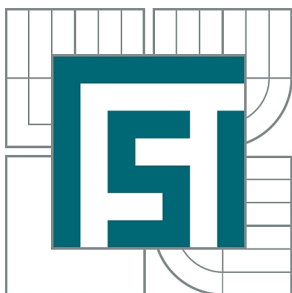


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

ZAŘÍZENÍ PRO ČIŠTĚNÍ PŘÍKOPŮ KOMUNIKACÍ

THE MACHINE FOR CLEANING ROADSIDE DITCHES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB ČÍŠECKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KAŠPÁREK, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jakub Číšecký

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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

Zařízení pro čištění příkopů komunikací

v anglickém jazyce:

The machine for cleaning roadside ditches

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a vypracujte koncepci strojního zařízení pro údržbu příkopů. Zařízení bude určeno pro kontinuální prohlubování, tvarování a čištění příkopů silnic od naplavenin a půdní eroze. Zařízení bude řešeno jako nástavba mobilního stroje.

Technické parametry:

Jmenovitý výkon zemního stroje: do 100kW

Typ pohonu: hydrostatický

Tlak hydr. agregátu dle parametrů stroje dané výkonové řady

Cíle bakalářské práce:

Vypracujte:

- rešeršní přehled používaného zařízení v této oblasti strojů
- koncepci vlastního návrhu strojního zařízení
- výpočtové řešení rozměrových a funkčních parametrů strojního zařízení
- kontrolní pevnostní výpočet vybraných konstrukčních uzlů dle vedoucího práce

Nakreslete:

- sestavu strojního zařízení
- detailní části strojního zařízení dle pokynů vedoucího práce

Seznam odborné literatury:

VANĚK, A.: Moderní strojní technika a technologie zemních prací, Academia Praha, 2003

JEŘÁBEK, K. a kol.: Stroje pro zemní práce – silniční stroje, Ostrava, 1996

VANĚK, A.: Strojní zařízení pro stavební práce, 2. přeprac. vyd., Praha: Sobotáles, 1999, 301 s., ISBN: 80-85920-61-1

LIFT H.; HANSEL M.:Hydrauliksysteme in der Bau- und Kommunaltechnik, ed. Vogel Verlag Und Druck, 1991, s. 352, ISBN: 978-3-8023-0445-3

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 11.11.2013

L.S.

prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce pojednává o možnostech strojní údržby příkopů, zejména jejich čištění. Rešeršní část obsahuje základní způsoby čištění a přehled nejrozšířenějšího strojního vybavení k tomu určenému. Hlavní část je věnovaná konstrukčnímu návrhu vlastní koncepce příkopové frézy včetně výpočtů stěžejních prvků.

KLÍČOVÁ SLOVA

příkop, čištění příkopů, příkopová fréza, nosné rameno

ABSTRACT

This thesis discusses the possibilities of mechanical maintenance of ditches, particular cleaning. The research section contains basic cleaning methods and list of the most common mechanical equipment designated for that purpose. The main part is devoted to engineering design their own concept ditch cleaner including calculations of core elements.

KEYWORDS

ditch, ditch cleaning, ditch cleaner, support arm



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČÍŠECKÝ, J. *Zařízení pro čištění příkopů komunikací*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 30. května 2014

.....

Jakub Číšecký



PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za cenné rady a velmi vstřícný přístup během tvorby této bakalářské práce.



OBSAH

Úvod	9
1 Rešeršní přehled	10
1.1 Příkop	10
1.2 Způsoby čištění	11
1.2.1 Cyklické	11
1.2.2 Kontinuální	13
2 Volba varianty a pracovních částí	15
3 Konstrukční řešení	19
3.1 Návrh pracovní části stroje	19
3.1.1 Návrh nože	19
3.1.2 Návrh lopatky	24
3.1.3 Pracovní diagram	26
3.2 Návrh a kontrola hřídele	26
3.2.1 Volba materiálu	26
3.2.2 Výpočet nejmenšího průměru hřídele	27
3.2.3 Kontrola per na otláčení	28
3.3 Návrh a kontrola ložisek	30
3.4 Návrh krytu	35
3.4.1 Možnosti ovládání krytu	35
3.4.2 Návrh kinematiky krytu	36
3.5 Návrh hydraulického válce	37
3.6 Návrh sklopné konzoly	39
3.7 Volba nosného ramena a ovládacích prvků	40
Závěr	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	45
Seznam příloh	48



ÚVOD

V dnešním globalizovaném světě hraje více než kdy před tím jednu z nejdůležitějších rolí transport, a to jak lidí, tak věcí. Tyto procesy jsou realizovány různými způsoby. I přes velký pokrok dopravy letecké a snahy o prosazování kolejní dopravy zůstává zcela stěžejní doprava silniční. V našich klimatických podmínkách je však kvalita vozovek ohrožena různými vlivy, zejména pak vodou. Ta dokáže v kombinaci s nízkými teplotami narušit svrchní živičnou vrstvu a způsobit tak postupný rozpad vozovky. Z důvodu minimalizování množství vody na živici jsou všechny silnice navrhovány s odvodňovacím spádem. V městské zástavbě je voda nejčastěji odváděna do kanalizačních vtoků, jinde jsou pozemní komunikace lemovány příkopy. K nezbytné údržbě příkopů se užívá mnoho druhů strojního vybavení. Pro čištění od nánosů jsou v našich podmínkách nejběžnější zadně agregované příkopové frézy [Obrázek 1].



Obrázek 1: Příklad údržby příkopů pomocí zadně agregované příkopové frézy [1]



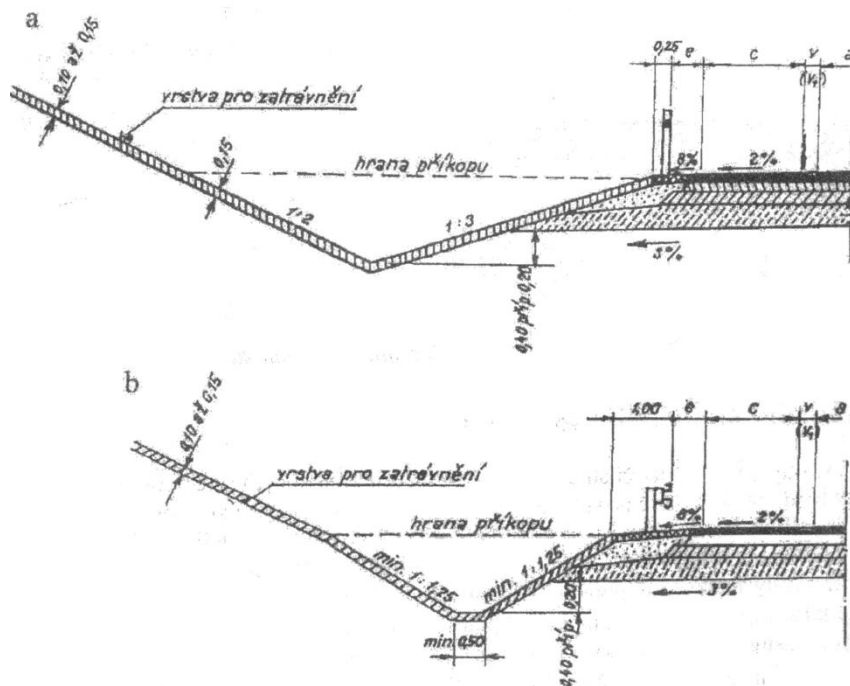
1 REŠERŠNÍ PŘEHLED

Rešeršní přehled zahrnuje stručnou definici příkopu a základní druhy jeho čištění.

1.1 PŘÍKOP

Příkop tvoří rozhraní mezi komunikací a okolním terénem. Hlavní funkcí příkopů je shromažďování a odvádění povrchových vod, které přitékají z ploch pozemních komunikací. Šířka dna a hloubka příkopu by měla být minimálně 0,5 m. Veškeré příkopy by měly být budovány s podélným sklonem nejméně 0,5%, v obtížných případech lze sklon krátkodobě snížit na 0,3% [2].

Mezi nejčastěji využívané profily příkopu se řadí profily trojúhelníkové a lichoběžníkové, viz [Obrázek 2].



Obrázek 2: Druhy příkopů a) trojúhelníkový, b) lichoběžníkový [3]

Všechny druhy příkopů se časem zanášejí různými nánosy, splašky a sedimenty. Na funkci příkopů má také nepříznivý vliv zarůstání okolní vegetací. Z těchto důvodů je nezbytné příkopy v určitých intervalech čistit a tím obnovovat jejich schopnost odvodu vody.



1.2 ZPŮSOBY ČIŠTĚNÍ

Způsoby čištění lze dělit dle mnoha různých parametrů. V následujícím přehledu je základním parametrem kontinuita procesu čištění.

1.2.1 CYKICKÉ

Všechny cyklické varianty čištění spojuje nespojitý pohyb, většinou přerušovaný pro odvod odstraňovaného materiálu z prostoru příkopu.

RUČNÍ

Užívá se hlavně tam, kde není z hlediska rozsahu prací výhodné proces čištění mechanizovat, nebo tam, kde to není z důvodu komplikovaného přístupu možné, viz [Obrázek 3].



Obrázek 3: Příklad ručního čištění příkopů a propustků [4]



MECHANICKÉ – UNIVERZÁLNÍMI STROJI

Hlavní výhodou je možnost užití univerzálního stroje, což má příznivý vliv na náklady. Nevýhodou je nízká rychlost čištění a kvalita odpovídající schopnostem obsluhy. Viz [Obrázek 4].



Obrázek 4: Příklad čištění příkopu za pomoci rypadlového bagru [5]

MECHANICKÉ – SPECIALIZOVANÝMI STROJI

Obecnou výhodou užití těchto strojů bývá velmi kvalitní povrch příkopu a velká přesnost profilů. Další výhodou je, že odebraný materiál nezůstává v okolí příkopu, ale je odvážen. Nevýhodou jsou velké pořizovací náklady, nutnost přerušování práce pro vyprázdnění kontejneru a s tím spojená malá rychlost. Viz [Obrázek 5].



