a popuštěná v lázni. Využívá se pro vysoce namáhané součásti v náročných provozních podmínkách, kde hrozí její mechanické poškození. Pístní tyč se indukčně kalí, toto tepelné zpracování zvyšuje tvrdost povrchu a také otěruvzdornost. Tato ocel je vhodnější pro vlastní konstrukční řešení naklápěcí hlavy právě z hlediska vyšší tvrdosti povrchu a otěruvzdornosti než ocel 20MnV6, kvůli které by docházelo k otěru čela pístní tyče. [42]

Tab. 10 Mechanické vlastnosti oceli 42CrMo4 [42]

ocel 42CrMo4		
Minimální mez pevnosti v tahu	$R_m$ [MPa]	900
Minimální mez kluzu	$R_{eH}$ [MPa]	650

**REDUKOVANÁ DÉLKA**

Pro výpočet je důležitý způsob uložení hydromotoru, z něhož vychází vztah pro redukovanou délku.



Obr. 47 Uložení hydromotoru a redukovaná délka [43]

$$L_{red} = 2 \cdot Z \quad (19)$$

$$L_{red} = 2 \cdot 103$$

$$L_{red} = 206 \text{ mm}$$

kde:

$L_{red}$  [mm] - redukovaná délka

$Z$  [mm] - zdvih

**MOMENT SETRVAČNOSTI**

$$J = \frac{\pi \cdot d_p^4}{64} \quad (20)$$

$$J = \frac{\pi \cdot 36^4}{64}$$

$$J = 82448 \text{ mm}^4$$

kde:

$J$  [mm<sup>4</sup>] - moment setrvačnosti plochy pro kruhový průřez

$d_p$  [mm] - průměr pístnice

**POLOMĚR SETRVAČNOSTI**

$$i = \sqrt{\frac{J}{S_1}} \quad (21)$$

$$i = \sqrt{\frac{82448}{891}}$$

$$i = 9,6 \text{ mm}$$

kde:

$$i \quad [\text{mm}] \quad - \text{ poloměr setrvačnosti plochy průřezu pístnice}$$

### ŠTÍHLOST PÍSTNICE

$$\lambda = \frac{L_{red}}{i} \quad (22)$$

$$\lambda = \frac{206}{9,6}$$

$$\lambda = 21,5$$

kde:

$$\lambda \quad [-] \quad - \text{ štíhlost pístnice}$$

### POROVNÁNÍ ŠTÍHLOSTÍ

Kontrola na vzpěrnou stabilitu se provádí podle několika následujících pravidel:

$$\lambda \leq 40 \quad \Rightarrow \text{kontrola na prostý tah/tlak} \quad (23)$$

$$40 < \lambda \leq \lambda_m \quad \Rightarrow \text{kontrola dle Tetmajera} \quad (24)$$

$$\lambda > \lambda_m \quad \Rightarrow \text{kontrola dle Eulera} \quad (25)$$

kde:

$$\lambda_m \quad [-] \quad - \text{ mezní štíhlost}$$

$$\lambda \leq 40$$

$$21,5 \leq 40 \quad \Rightarrow \text{kontrola na prostý tah/tlak}$$

## 8.7 KONTROLA PÍSTNÍ TYČE NA TLAK

Polotovarem pro pístnici je zvolena indukčně kalená a chromovaná pístní tyč z materiálu 42CrMo4 (dle ČSN 15 341), jak je zmíněno výše (viz *Tab. 10*).

### DOVOLENÉ NAPĚTÍ

$$\sigma_D = \frac{R_{eH}}{K_p} \quad (26)$$

$$\sigma_D = \frac{650}{2}$$

$$\sigma_D = 325 \text{ MPa}$$

kde:

$R_{eH}$	[MPa]	- mez kluzu materiálu 42CrMo4
$k_p$	[-]	- součinitel bezpečnosti určený výrobcem
$\sigma_D$	[MPa]	- dovolené napětí

### KONTROLA NAMÁHÁNÍ

$$\sigma_H = p_1 \quad (27)$$

$$\sigma_H = 21,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_H \leq \sigma_D \quad (28)$$

$$21,6 \leq 325$$

kde:

$\sigma_H$	[MPa]	- tlakové napětí v pístnici
------------	-------	-----------------------------

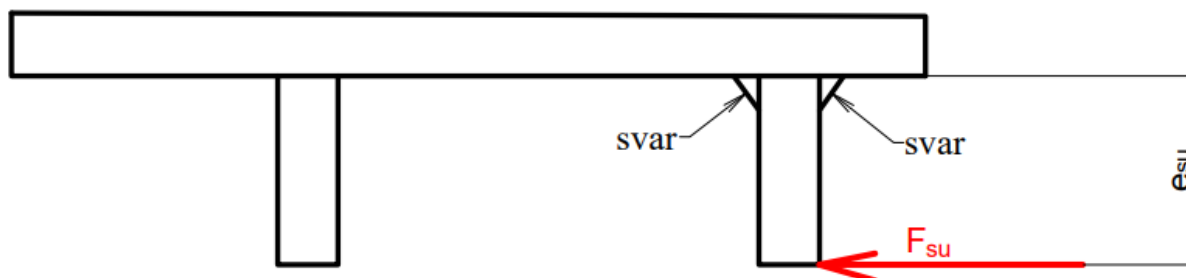
Pístnice vyhovuje z hlediska tlakového namáhání.

## 8.8 KONTROLA SVARŮ

V celé konstrukci se nachází velké množství svarů. Pro výpočet byly vybrány svary, u kterých lze předpokládat, že jde o kritické místo, a také lze očekávat namáhání svarového spoje na smyk, případně ohyb. Výpočet svaru je proveden dle normy ČSN 05 0120. [44]

### KONTROLA SVARŮ ÚCHYTŮ ČEPŮ

Úchyty čepů jsou k nosné konstrukci připevněny pomocí oboustranných koutových svarů. Tyto svary jsou kontrolovány na smyk. U těchto svarů se předpokládá, že se jedná o nejkritičtější místo. Z tohoto důvodu ostatní svary celé konstrukce už není potřeba kontrolovat.



Obr. 48 Schéma svaru úchytu čepu

**Dovolené napětí ve svaru:**

$$\tau_{DOVS} = \alpha_{\tau} \cdot \frac{R_{eH}}{k_{sv}} \quad (29)$$

$$\tau_{DOVS} = 0,65 \cdot \frac{355}{1,5}$$

$$\tau_{DOVS} = 153,8 \text{ MPa}$$

kde:

$\tau_{DOVS}$ [MPa]	- dovolené smykové napětí ve svaru
$\alpha_{\tau}$ [-]	- převodní součinitel svarového spoje
$k_{sv}$ [-]	- součinitel bezpečnosti svarového spoje

**Smykové napětí ve svaru:**

$$\tau_{su} = \frac{F_{su}}{2 \cdot 0,7 \cdot t \cdot l_{su}} \quad (30)$$

$$\tau_{su} = \frac{17490}{2 \cdot 0,7 \cdot 5 \cdot 130}$$

$$\tau_{su} = 9,6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{su} < \tau_{DOVS} \quad (31)$$

$$9,6 \text{ MPa} < 153,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

kde:

$\tau_{su}$ [MPa]	- smykové napětí ve svaru
$F_{su}$ [N]	- silové zatížení svaru
$t$ [mm]	- šířka koutového svaru
$l_{su}$ [mm]	- délka koutového svaru

**Smykové napětí ve svaru od ohybu:**

$$\tau_{so} = \frac{M_{os}}{2 \cdot W_{os}} \quad (32)$$

$$\tau_{so} = \frac{3 \cdot F_{su} \cdot e_{su}}{t \cdot l_{su}^2}$$

$$\tau_{so} = \frac{3 \cdot \frac{17490}{2} \cdot 38}{5 \cdot 130^2}$$

$$\tau_{so} = 11,8 \text{ MPa}$$

$$\tau_{so} < \tau_{DOVS} \quad (33)$$

$$11,8 \text{ MPa} < 153,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

kde:

$\tau_{so}$	[MPa]	- smykové napětí ve svaru od ohybu
$e_{su}$	[mm]	- vzdálenost působení síly

## 9 PEVNOSTNÍ ANALÝZA

K provedení pevnostní analýzy byl využit program MSC APEX. Pro výpočet jsou vybrány tři zátěžné stavy, které byly stanoveny jako nejhorší z hlediska namáhání celé ocelové konstrukce naklápečí hlavy. Pro pevnostní analýzu se využívají vypočtené hodnoty redukovaného napětí (von Misses) a posuzují se vzhledem k mezi kluzu zvoleného materiálu.

