



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

PŘÍDAVNÉ KULTIVAČNÍ ZAŘÍZENÍ SMYKEM ŘÍZENÉHO NAKLADAČE

TILLER ATTACHMENT FOR A SKID STEER LOADER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavel Řezníček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Pavel Řezníček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Přídavné kultivační zařízení smykem řízeného nakladače

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh přídavného rotačního zařízení na smykem řízený nakladač pro technologii nakypření a rozmělnění vrstvy zeminy. Přídavné zařízení bude snadno připojitelné na zvolený smykem řízený nakladač. Touto technologií je možno rozpojit i zbytky kořenových systémů keřů a náletových dřevin.

Technické parametry a požadavky:

Hloubka rozrušování min. 100 mm.

Smykem řízený nakladač dle zvolené kategorie.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní rozbor obdobných přídavných zařízení a příslušných smykem řízených nakladačů.

Legislativní předpisy a bezpečnostní požadavky.

Koncepční návrh přídavného zařízení.

Funkční rozměrové a silové výpočty.

Upřesnění konstrukce přídavného zařízení návrhem komponent.

Pevnostní výpočet vybraných konstrukčních uzlů.

Výkres sestavy přídavného zařízení.

Podsestava svařence rámu.

Dílenské výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

VANĚK, Antonín. Strojní zařízení pro stavební práce. 2., přeprac. vyd. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN 8085920611.

JEŘÁBEK, Karel. Stroje pro zemní práce: Silniční stroje. 1. vyd. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. ISBN 8070783893.

MICHALÍČEK, Milan. Dynamika stavebných strojov. 2. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 1996. Edícia skript. ISBN 8022708798.

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem rotačního kypřiče pro smykem řízený nakladač. Rešeršní část pojednává o rozdělení kypřičů a metodách kypření. Hlavní část se zabývá návrhem kypřiče ke zvolenému smykem řízenému nakladači a výpočty stěžejních prvků kypřiče.

KLÍČOVÁ SLOVA

Rotační kypřič, kypřič, smykem řízený nakladač, nakladač, přídatné zařízení

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the structural design of a rotary tiller for a skid steer loader. The research part deals with the division of tillers and methods of tillage. The main part deals with the design of tiller for the selected skid steer loader and calculations of the main parts of the tiller.

KEYWORDS

Rotary tiller, tiller, skid steer loader, loader, attachment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŘEZNÍČEK, Pavel. *Přídavné kultivační zařízení smykem řízeného nakladače* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124263>.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 51 s. Vedoucí práce Jaroslav Kašpárek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 26. června 2020

.....

Pavel Řezníček

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Jaroslavu Kašpárkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu a všestrannou pomoc při studiu na vysoké škole.

OBSAH

Úvod	10
1 Rešeršní přehled.....	11
1.1 Používaná strojní zařízení	11
1.1.1 Kypřiče s poháněnými pracovními orgány	11
1.1.2 Kypřiče s nepoháněnými pracovními orgány	12
1.2 Nosné stroje rotačních kypřičů	12
1.2.1 Traktor	12
1.2.2 Smykem řízený nakladač	13
1.2.3 Jednonápravové malotraktory	13
1.3 Pohony kypřičů	14
1.3.1 Hydraulický pohon	14
1.3.2 Pohon přes vývodový hřídel	15
1.4 Nože a jejich uchycení	16
1.4.1 Nože	16
1.4.2 Uchycení nožů	17
1.5 Způsoby kypření půdy	18
1.6 Výrobci kypřičů ke smykem řízenému nakladači	19
1.7 Legislativní předpisy a bezpečnostní požadavky	19
2 Výběr varianty a nosného zařízení.....	20
2.1 Výběr stroje	20
2.2 Uspořádání základních prvků	21
2.3 Volba hydromotoru a pružné spojky	21
3 Konstrukční řešení.....	24
3.1 Návrh nože	24
3.1.1 Výpočet parametrů hydromotoru	24
3.1.2 Výpočet rypného odporu	25
3.1.3 Výpočet kroutícího momentu od rypného odporu	26
3.1.4 Kontrola šroubu na uchycení nože	27
3.2 Návrh a kontrola hřídele	29
3.2.1 Výběr materiálů	29
3.2.2 Výpočet minimálního průměru hřídele	29
3.2.3 Volba a kontrola trubky	30
3.2.4 Kontrola svarů	31
3.2.5 Kontrola drážek na otlačení	36
3.3 Návrh a kontrola ložiska	39
Závěr	41
Použité informační zdroje.....	42
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	45
Seznam příloh	48

ÚVOD

Tato bakalářská práce pojednává o konstrukčním řešení rotačního kypřiče s horizontální osou rotace. Toto zařízení se nejčastěji využívá v zemědělství jako jedna z operací nutných pro přípravu půdy před setím a sázením zemědělských plodin. Kypřiče rovnoměrně prokypřují půdu v celé šířce záběru. Podstatou je urovnání povrchu, drobení, rozměňování hrud, kypření povrchu. Možnost využití kypřiče je i ve vinohradnictví. Zde se využívají ke zpracování minerálních hnojiv, zeleného hnojení, k narušení půdních kapilár, a hlavně k ničení plevelů, kde při této operaci dochází k podřezávání kořenových systémů plevelů. Další využití je ve stavebnictví, kde je využití velmi podobné jako v zemědělství. A to pro přípravu záhonů nebo trávníků, viz Obr. 1, popřípadě také k ničení plevelů. Dále se může použít pro rozpojení pevné zeminy. Díky tomu dochází k menšímu opotřebení lopat strojů, které poté tuto zeminu přemísťují.[1][2][4]



Obr. 1 Rotační kypřič od firmy CAT [4]

1 REŠERŠNÍ PŘEHLED

V této části je krátce shrnuto rozdělení kypřičů, jejich pracovních orgánů a připojení k nosným zařízením. Nakonec je uvedeno pár příkladů rotačních kypřičů, a jejich parametrů, od různých výrobců.

1.1 POUŽÍVANÁ STROJNÍ ZAŘÍZENÍ

Kypřiče můžeme rozdělit do dvou velkých skupin, a to na kypřiče s nepoháněnými pracovními orgány a na kypřiče s poháněnými pracovními orgány. [1]

1.1.1 KYPŘIČE S POHÁNĚNÝMI PRACOVNÍMI ORGÁNY

Tato skupina se vyznačuje tím, že pro samotnou práci je nutný přívod kroutícího momentu na pracovní části rotačního kypřiče. Tyto kypřiče se dále mohou dělit do dvou skupin podle osy rotace pracovních orgánů. [1]

- **Rotační kypřič s horizontální osou rotace (rotavátory)**

Jsou tvořeny krytem, který zároveň slouží jako nosný rám. Horizontálně směrem k zemi je umístěn rotační nožový buben, který je uchycen mezi boky krytu. Buben je pak poháněn pomocí hřídele viz. Obr. 2. [1]



Obr. 2 Rotační kypřič Huschi-Puma [3]

- **Rotační kypřič s vertikální osou rotace (rotační brány)**

Příčně ke směru pojezdu je nesen pevný rám, na kterém jsou v řadě umístěny pracovní jednotky, které tvoří nosič opatřený dvěma ocelovými trny viz. Obr. 3. Pohon těchto jednotek je prováděn pomocí ozubených kol nebo klínových řemenů. [1] [6]



Obr. 3 Rotační brány Kverneland H series [6]

1.1.2 KYPŘIČE S NEPOHÁNĚNÝMI PRACOVNÍMI ORGÁNY

Také nazývány jako radličkové kypřiče, jsou zařízení, která plní svou funkci při vlečení za nosným zařízením. Nosná zařízení jsou převážně traktory a typické využití je v zemědělství. Pracovní šířka dosahuje podobných, často větších rozměrů než kypřiče s poháněnými pracovními orgány. Výhodou velkých rozměrů je rychlejší zpracování půdy na polích s větší rozlohou. Jako pracovní orgány se u těchto kypřičů používají radličky. Ty jsou uchyceny na vysoké slupici, která je vyrobena z ocelového pásu. Slupice jsou pak připevněny k rámu celého kypřiče. Radličky mývají různý tvar podle toho, jaký charakter práce plní. U tohoto typu kypřičů je mnohem běžnější kombinované provedení, kdy za kypřič jsou dále na stejném rámu připevněny rotační disky nebo prutové válce viz. Obr. 4. [1]



Obr. 4 Univerzální kypřič BEDNAR VERSATILL VO_PROFI [8]

1.2 NOSNÉ STROJE ROTAČNÍCH KYPŘIČŮ

Rotační kypřič je přídavné zařízení, pro plnění svého účelu tedy potřebuje nosný stroj.

1.2.1 TRAKTOR

Traktor je používán především v zemědělství. Kypřič je k němu připojen pomocí tříbodového závěsu na zadní straně traktoru viz. Obr. 5.



Obr. 5 Rotační kypřič Maschidi-W model [3]

1.2.2 SMYKEM ŘÍZENÝ NAKLADAČ

Rotační kypřič se ke smykem řízenému nakladači připojuje pomocí připojovací desky viz. Obr. 6. Ta slouží i pro připojení dalších přídatných zařízení, jako jsou lopaty či zametací kartáč.