Obrázek 5: Čištění za pomoci stroje Mulag HS 2400 [6]



1.2.2 KONTINUÁLNÍ

Nejběžnějším zařízením pro kontinuální čištění a prohlubování příkopu je příkopová fréza. Naplavená půdní eroze se separuje pomocí různě tvarovaných nožů z profilu příkopu. Uvolněný materiál je z příkopu vyhazován odstředivou silou, která vzniká otáčením frézy.

FRÉZA S OSOU ROTACE KOLMO K OSE PŘÍKOPU

Hlavní výhodou tohoto řešení je možnost natočení frézy a tím i změny frézovaného profilu. Další výhodou je zpravidla velká robustnost a odolnost konstrukce. Nevýhodou je malá možnost regulace směru a intenzity odlétajícího materiálu. Z uvedeného důvodu nalézají radiální frézy uplatnění zejména u atypických příkopů a struh mimo zastavěná území. Viz [Obrázek 6].



Obrázek 6: Příklad radiální frézy, nosný stroj Mercedes Unimog [7]



FRÉZA S OSOU ROTACE ROVNOBĚŽNĚ S OSOU PŘÍKOPU

Nejběžněji užívaný druh příkopové frézy. Vyrábí se v mnoha různých velikostech a variantách pracovní části. Vhodná pro čištění většiny příkopů a i pro tvorbu příčných odtokových kanálů nebo struh. Viz [Obrázek 7].



Obrázek 7: Příklad příkopové frézy s rovnoběžnou osou rotace k ose příkopu [8]



2 VOLBA VARIANTY A PRACOVNÍCH ČÁSTÍ

Stěžejní částí této bakalářské práce je konstrukční návrh příkopové frézy. Na základě zadání se jako nejvhodnější jeví příkopová fréza s osou rotace rovnoběžnou s osou příkopu.

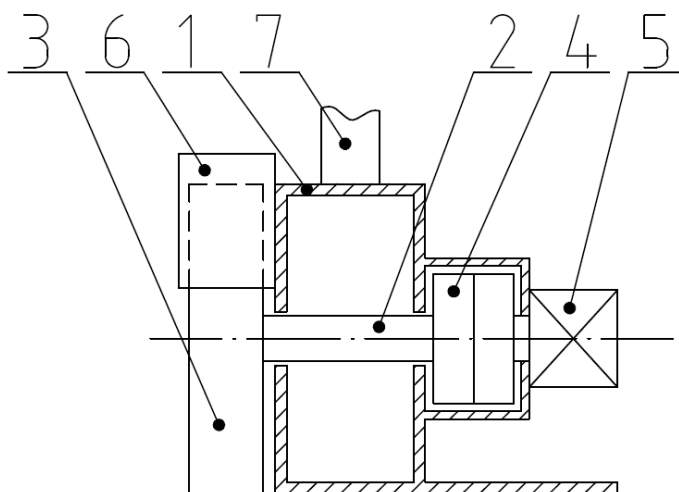
Zadané technické parametry

- Jmenovitý výkon zemního stroje: do 100kW
- Typ pohonu: hydrostatický
- Tlak hydr. agregátu dle parametrů stroje dané výkonové řady

Uspořádání základních prvků

Uspořádání prvků je voleno s ohledem na standardy ve zvolené třídě příkopových fréz.

Krouticí moment je od hydromotoru (5) přenášen přes pružnou spojku (4) na hřídel (2), ke které je připevněna pracovní část stroje (3). Rám stroje (1) slouží jednak k upevnění všech komponent a také vede frézu profilem příkopu. K rámu je připevněn kryt (6) usměrňující odlétající zeminu a hydraulické rameno (7), které celou příkopovou frézu nese.



Obrázek 8: Uspořádání prvků



Volba nosného stroje

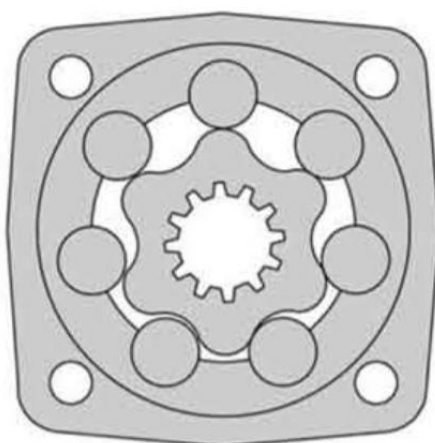
Jako příklad stroje splňujícího zadané technické parametry je zvolen zástupce modelové řady Zetor Forterra HSX, která disponuje výkonem od 70 do 100 kW a je vybavena elektrohydraulickým systémem od firmy Bosch [9]. Parametry hydraulického systému potřebné pro výběr vhodného hydromotoru jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1: Parametry hydraulického okruhu Zetor Forterra HSX [9]

Typ	Bosch Hitch Tronic
Ovládání	Elektrické
Pracovní tlak	20 MPa
Průtok	70 l/min

Volba hydromotoru

Na základě parametrů hydraulického okruhu [Tabulka 1] je volen orbitový hydromotor Hydroma MS 125 [Obrázek 9], jehož hlavní výhodou je dostatečný výkon a pro provoz příkopové frézy ideální otáčky. Tento fakt umožní přímé zařazení hydromotoru bez převodovky, což má velký vliv na celkovou jednoduchost konstrukce a tím i na výrobní náklady.



Obrázek 9: Řez hydromotorem Hydroma MS 125 [10]



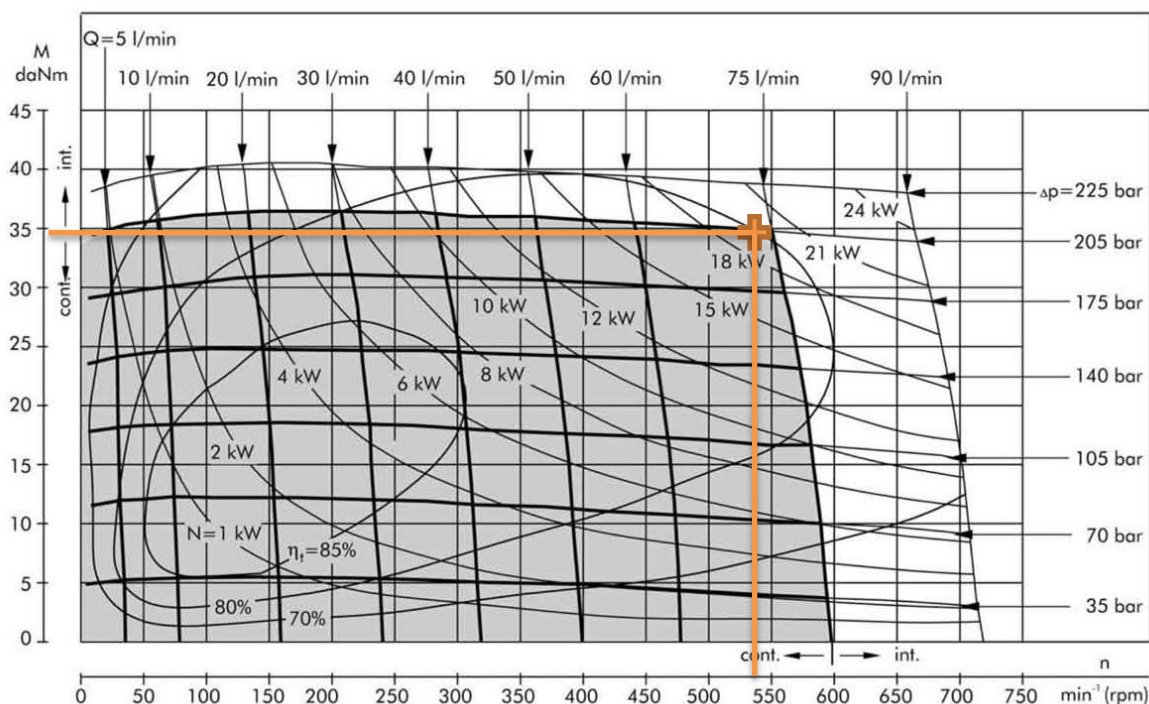
Z pracovního diagramu hydromotoru [Obrázek 10] je patrné, že průnik uvažovaného maximálního průtoku a tlaku čerpadla se nachází v šedě vyznačené oblasti, která zaručuje ideální pracovní podmínky hydromotoru. Z diagramu je dále určen příslušný krouticí moment a provozní otáčky.

Pro maximální možný průtok a tlak dodávaný čerpadlem tedy platí:

- krouticí moment $M_k = 350 Nm$
- otáčky $n = 540 \text{ min}^{-1}$

FUNCTION DIAGRAMS

MS 125



Obrázek 10: Pracovní diagram orbitového hydromotoru Hydroma MS 125 [10]



Volba pružné spojky

Pružná spojka je do zařízení zařazena z důvodu tlumení škodlivých vibrací a rázů od pracovní části, čímž se pozitivně ovlivňuje životnost hydromotoru. Další výhodou je, že dokáže kompenzovat mírné montážní nepřesnosti mezi hřídelí a hydromotorem.

Na základě přenášeného krouticího momentu je volena kolíková spojka s pryžovými pouzdry Rathi B-FLEX 162-6 [Obrázek 11].



Obrázek 11: Pružná spojka Rathi B-FLEX 162-6 [11]

Pružná spojka se dodává ve formě polotovaru, kde je potřeba vyhotovit vnitřní průměry a drážky pro pera dle protikusu hydromotoru a hřídele.



3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Následující konstrukční řešení obsahuje stručný přehled návrhů vybraných prvků. Výčet je omezen na věci stěžejního a inovativního charakteru.