### 9.1 MATERIÁL MODELU

MKP modelu se musí přiřadit tloušťka jednotlivých prvků i materiálová charakteristika. V prostředí softwaru MSC Apex 2021.4 může být vytvořen vlastní materiál, kterému lze nastavit materiálové vlastnosti. Při návrhu MKP modelu byly zvoleny lineární materiály S355J2 a E335, u kterých je závislost mezi deformací a napětím lineární.

Materiálové konstanty zvolené oceli [39]:

- Modul pružnosti v tahu  $E=210\text{GPa}$
- Poissonova konstanta  $\mu=0,3$

#### OCEL S355J2

Jedná se o konstrukční, nelegovanou, jakostní ocel vyráběnou válcováním za tepla. Tato ocel se využívá pro svařované konstrukce, které jsou staticky i dynamicky namáhány. Ocel S355J2 je využita na celou ocelovou konstrukci naklápečí hlavy kromě čepu. Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedené v *Tab. 11*. [39]

*Tab. 11* Mechanické vlastnosti oceli S355J2 [39]

ocel S355J2		
Minimální mez kluzu	$R_{eH}$ [MPa]	355
Minimální pevnost v tahu	$R_m$ [MPa]	470

#### OCEL E335

Jedná se o konstrukční ocel obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku. Tato ocel je vhodná pro strojní součásti namáhané dynamicky i staticky, u kterých se nevyžaduje svařitelnost. Ocel E335 je využita na čep, který je osou rotace naklápečí hlavy. Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedené v *Tab. 12*. [39]

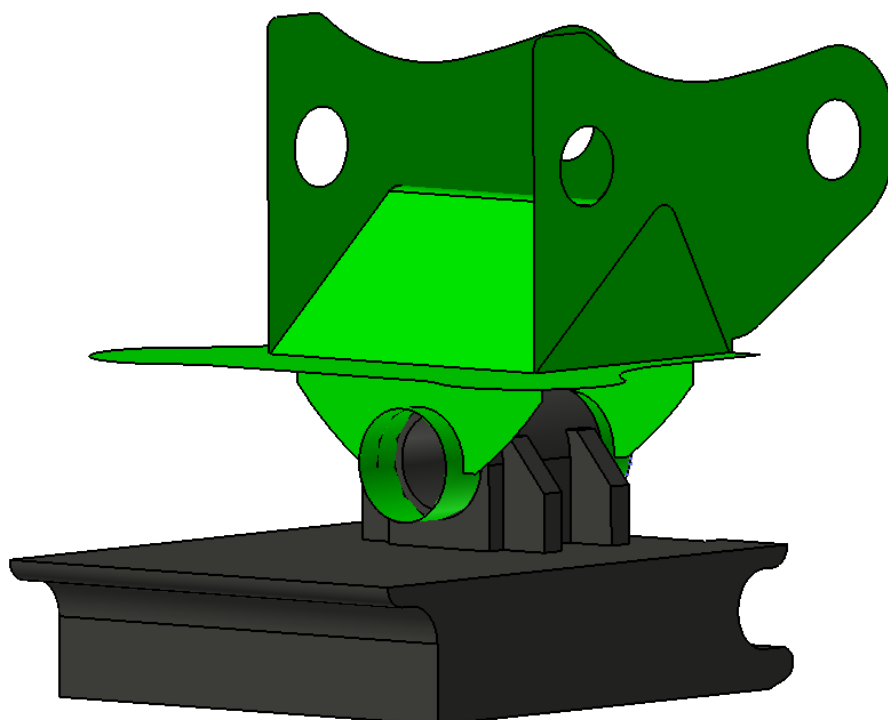
*Tab. 12* Mechanické vlastnosti oceli E335 [39]

ocel E335		
Minimální mez kluzu	$R_{eH}$ [MPa]	295
Minimální pevnost v tahu	$R_m$ [MPa]	590



## 9.2 GEOMETRIE MODELU

Do softwaru MSC Apex 2021.4 byla importována geometrie modelu. Tato geometrie vychází z konstrukce vlastního návrhu naklápečí hlavy. Následně došlo k částečné úpravě geometrie, protože by jinak výpočet probíhal za pomoci objemové konečno-prvkové sítě, což by vedlo k zbytečně časově náročnému výpočtu. Proto byla část geometrie převedena na zjednodušený skořepinový model, ve kterém jsou zanedbány zkosení, zaoblení a šroubové spoje, u kterých není nutné sledovat napětí nebo deformace. Dále byl model doplněn o náhrady čepů, které také zkracují čas výpočtu.

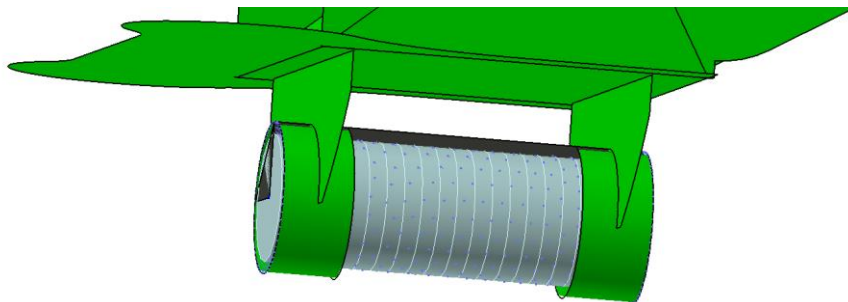


Obr. 49 Zjednodušený model naklápečí hlavy

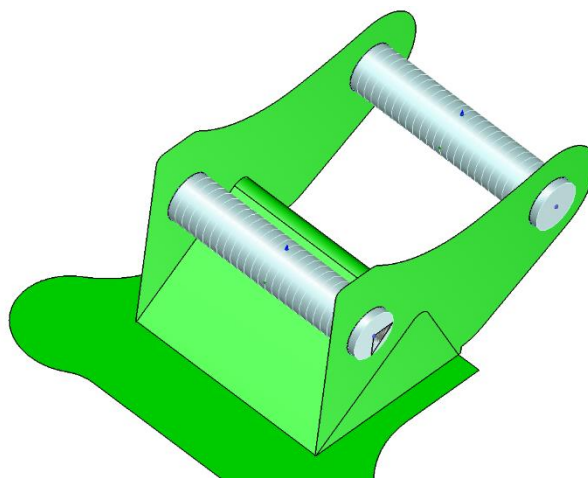
Skořepinový model je složen ze střednicových ploch. Tyto střednice nahrazují plechy a tloušťky těchto plechů, ze kterých je konstrukční návrh vytvořený. Zelená část na Obr. 49 vyznačuje zjednodušený skořepinový model a šedá část na Obr. 49 vyznačuje objemový model, který nelze převést na střednicové plochy.

### 9.2.1 NÁHRADA ČEPŮ

V konstrukci naklápečí hlavy se vyskytují tři čepy. Jedná se o čep spojující nosnou konstrukci a rychloupínač (Obr. 50) a dále o dva čepy (Obr. 51), kterými se naklápečí hlava upíná k násadě rypadla. Tyto čepy jsou nahrazeny pruty, které mají stanovené průřezové charakteristiky. Pruty jsou v místě uložení spojeny se skořepinovou sítí pomocí RBE3 prvku. To nám zajišťuje, že chování čepů bude odpovídat skutečnosti a spoje budou fungovat správně.