Obr. 6 CAT rotační kypřič s připojovací deskou [4]

1.2.3 JEDNONÁPRAVOVÉ MALOTRAKTORY

Tato zařízení mají jen jednu nápravu, která slouží k pohybu stroje viz. Obr. 7. K jednonápravovému malotraktoru se dá připojit více zařízení. Pro správné fungování malotraktoru s připojeným kypřičem je velmi důležité vyvážení celé sestavy. Pokud vyvážení nebude přesné, obsluha stroje bude muset vyvinout vyšší fyzickou práci pro operaci s kypřičem. To může způsobit i nižší kvalitu prokypření půdy nebo samotné poškození stroje. Další možností těchto malotraktorů jsou jednoúčelová zařízení. Tato zařízení nemají nápravu s koly. Ta je nahrazena pracovním bubnem s noži. Tento buben pak slouží i k pohybu celého zařízení. Jak z názvu plyne, tak zařízení se používá jen pro jeden účel. [1]

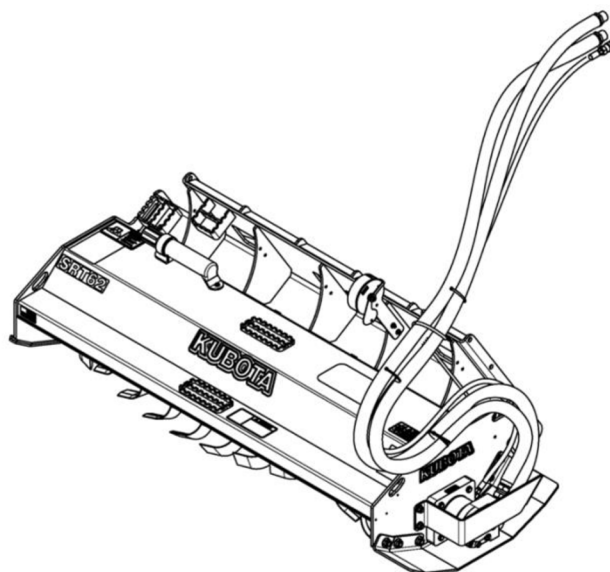


Obr. 7 Jednonápravový malotraktor AGRIA 3400 KL [5]

1.3 POHONY KYPŘIČŮ

1.3.1 HYDRAULICKÝ POHON

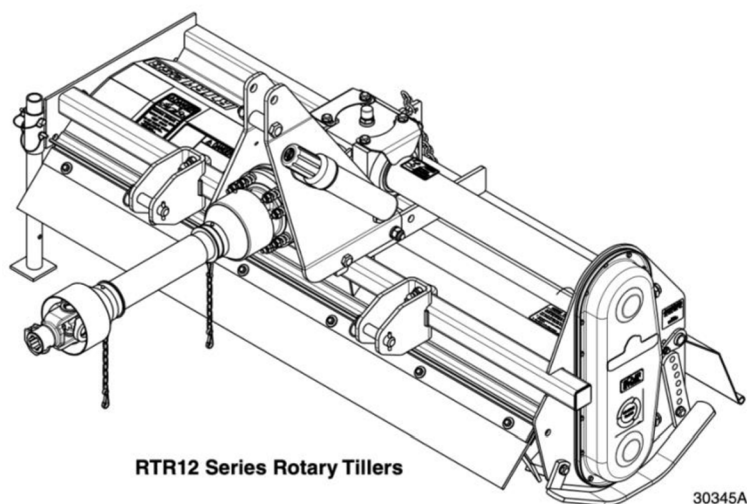
Motor kypřiče je poháněn hydraulickým okruhem daného nosného stroje, nejčastěji smykem řízeného nakladače. U smykem řízených nakladačů se používá hydraulický okruh určený pro přídatná zařízení. Pro většinu rotačních kypřičů se k pohonu používá okruh s nízkým průtokem. Další možností použití hydraulického okruhu je okruh s vysokým průtokem. Tento okruh poskytuje větší průtok hydraulické kapaliny při stejných podmínkách, jako je okruh s nízkým průtokem. To může být využito pro rotační kypřiče, které potřebují pro provoz větší otáčky. Nevýhodou je, že tento okruh není standardní výbavou smykem řízených nakladačů. Hydromotor může být zapojen napřímo viz. Obr. 8 nebo přes řetězový převod. Výhoda umístění hydromotoru napřímo je především v jednoduchém zapojení. [4] [9] [16]



Obr. 8 Rotační kypřič KUBOTA AP-SRT76 [7]

1.3.2 POHON PŘES VÝVODOVÝ HŘÍDEL

Tento pohon je využíván pro traktory, které mají vývodový hřídel. Ten se používá k pohonu většiny přídatných zemědělských zařízení. Otáčky jsou přenášeny z vývodového hřídele přes úhlovou převodovku a následně přes převod ozubených kol na hřídel kypřiče viz. Obr. 9. Rotační kypřiče pro malé výkonové třídy mohou mít, místo převodu ozubenými koly, řetězový převod. Pro jednocelové kypřiče se používá šnekový nebo řemenový převod. Z hlediska delší životnosti je lepší převod šnekový, je ale složitější na údržbu. [1] [3]



Obr. 9 Rotační kypřič Land Pride RTR12 [7]

1.4 NOŽE A JEJICH UCHYCENÍ

1.4.1 NOŽE

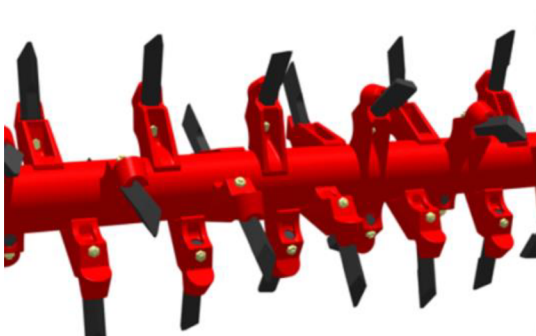
Nože jsou důležitou pracovní částí rotačního kypřiče. Jejich úkolem je rozpojení zeminy a její rozdrčení. Dalším úkolem může být zapracování hnojiva do země nebo rozpojení kořenových systémů. Podle tuhosti zeminy a způsobu kypření půdy můžeme nože dělit na:

- L-nože: Také nazývané jako úhlové nože viz. Obr. 10. Nepronikají do velkých hloubek jako obloukové nože. Díky tomu dochází k dobrému rozpadání celkově menších hrud a výsledná struktura umožňuje dosáhnout kvalitnějšího povrchu.
- C-nože: Také nazývané jako obloukové nože či kopinaté nože viz. Obr. 10. Při stejných parametrech kypřiče pronikají do větších hloubek než úhlové nože, avšak tříška odkrajované zeminy je větší a výsledné nakypření horší.

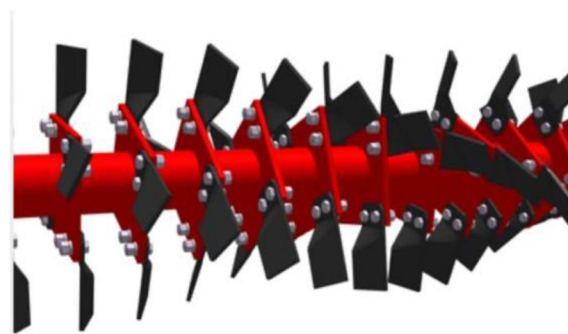


Obr. 10 Typy nožů od firmy MASCHIO [3]

- Přímé nože: Používají se do velmi tvrdých a suchých zemin. Nože mohou být tvořeny z plechu bez zahnutí viz. Obr. 12. Na rotoru jsou umístěny blízko u sebe, díky tomu tvrdou zeminu dobře rozpojí. Dále mohou být nože z válcových prutů, které mají ve směru zabírání do zeminy zbrošenou plošku viz. Obr. 11. Tento typ nožů se používá do kamenitých zemin, kde díky svému tvaru mají menší opotřebení čepel než nože tvořené plechem.



Obr. 11 Rotor Condor s přímými noži [3]



Obr. 12 Rotor Cobra s přímými noži [3]

Pro snížení opotřebení nožů se používají různé povlaky. Například wolframový povlak, který se nanáší na čepel nože viz. Obr. 10. Rozložení povlaku na noži je na obrázku vyznačeno

modrou barvou. Další možností je na čepel nože navařit přídavný materiál, který má lepší otěruvzdornost než materiál nože viz. Obr. 13.



Obr. 13 Hřeb KX/KG od firmy AMAZONE [17]

1.4.2 UCHYCENÍ NOŽŮ

U rotačních kypřičů, používaných jako přídavné zařízení k traktoru, jsou nože uchyceny pevně a nepohyblivě k přírubě. Uchycení je realizováno pomocí dvou šroubů. Tato varianta může být použita i u smykem řízených nakladačů, ale rotační kypřiče ke smykem řízenému nakladači jsou většinou realizovány jako obousměrné. To znamená, že hřídel s noži může rotovat ve směru jízdy i proti směru jízdy. Proto jsou nože na těchto kypřičích uchyceny volně jedním šroubem viz. Obr. 14. Uchycení umožňuje mírné vychýlení nože o určitý úhel na obě strany. Při rotaci nože, určitým směrem, se nůž při pronikání do zeminy opře o přírubu. Aby mohl nůž pronikat do zeminy v obou směrech, má vytvořenou čepel na obou stranách.



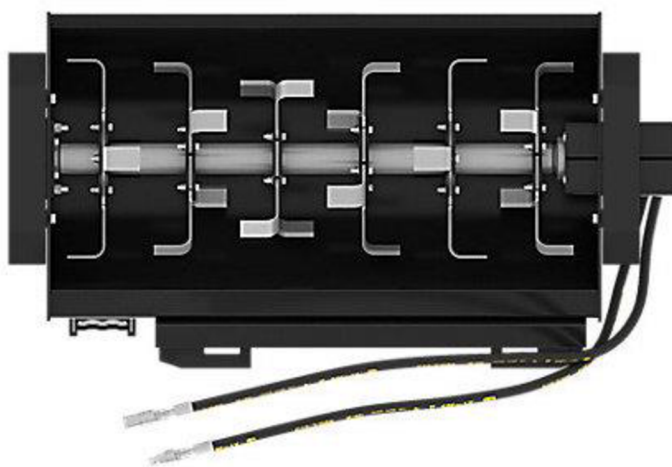
Obr. 14 Haugen Roto-Tiller [18]

Důležitý parametr je i počet nožů na jedné přírubě. Nejběžnější uspořádání je tvořeno ze čtyř nožů. Ty jsou rovnoměrně rozdělené na přírubě tak, aby nevznikaly rázy. S větším počtem nožů na přírubě se při stejných otáčkách bubnu snižuje velikost odebírané třísky zeminy. To znamená menší požadovaný kroučící moment pro odebírání zeminy. Další počet nožů na přírubě může být pět nebo šest.