3.1 NÁVRH PRACOVNÍ ČÁSTI STROJE

Správné rozvržení pracovní části má zásadní vliv na funkci frézy. S přihlédnutím k provozním otáčkám a rozměrům frézy se jako nejvhodnější jeví základní uspořádání s třemi lopatkami a třemi noži s rovnoměrnými rozestupy.

Pro pevnostní výpočet pracovní části stroje je nutné definovat hraniční pracovní podmínky:

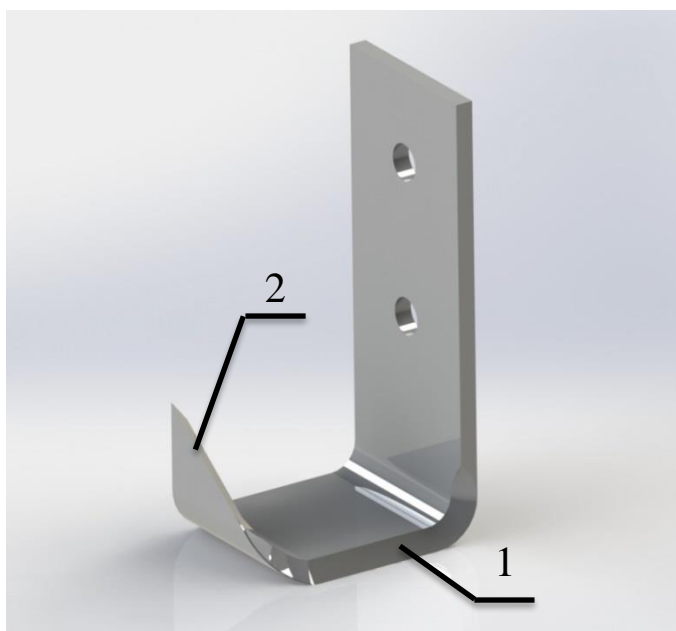
- Maximální řezná hloubka 10 cm
- Maximální rychlost pojezdu 4 km/h

3.1.1 NÁVRH NOŽE

Hlavní úlohou nože je separace přebytečné zeminy a jiných nečistot od profilu příkopu.

Pracovní část nože [Obrázek 11] se skládá ze dvou částí:

1. Primární břit – je hlavní pracovní částí nože. Odděluje nánosy od profilu příkopu.
2. Sekundární břit – zamezuje přepadu již odseparovaného materiálu do prostoru před frézu. Tím urychluje odvod nečistot a snižuje energetickou náročnost procesu i namáhání stroje. Další výhodou kolmého břitu je, že dělí větší podélné celky, které by samotný podélný břit nedokázal zpracovat (např. kořenové systémy, vegetační celky a jiné).



Obrázek 11: Návrh nože



MATERIÁL

Jelikož je nůž nejvíce namáhaným prvkem frézy, musí materiál, ze kterého je vyroben, splňovat velmi přísná kritéria pevnostní i otěruvzdorná. Z těchto důvodů je volen vysoko pevnostní ocelový plech Domex 500 MC, který má vedle dostatečné meze kluzu výbornou odolnost proti otěru a navíc jej lze snadno tvarovat ohýbáním [12].

Nůž je k rotační desce frézy upevněn dvojicí šroubů.

VÝPOČET ÚNOSNOSTI ŠROUBOVÉHO SPOJE

Pro výpočet jsou uvažovány klasické (nelicované) šrouby s vnitřním šestihranem. Jako kritická je tedy posuzována tahová síla ve šroubu.

Výpočet předpínací síly dle [13, str.476]

$$F_p = 0,7R_m \cdot A_s \text{ [N]} \quad (1)$$

$$F_p = 0,7 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 157 \cdot 10^{-6} = 87920 \text{ N}$$

$$F_p = 87,92 \text{ kN}$$

Kde

$$R_m = 800 \text{ MPa pevnost v tahu pro šroub 8.8 [13, str. 442]}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \text{ výpočtový průřez jádra šroubu pro šroub M16 [13, str. 420]}$$

Výpočet návrhové únosnosti šroubu dle [13, str. 476]

$$F_S = \frac{k_s \cdot i_t \cdot f_s}{\gamma_{M3}} \cdot F_p \text{ [N]} \quad (2)$$

$$F_S = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,2}{1,25} \cdot 87920 = 14067 \text{ N}$$

Kde

$$k_s = 1 \text{ součinitel pro šroub v obyčejném otvoru [13, str. 476]}$$

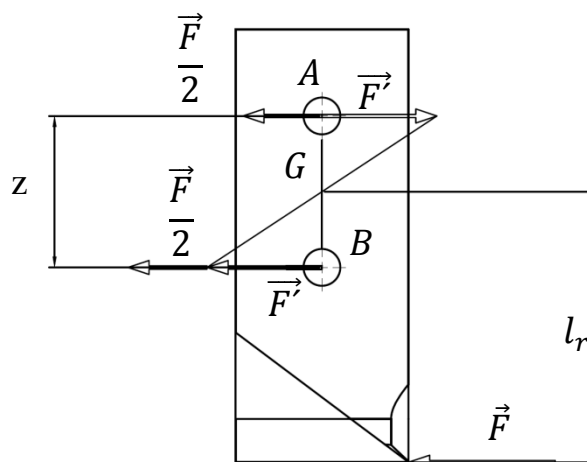
$$i_t = 1 \text{ počet třecích ploch}$$

$$f_s = 0,2 \text{ součinitel tření na stykových plochách neupravených [13, str. 1151]}$$

$$\gamma_{M3} = 1,25 \text{ dílčí součinitel spolehlivosti pro spoje kategorie C [13, str. 477]}$$



Výpočet zatížení jednotlivých šroubů



Obrázek 12: Schéma rozkladu sil působících na šrouby nože

Výpočet zatěžující síly F

$$F = \frac{M_k}{r} \text{ [N]} \quad (3)$$

$$F = \frac{350}{0,3} = 1166,7 \text{ N}$$

$$F = 1,167 \text{ kN}$$

Kde

$M_k = 350 \text{ Nm}$ maximální kroutící moment hydromotoru [Obrázek 10]

$r = 0,3 \text{ m}$ poloměr kotouče frézy

Výpočet reakčního momentu

$$G_k = F \cdot l_r \text{ [Nm]} \quad (4)$$

$$G_k = 1167 \cdot 0,12 = 140 \text{ Nm}$$

Kde

$F = 1167 \text{ N}$ zatěžující síla dle výpočtu (3)

$l_r = 0,12 \text{ m}$ rameno reakčního momentu

**Výpočet síly od reakčního momentu na jednotlivé šrouby**

$$F' = \frac{G_k}{2 \cdot \left(\frac{z}{2}\right)} [N] \quad (5)$$

$$F' = \frac{140}{0,06} = 2333,3 \text{ N}$$

$$F' = 2,33 \text{ kN}$$

Kde

$G_k = 140 \text{ Nm}$ reakční moment dle výpočtu (4)

$z = 0,06 \text{ mm}$ rozteč děr

Výpočet zatížení šroubu A

$$F_{SA} = F' - \frac{F}{2} [N] \quad (6)$$

$$F_{SA} = 2333,3 - \frac{1167}{2} = 1749,8 \text{ N}$$

Kde

$F' = 2,33 \text{ kN}$ síla od reakčního momentu dle výpočtu (5)

$F = 1167 \text{ N}$ zatěžující síla dle výpočtu (3)

Výpočet zatížení šroubu B

$$F_{SB} = F' + \frac{F}{2} [N] \quad (7)$$

$$F_{SB} = 2333,3 + \frac{1167}{2} = 2916,8 \text{ N}$$

Kde

$F' = 2,33 \text{ kN}$ síla od reakčního momentu dle výpočtu (5)

$F = 1167 \text{ N}$ zatěžující síla dle výpočtu (3)



Jelikož je síla na šroub *B* výrazně větší než na šroub *A*, tak je pro další výpočty volen jako rizikový šroub *B*.

Výpočet bezpečnosti šroubu *B*

$$K_B = \frac{F_S}{F_{SB}} \quad (8)$$

$$K_B = \frac{14067}{2916,8} = 4,8$$

$K_B = 4,8 > 3 \Rightarrow$ Šroub M16 8.8 vyhovuje

Kde

$F_S = 14067$ návrhová únostnost šroubu dle výpočtu (2)

$F_{SB} = 2916,8$ N zatížení šroubu *B* dle výpočtu (7)

VÝPOČET RYPNÉHO ODPORU

Rypný odpor je odpor odebíraného materiálu proti vnikání břitu nože. Jeho znalost je důležitá pro dimenzování nože, ověření výkonu hydromotoru a sestavení pracovního diagramu.

Na základě zkušeností a chování strojů v příslušné výkonové třídě nelze předpokládat pracovní proces, ve kterém by byla současně aplikována maximální hloubka řezu a maximální rychlost pojezdu. Pro příklad výpočtu jsou tedy uvažovány nikoliv maximální, nýbrž standardní pracovní podmínky, tj hloubka záběru frézy 50 mm při rychlosti pojezdu 3 km/h.

Dalším faktorem ovlivňujícím rypný odpor je struktura odebírané zeminy. Základním druhům zemin jsou přiřazeny různé součinitele odporu, viz [Tabulka 2].