Obr. 50 Náhrada čepu spojující nosnou konstrukci a rychloupínač



Obr. 51 Náhrada čepů pro upnutí k násadě rypadla

### 9.3 OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Okrajové podmínky lze zadávat na předem vytvořenou geometrii modelu nebo také do uzlů konečno-prvkové sítě. Okrajové podmínky lze rozdělit na geometrické a silové. Správnost zadání okrajových podmínek je velice důležitá, jelikož mají značný vliv na výsledek. [46]

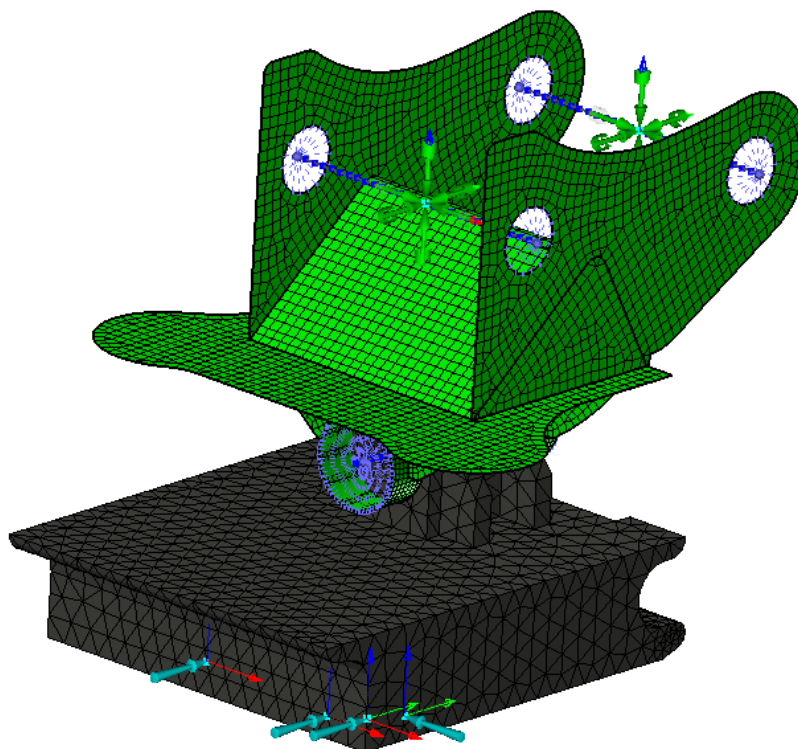
#### GEOMETRICKÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Do modelu jsou přidány geometrické okrajové podmínky proto, aby byly odebrány všechny stupně volnosti a tím bylo zamezeno pohybu modelu v prostoru.

Model naklápěcí hlavy je uchycen pomocí náhrad čepů, do kterých byly přidány dvě totožné geometrické okrajové podmínky. Jedná se o zamezení posuvu ve všech osách a také zamezení rotace ve všech osách kromě rotace kolem osy čepu. Geometrické okrajové podmínky byly zavedeny tak, aby chování výpočtového modelu co nejvíce odpovídalo skutečnosti.

#### SILOVÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Do modelu jsou vloženy dvě silové okrajové podmínky. První z nich je tíhová síla působící vertikálním směrem na celý model a druhá z nich je síla nebo dvojice sil působící na rychloupínač v daném směru, která vychází ze zátěžných stavů uvedených v kapitole 9.4.



Obr. 52 Model s okrajovými podmínkami

## 9.4 ZÁTĚŽNÉ STAVY

Po konzultaci s vedoucím diplomové práce je pro pevnostní výpočet uvažováno několik nejkritičtějších zátěžných stavů, které by mohly konstrukci namáhat natolik, že by došlo k deformacím. Mezi tyto zátěžné stavy se řadí síla působící na hraně břitu svahovací lopaty, síla působící uprostřed břitu podkopové lopaty a dvojice excentricky působících sil na podkopovou lopatu.

### 9.4.1 SÍLA PŮSOBÍCÍ NA HRANĚ BŘITU

Síla na hraně břitu lopaty (Obr. 53) způsobí kroutící moment a tímto vzniká smykové napětí v ocelové konstrukci naklápěcí hlavy. Tento zátěžný stav vzniká rýpnutím rypadla do země a zachycením hranou břitu lopaty o pevný předmět, který nelze vyrýpnout. Pro výpočet byla využita svahovací lopata, jelikož má největší délku, tudíž vzniká větší kroutící moment než u lopaty podkopové.

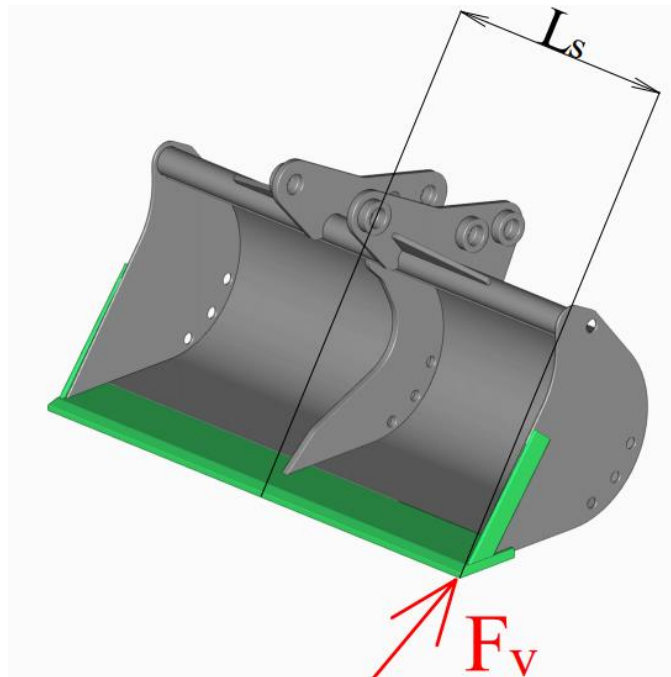
$$M_k = F_v \cdot L_s \quad (34)$$

$$M_k = 15900 \cdot 400$$

$$M_k = 6360000 \text{ Nmm}$$

kde:

$M_k$	[Nmm]	- kroutící moment
$L_s$	[mm]	- polovina délky svahovací lopaty (rameno působící síly)



Obr. 53 Schéma působící síly při zachycení hranou břitu [45]

#### 9.4.2 SÍLA PŮSOBÍCÍ UPROSTŘED BŘITU

Síla působící uprostřed břitu (Obr. 54) lopaty způsobuje ohybový moment, který se v ocelové konstrukci naklápačcí hlavy projeví jako normálové napětí. Tento zátěžný stav vzniká rýpnutím rypadla do zeminy a zachycením prostředkem břitu o pevný předmět, který nelze snadno vyrýpnout. Pro výpočet byla uvažována podkopová lopata, která má větší výšku než lopata svahovací, tudíž vzniká větší ohybový moment.