*Obr. 15 Himac Skid Steer Rotary Tiller
[12]*

Vzhledem k tomu, že buben je tvořen z většího počtu přírub, je pro správné fungování důležité jejich uspořádání. První možností je seřazení přírub, kdy nože na přírubách tvoří jednu linii podél osy bubnu viz. Obr. 15. Nevýhodou tohoto uspořádání mohou být rázy, které vznikají při vnikání nožů do zeminy, ty pak mohou ovlivnit životnost motoru. Tuto nevýhodu řeší druhá možnost uspořádání přírub, při kterém tvoří nože šroubovici kolem osy bubnu viz. Obr. 16. Díky tomu je chod rotačního kypřiče rovnoměrný.



Obr. 16 CAT LT13B [4]

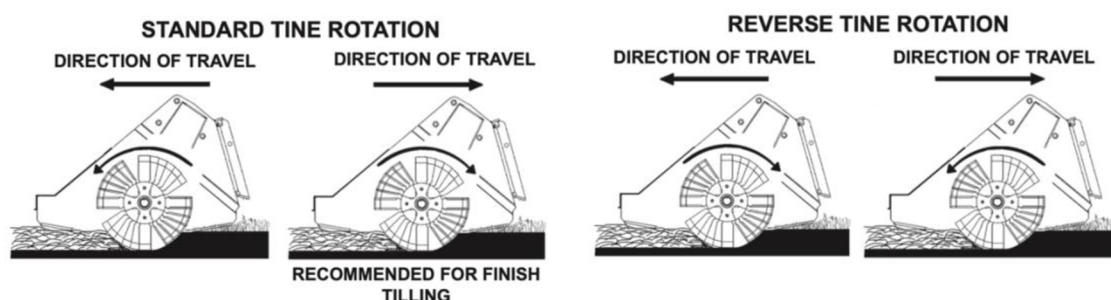
1.5 ZPŮSOBY KYPŘENÍ PŮDY

Rotační kypřiče využívají dvě varianty kypření. Rozdělují se podle smyslu rotace bubnu. První variantou je, že buben rotačního kypřiče rotuje ve stejném směru, jako pohyb nosného stroje. To znamená, že nože pronikají do země seshora a kypřič hrne stébla trávy pod sebe. Tímto způsobem je možné tyto stébla trávy či nálety dřevin rozsekat na malé kousky. Dále je tato varianta vhodná pro správné promíchání kompostu, který se z povrchu dostane do země.

V případě druhé varianty rotuje buben rotačního kypřiče v opačném směru, než je pohyb nosného stroje. V tomto případě rotační kypřič může snadněji proniknout do větších hloubek

a zároveň lépe prokypří půdu. Při této metodě je rotační kypřič schopen zakopat malé kameny do půdy, výsledkem toho je dobře prokypřená půda bez kamenů. Obě tyto metody jsou znázorněny na Obr. 17.

Rotační kypřiče, určené pro připojení k traktoru, jsou často uzpůsobeny jen pro jeden směr rotace, většinou pro druhou variantu. Rotační kypřiče pro smykem řízené nakladače jsou však nejčastěji stavěny pro obě varianty kypření. Při použití rotačního kypřiče určeného jen pro jeden směr rotace je nutné, pro využití obou variant, změnit směr jízdy smykem řízeného nakladače. Nevýhodou je, že při jízdě dopředu zůstávají na upravené zemině stopy po pneumatikách či pásech smykem řízeného nakladače. [10][16][19][20][21]



Obr. 17 Varianty kypření pro smykem řízený nakladač [16]

1.6 VÝROBCI KYPŘIČŮ KE SMYKEM ŘÍZENÉMU NAKLADAČI

V příloze P1 je vytvořena tabulka, ve které je uvedeno několik výrobců kypřičů, určených pro smykem řízené nakladače. Dále jsou v tabulce uvedeny jejich základní parametry důležité pro pohon kypřiče a jejich funkce. Součástí přílohy jsou i obrázky kypřičů uvedených v tabulce.

Z tabulky je možné vyčíst, že většina rotačních kypřičů má hydromotor napojený napřímo k bubnu. Nejčastější maximální hloubka kypření půdy je kolem 15 cm a rozdělení nožů na přírubě po čtyřech. [4][7][10][11][12][16]

1.7 LEGISLATIVNÍ PŘEDPISY A BEZPEČNOSTNÍ POŽADAVKY

Rotační kypřič se připojuje ke smykem řízenému nakladači. Pro bezpečný provoz smykem řízeného nakladače platí norma ČSN EN 474-3+A1. Tato norma vysvětluje pojem nakladač a smykem řízený nakladač. Dále se zabývá nebezpečími, nebezpečnými situacemi a událostmi, které se týkají nakladačů i přídavných zařízení. Toto platí, pokud je nakladač používán podle svého určení a za podmínek předpokládaných výrobcem. V normě jsou dále uvedena příslušná technická opatření k vyloučení nebo snížení rizik při provozu. [22]

V manuálech pro rotační kypřiče jsou uvedeny pokyny pro správné používání a bezpečnost při provozu rotačního kypřiče. Zároveň jsou na rotační kypřič umístěny výstražné samolepky upozorňující na nebezpečí při provozu rotačního kypřiče. [7]

2 VÝBĚR VARIANTY A NOSNÉHO ZAŘÍZENÍ

V této kapitole jsou popsány základní parametry, důležité pro provoz kypřiče, vybraného nosného zařízení a předběžných komponent k rotačnímu kypřiči a jeho základní návrhová varianta.

Vstupní parametry: Hloubka rozrušování zeminy min. 100 mm
Smykem řízený nakladač dle zvolené kategorie

2.1 VÝBĚR STROJE

Jako nosný stroj navrhovaného rotačního kypřiče je zvolen smykem řízený nakladač JCB 260 viz. Obr. 18. Parametry tohoto nakladače jsou srovnatelné s většinou výrobců v této kategorii. Je to například hydraulický okruh s nízkým průtokem montovaný již v základní verzi. Největší rozdíl je však v tom, že operátor do stroje nastupuje bočními dveřmi, a tak při navrhování kypřiče není důležité myslet na to, aby se obsluha bezpečně dostala přes přídavné zařízení do stroje. Na objednání je možné doplnit stroj o hydraulický okruh s vysokým průtokem.

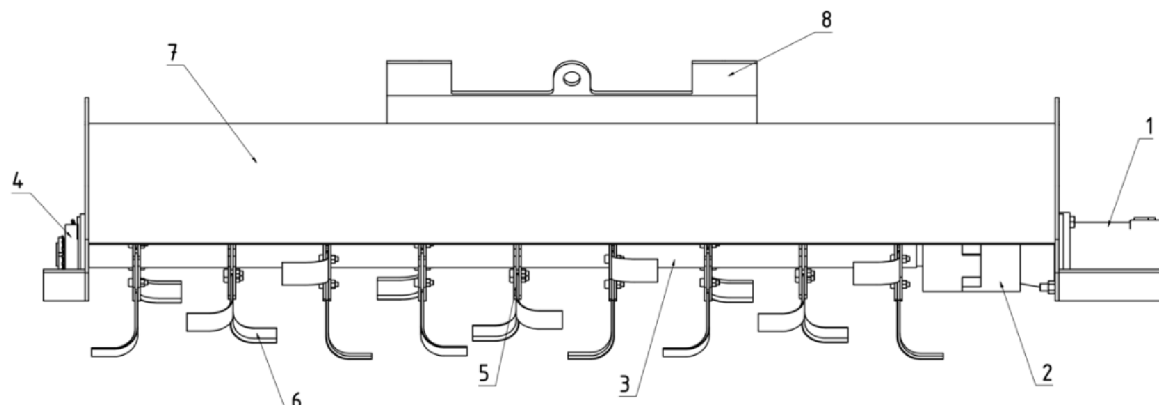
Důležité parametry pro návrh kypřiče [9]:

- Pracovní tlak: 23 MPa
- Průtok hydraulické kapaliny: 90 l/min
- Vysoký průtok hydraulické kapaliny: 125 l/min



Obr. 18 JCB 260 [9]

2.2 USPOŘÁDÁNÍ ZÁKLADNÍCH PRVKŮ



Obr. 19 Schéma rotačního kypřiče

Kroutící moment je z hydromotoru (1) přenášen přes pružnou spojku (2) na hřídel (3), která je uložena v ložiskové jednotce (4) připevněné k rámu. Ta se skládá z devíti přírub (5), na každé přírubě jsou upevněny čtyři nože (6). Rám stroje je tvořen krytem (7), který zároveň slouží pro usměrnění a rozdrčení odletující zeminy. Ke krytu je dále připevněna deska (8), která slouží pro připojení kypřiče ke smykem řízenému nakladači.