Tabulka 2: Součinitele odporu pro jednotlivé třídy zemin [14, str. 40,76]

Třída zemin	Příklad zemin	Součinitel odporu
1	Hlinitopísčítá zemina	$0,4-0,8 \cdot 10^5$ Pa
2	Vlhká lehká hlína, štěrk	$1-2 \cdot 10^5$ Pa
3	Pevně usazená zemina	$1,6-3,2 \cdot 10^5$ Pa
4	Těžký usazený jíl	$3,1-4,2 \cdot 10^5$ Pa



Rypný odpor dle [14, str. 16]

$$R_{\text{ř}} = k_{\text{ř}} \cdot S \text{ [N]} \quad (9)$$

$$R_{\text{ř}} = 3 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 450 \text{ N}$$

Plocha průřezu odebíraného materiálu

$$S = h \cdot z \text{ [m}^2\text{]} \quad (10)$$

$$S = 0,05 \cdot 0,03 = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

Posuv frézy na jeden nůž

$$z = \frac{v}{n_z \cdot n} \text{ [m]} \quad (11)$$

$$z = \frac{0,83}{3 \cdot 9} = 0,03 \text{ m}$$

Kde

$k_{\text{ř}} = 3 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ součinitel odporu pro pevně usazenou horninu [Tabulka 2]

$h = 0,05 \text{ m}$ standardní hloubka řezu

$v = 0,83 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ standardní rychlost pojezdu frézy

$n_z = 3$ počet nožů na kotouči

$n = 540 \text{ min}^{-1} = 9 \text{ s}^{-1}$ otáčky hydromotoru [Obrázek 10]

Jelikož se výkon hydromotoru rozkládá na složku rypnou a složku výhozu, tak v této fázi nemá smysl počítat rypný odpor z plného výkonu hydromotoru.

3.1.2 NÁVRH LOPATKY

Hlavní úlohou lopatek je zajistit odstranění odseparovaného materiálu z pracovního prostoru.

S ohledem na jednoduchost a nízké výrobní náklady je lopatka vyhotovena jako ohnutý plech.

Na základě maximální rychlosti pojezdu a otáček hydromotoru byla vypočtena minimální vzdálenost hrany lopatky od břítu nože. To zabrání případnému kontaktu lopatky s materiálem nenarušeným nožem. Z toho důvodu lze snížit pevnostní požadavky oproti noži.

**VÝPOČET ODPORU HRNUTÍ LOPATKY**

Hlavní složka odporu hnutí je třecí síla generována na stěně příkopu při otáčení frézy.

Výpočet třecí síly

$$R_h = m_z \cdot a \cdot f \text{ [N]} \quad (12)$$

$$R_h = 2,07 \cdot 959,4 \cdot 0,6 = 1191,6 \text{ N}$$

Váha zeminy odebírané jedním nožem

$$m_z = S \cdot \frac{2\pi r}{3} \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (13)$$

$$m_z = 1,65 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{2\pi \cdot 0,3}{3} \cdot 2000 = 2,07 \text{ kg}$$

Odstředivé zrychlení

$$a = \omega^2 \cdot r \left[\frac{m}{s^2} \right] \quad (14)$$

$$a = 56,55^2 \cdot 0,3 = 959,4 \frac{m}{s^2}$$

Úhlová rychlost

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n \left[\frac{rad}{s} \right] \quad (15)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot 9 = 56,55 \frac{rad}{s}$$

Kde

$$\rho = 2000 \frac{kg}{m^3} \text{ hustota zeminy [15, str. 401]}$$

$$f = 0,6 \text{ koeficient tření [16]}$$

$$S = 1,65 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ plocha třísky dle výpočtu (10)}$$

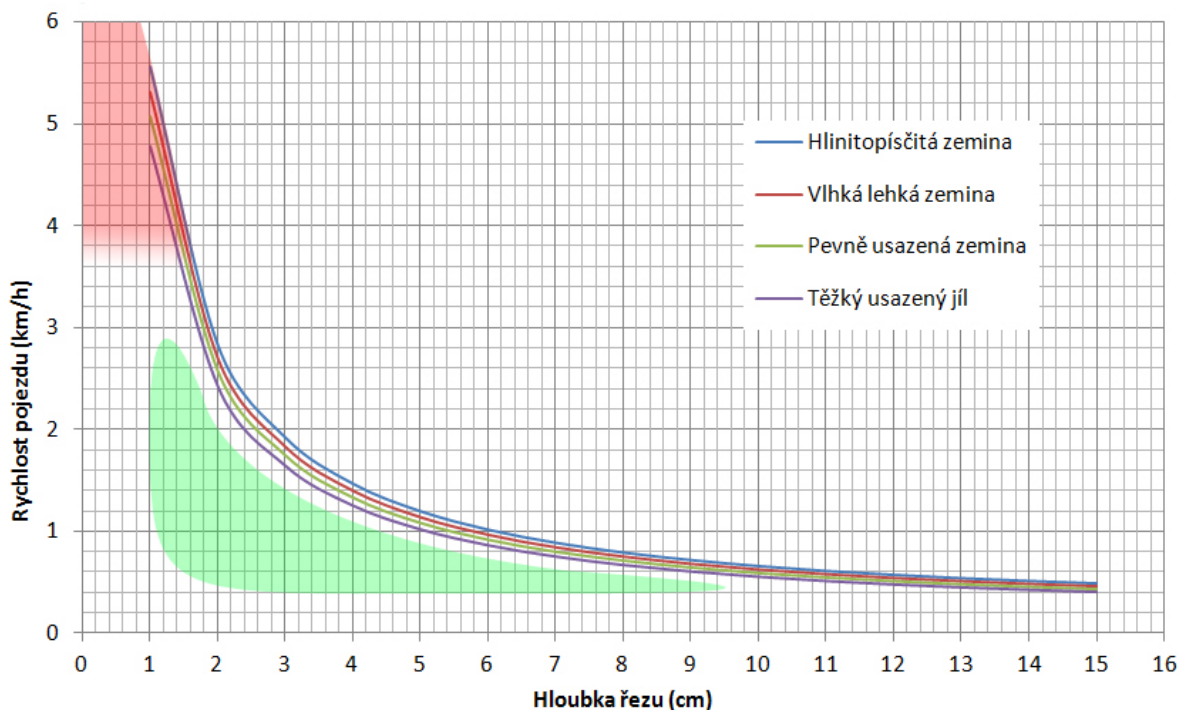
$$r = 0,3 \text{ m poloměr frézy}$$

$$n = 540 \text{ min}^{-1} = 9 \text{ s}^{-1} \text{ otáčky frézy [Obrázek 10]}$$



3.1.3 PRACOVNÍ DIAGRAM

Pracovní diagram je vytvořen na základě jednotlivých odporů proti pracovní části příkopové frézy a má za úkol pomoci při optimalizaci pracovního procesu, viz [Obrázek 13].



Obrázek 13: Pracovní diagram příkopové frézy

Popis diagramu

Jednotlivé křivky znázorňují maximální rychlost pojezdu při dané hloubce řezu. Veškerá oblast nad křivkami je oblastí pro práci nevhodnou, jelikož zde již hydromotor nezaručuje dostatečný výkon. Červeně vyznačená oblast v levém horním rohu znázorňuje oblast zakázanou, v případě práce v této oblasti by se lopatky účastnily procesu separace materiálu, na což nejsou dimenzovány. Naopak zelená oblast vyznačuje doporučenou pracovní oblast, ve které je zaručena správná funkce příkopové frézy.

3.2 NÁVRH A KONTROLA HŘÍDELE

Návrh hřídele spočívá ve volbě vhodného materiálu, výpočtu minimálního průměru, určení rozměrů dle zástavby a kontroly per na otláčení.

3.2.1 VOLBA MATERIÁLU

Vzhledem k předpokládanému zatížení hřídele je volena konstrukční ocel 1.0060 dle ČSN 42 0002 ve stavu tepelně nezpracovaném [13, str. 1044].



Tabulka 3: Hodnoty napětí pro 1.0060 [13, str. 1127]

Značení	1.0060
R_m	570 MPa
R_e	325 MPa
σ_c	220 MPa
σ_{co}	280 MPa
τ_{ck}	170 MPa

3.2.2 VÝPOČET NEJMENŠÍHO PRŮMĚRU HŘÍDELE

Minimální průměr hřídele se vypočítá na základě maximálního kroutícího momentu, což je v našem případě kroutící moment hydromotoru. Výpočet dle [13, str. 1060].

$$d_{min} = \sqrt[3]{3 \cdot M_k \cdot \frac{16 \cdot k}{\pi \cdot R_e}} \text{ [mm]} \quad (16)$$

$$d_{min} = \sqrt[3]{3 \cdot 350 \cdot \frac{16 \cdot 2}{\pi \cdot 325 \cdot 10^6}} = 0,032m = 32mm$$

Kde

$M_k = 350 \text{ Nm}$ kroutící moment hydromotoru [Obrázek 10]

$k = 2$ součinitel bezpečnosti

$R_e = 325 \text{ MPa}$ mez kluzu [Tabulka 3]

Vypočítaný minimální průměr hřídele je platný pro hřídel bez vrubu. S ohledem na předpokládaný výskyt drážek pro pera je nutné, aby byl navýšen na 42mm.



3.2.3 KONTROLA PER NA OTLAČENÍ

S ohledem na konstrukční umístění per jsou všechna pera kontrolována na otláčení v náboji. Výpočet dle [13] str. 1080.

PERO UPÍNAČÍ DESKY

Výpočet působící síly

$$F_{bp1} = \frac{M_k}{\frac{D_{S1}}{2}} [N] \quad (17)$$

$$F_{bp1} = \frac{350}{\frac{0,05}{2}} = 14000N = 14 kN$$

Kde

$M_k = 350 Nm$ kroutící moment hydromotoru [Obrázek 10]

$D_{S1} = 50mm$ průměr hřídele v místě pera

Výpočet dovoleného tlaku

$$p_{D1} = 0,7 \cdot p_{01} [MPa] \quad (18)$$

$$p_{D1} = 0,7 \cdot 150 = 105 MPa$$

Kde

$p_{01} = 150 MPa$ základní hodnota tlaku pro náboj – ocel [13, str. 1081].

Výpočet otláčení pera náboje upínací desky

$$p_1 = \frac{F_{bp1}}{t_{11} \cdot (l_{p1} - b_{p1})} [Pa] \quad (19)$$

$$p_1 = \frac{14 \cdot 10^3}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot (60 - 14) \cdot 10^{-3}} = 86,96 MPa$$

$p_1 < p_{D1} \Rightarrow$ pero vyhovuje

Kde

$F_{bp1} = 14 kN$ působící síla dle výpočtu (17)

$t_{11} = 3,5mm$ výška pera v náboji [17, str. 467]

$l_{p1} = 60mm$ celková délka pera

$b_{p1} = 14$ šířka pera [17, str. 467]



PERO PRUŽNÉ SPOJKY

Výpočet chronologický s předchozím výpočtem pera upínací desky.