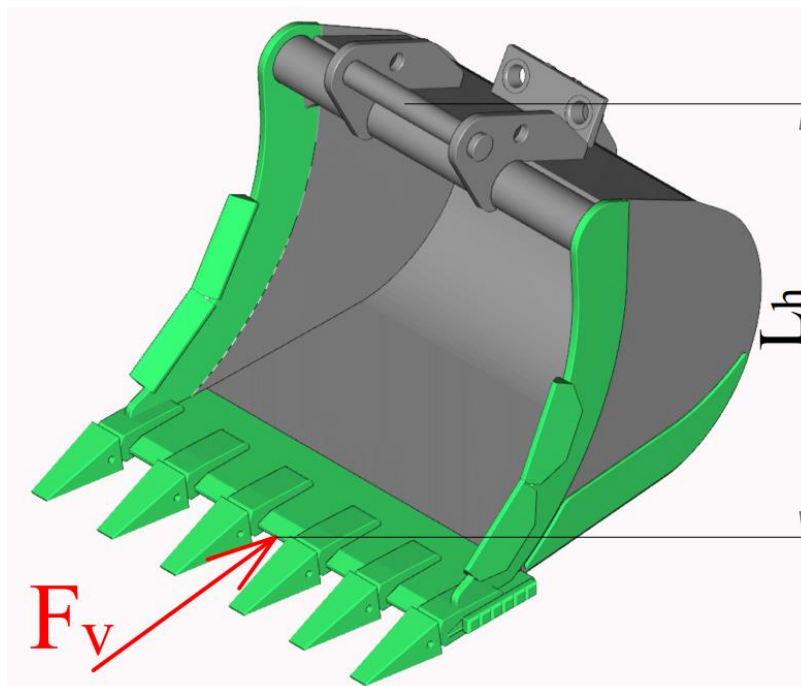
$$M_{op} = F_v \cdot (L_h + L_n) \quad (35)$$

$$M_{op} = 15900 \cdot (380 + 85)$$

$$M_{op} = 7393500 \text{ Nmm}$$

kde:

$M_{op}$	[Nmm]	- ohybový moment
$L_h$	[mm]	- výška podkopové lopaty
$L_n$	[mm]	- vzdálenost od rychloupínače k bodu otáčení naklápačcí hlavy



Obr. 54 Schéma působící síly uprostřed břitu [45]

### 9.4.3 DVOJICE EXCENTRICKY PŮSOBÍCÍCH SIL

Posledním zátěžným stavem je působení dvojice sil, jedna síla působí na břit a druhá na bočnici lopaty (Obr. 55). Obě tyto síly působí excentricky vůči bodu otáčení, kterým je čep, proto způsobují kroutící moment, který namáhá ocelovou konstrukci naklápací hlavy. Tento stav vzniká rýpnutím do zeminy a zachycením se o pevný předmět a následnou snahou uvolnit lopatu náklonem naklápací hlavy. Pro výpočet byla uvažována podkopová lopata.

#### OHYBOVÝ MOMENT OD SÍLY PŮSOBÍCÍ EXCENTRICKY NA BŘIT

$$M_{kf} = F_v \cdot L_{25} \quad (36)$$

$$M_{kf} = 15900 \cdot (0,75 \cdot 250)$$

$$M_{kf} = 2981250 \text{ Nmm}$$

kde:

$M_{kf}$	[Nmm]	- kroutící moment od excentricky působící síly na bočnici
$L_{25}$	[mm]	- rameno působící síly

**OHYBOVÝ MOMENT PŮSOBÍCÍ NA BOČNICI**

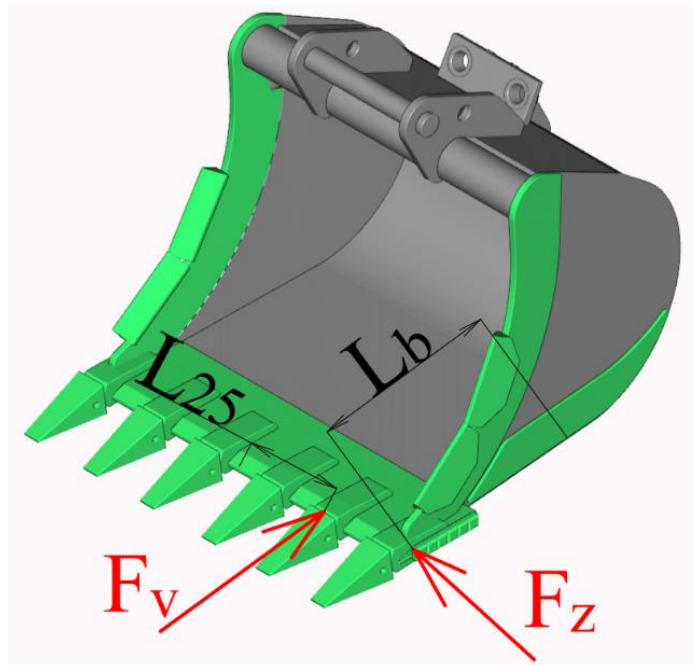
$$M_{kb} = F_z \cdot L_b \quad (37)$$

$$M_{kb} = 19239 \cdot 275$$

$$M_{kb} = 5290725 \text{ Nmm}$$

kde:

$M_{kf}$	[Nmm]	- kroutící moment od excentricky působící síly na bočnici
$L_b$	[mm]	- rameno působící síly



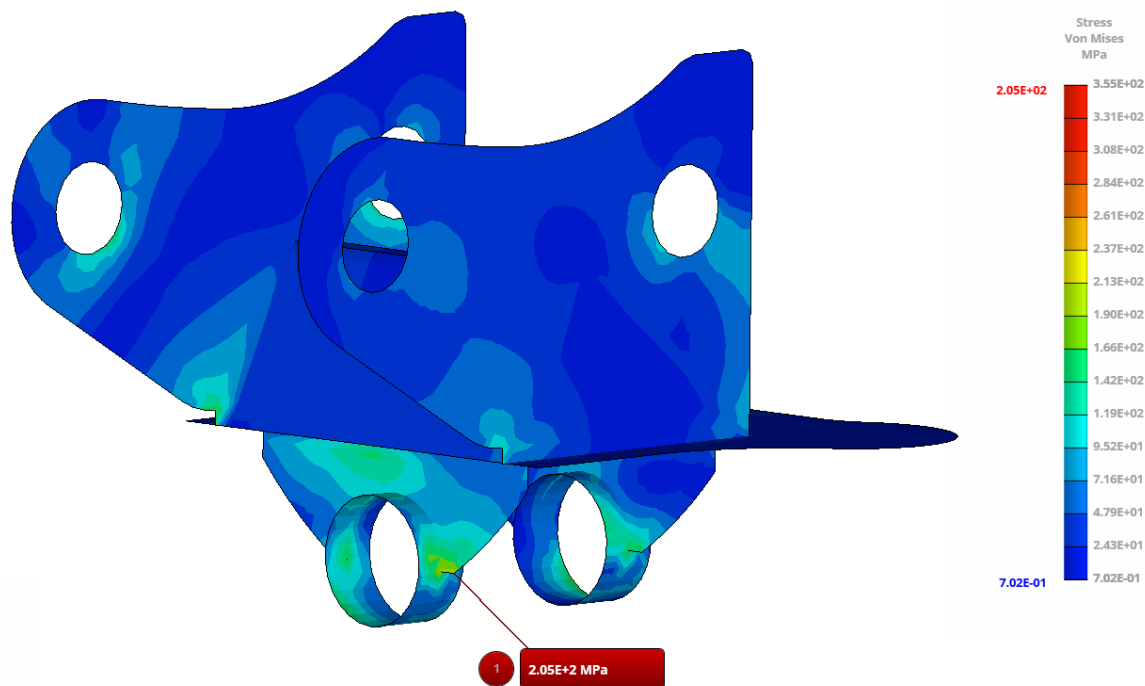
Obr. 55 Schéma působení excentrických sil na podkopovou lopatu [45]