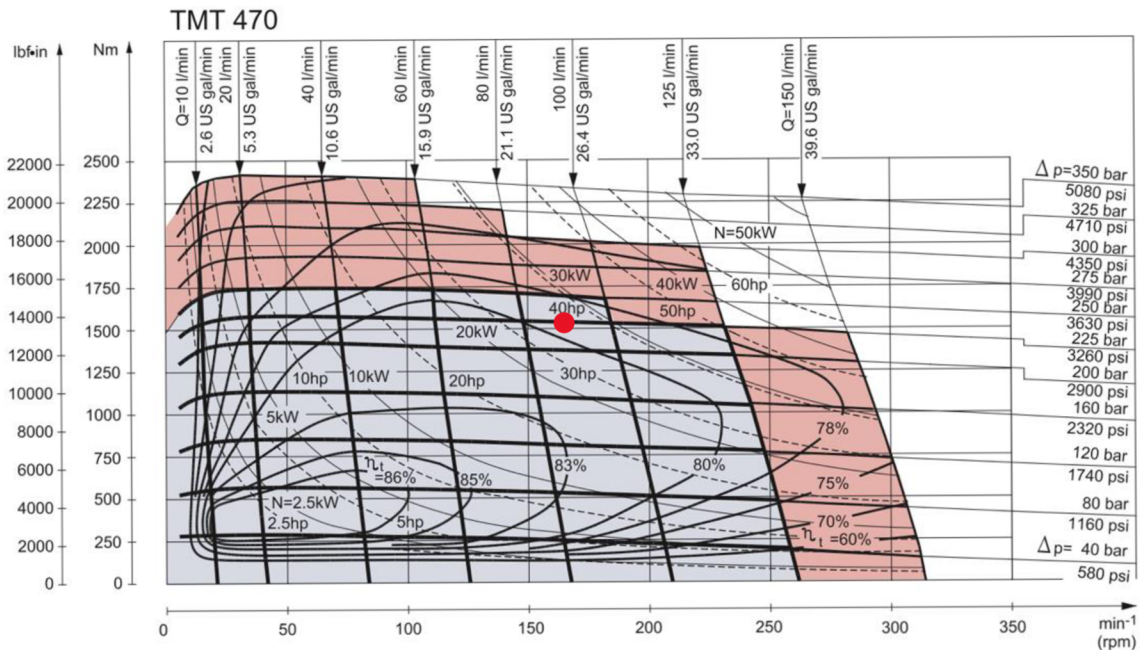
2.3 VOLBA HYDROMOTORU A PRUŽNÉ SPOJKY

Na základě parametrů hydraulického okruhu zvoleného nosného stroje je volen orbitální hydromotor od firmy SAUER DANFOSS s označením TMT 470 viz Obr.20. V pracovním diagramu viz. Obr. 21 je vyznačen pracovní bod pomocí vstupních parametrů. Z tohoto diagramu je vidět, že motor bude provozován v ideální pracovní oblasti, ta je v diagramu vyznačena modrou barvou. Pro přesnější určení provozních otáček a kroutícího momentu jsou důležité výpočty. [14]



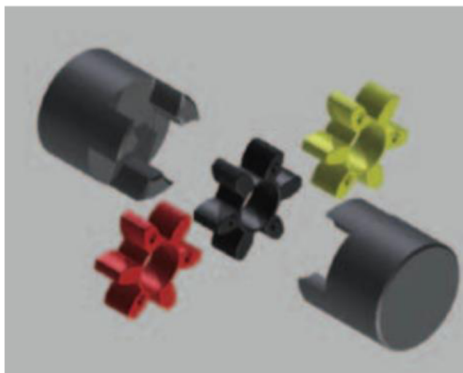
Obr. 20 SAUER DANFOSS TMT 470 [14]

Hodnoty uváděné výrobcem: Objem hydromotoru: 477,3 cm³
 Maximální krouticí moment: 1760 Nm
 Maximální otáčky: 270 min⁻¹
 Maximální výkon: 37 kW
 Maximální tlak: 25 MPa
 Maximální průtok oleje: 125 l min⁻¹



Obr. 21 Charakteristika hydromotoru TMT 470 [14]

Pružná spojka je do sestavy rotačního kypříče zařazena kvůli tlumení nežádoucích vibrací či rázů od nožů. Díky tomu se prodlužuje životnost hydromotoru. Na základě přenášeného kroutícího momentu od hydromotoru je volena litinová spojka s pryžovým mezičlánkem od firmy Giflex viz. Obr.22. [13]



Obr. 22 Pružná spojka Giflex GE-T Standard [13]

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Tato kapitola obsahuje stručný přehled návrhů pracovních částí rotačního kypřiče a kontrolu použitých součástí.

3.1 NÁVRH NOŽE

Hlavní úlohou nože je rozpojování zeminy, části kořenů rostlin, náletů dřevin a následně její rozdrcení na menší části. Proto musí být nůž pevný a odolný proti opotřebení. Z těchto důvodů je volen materiál SSAB Domex 500 MC, jenž má dostatečnou mez kluzu i dobré vlastnosti pro ohýbání plechu. Pro lepší pronikání do půdy má nůž zkosené hrany. Zkosení je provedeno na obou stranách nože viz. Obr. 23, protože rotační kypřič je navrhovaný k oboustranné rotaci. Nůž je bez další povrchové úpravy. [15]

Základní vlastnosti plechu: EN 10149-2; EN 10051

Tloušťka: 6,01-13,00 mm

Re= 500 MPa

Rm= 550-700 MPa



Obr. 23 Nůž rotačního kypřiče

3.1.1 VÝPOČET PARAMETRŮ HYDROMOTORU

Kroutící moment hydromotoru

$$M_{kHM} = \frac{P_{HM}}{2 \cdot \pi \cdot n_{HM}} [N \cdot m] \quad (1)$$

$$M_{kHM} = \frac{27600}{2 \cdot \pi \cdot 3,14} = 1398,9 N \cdot m$$

Výkon hydromotoru

$$P_{HM} = Q_{nak} \cdot p_{nak} \cdot \eta_{HM} [kW] \quad (2)$$

$$P_{HM} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 23 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 27600 W = 27,6 kW$$

Otáčky hydromotoru

$$n_{HM} = \frac{Q_{nak}}{V_{mHM}} [min^{-1}] \quad (3)$$

$$n_{HM} = \frac{90}{0,4773} = 188 min^{-1} = 3,14 s^{-1}$$

Kde

$Q_{nak} = 90 l \cdot min^{-1}$ průtok hydraulické kapaliny v nakladači

$p_{nak} = 23 MPa$ pracovní tlak smykem řízeného nakladače

$V_{mHM} = 477,3 cm^3$ objem hydromotoru

$\eta_{HM} = 0,8$ účinnost hydromotoru při daných vstupních podmínkách

3.1.2 VÝPOČET RYPNÉHO ODPORU

Rypný odpor je odpor odebírané zeminy proti vnikání nože. Znalost odporu je důležitá pro dimenzování nože nebo ověření správnosti zvoleného hydromotoru. Zda bude zvolený orbitální hydromotor schopný tento odpor překonat při zvolených pracovních podmínkách.

Pro výpočet rypného odporu je potřeba stanovit pracovní podmínky:

- Maximální řezná hloubka: 15 cm
- Maximální rychlost pojezdu: 1 km·h⁻¹ - je to předpokládaná rychlost pro nejtěžší pracovní podmínky. Pro menší hloubku nebo menší odpor zeminy může být rychlost pojezdu vyšší.
- Struktura odebírané zeminy: další faktor, který ovlivňuje velikosti rypného odporu. Rozdílné druhy zeminy jsou popsány různými součiniteli.

Rypný odpor

$$R_o = k \cdot S [N] \quad (4)$$

$$R_o = 3 \cdot 10^5 \cdot 0,003 = 900 N$$

Plocha průřezu odebíraného materiálu

$$S = h_{\check{r}} \cdot z_{\check{r}} [m^2] \quad (5)$$

$$S = 0,15 \cdot 0,022 = 0,003 m^2$$

Posuv kypřiče na jeden nůž

$$z_{\check{r}} = \frac{v}{n_z \cdot n_{HM}} [m] \quad (6)$$

$$z_{\text{ř}} = \frac{0,278}{4 \cdot 3,14} = 0,022 \text{ m}$$

Kde

$k = 300\,000 \text{ Pa}$ součinitel zeminy [23]

$h_{\text{ř}} = 150 \text{ mm}$ výška odřezávané zeminy nožem

$v = 1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1} = 0,278 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ volená rychlost pojezdu nakladače

$n_z = 4$ počet nožů na přírubě

$n_{HM} = 3,14 \text{ s}^{-1}$ otáčky hydromotoru

3.1.3 VÝPOČET KROUTÍCÍHO MOMENTU OD RYPNÉHO ODPORU

Kroutící moment na jeden nůž

$$M_{k1} = R_o \cdot l \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (7)$$

$$M_{k1} = 900 \cdot 0,25 = 225 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kroutící moment na devět nožů v záběru

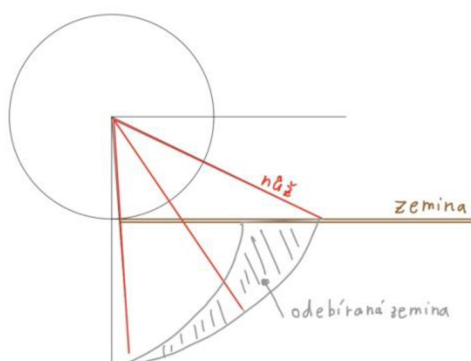
$$M_{k9} = M_{k1} \cdot 9 = 2025 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Kde

$l = 0,25 \text{ m}$ vzdálenost konce nože od osy otáčení hřídele

$R_o = 900 \text{ N}$ rypný odpor zeminy na nůž

Vypočítaný kroutící moment pro překonání odporu zeminy je větší, než jaký může vyvinout orbitální hydromotor připojený k vybranému smykem řízenému nakladači. Z toho plyne, že aby hydromotor překonal odpor zeminy, musela by se snížit rychlost pojezdu nakladače. To by však mělo za následek snížení efektivity práce, proto je nutné upravit návrh rozložení přírub s noži na hřídeli nebo jejich počet. V tomto případě je výhodnější upravit rozložení přírub, a to na rozložení do šroubovice o úhlu pootočení přírub po 30° , kdy v jedné řadě budou místo devíti nožů tři. Díky rozložení do šroubovice bude v záběru šest nožů. Tři na počátku vnikání do země a tři, které už v zemi jsou viz. Obr. 24. Pro nový výpočet potřebného kroutícího momentu se tedy uvažuje těchto šest nožů v záběru, při současném zachování ostatních vstupních parametrů.