Výpočet působící síly

$$F_{bp2} = \frac{M_k}{\frac{D_{S2}}{2}} [N] \quad (20)$$

$$F_{bp2} = \frac{350}{\frac{0,042}{2}} = 16,667N = 16,7 kN$$

Kde

$M_k = 350 Nm$ kroutící moment hydromotoru [Obrázek 10]

$D_{S2} = 42mm$ průměr hřídele v místě pera

Výpočet dovoleného tlaku

$$p_{D2} = 0,7 \cdot p_{02} [MPa] \quad (21)$$

$$p_{D2} = 0,7 \cdot 110 = 77 MPa$$

Kde

$p_{02} = 110 MPa$ základní hodnota tlaku pro náboj – litina [13, str. 1081]

Výpočet otlacení pera pružné spojky

$$p_2 = \frac{F_{bp2}}{t_{12} \cdot (l_{p2} - b_{p2})} [MPa] \quad (22)$$

$$p_2 = \frac{16,7 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^{-3} \cdot (50 - 12) \cdot 10^{-3}} = 141,77 MPa$$

$p_2 < p_{D2} \Rightarrow$ nevyhovuje

Kde

$F_{bp2} = 1670 N$ působící síla dle výpočtu (20)

$t_{12} = 3,1 mm$ výška pera v náboji [17, str. 467]

$l_{p2} = 50 mm$ celková délka pera

$b_{p2} = 12 mm$ šířka pera [17, str. 467]



Jelikož s ohledem na rozměr příruby pružné spojky nelze navýšit délku pera, je nejefektivnějším řešením přidání dalšího pera.

Výpočet tlaku na jedno pero v případě užití dvou per

$$p_{2b} = \frac{p_2}{n_p} \text{ [MPa]} \quad (23)$$

$$p_{2b} = \frac{141,77}{2} = 70,89 \text{ MPa}$$

$p_{2b} > p_{D2} \Rightarrow$ pero, v případě užití dvou per, vyhovuje

Kde

$$p_2 = 141,77 \text{ MPa dle výpočtu (22)}$$

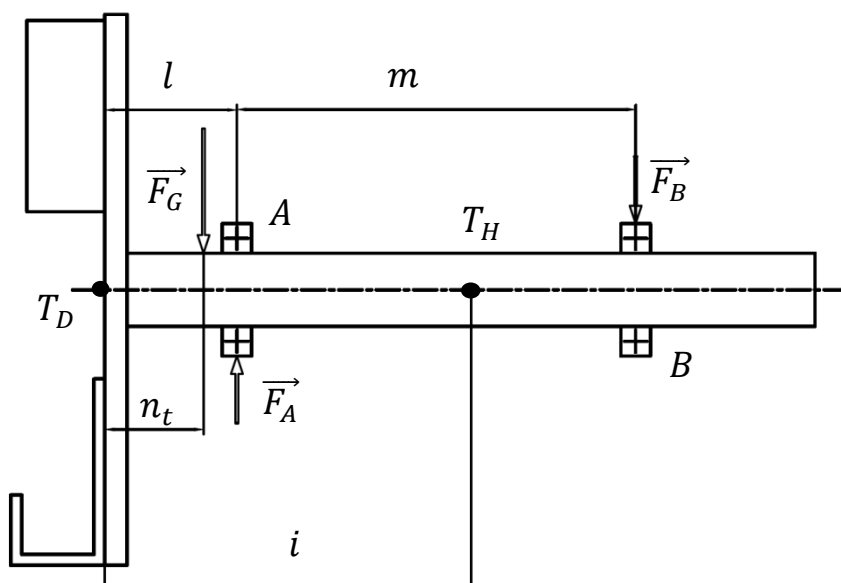
$$n_p = 2 \text{ počet per}$$

$$p_{D2} = 77 \text{ MPa dle výpočtu (21)}$$

3.3 NÁVRH A KONTROLA LOŽISEK

Pro uložení hřídele je volena dvojice kuželíkových ložisek. Kontrolní výpočet zahrnuje analýzu zatížení jednotlivých ložisek a výpočet životnosti.

Výpočet zatížení tíhovou silou



Obrázek 14: Rozbor tíhové síly



Tabulka 4: Navržené hodnoty parametrů uložení ložisek

l	75 mm
m	190 mm
i	160 mm

Výpočet tíhové síly

$$F_G = (m_D + m_H) \cdot g \text{ [N]} \quad (24)$$

$$F_G = (28,5 + 7,5) \cdot 9,81 = 353,2 \text{ N}$$

Kde

$m_D = 28,5 \text{ kg}$ hmotnost rotační desky včetně nožů a lopatek

$m_H = 7,5 \text{ kg}$ hmotnost hřídele

Výpočet polohy působíště tíhové síly – těžiště soustavy

$$n_t = \frac{i \cdot m_H}{m_D + m_H} \text{ [mm]} \quad (25)$$

$$n_t = \frac{160 \cdot 7,5}{28,5 + 7,5} = 33,3 \text{ mm}$$

Kde

$i = 160 \text{ mm}$ [Tabulka 4]

$m_D = 28,5 \text{ kg}$ hmotnost rotační desky včetně nožů a lopatek

$m_H = 7,5 \text{ kg}$ hmotnost hřídele

Výpočet zatížení jednotlivých ložisek tíhovou silou

Výpočet zatížení ložiska B

$$F_G \cdot (l - n_t) - F_B \cdot m = 0 \quad (26)$$

$$F_B = \frac{F_G \cdot (l - n_t)}{m} \text{ [N]}$$

$$F_B = \frac{353,2 \cdot (75 - 33,3)}{190} = 77,5 \text{ N}$$



Kde

$$F_G = 353,2 \text{ N t\u00edhov\u00e1 s\u00edla dle v\u00fdpo\u010tu (24)}$$

$$l = 75 \text{ mm [Tabulka 4]}$$

$$n_t = 33,3 \text{ mm dle v\u00fdpo\u010tu (25)}$$

$$m = 190 \text{ mm [Tabulka 4]}$$

V\u00fdpo\u010et zat\u00ed\u017een\u00ed lo\u017ei\u0161ka A

$$F_G = F_A - F_B \quad (27)$$

$$F_A = F_G + F_B [\text{N}]$$

$$F_A = 353,2 + 77,5 = 430,7 \text{ N}$$

Kde

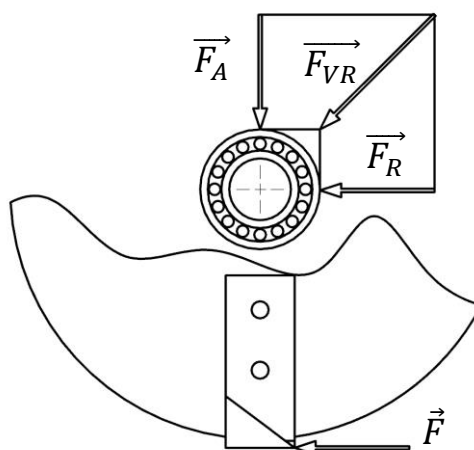
$$F_G = 353,2 \text{ N t\u00edhov\u00e1 s\u00edla dle v\u00fdpo\u010tu (24)}$$

$$F_B = 77,5 \text{ N dle v\u00fdpo\u010tu (26)}$$

Na z\u00e1klad\u011b vypo\u010ditan\u00fdch a p\u0159edpokl\u00e1dan\u00fdch hodnot zat\u00ed\u017een\u00ed je za rizikov\u00e9 lo\u017ei\u0161ko d\u00e1le pova\u017eov\u00e1no lo\u017ei\u0161ko A

V\u00fdpo\u010et celkov\u00e9ho radi\u00e1ln\u00edho zat\u00ed\u017een\u00ed lo\u017ei\u0161ka A

Radi\u00e1ln\u00ed zat\u00ed\u017een\u00ed lo\u017ei\u0161ka A se skl\u00e1d\u00e1 ze slo\u017eky s\u00edly t\u00edhov\u00e9 a s\u00edly reak\u010dn\u00ed od zat\u00ed\u017een\u00ed no\u017ee kroutic\u00edm momentem hydromotoru, viz [Obr\u00e1zek 15].



Obr\u00e1zek 15: Rozbor radi\u00e1ln\u00edho zat\u00ed\u017een\u00ed lo\u017ei\u0161ka A



$$F_{VR} = \sqrt{(F_A^2 + F_R^2)} \text{ [N]} \quad (28)$$

$$F_{VR} = \sqrt{(430,7^2 + 1167^2)} = 1243,9 \text{ N}$$

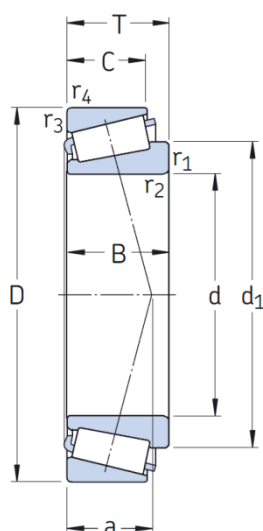
Kde

$F_A = 430,7 \text{ N}$ zatížení ložiska A tíhovou silou dle výpočtu (27)

$F_R = F = 1167 \text{ N}$ reakční síla od zatížení nože dle výpočtu (3)

Volba ložiska

Pro vypočtené hodnoty silových parametrů je voleno kuželíkové ložisko SKF 33112/Q, viz [Obrázek 16].