**9.5 NAPĚŤOVÁ ANALÝZA NOSNÉ KONSTRUKCE**

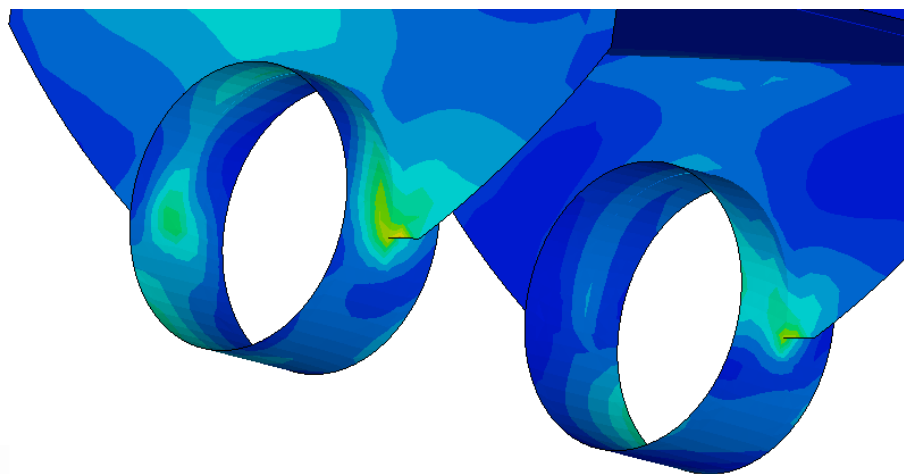
Napětíová analýza nosné konstrukce je provedena s uvažováním třech zátěžných stavů. Posuzuje se zde statická pevnost vzhledem k mezi kluzu materiálu S355J2. Z každého zátěžného stavu jsou pro posouzení vybrány maximální hodnoty redukovaného napětí (napětí von Mises).

**9.5.1 NAPĚŤOVÁ ANALÝZA PRO ZATÍŽENÍ SILOU PŮSOBÍCÍ NA HRANĚ BŘITU**

Redukované napětí v případě zatížení silou působící uprostřed břitu je nejvyšší v místě úchytu uložení čepu, kde napětí dosahuje 205 MPa (Obr. 56). Tato hodnota nepřesahuje mez kluzu zvoleného materiálu S355J2.



Obr. 56 Redukované napětí dle podmínky HMH, nosná konstrukce, síla působící na hraně břitu, rozsah napětí 0-355 MPa, maximální napětí 205 MPa



Obr. 57 Detail místa s maximálním napětím 205 MPa

#### SOUČINITEL BEZPEČNOSTI NOSNÉ KONSTRUKCE

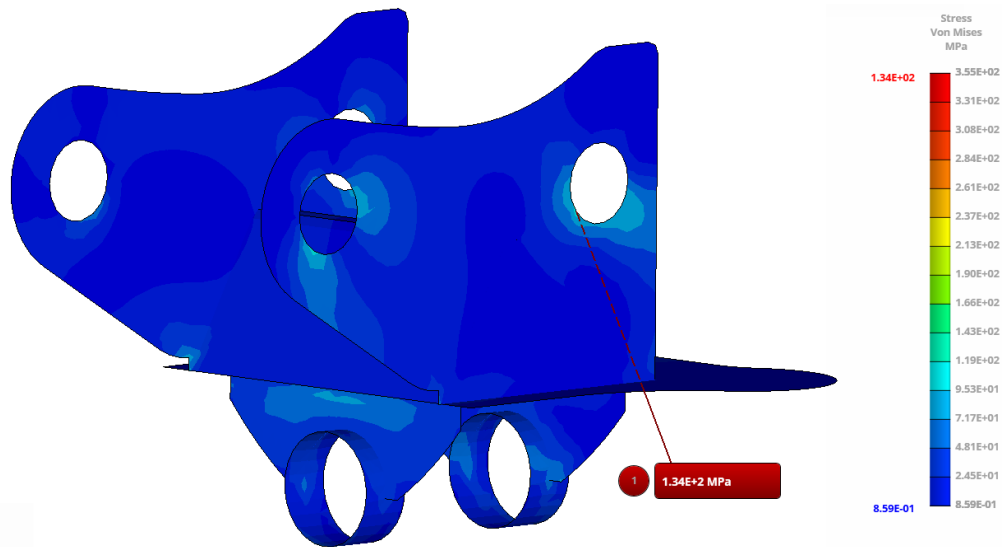
$$k_{n1} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{n1\max}} = \frac{355}{205} = 1,7 \quad (38)$$

kde:

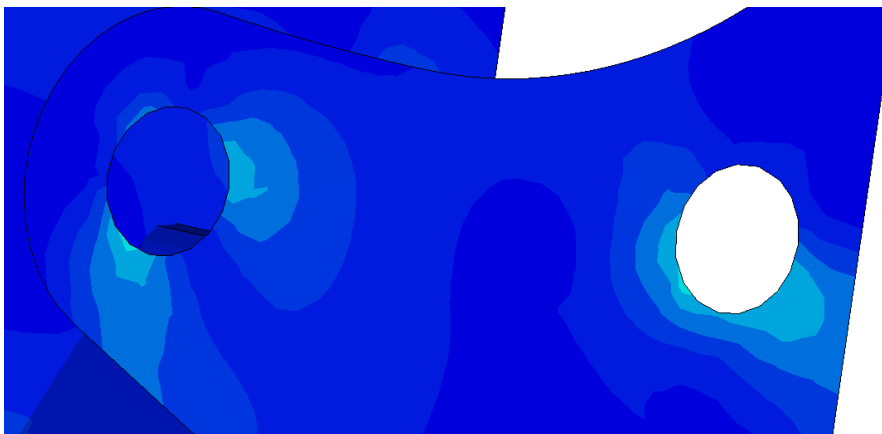
- |                         |   |
|-------------------------|---|
| $k_{n1}$ [-]            | - součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu materiálu S355J2 |
| $\sigma_{n1\max}$ [MPa] | - maximální napětí vznikající v konstrukci                |

### 9.5.2 NAPĚŤOVÁ ANALÝZA PRO ZATÍŽENÍ SILOU PŮSOBÍCÍ UPROSTŘED BŘITU

Nejvyšší hodnoty redukovaného napětí se nachází v místě uchycení čepu, který slouží k upnutí naklápěcí hlavy k násadě rypadla (Obr. 58). Nejvyšší hodnota vyskytujícího se redukovaného napětí u zmiňovaného zátěžného stavu je 134 MPa. Tato hodnota nepřesahuje mez kluzu zvoleného materiálu S355J2.



Obr. 58 Redukované napětí dle podmínky HMM, nosná konstrukce, síla působící uprostřed břitu, rozsah napětí 0-355 MPa, maximální napětí 134 MPa



Obrázek 59 Detail místa s maximálním napětím 134 MPa

#### SOUČINITEL BEZPEČNOSTI NOSNÉ KONSTRUKCE

$$k_{n2} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{n2max}} = \frac{355}{134} = 2,6 \quad (39)$$

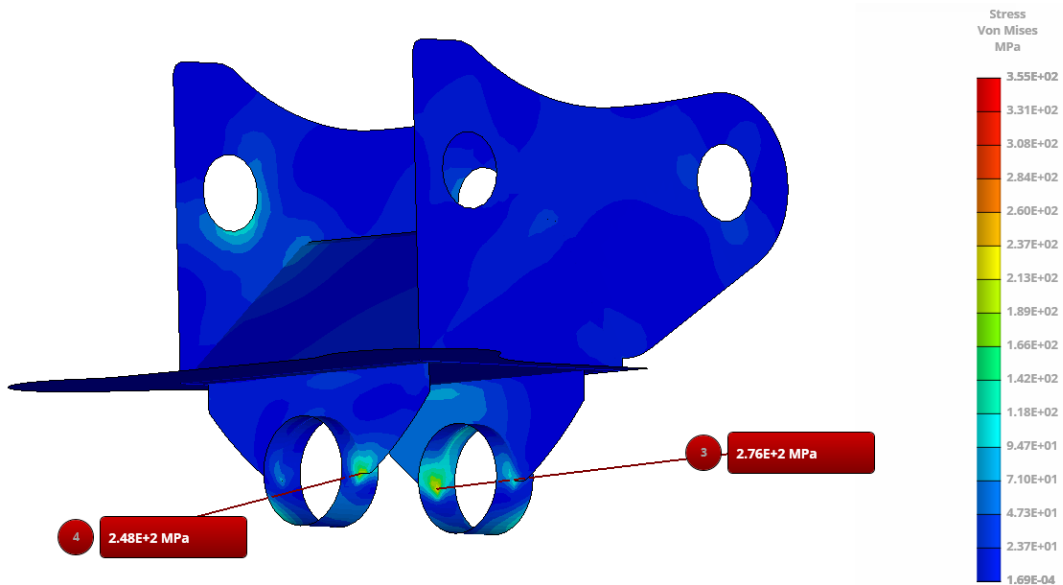
kde:

- |                        |   |
|------------------------|---|
| $k_{n2}$ [-]           | - součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu materiálu S355J2 |
| $\sigma_{n2max}$ [MPa] | - maximální napětí vznikající v konstrukci                |

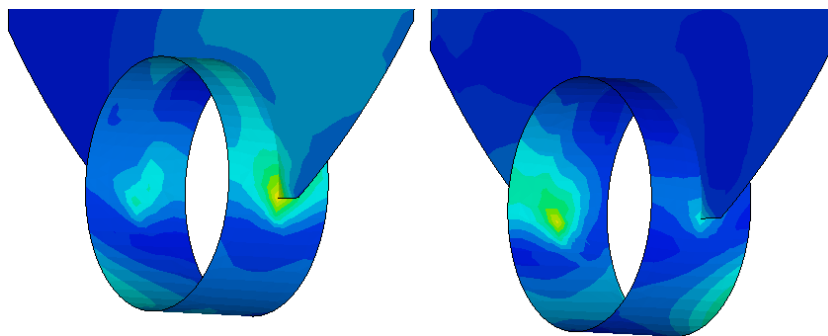


### 9.5.3 NAPĚŤOVÁ ANALÝZA PRO ZATÍŽENÍ DVOJICÍ EXCENTRICKY PŮSOBÍCÍCH SIL

Napěťová analýza pro zatížení dvojicí excentricky působících sil ukázala, že nejvyšší hodnoty redukovaného napětí se nacházejí v místech úchytů uložení čepu spojující nosnou konstrukci a rychloupínač (Obr. 60). Vyskytuje se zde redukované napětí dosahující hodnoty 276 MPa, toto napětí je poměrně vysoké oproti ostatním zmiňovaným maximálním napětím u předešlých zátěžných stavů, ale taktéž nedojde k přesažení meze kluzu zvoleného materiálu S355J2.



Obr. 60 Redukované napětí dle podmínky HMM, nosná konstrukce, dvojice excentricky působících sil, rozsah napětí 0-355 MPa, maximální napětí 276 MPa



Obrázek 61 Detail místa s maximálním napětím 276 MPa

#### SOUČINITEL BEZPEČNOSTI NOSNÉ KONSTRUKCE

$$k_{n3} = \frac{R_{eH}}{\sigma_{n3\max}} = \frac{355}{276} = 1,3 \quad (40)$$

kde:

- |                   |       |   |
|-------------------|-------|---|
| $k_{n3}$          | [-]   | - součinitel bezpečnosti vůči mezi kluzu materiálu S355J2 |
| $\sigma_{n3\max}$ | [MPa] | - maximální napětí vznikající v konstrukci                |

## 10 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Jedním z cílů této diplomové práce je snaha minimalizovat výrobní cenu. Proto tato kapitola zahrnuje veškeré náklady, které jsou s výrobou naklápečí hlavy spřaženy. Cena je vypočítána na jeden kus naklápečí hlavy.

Do celkové výrobní ceny (*Tab. 13*) je zahrnuta cena výroby nosné konstrukce (vypalování, svařování, materiál), toto nacenění provedla firma CUTCO Steel s.r.o., dále je zde zahrnuta cena speciálně na zakázku vyráběných přímočarých hydromotorů od firmy Hydraulics.cz. Součástí celkové ceny je také všechn spojovací a mazací materiál jako jsou šrouby, podložky, matice, kluzné pouzdro, maznice, a také hydraulické prvky, jako jsou šroubení, úhlové spojky, hadice a brzdící ventily. Dále je zde také zahrnuta cena za obrábění.

*Tab. 13* Celková cena

Popis	Cena (bez DPH) [Kč]
Vypalování	937
Svařování	1750
Obrábění	4800
Spojovací a mazací materiál	243
Hydraulické prvky	3046
Přímočaré hydromotory	14000
Rychloupínač	12000
<b>Celková</b>	<b>36776</b>

Ceny naklápečích hlav na trhu pro rypadla hmotnostní kategorie 2 tuny, které se nakládají pomocí přímočarých hydromotorů, se pohybují lehce nad hranicí 60 000 Kč bez DPH. Dle požadavků firmy STAVES s.r.o. bylo snahou minimalizovat výrobní náklady, aby se navržená hlava dala prodávat za co nejmenší cenu. Nejvíce se výrobní cena minimalizovala především svařovanou konstrukcí z dílců, které jsou vypáleny laserem z ocelových plechů. Svařování a vypalování jsou poměrně levné práce. Celková výrobní cena je přibližně 36 776 Kč (*Tab. 13*).

## ZÁVĚR

Úvodní část práce se zabývala problematikou naklápěcích hlav, kde jsou popsány jednotlivé konstrukční typy, hlavní části zařízení a pracovní nástroje, které jsou kompatibilní s naklápěcími hlavami. V úvodní části je také obsažena kritická rešerše konstrukčních řešení naklápěcích hlav od vybraných světových výrobců.

Konstrukční část práce se věnovala návrhu vlastního konstrukčního řešení naklápěcí hlavy. V této části práce jsou uvedeny požadavky na konstrukci naklápěcí hlavy, volba konstrukčního řešení s odůvodněním a je zde také provedena analýza vlastního konstrukčního návrhu. Následně je na základě požadavků firmy STAVES s.r.o. a vypracované rešerše proveden vlastní návrh naklápěcí hlavy. Dále je zde popsána funkce naklápěcí hlavy, parametry a jednotlivé konstrukční uzly.

Výpočetní část se věnovala návrhu hlavních částí naklápěcí hlavy. V této části diplomové práce je proveden návrh čepu, který je osou naklápění, a jeho následná kontrola na stříh, otlacení a kombinované namáhání dle podmínky HMM. Dále je proveden návrh přímočarých hydromotorů a následná kontrola tloušťky stěny hydromotoru a pístní tyče na vzpěr. Na závěr výpočetní části je provedena kontrola svaru nejkritičtějšího místa na svařenci nosné konstrukce.

V části práce s názvem kapitoly „Pevnostní analýza“ je vytvořen konečno-prvkový model pro provedení pevnostního výpočtu. V této kapitole je proveden také rozbor nejkritičtějších zátěžných stavů, které byly aplikovány na výpočtový model. Jsou zde také uvedeny materiály, pro které se daný pevnostní výpočet uvažoval. Při žádném ze tří zmiňovaných zátěžných stavů nedošlo k překročení meze kluzu zvoleného materiálu S355J2. Nejvyšší redukované napětí vyšlo v zátěžném stavu, kde působí dvojice excentrických sil. Zde tato hodnota dosahovala 276 MPa. Pevnostní analýza byla provedena v programu MSC Apex 2021.4.

V poslední části je provedeno ekonomické zhodnocení, které je ve spolupráci s firmou CUTCO Steel, která vyrábí výpalky a svařence. V této části jsou sečteny ceny jednotlivých částí, které se nakoupily nebo nechaly vyrobit. Celková cena činí 36 776 Kč.

Jelikož se jedná o naklápěcí hlavu určenou pro mini-rypadla o hmotnostní kategorii jen do 2 tun, která se využívají na malé výkopové práce, dalo by se říct spíše na „zahradní práce“, není v této diplomové práci početně řešeno radiální namáhání přímočarých hydromotorů, které může v některých případech nastat. Tento problém je zde ošetřen přesnějším a těsnějším vedením pístní tyče po konzultaci s firmou Hydraulics.cz. Kdyby se naklápěcí hlava měla vyrábět pro rypadla pro větší hmotnostní kategorie musela by se problematika vzniku radiální síly ošetřit početně a popřípadě provést příslušné úpravy.