Obr. 24 Znárodnění záběru nožů

Kroutící moment na šest nožů v záběru

$$M_{k6} = M_{k1} \cdot 6 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (8)$$

$$M_{k6} = 225 \cdot 6 = 1350 \text{ N} \cdot \text{m}$$

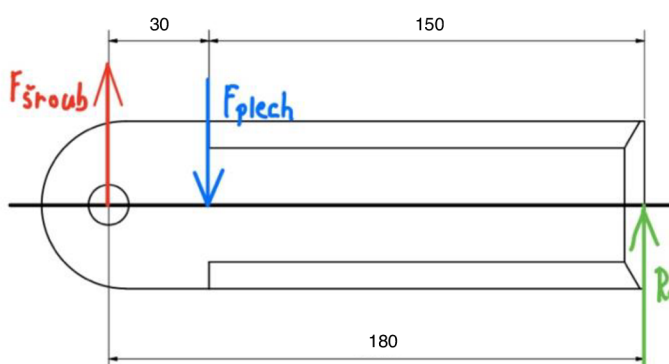
Kde

$$M_{k1} = 225 \text{ N} \cdot \text{m} \text{ kroutící moment na jeden nůž}$$

Orbitální hydromotor produkuje pro zvolené rozložení dostatek kroutícího momentu.

3.1.4 KONTROLA ŠROUBU NA UCHYCENÍ NOŽE

Nůž je k přírubě připevněn pomocí jednoho šroubu, který zajišťuje pohyblivé uložení nože. Podle ostatních výrobců je volen lícovaný šroub, který se kontroluje na stříh stejně jako nýty [24 str.470].



Obr. 25 Rozložení sil na noži

Výpočet zatěžující síly šroubu

Rovnice statické rovnováhy:

$$y: R_o - F_{plech} + F_{šroub} = 0$$

$$M_{ošroub}: R_o \cdot l_{\xi} - F_{plech} \cdot l_p = 0$$

Výpočet působících sil

$$F_{plech} = \frac{R_o \cdot l_{\xi}}{l_p} [N] \quad (9)$$

$$F_{plech} = \frac{900 \cdot 0,18}{0,03} = 5400 \text{ N}$$

$$F_{šroub} = -R_o + F_{plech} [N] \quad (10)$$

$$F_{šroub} = -900 + 5400 = 4500 \text{ N}$$

Kde

$R_o = 900 \text{ N}$ velikost rypného odporu

$l_{\xi} = 180 \text{ mm}$ vzdálenost šroubu od konce nože

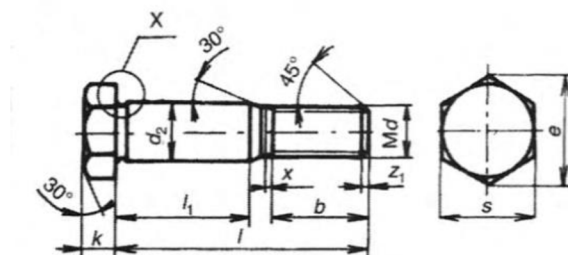
$l_p = 30 \text{ mm}$ vzdálenost šroubu od místa dotyku nože a příruby

$F_{šroub} = 4500 \text{ N}$ síla působící na šroub při záběru nože

$F_{plech} = 5400 \text{ N}$ síla působící na přírubu při záběru nože

Parametry zvoleného šroubu:

Podle ostatních výrobců je volen lícovaný šroub M12x35 – 5.6 [25]



Obr. 26 Lícovaný šroub s krátkým závitem
M12x35- 5.6 [25]

$d_{2s} = 13 \text{ mm}$ průměr dřívku šroubu

$R_{ešroub} = 300 \text{ MPa}$ mez kluzu materiálu šroubu

Výpočet smykového napětí na průřez šroubu

$$\tau_{\xi} = \frac{F_{\xi\text{šroub}}}{S_{\xi}} [\text{MPa}] \quad (11)$$

$$\tau_{\xi} = \frac{4500}{132,73} = 33,9 \text{ MPa}$$

Výpočet plochy průřezu šroubu

$$S_{\xi} = \frac{\pi \cdot d_{2\xi}^2}{4} [\text{mm}^2] \quad (12)$$

$$S_{\xi} = \frac{\pi \cdot 13^2}{4} = 132,73 \text{ mm}^2$$

$\tau_{\xi} < R_{e\text{šroub}} \rightarrow$ šroub je dostatečně pevný a může být použit pro uchycení nože

Kde

$F_{\text{šroub}} = 4500 \text{ N}$ síla působící na průřez šroubu

3.2 NÁVRH A KONTROLA HŘÍDELE

3.2.1 VÝBĚR MATERIÁLŮ

Pro hřídel je volena konstrukční ocel 1.0577 v jakosti S355J2 dle EN 10025. Pro trubku je volena konstrukční ocel 1.0576 v jakosti S355J2H dle EN 10210-1. Pro plechy na příruby a celkový rám kypříče je volena konstrukční ocel 1.0976 v jakosti S355MC dle EN 10149. U všech materiálů se jedná o ocel běžně používanou pro strojní součásti se zaručenou svařitelností, s mezí kluzu $R_e = 355 \text{ MPa}$. [26][27][28]

3.2.2 VÝPOČET MINIMÁLNÍHO PRŮMĚRU HŘÍDELE

Minimální průměr hřídele se vypočítá na základě maximálního kroutícího momentu, který v našem případě poskytuje hydromotor. [24, str. 1060]

$$d_{hmin} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot k_h}{\pi} \cdot \sqrt[2]{3 \cdot \left(\frac{M_{kHM}}{R_{eh} \cdot 10^6}\right)^2}} [m] \quad (13)$$

$$d_{hmin} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 2}{\pi} \cdot \sqrt[2]{3 \cdot \left(\frac{1398,9}{355 \cdot 10^6}\right)^2}} = 0,0411 \text{ m}$$

Kde

$k_h = 2$ zvolená bezpečnost hřídele

$R_{eh} = 355 \text{ MPa}$ mez kluzu zvoleného materiálu hřídele

$M_{kHM} = 1398,9 \text{ N m}$ kroutící moment hydromotoru

S ohledem na výskyt per či drážek je volena hřídel o průměru: $d_h = 50 \text{ mm}$

3.2.3 VOLBA A KONTROLA TRUBKY

S ohlédnutím na průměr hřídele je volena trubka o průměru $d_t = 57 \text{ mm}$ a tloušťka stěny $s_t = 3,6 \text{ mm}$ viz. Obr. 27. Vnitřní průměr trubky má průměr o dvě desetiny milimetru menší než průměr hřídele, proto je důležité upravit vnitřní průměr trubky, do hloubky 50 mm. To zaručí přesné nasunutí hřídele do trubky bez velkých vůlí. Trubka bude nejvíce namáhána na krut, od kroutícího momentu, který je tvořen hydromotorem. Proto se trubka bude kontrolovat na bezpečnost v krutu.

Smykové napětí od kroutícího momentu

$$\tau_{kt} = \frac{M_{kHM}}{W_{kt}} [\text{MPa}] \quad (14)$$

$$\tau_{kt} = \frac{1398,9}{1,518 \cdot 10^{-5}} = 92154150 \text{ Pa} = 92,15 \text{ MPa}$$

Výpočet modulu průřezu trubky pro krut

$$W_{kt} = \frac{\pi \cdot [d_t^4 - (d_t - 2s_t)^4]}{16 \cdot d_t} [\text{m}^3] \quad (15)$$

$$W_{kt} = \frac{\pi \cdot [57^4 - (57 - 2 \cdot 3,6)^4]}{16 \cdot 57} = (1,518 \cdot 10^{-5}) \text{ m}^3$$

Kde

$M_{kHM} = 1398,9 \text{ N m}$ kroutící moment orbitálního hydromotoru

$d_t = 57 \text{ mm}$ vnější průměr zvolené trubky

$s_t = 3,6 \text{ mm}$ tloušťka stěny zvolené trubky

Výpočet bezpečnosti trubky

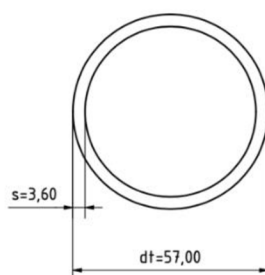
$$k = \frac{R_e}{\tau_{kt}} [-] \quad (16)$$

$$k = \frac{355}{92,15} = 3,85 \rightarrow \text{bezpečnost je dostatečně velká pro použití trubky}$$

Kde

$R_e = 355 \text{ MPa}$ mez kluzu zvoleného materiálu trubky

$\tau_{kt} = 92,15 \text{ MPa}$ smykové napětí trubky od kroutícího momentu hydromotoru

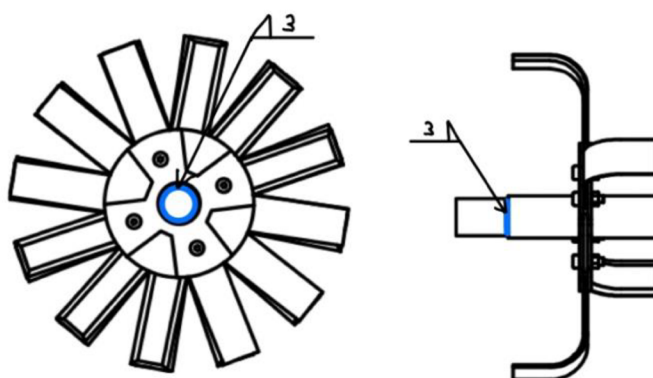


Obr. 27 Rozměry trubky

3.2.4 KONTROLA SVARŮ

Svary se kontrolují podle normy ČSN 73 1401 Navrhování ocelových konstrukcí. [29]