Obrázek 16: Ložisko SKF 33112/Q [18]

Tabulka 5: Parametry ložiska SKF 33112/Q [18]

Značení	SKF 33112/Q
d	60mm
D	100mm
T	30mm
Dynamická únosnost C	117 kN
Statická únosnost C0	170 kN
Mezní únavové zatížení Pu	19,6 kN



Výpočet axiální síly dle [19]

Axiální síla na kuželíková ložiska montovaná v tandemu má dvě složky – vnější a vnitřní. Vnější je dána odporem terénu proti pohybu příkopové frézy, její hodnotu lze zjistit pouze experimentálně, z důvodu předpokládané velikosti je tato složka pro další výpočty zanedbaná. Vnitřní složka je závislá na síle radiální.

$$F_{aA} = \frac{0,5 \cdot F_{VR}}{Y} [N] \quad (29)$$

$$F_{aA} = \frac{0,5 \cdot 1243,9}{1,5} = 414,6 N$$

Kde

$$F_{VR} = 1243,9 N \text{ radiální zatížení ložiska A dle výpočtu (28)}$$

$$Y = 1,5 \text{ výpočtový součinitel SKF [19]}$$

Ekvivalentní dynamické zatížení

$$\frac{F_{aA}}{F_{VR}} = \frac{414,6}{1243,9} = 0,33 < 0,4 \quad (30)$$

Jelikož je poměr sil menší než výpočtový součinitel dynamického zatížení ($e = 0,4$ [19]) tak se užije pro výpočet ekvivalentního zatížení následující vztah [19].

$$P = F_{VR} = 1243,9 N \quad (31)$$

Trvanlivost ložiska dle [19]

$$L_{10h} = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^{p_l} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} [h] \quad (32)$$

$$L_{10h} = 1 \cdot \left(\frac{117000}{1243,9}\right)^{3,3} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 540} = 1 \cdot 10^9 h > 50\,000 h \Rightarrow \text{ložisko vyhovuje}$$

Kde

$$a_1 = 1 \text{ součinitel prostředí [19]}$$

$$C = 117000 N \text{ dynamická únostnost ložiska [Tabulka 5]}$$

$$P = 1243,9 N \text{ ekvivalentní zatížení ložiska dle výpočtu (31)}$$

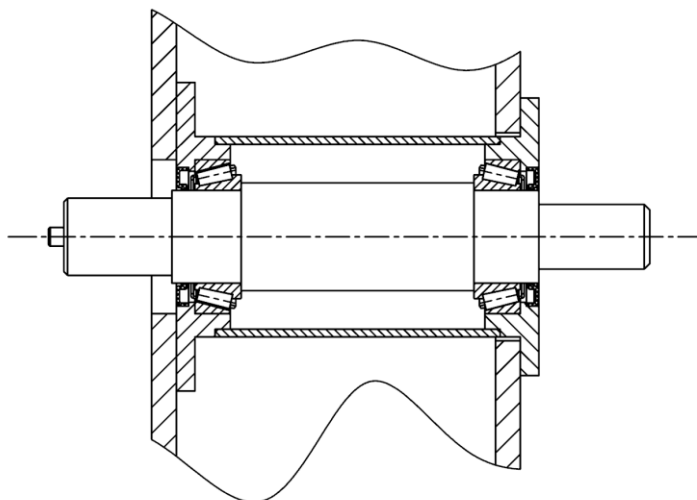
$$p_l = 3,3 \text{ součinitel typu ložiska [19]}$$

I když je vypočítaná životnost předimenzovaná, tak plně koresponduje s možnými rázy a silami, které nebyly při výpočtu zohledněny.



Ochrana ložisek

Přesto, že jsou volena velmi kvalitní a odolná ložiska, tak je s ohledem na jejich životnost vhodné minimalizovat působení nečistot v jejich bezprostředním okolí. Toho se docílí pomocí užití dvojice těsnění a zakrytování hřídele včetně ložisek trubkou, viz [Obrázek 17].



Obrázek 17: Uložení a ochrana ložisek

3.4 NÁVRH KRYTU

Zakrytování pracovní části frézy má za úkol usměrňovat odlétající části zemin a sedimentu.

3.4.1 MOŽNOSTI OVLÁDÁNÍ KRYTŮ

Z důvodu různých požadavků na usměrňování odlétající zeminy je nutné umožnit přenastavení segmentu krytů. To lze realizovat dvěma způsoby:

Mechanicky – část krytu je uložena na čepu, který umožňuje natáčení. Poloha je zaaretována většinou pomocí pojistného kolíku nebo šroubu, viz [Obrázek 18].



Obrázek 18: Příklad příkopové frézy s mechanicky nastavitelným krytem [20]



Hlavní nevýhoda tohoto řešení je v tom, že změna nastavení je velmi zdlouhavá a vyžaduje úplné zastavení stroje a přítomnost obsluhy.

Hydraulicky – část krytu se nastavuje pomocí hydraulického válce, který je napojen na hydraulický okruh nosného stroje, viz [Obrázek 19].



Obrázek 19: Příklad frézy s hydraulicky nastavitelným krytem. (Pzn – nejedná se o frézu určenou k čištění příkopů, ale k tvoření strouh v zemědělství – principiálně je stejná, ale mohutnější) [21]

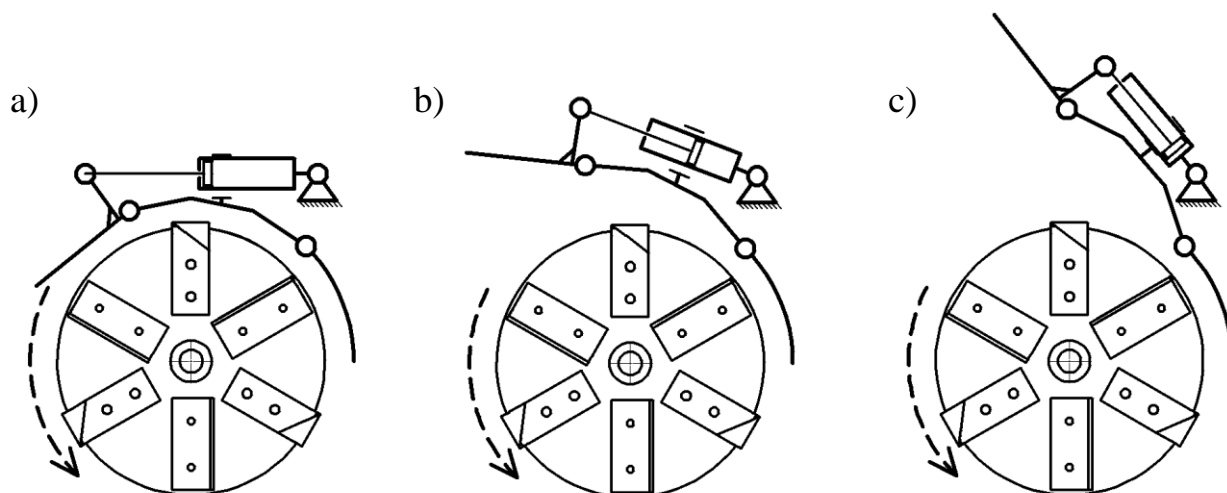
Hlavní výhodou tohoto řešení je jeho snadná přizpůsobitelnost i na členitější příkopy s různými nároky na vzdálenost odhozu zeminy. Změna probíhá kontinuálně během pracovního procesu frézy pomocí hydraulického rozvaděče ovládaného přímo z kabiny nosného stroje.

3.4.2 NÁVRH KINEMATIKY KRYTU

Všechna výše zmíněná řešení krytování se skládají ze dvou částí. První část je pevná a má za úkol prvotní usměrnění zeminy po odhozu lopatkou. Druhá část má možnost naklápění a jejím úkolem je korigovat další průběh odvodu zeminy a redukovat vzdálenost výhozu. Toto řešení je jistě dostačující pro většinu případů, má však i své nevýhody. První nevýhodou je případ úplného zavření, kdy odseparovaný materiál naráží na pohyblivou část krytu pod velkým úhlem (až 90°). To způsobuje jednak velké požadavky na tuhost konstrukce, ale hlavně velmi nevyzpytatelné chování zeminy, která se často vrací do pracovního prostoru frézy a způsobuje její zahlcení. To vede ke snížení kvality čištění i zbytečnému namáhání stroje. Další nevýhodou je velmi necitlivá regulace v mezipolozě.



Řešením je doplnit kinematiku krytu o další, volně naklápěcí, segment. Tím se docílí plynulého přechodu mezi zavřenou a otevřenou polohou a také v jakékoliv poloze (včetně úplného zavření) křivky profilu krytu plně respektující přirozený pohyb vyhazované zeminy. Viz [Obrázek 20].



Obrázek 20: Možné polohy krytování, a) Uzavřený kryt, b) Pootevřený kryt, c) Plně otevřený kryt, šipka vyznačuje směr rotace

3.5 NÁVRH HYDRAULICKÉHO VÁLCE

Hlavním úkolem hydraulického válce je přenastavovat úhel krytu a současně jej aretovat v požadované poloze. Rozměry není vhodné dimenzovat na základě maximální síly od vyhazované zeminy, jelikož hydraulický válec nebude tuto sílu absorbovat během vysouvání, nýbrž ve stavu statickém. Tudíž není překážkou, pokud tato síla vyvolá ve válci vyšší tlak, než dokáže vytvořit hydromotor. Důležité je zařadit před válec hydraulický zámek a těsnění dimenzovat s dostatečnou bezpečností.

Následující hlavní rozměry válce vychází z konstrukčního uspořádání krytů a požadavků na zástavbu. Jelikož je síla potřebná k přenastavení krytu řádově menší než ta, kterou dokáží válce vyvinout, jsou hlavní průměry voleny s ohledem na jednoduchost konstrukce. V případě menších průměrů musí být s ohledem na montáž těsnících prvků víko válce složeno ze dvou dílů. To zvyšuje nároky na výrobu a tím i cenu.