Na závěr byla vytvořena výkresová dokumentace. Konkrétněji se jedná o výkres celkové sestavy a výkres svařence nosné konstrukce.

Při tvorbě vlastního konstrukčního návrhu naklápěcí hlavy bylo dosaženo šířky 240 mm, konstrukční výšky 268 mm, celkového úhlu naklápění 60°, maximálního naklápěcího momentu 1780 Nm a hmotnosti celé naklápěcí hlavy 30 kg.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Naklápěcí hlavy KINSHOFER. *JLdemtech* [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.jldemtech.cz/naklapeci-hlavy/>
- [2] Naklápěcí rotátor. *Bagry.cz* [online]. 2010 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: [https://bagry.cz/clanky/technika/naklapeci\\_rotator\\_ocelove\\_zapesti\\_pro\\_vase\\_rypadlo](https://bagry.cz/clanky/technika/naklapeci_rotator_ocelove_zapesti_pro_vase_rypadlo)
- [3] Unique tilting coupler. *Parker* [online]. 2018 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://blog.parker.com/site/usa/en-US/details-home-page/unique-tilting-coupler-technology-gives-construction-firm-competitive-edge-us>
- [4] Excavator dexterity. *Compact Equipment* [online]. 2019 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://compactequip.com/excavators/excavator-dexterity-tilt-and-tiltrotator-couplers-enhance-flexibility-accuracy-and-efficiency/>
- [5] Naklápěcí rotátory. *Naklapecirotatory.cz* [online]. 2011 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: [http://naklapecirotatory.cz/steelwrist\\_x04.php](http://naklapecirotatory.cz/steelwrist_x04.php)
- [6] JOHNSTON, Simon. Rams vs Motors. In: *Attach2* [online]. 2020 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.attach2.com/au/blog/which-tilting-quick-hitch-rams-vs-motors>
- [7] Twin-Ram vs Rotary Tilt Couplers. In: *Wedglock* [online]. 2021 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.wedglock.com/news/twin-ram-tilt-or-rotary-tilt-coupler>
- [8] Mini excavator hitch. In: *Tiltmann* [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://tiltmannz.co.nz/>
- [9] Tilting coupler. In: *Solution Parker* [online]. 2013 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <http://solutions.parker.com/power tilt>
- [10] Powertilt mechanical pin grab coupler. *Amiattachments* [online]. 2020 [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.amiattachments.com/product/power-tilt-mechanical-pin-grab-coupler/>
- [11] Powertilt. In: *Bobcat* [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/na/en/attachments/power-tilt>
- [12] Powertilt Series: Service and repair manual [online]. In: *Parker corporation*, 2013, s. 60 [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: [https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Industrial-Cylinder/Helac/PDF-files/Helac\\_Series\\_PowerTilt\\_Service\\_Manual\\_HY34-1410.pdf](https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Industrial-Cylinder/Helac/PDF-files/Helac_Series_PowerTilt_Service_Manual_HY34-1410.pdf)
- [13] MEDUNA, Petr. Standardy rychloupínačů. In: *Bagry.cz* [online]. 2010 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: [https://bagry.cz/clanky/technika/standardy\\_rychloupinacu\\_pro\\_rypadla\\_aneb\\_jak\\_se\\_v\\_nich\\_vyznat](https://bagry.cz/clanky/technika/standardy_rychloupinacu_pro_rypadla_aneb_jak_se_v_nich_vyznat)

- [14] Schnellwechsler. *Lehnhoff* [online]. 2022 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.lehnhoff.de/lehnhoff-startseite>
- [15] Severský standard rychloupínačů. *Naklapecirotatory.cz* [online]. 2011 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: [http://www.naklapecirotatory.cz/rychloupinace\\_standard.php](http://www.naklapecirotatory.cz/rychloupinace_standard.php)
- [16] Tilt coupler [online]. In: *Doherty*, 2020, s. 53 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: [https://www.dohertydirect.net/wordpress/wp-content/uploads/2021/01/SA462075-1.4\\_D-Lock\\_HDT\\_Manual\\_R1.4.pdf](https://www.dohertydirect.net/wordpress/wp-content/uploads/2021/01/SA462075-1.4_D-Lock_HDT_Manual_R1.4.pdf)
- [17] ŠKOPÁN, Miroslav. *Hydraulické pohony strojů*. Brno, 2009. Studijní text. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] Hydraulické hadice. *Haberkorn* [online]. 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://eshop.haberkorn.cz/hydraulicke-hadice-din-en-853-2-sn.html>
- [19] Ochrana hadice. *GMS HADICE* [online]. 2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.gms.cz/spiralina>
- [20] Není lžice jako lžice. In: *Stavební technika* [online]. 2010 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/neni-lzice-jako-lzice>
- [21] Svahovací lžice. In: *STAVES* [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.staves.cz/prodej-stavebnich-stroju/svahovaci-lopata-pevna-pro-nosice-2-3-t-sirka-1200-mm-1425>
- [22] Lžice podkopové. *Renomag* [online]. 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.renomag.cz/k665-pridavna-zarizeni-pro-rypadla-lzice-podkopove>
- [23] Podkopová lžice. In: *STAVES* [online]. Olomouc, 2020 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.staves.cz/prodej-stavebnich-stroju/hloubkove-svahovaci-lopaty>
- [24] Rozrývací trny. *Renomag* [online]. 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.renomag.cz/k666-pridavna-zarizeni-pro-rypadla-trny-rozryvaci-rypry>
- [25] Drapák. *Bovra* [online]. 2017 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: [https://www.bovram.cz/kleste-na-drevo/kleste-na-kulatinu-gmr-1750/?gclid=CjwKCAiAoL6eBhA3EiwAXDom5jb1u0t-FWG4DLteQyXgAYZ97j4qaKoR\\_KDAM3WmY4p8PIcLSHYvmRoC6NEQAvD\\_BwE](https://www.bovram.cz/kleste-na-drevo/kleste-na-kulatinu-gmr-1750/?gclid=CjwKCAiAoL6eBhA3EiwAXDom5jb1u0t-FWG4DLteQyXgAYZ97j4qaKoR_KDAM3WmY4p8PIcLSHYvmRoC6NEQAvD_BwE)
- [26] Lžicové drapáky. In: *Hydraulika Petráš* [online]. 2023 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://hydraulika-petras.cz/cs/produkty-na-bagry/lzicove-drapaky-na-bagry-hld-p2>
- [27] TC050/S40. *Steelwrist* [online]. 2016 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://steelwrist.com/int/products/tilt-couplers/tc050s40/>
- [28] TCX S30/180. *Steelwrist* [online]. 2016 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://steelwrist.com/int/products/tilt-couplers/tcx-s30180/>