Svar mezi hřídelí a trubicí viz. Obr. 28



Obr. 28 Svar mezi hřídelí a trubicí

Výpočet délky svaru

$$l_{s1} = \pi \cdot d_h \text{ [mm]} \quad (17)$$

$$l_{s1} = \pi \cdot 50 = 157 \text{ mm}$$

Výpočet plochy účinného průřezu svaru

$$S_{s1} = 0,707 \cdot z_s \cdot l_{s1} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (18)$$

$$S_{s1} = 0,707 \cdot 3 \cdot 157 = 332,99 \text{ mm}^2$$

Výpočet dostředivé (odstředivé) síly na pracovní části kypřiče

$$F_{dh1} = m_h \cdot r_1 \cdot \omega_h^2 \text{ [N]} \quad (19)$$

$$F_{dh1} = 60 \cdot 0,225 \cdot 19,75 = 5265,84 \text{ N}$$

Kde

$m_h = 60 \text{ kg}$ hmotnost nožů, přírub a trubky dle programu Inventor

$r_1 = 225 \text{ mm}$ vzdálenost mezi koncem nože a kontrolovaným svarem

$z_s = 3 \text{ mm}$ zvolená výška svaru

$d_h = 50 \text{ mm}$ průměr hřídele

$$\omega_h = 2 \cdot \pi \cdot n_{HM} = 19,75 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$n_{HM} = 3,14 \text{ s}^{-1}$$

Výpočet napětí ve svaru od dostředivé (odstředivé) síly

$$\sigma_{s1} = \frac{F_{dh1}}{S_{s1}} \text{ [MPa]} \quad (20)$$

$$\sigma_{s1} = \frac{5265,84}{332,99} = 15,81 \text{ MPa}$$

Kde

$F_{dh1} = 5265,84 \text{ N}$ dostředivá (odstředivá) síla na pracovní části kypřiče

$S_{s1} = 332,99 \text{ mm}^2$ plocha účinného průřezu svaru

Výpočet smykového napětí od zatěžující síly

$$\tau_{s1} = \frac{F_z}{S_{s1}} \text{ [MPa]} \quad (21)$$

$$\tau_{s1} = \frac{5595,6}{332,99} = 16,8 \text{ MPa}$$

Výpočet zatěžující síly od kroutícího momentu hydromotoru

$$F_z = \frac{M_{kHM}}{l} \text{ [N]} \quad (22)$$

$$F_z = \frac{1398,9}{0,25} = 5595,6 \text{ N}$$

Kde

$M_{kHM} = 1398,9 \text{ N m}$ kroutící moment hydromotoru

$l = 250 \text{ mm}$ vzdálenost konce nože od osy otáčení hřídele

Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{red s1} = \sqrt{\sigma_{s1}^2 + 3 \cdot \tau_{s1}^2} \text{ [MPa]} \quad (23)$$

$$\sigma_{red s1} = \sqrt{15,81^2 + 3 \cdot 16,8^2} = 33,11 \text{ MPa}$$

Kde

$\sigma_{s1} = 15,81 \text{ MPa}$ napětí od odstředivé síly

$\tau_{s1} = 16,8 \text{ MPa}$ napětí od zatěžující síly

Únosnost koutového svaru se posuzuje na základě dvou podmínek, kterým musí svar vyhovět současně.

Kontrola únosnosti koutového svaru

1. podmínka

$$\sigma_{red s1} = \sqrt{\sigma_{s1}^2 + 3 \cdot \tau_{s1}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (24)$$

$$33,11 \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,5} \rightarrow 33,11 \text{ MPa} < 262,96 \text{ MPa}$$

2. Podmínka

$$\sigma_{s1} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} \quad (25)$$

$$15,81 \leq \frac{360}{1,5} \rightarrow 15,81 \text{ MPa} < 236,67 \text{ MPa}$$

Kde

$\sigma_{s1} = 15,81 \text{ MPa}$ napětí od odstředivé síly

$\sigma_{red s1} = 33,11 \text{ MPa}$ redukované napětí od napětí svaru

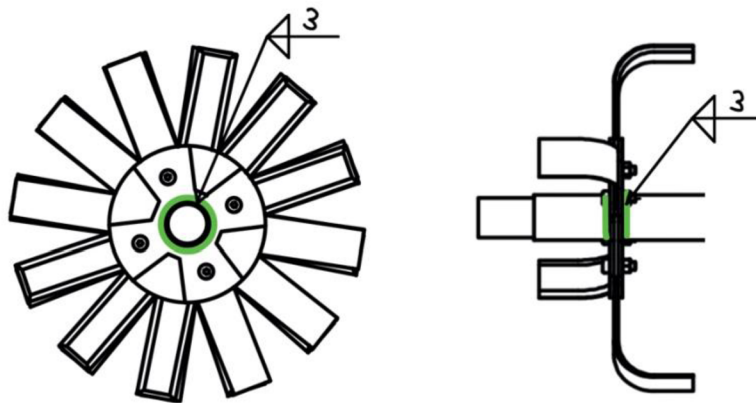
$f_u = 360 \text{ MPa}$ mez pevnosti svaru dle normy

$\beta_w = 0,9$ součinitel korelace pro koutové svary pro materiál S355 dle normy

$\gamma_{Mw} = 1,5$ dílčí součinitel spolehlivosti svarových spojů dle normy

Únosnost koutového svaru splňuje obě podmínky s dostatečnou bezpečností

Svar mezi přírubou a trubicí viz. Obr. 29



Obr. 29 Svar mezi přírubou a trubicí

Výpočet délky svaru

$$l_{s2} = \pi \cdot d_t \text{ [mm]} \quad (26)$$

$$l_{s2} = \pi \cdot 57 = 179 \text{ mm}$$

Výpočet plochy účinného průřezu svaru

$$S_{s2} = 1,414 \cdot z_s \cdot l_{s2} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (27)$$

$$S_{s2} = 1,414 \cdot 3 \cdot 179 = 759,32 \text{ mm}^2$$

Výpočet dostředivé (odstředivé) síly na přírubu s noži

$$F_{dt2} = m_p \cdot r_2 \cdot \omega_t^2 \text{ [N]} \quad (28)$$

$$F_{dt2} = 60 \cdot 0,222 \cdot 19,75 = 5195,63 \text{ N}$$

Kde

$m_p = 4,5 \text{ kg}$ hmotnost nožů a přírub dle programu Inventor

$r_2 = 222 \text{ mm}$ vzdálenost mezi koncem nože a kontrolovaným svarem

$z_s = 3 \text{ mm}$ zvolená výška svaru

$d_t = 57 \text{ mm}$ vnější průměr trubky

$$\omega_h = 2 \cdot \pi \cdot n_{HM} = 19,75 \text{ rad s}^{-1}$$

$$n_{HM} = 3,14 \text{ s}^{-1}$$

Výpočet napětí ve svaru od dostředivé (odstředivé) síly

$$\sigma_{s2} = \frac{F_{dt2}}{S_{s2}} \text{ [MPa]} \quad (29)$$

$$\sigma_{s2} = \frac{5195,63}{759,32} = 6,84 \text{ MPa}$$

Kde

$F_{dt2} = 5195,63 \text{ N}$ dostředivá (odstředivá) síla na pracovní části kypříče

$S_{s2} = 759,32 \text{ mm}^2$ plocha účinného průřezu svaru

Výpočet smykového napětí od zatěžující síly

$$\tau_{s2} = \frac{F_{z6}}{S_{s2}} \text{ [MPa]} \quad (30)$$

$$\tau_{s2} = \frac{932,6}{759,32} = 1,23 \text{ MPa}$$

Výpočet zatěžující síly na jeden nůž od kroutícího momentu hydromotoru

$$F_{z6} = \frac{M_{kHM}}{l} : 6 \text{ [N]} \quad (31)$$

$$F_{z6} = \frac{1398,9}{0,25} : 6 = 932,6 \text{ N}$$

Kde

$M_{kHM} = 1398,9 \text{ N m}$ kroutící moment hydromotoru

$l = 250 \text{ mm}$ vzdálenost konce nože od osy otáčení hřídele

Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{reds2} = \sqrt{\sigma_{s2}^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \text{ [MPa]} \quad (32)$$

$$\sigma_{reds2} = \sqrt{6,84^2 + 3 \cdot 1,23^2} = 7,16 \text{ MPa}$$

Kde

$\sigma_{s2} = 6,84 \text{ MPa}$ napětí od odstředivé síly

$\tau_{s2} = 1,23 \text{ MPa}$ napětí od zatěžující síly

Únosnost koutového svaru se posuzuje na základě dvou podmínek, kterým musí svar vyhovět současně.

Kontrola únosnosti koutového svaru

1. podmínka

$$\sigma_{reds2} = \sqrt{\sigma_{s2}^2 + 3 \cdot \tau_{s2}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad (33)$$

$$7,16 \leq \frac{360}{0,9 \cdot 1,5} \rightarrow 7,16 \text{ MPa} < 262,96 \text{ MPa}$$

2. podmínka

$$\sigma_{s2} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}} \quad (34)$$

$$6,84 \leq \frac{360}{1,5} \rightarrow 6,84 \text{ MPa} < 236,67 \text{ MPa}$$

Kde

$\sigma_{s2} = 6,84 \text{ MPa}$ napětí od odstředivé síly

$\sigma_{reds2} = 7,16 \text{ MPa}$ redukované napětí od napětí svaru

$f_u = 360 \text{ MPa}$ mez pevnosti svaru dle normy

$\beta_w = 0,9$ součinitel korelace pro koutové svary pro materiál S355 dle normy

$\gamma_{Mw} = 1,5$ dílčí součinitel spolehlivosti svarových spojů dle normy

Únosnost koutového svaru splňuje obě podmínky s dostatečnou bezpečností

3.2.5 KONTROLA DRÁŽEK NA OTLAČENÍ

S ohledem na konstrukční řešení jsou všechny drážky kontrolovány na otláčení v náboji pružné spojky.