Tabulka 6: Parametry hydraulického válce

Značení	HV 32/20-110
Typ válce	Dvojčinný
Průměr válce	32 mm
Průměr pístnice	20 mm
Zdvih	110 mm
Vzdálenost mezi oky	282 mm
Průměry ok	20 mm

Výpočet síly válce

$$F_i = p \cdot S_i [N] \quad (33)$$

Kde

S_i je účinná plocha

$$S_v = \pi \cdot r_v^2 [m^2] \text{ plocha pístu} \quad (34)$$

$$S_z = (\pi \cdot r_v^2) - (\pi \cdot r_p^2) [m^2] \text{ plocha mezikruží} \quad (35)$$

Síla při výsunu pístní tyče

$$F_v = p \cdot \pi \cdot r_v^2 [N] \text{ dle vstahu (33) a vstahu (34)} \quad (36)$$

$$F_v = 20 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,016^2 = 16085 \text{ N}$$

Kde

$p = 20 \text{ MPa}$ pracovní tlak [Tabulka 1]

$r_v = 16 \text{ mm}$ poloměr válce [Tabulka 6]

Síla při zasouvání pístní tyče

$$F_z = p \cdot [(\pi \cdot r_v^2) - (\pi \cdot r_p^2)] [N] \text{ dle vstahu (33) a vsahu (35)} \quad (37)$$

$$F_z = 20 \cdot 10^6 \cdot [(\pi \cdot 0,016^2) - (\pi \cdot 0,01^2)] = 9797 \text{ N}$$



Kde

$p = 20 \text{ MPa}$ pracovní tlak [Tabulka 1]

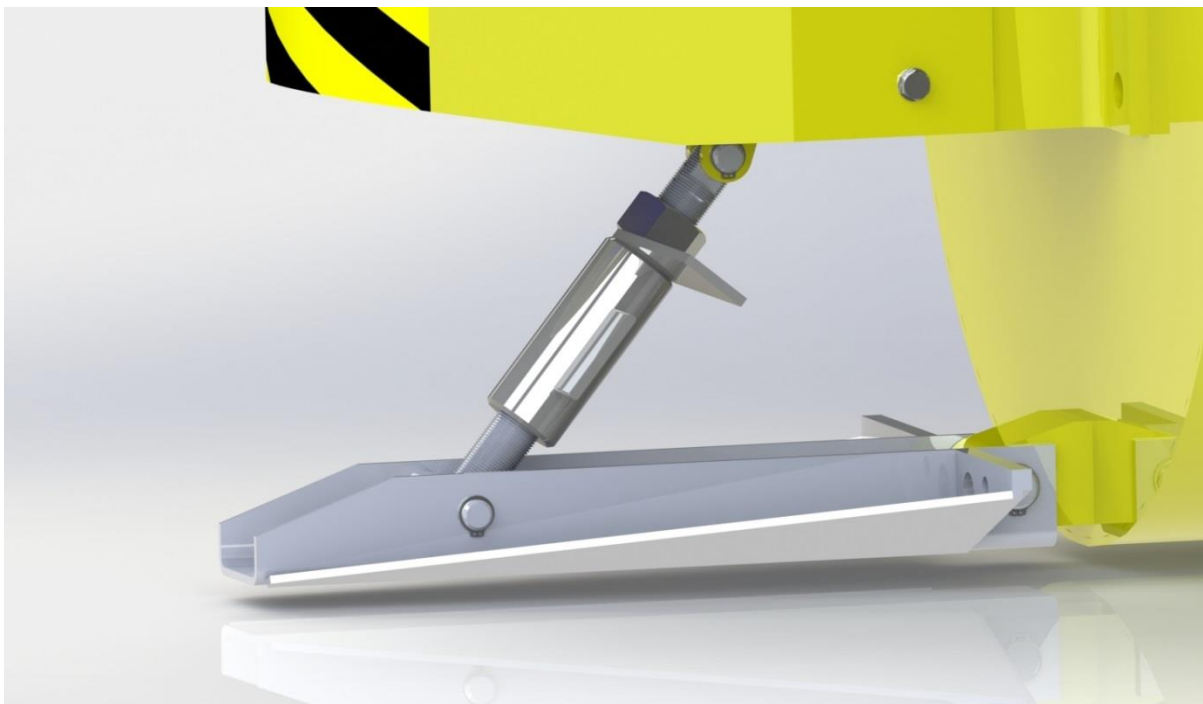
$r_v = 16 \text{ mm}$ poloměr válce [Tabulka 6]

$r_p = 10 \text{ mm}$ poloměr pístní tyče [Tabulka 6]

Kontrolní výpočet potvrdil předpoklad, že i s ohledem na pákový převod krytování je síla dostatečná.

3.6 NÁVRH SKLOPNÉ KONZOLY

Sklopná konzola slouží k nastavení úhlu vedení frézy. Různé zeminy mají různou schopnost hutnění a bez možnosti nastavení úhlu by se mohlo stát, že by měla fréza v jistých podmínkách tendenci vyjíždět ze záběru či být nepřiměřeně do záběru vtahována.



Obrázek 21: Zadní sklopná konzola

Konzola je k tělu frézy upevněna pomocí čepu, nastavení úhlu probíhá šroubováním a následným zajištěním závitové rozpěry. Viz [Obrázek 21].



3.7 VOLBA NOSNÉHO RAMENA A OVLÁDACÍCH PRVKŮ

S ohledem na zvolený nosný stroj je nevhodnější řešení zadně agregované rameno. Jako přípojný prvek se využívá zadní tříbodový závěs traktoru. Z nabídky firmy McConnel je voleno rameno typu Contractor, konkrétně Power arm 7085T [Obrázek 22].

Tabulka 7: Porovnání požadavků 7085T [23] a Zetoru Forterra HSX [9]

	Požadavek 7085T	Zetor Forterra HSX
Hmotnost stroje	5000kg	5761kg
Výkon	85 HP	136 HP
Uchycení	Tříbodový závěs	Tříbodový závěs

Výhodou ramene je integrovaná nádrž na hydraulický olej o objemu 225 l.



Obrázek 22: Zadně agregované rameno PA7085T [22]



Z kompatibilních ovládacích prvků je voleno ovládání Revolution [Obrázek 23]. Díky ergonomickému joysticku a přehledné obrazovce zajišťuje příjemnou, přesnou a dostatečně přehlednou obsluhu.



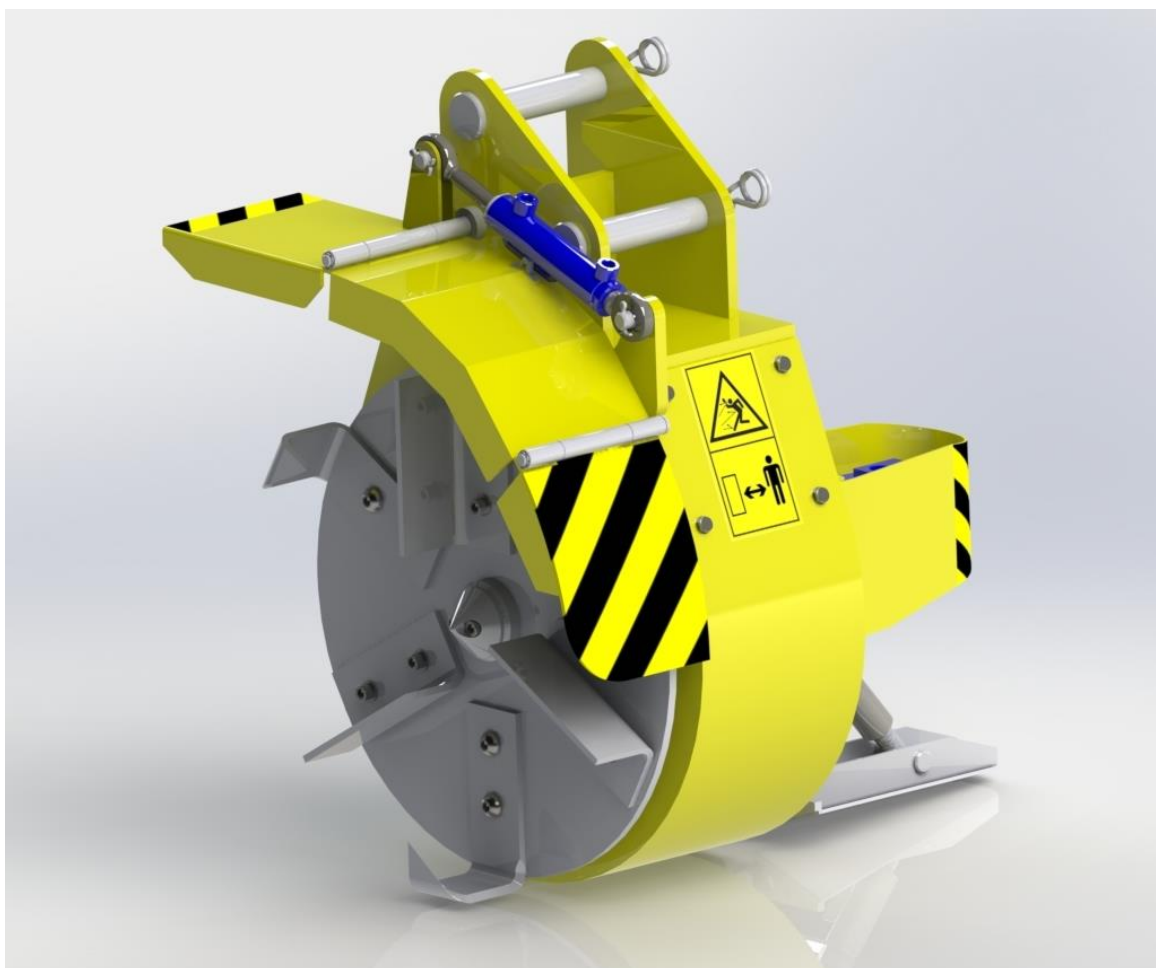
Obrázek 23: Ovládání McConnell Revolution [23]



ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit návrh koncepce strojního zařízení pro čištění silničních příkopů. Úvod práce obsahuje rešeršní přehled nejpoužívanějších způsobů čištění a strojního vybavení k tomu potřebného. Druhá kapitola se zabývá celkovou koncepcí stroje a volbou vhodných normalizovaných prvků. Konkrétně jde o hydromotor a pružnou spojku. V třetí části práce jsou uvedeny postupy návrhů stěžejních částí příkopové frézy. Kupříkladu se jedná o návrh koncepce pracovní části včetně samotného návrhu lopatek a nožů, zvláště návrh nože s inovativním dvoubřitým řešením. Dále práce obsahuje kompletní návrh hlavní hřídele včetně výpočtu únosnosti per. V závěru práce je pro její úplnost a praktickou využitelnost uveden příklad volby vhodné nosné a ovládací soustavy pro konkrétní typ stroje – traktor Zetor Forterra HSX.