- [29] Heli-Tilt. *Attach2* [online]. 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.attach2.com/nz/couplers/heli-tilt>
- [30] Mini-Tilt. *Attach2* [online]. 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.attach2.com/nz/couplers/mini-tilt>
- [31] Tilt coupler TC. *Kinshofer* [online]. 2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.kinshofer.com/excavator-applications/construction-couplers-buckets/tilt-couplers>
- [32] TMX Tilt Hitch. *RF System* [online]. 2020 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.rf-system.se/en/product/tmx-tilt-hitch/>
- [33] Kubota KX019-4. *STAVES* [online]. 2020 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.staves.cz/prodej-stavebnich-stroju/minirypadlo-kubota-kx019-4-62>
- [34] S30/180. *Steelwrist* [online]. 2018 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://steelwrist.com/int/products/quick-couplers/s30180/>
- [35] Hydraulické prvky. *Hansa flex* [online]. 2021 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: [https://shop.hansaflex.cz/cs\\_CZ/](https://shop.hansaflex.cz/cs_CZ/)
- [36] Hydraulické hadice. In: *Hydrolider* [online]. 2020 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: [https://www.hydrolider.cz/cs\\_CZ/p/Hydraulicke-hadice-2SN-DN10-330Bar/11671](https://www.hydrolider.cz/cs_CZ/p/Hydraulicke-hadice-2SN-DN10-330Bar/11671)
- [37] Brzdící ventil. *AGRO HYTOS* [online]. 2018 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z: <https://www.argo-hytos.com/cz/vyrobky/ridici-a-regulacni-technika/brzdici-ventily/so5a-cp3.html>
- [38] VANĚK, Václav, Miroslav DUNÍK, Miroslav KUDA a Zdeněk REIF. *Základy konstruování: učební podklady pro cvičení. 2. nezměněné vydání*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014, 107 stran : ilustrace. ISBN 978-80-261-0383-7.
- [39] LEINVEBER, Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 6., dopl. vyd. Úvaly*: Albra, 2017. ISBN 978-80-7361-111-8.
- [40] Přímočarý jednočinný hydromotor ZHPL. *Hydraulics* [online]. 2017 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/24976-zhpl-linearni-primocary-hydromotor-jednocinny-plunzr>
- [41] Přesné trubky pro hydraulické válce. *Hydraulics* [online]. 2017 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/24927-presne-trubky>
- [42] Chromované tyče. *Hydraulics* [online]. 2017 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.hydraulics.cz/24931-chromovane-tyce-standardni>
- [43] PAVLOK, B. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 1. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 156 s. ISBN 80-28-0857-9
- [44] ČSN 05 0120: Výpočet svarových spojů strojních konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 1971.

- [45] Lopaty. *TRIGA* [online]. 2020 [cit. 2023-04-17]. Dostupné z:  
<https://www.triga.cz/#produkty>
- [46] PETRUŠKA, Jindřich. *MKP v inženýrských výpočtech: (studijní opory)*. Brno:  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\lambda$	[-]	Štíhlost pístnice
$\lambda_m$	[-]	Mezní štíhlost
$\mu$	[-]	Poissonova konstanta
$a$	[mm]	Šířka spoje
$D$	[mm]	Průměr vrtání válce (průměr pístu)
$d_{\check{c}}$	[mm]	Průměr čepu
$d_p$	[mm]	Průměr pístnice
$E$	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
$e_{su}$	[mm]	Vzdálenost působení síly
$F$	[N]	Zatěžující síla
$F_{su}$	[N]	Silové zatížení svaru
$F_v$	[N]	Vylamovací síla
$F_z$	[N]	Jmenovitá síla pro návrh hydromotoru
$i$	[mm]	Poloměr setrvačnosti
$J$	[mm <sup>4</sup> ]	Moment setrvačnosti plochy pro kruhový průřez
$k$	[-]	Součinitel bezpečnosti
$k_1$	[-]	Koeficient překonání vlastní tíhy a pasivních odporů
$k_{n1}$	[-]	Součinitel bezpečnosti nosné konstrukce
$k_{n2}$	[-]	Součinitel bezpečnosti nosné konstrukce
$k_{n3}$	[-]	Součinitel bezpečnosti nosné konstrukce
$k_p$	[-]	Součinitel bezpečnosti určený výrobcem
$k_{sv}$	[-]	Součinitel bezpečnosti svarového spoje
$k_t$	[-]	Součinitel vlivu třecích odporů těsnění
$K_{T1}$	[-]	Bezpečnost tloušťky stěny
$L_{25}$	[mm]	Rameno působící síly
$L_b$	[mm]	Rameno působící síly
$l_{\check{c}}$	[mm]	Délka čepu
$L_h$	[mm]	Výška podkopové lopaty
$L_n$	[mm]	Vzdálenost od rychloupínače k bodu otáčení naklápěcí hlavy
$L_{red}$	[mm]	Redukovaná délka
$L_s$	[mm]	Polovina délky svahovací lopaty



$l_{su}$	[mm]	Délka koutového svaru
$M_k$	[Nmm]	Kroutící moment
$M_{kb}$	[Nmm]	Kroutící moment od excentricky působící síly na bočnici
$M_{kf}$	[Nmm]	Kroutící moment od excentricky působící síly na břít
$MKP$	[-]	Metoda konečných prvků
$M_{oMAX}$	[Nmm]	Maximální ohybový moment
$M_{op}$	[Nmm]	Ohybový moment
$p$	[MPa]	Stykový tlak
$p_1$	[MPa]	Vstupní provozní tlak kapaliny
$p_2$	[MPa]	Výstupní tlak kapaliny
$p_D$	[MPa]	Dovolený tlak ve stykových plochách
$P_d$	[MPa]	Dovolené otláčení
$p_{MAX}$	[MPa]	Maximální tlak
$R$	[mm]	Vnější poloměr válce
$r$	[mm]	Vnitřní poloměr válce
$R_{eH}$	[MPa]	Minimální mez kluzu
$R_m$	[MPa]	Minimální mez pevnosti v tahu
$S_1$	[mm <sup>2</sup> ]	Pracovní plocha pístu
$S_2$	[mm <sup>2</sup> ]	Pracovní plocha pístu
$S_{\tilde{e}}$	[mm <sup>2</sup> ]	Střižná plocha čepu
$S_p$	[mm <sup>2</sup> ]	Otláčená plocha
$t$	[mm]	Šířka koutového svaru
$v$	[ms <sup>-1</sup> ]	Maximální pracovní rychlost
$W_o$	[mm <sup>3</sup> ]	Kvadratický modul průřezu v ohybu
$Z$	[mm]	zdvih
$ZHPL$	[-]	Typ jednočinného přímočarého hydromotoru
$\alpha_{\tau}$	[-]	Převodní součinitel svarového spoje
$\sigma_D$	[MPa]	Dovolené napětí
$\sigma_{Do}$	[MPa]	Dovolené napětí v ohybu
$\sigma_{Dov}$	[MPa]	Dovolené napětí
$\sigma_{n1max}$	[MPa]	Maximální napětí vznikající v konstrukci
$\sigma_{n2max}$	[MPa]	Maximální napětí vznikající v konstrukci
$\sigma_{n2max}$	[MPa]	Maximální napětí vznikající v konstrukci

$\sigma_o$	[MPa]	Napětí materiálu v ohybu
$\sigma_{r1}$	[MPa]	Radiální napětí na vnitřním povrchu
$\sigma_{r2}$	[MPa]	Radiální napětí na vnějším povrchu
$\sigma_{red}$	[MPa]	Redukované napětí
$\sigma_{red1}$	[MPa]	Redukované napětí na vnitřním povrchu
$\sigma_{red2}$	[MPa]	Redukované napětí na vnějším povrchu
$\sigma_{redmax}$	[MPa]	Maximální redukované napětí
$\sigma_{t1}$	[MPa]	Tečné napětí na vnitřním povrchu
$\sigma_{t2}$	[MPa]	Tečné napětí na vnějším povrchu
$\sigma_{tl}$	[MPa]	Tlakové napětí v pístnici
$\tau_{DOVS}$	[MPa]	Dovolené smykové napětí ve svaru
$\tau_{Ds}$	[MPa]	Dovolené napětí ve smyku
$\tau_s$	[MPa]	Smykové napětí materiálu
$\tau_{so}$	[MPa]	Smykové napětí ve svaru od ohybu
$\tau_{su}$	[MPa]	Smykové napětí ve svaru



## SEZNAM PŘÍLOH

Výkres sestavy:	Naklápěcí hlava	DP-23-00
Výkres svařovací/obráběcí podsestavy:	Nosná konstrukce	DP-23-01
	Zavěšení příslušenství	DP-23-02
	Úchyt hydromotoru	DP-23-03