Kontrola drážkovaného spoje mezi hřídelí a pružnou spojkou:

Jelikož se na hřídel musí drážkování vyrobít, tak je voleno evolventní drážkování podle ČSN 01 4952. [25]

Výpočet tlaku působící na drážku

$$p_{drážky1} = \frac{F_{dražh}}{l_{dh} \cdot K \cdot z_{zh} \cdot h_{zh}} [MPa] \quad (35)$$

$$p_{drážky1} = \frac{58287,5}{80 \cdot 0,5 \cdot 24 \cdot 2} = 30,36 MPa$$

Výpočet síly působící na drážky

$$F_{dražh} = \frac{M_{kHM}}{\frac{d_{sh}}{2}} [N] \quad (36)$$

$$F_{dražh} = \frac{1398,9}{\frac{0,048}{2}} = 58287,5 N$$

Kde

$M_{kHM} = 1398,9 N m$ kroutící moment hydromotoru

$l_{dh} = 80 mm$ délka drážkování na hřídeli

$z_{zh} = 24$ počet zubů podle [25]

$d_{sh} = m_h z_{zh} = 48 mm$ střední průměr drážkování

$h_{zh} = m_h = 2 mm$ výška zubu

$m_h = 2 mm$ modul drážkování podle [25]

$K = 0,5$ korekční součinitel pro výpočet evolventního drážkování [24]

Výpočet dovoleného tlaku na bok drážky [24]

$$p_d = 0,45 \cdot p_0 [MPa] \quad (37)$$

$$p_d = 0,45 \cdot 90 = 40,5 MPa$$

Kde

$p_0 = 90 MPa$ dovolený tlak pro náboj vyrobený z litiny [24]

$0,45$ korekce pro výpočet tlaku drážek namáhaných proměnným chodem s velkými rázy [24]

$p_{drážky1} < p_d \rightarrow$ navržená drážkovaná hřídel splňuje parametry a může se použít

Kontrola drážkovaného spoje mezi hřídelí hydromotoru a pružnou spojkou:

K hydromotoru se dá zvolit vývodová hřídel s evolventním ozubením podle ANSI B92.1-1970 [14]

Výpočet tlaku působící na drážku

$$p_{drážky2} = \frac{F_{drážHM}}{l_{dHM} \cdot K \cdot z_{zHM} \cdot h_{zHM}} [MPa] \quad (38)$$

$$p_{drážky2} = \frac{82775,15}{60,5 \cdot 0,5 \cdot 17 \cdot 4,5} = 35,77 MPa$$

Výpočet síly působící na drážky

$$F_{drážHM} = \frac{M_{kHM}}{\frac{d_{sHM}}{2}} [N] \quad (39)$$

$$F_{drážky1} = \frac{1398,9}{\frac{0,0338}{2}} = 82775,15 N$$

Kde

$M_{kHM} = 1398,9 N m$ kroutící moment hydromotoru

$l_{dHM} = 60,5 mm$ délka drážkování na hřídeli hydromotoru

$z_{zHM} = 17$ počet zubů podle ANSI B92.1-1970 [14]

$d_{sHM} = 33,8 mm$ střední průměr drážkování podle ANSI B92.1-1970 [14]

$h_{zHM} = 4,5 mm$ výška zubu podle ANSI B92.1-1970 [14]

$K = 0,5$ korekční součinitel pro výpočet evolventního drážkování [24]

Výpočet dovoleného tlaku na bok drážky [24]

$$p_d = 0,45 \cdot p_0 [MPa] \quad (40)$$

$$p_d = 0,45 \cdot 90 = 40,5 MPa$$

Kde

$p_0 = 90 MPa$ dovolený tlak pro náboj vyrobený z litiny

$0,45$ korekce pro výpočet tlaku drážek namáhaných proměnným chodem s velkými rázy [24]

$p_{drážky1} < p_d \rightarrow$ navržená drážkovaná hřídel splňuje parametry a může se použít

3.3 NÁVRH A KONTROLA LOŽISKA

Uložení hřídele do ložiskové jednotky bude realizováno jen na jednom konci, kde není hydromotor.

Výpočet tíhové síly od hmotnosti hřídele kypříče

$$G_h = m_{pk} \cdot g [N] \quad (41)$$

$$G_h = 90 \cdot 9,81 = 882,59 \text{ N}$$

Kde

$m_{pk} = 90 \text{ kg}$ hmotnost pracovní části kypříče dle Inventoru

$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ gravitační zrychlení

Výpočet celkového zatížení ložiska

$$F_v = \sqrt{G_h^2 + F_z^2} [N] \quad (42)$$

$$F_v = \sqrt{882,59^2 + 5595,6^2} = 5664,78 \text{ N}$$

Kde

$G_h = 882,59 \text{ N}$ tíhová síla od hmotnosti kypříče

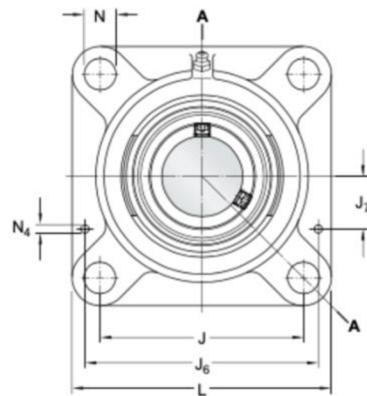
$F_z = 5595,6 \text{ N}$ zatěžující síla od kroutícího momentu hydromotoru

Volba ložiskové jednotky

Na základě vypočtené zatěžující síly je volena ložisková jednotka od firmy SKF. Tato jednotka se skládá z kuličkového ložiska YAR 210-2F a přírubového tělesa FY 510 M. Ložisková jednotka se využívá v zemědělské či stavební technice. Samotné ložisko je opatřeno pogumovaným odstříkovacím kroužkem, který zvyšuje životnost tohoto ložiska. [30]

Protože je hřídel uložena v ložiskové jednotce a hydromotoru, tak se zatížení rozdělí rovnoměrně mezi tyto konce. Provoz stroje je uvažován pouze v horizontální poloze, proto zde nepůsobí žádná axiální síla.

Parametry ložiska:	Dynamická únosnost:	$C = 35,1 \text{ kN}$
	Statická únosnost:	$C_o = 23,2 \text{ kN}$
	Maximální otáčky:	$n_{lož} = 4000 \text{ min}^{-1}$
	Zajištění hřídele pomocí stavěcího šroubu viz. Obr. 30	



Obr. 30 Přírubová ložisková jednotka SKF [30]

Výpočet životnosti ložiska

$$L_{10h} = a_1 \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_{HM}} [h] \quad (43)$$

$$L_{10h} = 1 \cdot \left(\frac{35,1}{2,83239}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 188} = 168714,77 h$$

Kde

$a_1 = 1$ pro spolehlivost ložiska 90 % [30]

$P = F_{\sqrt{2}} = 2832,39 \text{ kN}$ ekvivalentní zatížení ložiska

$C = 35,1 \text{ kN}$ základní dynamická únosnost zvoleného ložiska

$n_{HM} = 188 \text{ min}^{-1}$

Podle katalogu SKF je doporučená životnost ložiska do prostředí zemědělství či stavebnictví 4000 až 8000 h, proto by mohla být životnost ložiska menší. Vzhledem k průměru hřídele se však ložisková jednotka s menší dynamickou únosností nevyrobí. [30]



Obr. 31 Celkový model rotačního kypřiče

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce byl návrh rotačního kypřiče ke smykem řízenému nakladači. Jeho využití bylo popsáno v úvodu.

První kapitola se zabývá rozdělením kypřičů z hlediska konstrukce. Dále je zde rozdělení rotačních kypřičů podle typu pohonu a způsobu připojení k nosnému zařízení. Jsou zde také popsány rozdílné konstrukce bubnu rotačního kypřiče. Jako je umístění přírub na hřídeli, uchycení nožů a jejich rozdělení. Nakonec je v této kapitole uvedeno několik výrobců rotačních kypřičů ke smykem řízenému nakladači a způsoby kypření půdy.

Druhá kapitola se zabývá volbou smykem řízeného nakladače, jako nosného zařízení navrhovaného rotačního kypřiče, uspořádáním základních prvků rotačního kypřiče, výběru vhodného hydromotoru a výběru pružné spojky.

Třetí kapitola obsahuje výpočty vybraných konstrukčních uzlů samotného rotačního kypřiče. Jako je výpočet rypného odporu a potřebného kroučícího momentu pro zvolený návrh rotačního kypřiče. Dále se zabývá kontrolou zavěšení nože, kontrolou svarů na bubnu a kontrolou pružné spojky. Nakonec je zde popsána volba a výpočet trvanlivosti ložiska. Díky výpočtům bylo dosaženo pracovní šířky a pracovní hloubky srovnatelné s ostatními výrobci. Navíc jsou k rotačnímu kypřiči udělány patky, díky kterým se dá regulovat pracovní hloubka.