Rozsah práce mi nedovolil využít naplno možnosti zvoleného tématu. V další fázi doporučuji pohled na optimalizace tvaru nožů a lopatek pomocí DEM simulace, ta by měla potvrdit některé předpoklady použité v této práci a také naznačit možnosti dalšího vývoje.



Obrázek 24: Celkový pohled na 3D model návrhu příkopové frézy



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] BOMFORD [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z:
<http://www.bomford-turner.com/products/heads/ditchcleaner/?nav=708>
- [2] Odvodnění pozemních komunikací: Technické podmínky. Praha: Ministerstvo dopravy, obor infrastruktury, 2008.
- [3] Dopravní stavby [online]. [cit. 2014-02-10]. Dostupné z:
<http://hgf10.vsb.cz/546/VHZ1/vyuka/doprava/odvodneni.html>
- [4] Wilmington [online]. [cit. 2014-04-19]. Dostupné z:
http://www.wilmingtonnc.gov/public_services/stormwater/drainage_maintenance
- [5] Čištění příkopů [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z:
http://www.slabce.cz/modules/tableadmin2/external/imageext_new.php?modal=true&image=WG9%2BY3N%2BMDkxNi5qcGd%2BZ2FsZXJpZX5vYnJhemVrX2NvdW50ZXJ%2BMTUyfmdhbGVyaWV%2BMX42OH5vWQ%3D%3D&width=600&height=450
- [6] MALUG [online]. [cit. 2014-04-25]. Dostupné z:
http://www.mulag.de/grabenbagger_hs2400.html?&L=1
- [7] CD služby s.r.o. [online]. [cit. 2014-04-24]. Dostupné z:
<http://www.studny-prikopy.cz/prikopy.html>
- [8] Farmers weekly [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z:
<http://www.fwi.co.uk/articles/23/01/2012/131095/lamma-2012-bomford-serves-up-a-treat.htm>
- [9] Zetor Fortera HSX [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z:
<http://www.zetor.cz/traktor-zetor-forterra-hsx>
- [10] Hydroma MS 125 [online]. [cit. 2014-03-05]. Dostupné z:
<http://www.hydroma.cz/files/product/1/18/891/data/069-10059.pdf>
- [11] TESPO [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.tespo-eng.cz/?id=47>
- [12] DOMEX [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:
<http://www.dimonthdx.cz/cz/domex/>
- [13] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Martin Hartl, Miloš Vlk. Brno: VUTIUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [14] CELJAK, Ivo. JU ZF, Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky. *Strojní zařízení pro realizaci stavebních prací*. České Budějovice, 2009.
- [15] JEŘÁBEK, Karel, František HELEBRANT, Josef JURMAN a Věra VOŠTOVÁ. *Stroje pro zemní práce. Silniční stroje*. Ostrava: VŠB TU, 1996.



- [16] Friction. [online]. [cit. 2014-03-16]. Dostupné z:
http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Tribology/co_of_frict.htm
- [17] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4. dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008, xiv, 914 s. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [18] SKF 33112/Q [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
<http://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/roller-bearings/tapered-roller-bearings/single-row/index.html?prodid=1310003112>
- [19] SKF Rolling bearings [online]. [cit. 2014-04-15]. Dostupné z:
<http://www.intechbearing.com/SKF-BEARINGS-905535-Intech.pdf>
- [20] NORMAT [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z:
<http://www.noremat.fr/int/materiels-outils-cureuse-i1.php?lang=en>
- [21] OZAMET [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z:
<http://ozamet.pl/en/product/rf-ditch-cleaner>
- [22] MCCONNEL [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z:
<http://www.mcconnel.com/Products/Powerarms/contractor/pa6585t/Default.aspx?nav=PA6585T>
- [23] MC REVOLUTION [online]. [cit. 2014-03-12]. Dostupné z:
<http://www.mcconnel.com/showimage.aspx?title=Revolution%20Controls&img=/images/products/controls/revolutionlarge.jpg>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[m/ s ²]	zrychlení zeminy během výhozu
a_1	[-]	součinitel prostředí ložiska
A_S	[mm ²]	výpočtový průřez jádra šroubu
b_{p1}	[mm]	šířka pera upínací desky
b_{p2}	[mm]	šířka pera pružné spojky
C	[kN]	dynamická únosnost ložiska
C_0	[kN]	statická únosnost ložiska
d	[mm]	vnitřní průměr ložiska
D	[mm]	vnější průměr ložiska
d_{\min}	[mm]	minimální průměr hřídele
D_{S1}	[mm]	průměr hřídele v místě pera upínací desky
D_{S2}	[mm]	průměr hřídele v místě pera pružné spojky
e	[-]	výpočtový součinitel dynamického zatížení ložiska
F	[N]	zatěžující síla
f	[-]	koeficient tření
F'	[N]	síla od reakčního momentu
F_A	[N]	zatížení ložiska A tíhovou silou
F_{aA}	[N]	axiální zatížení ložiska
F_B	[N]	zatížení ložiska B tíhovou silou
F_{bp1}	[N]	síla působící na pero upínací desky
F_{bp2}	[N]	síla působící na pero pružné spojky
F_G	[N]	tíhová síla
F_p	[N]	předpínací síla šroubu
F_R	[N]	reakční síla od zatížení nože
F_S	[N]	návrhová únosnost šroubu
f_s	[-]	součinitel tření na stykových plochách
F_{SA}	[N]	zatížení šroubu A
F_{SB}	[N]	zatížení šroubu B
F_v	[N]	síla při výsunu pístní tyče
F_{VR}	[N]	celkové radiální zatížení ložiska A
F_z	[N]	síla při zasouvání pístní tyče
G_k	[Nm]	reakční moment



h	[m]	hloubka záběru frézy
i	[mm]	poloha těžiště hřídele
i_t	[-]	počet třecích ploch
K_B	[-]	bezpečnost šroubu B
K_f	[Pa]	součinitel odporu rýpání
k_S	[-]	součinitel otvoru pro šroub
l	[mm]	poloha ložiska A
L_{10h}	[h]	trvanlivost ložiska
l_{p1}	[mm]	délka pera upínací desky
l_{p2}	[mm]	délka pera pružné spojky
l_r	[mm]	rameno reakčního momentu
m	[mm]	rozteč ložisek hřídele
m_D	[kg]	hmotnost upínací desky včetně nožů a lopatek
m_H	[kg]	hmotnost hřídele
M_k	[Nm]	kroučící moment hydromotoru
m_z	[kg]	hmotnost zeminy odebírané jedním nožem
n	[min ⁻¹]	otáčky hydromotoru
n_p	[-]	počet per pružné spojky
n_t	[mm]	působíště tíhové síly
n_z	[-]	počet nožů frézy
p	[MPa]	tlak v hydraulickém okruhu
P	[N]	ekvivalentní dynamické zatížení ložiska
p_{01}	[MPa]	základní hodnota tlaku pro náboj upínací desky
p_{02}	[MPa]	základní hodnota tlaku pro náboj pružné spojky
p_1	[MPa]	otlačení pera náboje upínací desky
p_2	[MPa]	otlačení pera náboje pružné spojky
p_{2b}	[MPa]	tlak na pero pružné spojky pro variantu s dvěma pery
p_{D1}	[MPa]	dovolený tlak na pero upínací desky
p_{D2}	[MPa]	dovolený tlak na pero pružné spojky
p_l	[-]	součinitel typu ložiska
P_u	[kN]	mezní únavové zatížení
r	[m]	poloměr pracovní části frézy
R_e	[MPa]	mez klusu



R_h	[N]	třecí síla zeminy – odpor lopatky
R_m	[MPa]	pevnost v tahu
r_p	[mm]	poloměr pístní tyče hydraulického válce
R_f	[N]	rypný odpor nože
r_v	[mm]	poloměr hydraulického válce
S_v	[m ²]	plocha pístu
S_z	[m ²]	plocha mezikruží hydraulického válce
T	[mm]	šířka ložiska
t_{11}	[mm]	výška pera v náboji upínací desky
t_{12}	[mm]	výška pera v náboji pružné spojky
v	[m/s]	rychlost posuvu frézy
Y	[-]	výpočtový součinitel SKF
z	[mm]	rozteč děr pro šrouby na noži
z	[m]	posuv frézy na jeden nůž
γ_{M3}	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti pro šroubové spoje
ρ	[kg/ m ³]	hustota zeminy
σ_c	[MPa]	mez únavy
σ_{co}	[MPa]	mez únavy při ohybu za rotace
τ_{ck}	[MPa]	mez únavy v krutu
ω	[rad/s]	úhlová rychlost



SEZNAM PŘÍLOH

Výkresová dokumentace

Příkopová fréza	1-BP14-00	Výkres sestavy
Příkopová fréza	4-BP14-00-K	Seznam položek
Hřídel	2-BP14-01	Výrobní výkres
Nůž	3-BP14-02	Výrobní výkres
Buben	2-BP14-03.01	Výrobní výkres