Součástí zadání bylo nakreslit výkres sestavy, výkres svařence a výkres součástí. Tyto výkresy jsou přiloženy jako příloha k této práci.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ZEMÁNEK, Pavel a Vladimír VEVERKA. *Speciální mechanizace: malá mechanizace v zahradnictví*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. ISBN 80-715-7511-9.
- [2] Speciální mechanizace mechanizační prostředky pro vinohradnictví. ZEMÁNEK, Pavel a Patrik BURG. *Speciální mechanizace mechanizační prostředky pro vinohradnictví: Stroje pro kultivaci meziřadí*. Brno: Mendelově zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003, s. 57. ISBN 80-7157-739-1.
- [3] MASCHIO GASPARD O S.p.A: *Rotary Tillers* [online]. Italy [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.maschio.com/catalog/category/rotary-tillers/en_GB
- [4] CATERPILLAR: *Tillers* [online]. Europe, 2020 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: https://www.cat.com/en_GB/products/new/attachments/tillers/landscape-tillers/17764935.html
- [5] PROFISTROJE.CZ: *Zahradní technika* [online]. Česká Republika, 2006 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.profistroje.cz/katalog/zahradni-technika/>
- [6] *Kverneland: Rotační brány* [online]. Norsko [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://cz.kverneland.com/Zpracovani-pudy/Rotacni-brany/Rotacni-brany>
- [7] *Land Pride* [online]. Salina (Kansas), 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.landpride.com>
- [8] BEDNAR FMT: *Zpracování půdy* [online]. Česká Republika [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.bednar.com/zpracovani-pudy/>
- [9] JCB: *Skid Steer Loader* [online]. England, 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.jcb.com/en-us/products/skid-steer-loader>
- [10] *Quickattach: Quick Tiller* [online]. 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.quickattach.com/i-30498012-quick-tiller-rotary-tiller.html>
- [11] *Bobcat: Tiller* [online]. United States, 2018 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.bobcat.com/in/attachments/tiller/specs>
- [12] *Himac Attachments: Skid Steer Rotary Tiller* [online]. Australia, 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.himac.com.au/products/skid-steer-rotary-tiller>
- [13] CHIARAVALLI CZ a.s.: *Pružné spojky* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.chiaravalli.cz/produkty/pruzne-spojky>
- [14] BIBUS s.r.o.: *Orbitální motory* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/hydraulika/motory/orbitalni-motory/>
- [15] SSAB: *SSAB Domex* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.ssab.com/products/brands/ssab-domex/products/ssab-domex-500mc>

- [16] *Paladin: Tillers* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.paladinattachments.com/products/tillers>
- [17] *AGROTEC a. s.: Rotační brány KE a rotační kypřiče KX, KG* [online]. Česká Republika [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.eagrotec.cz/products/podmitace-a-kyprice/rotacni-brany-a-kyprice/rotacni-brany-ke,-kg,-kx>
- [18] *Skid Steer Solutions: Rotary Tillers* [online]. Bellingham, Washington, 2020 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.skidsteersolutions.com/skid-steer/skid-steer-attachments/rotary-tillers>
- [19] *Massey Ferguson* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.masseyferguson.us/products/implements-and-attachments/forward-and-reverse-rotary-tillers.html>
- [20] *VICTORY Tractor Implements: Rotary Tillers* [online]. Amazing7 Studios, 2020 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://etractorimplements.com/the-ultimate-rotary-tiller-guide/>
- [21] *AGROCAR s.r o.: Technologie zpracování půdy v zahradní realizaci* [online]. Česká Republika: Rapid and Smart, 2013 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <http://www.agrocar.cz/technika-v-detailch/jednoose-nosice-naradi-rapid/technologie-zpracovani-pudy-v-zahradni-realizaci/>
- [22] *TECHNOR Ing. Jiří Řezníček: ČSN EN 474-3+A1 (277911) Stroje pro zemní práce-Bezpečnost- Část 3: Požadavky pro nakladače* [online]. Hradec Králové, Česká Republika: webdesign eStudio, 2005 [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/277911-csn-en-474-3-a1_4_84246.html
- [23] JAKUB, Čišecký. *Zařízení pro čištění příkopů komunikací*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kašpárek, Ph.D.
- [24] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. BUDYNAS a Martin HARTL, VLK, Miloš, ed. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [25] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [26] *Thesteel.com: Bezešvá silnostěnná trubka* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.thesteel.com/cz/Bezesva-silnostenna-trubka-S355J2H-E355-P355NH-T208100002>
- [27] *Thesteel.com: Kruhová ocel tažená* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.thesteel.com/cz/Kruhova-ocel-tazena-h9-C45C-C-T370260006>
- [28] *Thesteel.com: Ocelový plech ze svitku* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.thesteel.com/cz/Ocelovy-plech-ze-svitku-S355MC-prirodni-hrany-T105135001>
- [29] ČSN 73 1401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. Český normalizační institut, 1998.

- [30] *SKF: Flanged ball bearing units* [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/mounted-bearings/ball-bearing-units/flanged-ball-bearing-units#cid-465119>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_1	[-]	Součinitel spolehlivosti
C	[kN]	Dynamická únosnost
C_0	[kN]	Statická únosnost
d_{2s}	[mm]	Průměr dřívku šroubu
d_h	[mm]	Průměr hřídele
d_{hmin}	[mm]	Minimální průměr hřídele
d_{sh}	[mm]	Střední průměr drážkování
d_{sHM}	[mm]	Střední průměr drážkování
d_t	[mm]	Průměr trubky
F_{dh1}	[N]	Dostředivá síla na hřídel
$F_{drážh}$	[N]	Síla působící na drážku
$F_{drážHM}$	[N]	Síla působící na drážku
F_{dt2}	[N]	Dostředivá síla na trubku
F_{plech}	[N]	Síla na přírubu
$F_{šroub}$	[N]	Síla na šroub
f_u	[MPa]	Mez pevnosti svaru
F_v	[N]	Výsledná síla
F_z	[N]	Zatěžující síla od hydromotoru
F_{z6}	[N]	Zatěžující síla na jeden nůž od hydromotoru
g	[m·s ⁻²]	Gravitační zrychlení
G_h	[N]	Tíhová síla
$h_{ř}$	[mm]	Výška odřezávané zeminy
h_{zh}	[mm]	Výška zubu drážkování
k	[Pa]	Součinitel zeminy
k	[-]	Bezpečnost trubky
K	[-]	Korekční součinitel drážkování
k_h	[-]	Bezpečnost hřídele
l	[mm]	Vzdálenost konce nože od osy otáčení
L_{10}	[h]	Základní trvanlivost ložiska
l_{dh}	[mm]	Délka drážkování
l_{dHM}	[mm]	Délka drážkování
l_p	[mm]	Vzdálenost příruby od konce nože

l_{s1}	[mm]	Délka svaru
l_{s2}	[mm]	Délka svaru
$l_{\dot{s}}$	[mm]	Vzdálenost šroubu od konce nože
m_h	[kg]	Hmotnost bubnu
M_{k1}	[N·m]	Kroutící moment na nůž
M_{k6}	[N·m]	Kroutící moment na šest nožů
M_{k9}	[N·m]	Kroutící moment na devět nožů
M_{kHM}	[N·m]	Kroutící moment hydromotoru
$M_{o\dot{s}roub}$	[N·m]	Ohybový moment na šroub
m_p	[kg]	Hmotnost příruby s noži
m_{pk}	[kg]	Hmotnost pracovní části kypriče
m_{zh}	[mm]	Modul drážkování
n_{HM}	[s ⁻¹]	Otáčky hydromotoru
$n_{lož}$	[min ⁻¹]	Otáčky ložiska
n_z	[-]	Počet nožů
P	[kN]	Ekvivalentní zatížení
p_0	[MPa]	Dovolený tlak pro litinu
p_d	[MPa]	Dovolený tlak
$p_{drážky1}$	[MPa]	Tlak na drážkovaný spoj
$p_{drážky2}$	[MPa]	Tlak na drážkovaný spoj
P_{HM}	[kW]	Výkon hydromotoru
p_{nak}	[MPa]	Pracovní tlak nakladače
Q_{nak}	[l·min ⁻¹]	Průtok hydraulické kapaliny nakladače
r_1	[mm]	Rameno dostředivé síly
r_2	[mm]	Rameno dostředivé síly
R_e	[MPa]	Mez kluzu
R_{eh}	[MPa]	Mez kluzu hřídele
$R_{e\dot{s}roub}$	[MPa]	Mez kluzu šroubu
R_{et}	[MPa]	Mez kluzu trubky
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
R_o	[N]	Rypný odpor
S	[m ²]	Plocha průřezu odebíraného materiálu
S_{s1}	[mm ²]	Plocha účinného průřezu svaru

S_{s2}	[mm ²]	Plocha účinného průřezu svaru
$S_{\dot{s}}$	[mm ²]	Plocha průřezu dřívku šroubu
s_t	[mm]	Tloušťka stěny trubky
v	[m·s ⁻¹]	Rychlost pojezdu nakladače
V_{mHM}	[cm ³]	Geometrický objem hydromotoru
W_{kt}	[m ³]	Modul průřezu trubky
$z_{\dot{r}}$	[m]	Posuv kypřiče
z_s	[mm]	Výška svaru
z_{zh}	[-]	Počet zubů drážkování
z_{zHM}	[-]	Počet zubů drážkování
β_w	[-]	Součinitel korelace
γ_{Mw}	[-]	Dílčí součinitel bezpečnosti svaru
η_{HM}	[-]	Účinnost hydromotoru
σ_1	[MPa]	Napětí svaru
σ_2	[MPa]	Napětí svaru
σ_{reds1}	[MPa]	Redukované napětí svaru
σ_{reds2}	[MPa]	Redukované napětí svaru
τ_1	[MPa]	Smykové napětí svaru
τ_2	[MPa]	Smykové napětí svaru
τ_{kt}	[MPa]	Smykové napětí od kroucího momentu hydromotoru
τ_s	[MPa]	Smykové napětí na šroub
ω	[rad·s ⁻¹]	Úhlová rychlost bubnu

SEZNAM PŘÍLOH

P1-Tabulka a obrázky rotačních kypřičů různých výrobců

Rotační kypřič	0-BPRK20-00	Výkres sestavy
Rám kypřiče	2-BPRK20-01	Výkres svarku
Nůž	4-BPRK20-03	Výkres součásti
Příruba-šroub	4-BPRK20-02/03	Výkres součásti



Tab. 1 Výrobci rotačních kypřičů [4][7][10][11][12][16]

Parametry:	Výrobci					
	Cat LT18B	Quick Tiller™ Rotary tiller 78"	Bobcat Rotary tiller 76"	Kubota SRT76	Himac Skid Steer Rotary Tiller	FFCHT78 hydraulic tiller
Počet hydromotorů	1	2	1	1	1	1
Umístění hydromotoru	Na boku	Na boku	na boku	na boku	na boku	řetězový převod
Počet nožů	36	48	44	44	48	40
Počet přírub	9	12	11	11	8	10
Počet nožů na přírubě	4	4	4	4	6	4
Uspořádání přírub s noži	šroubovice	v řadě	v řadě	šroubovice	v řadě	šroubovice
Rotace hřídele s noži	obousměrná	obousměrná	obousměrná	obousměrná	obousměrná	obousměrná
Provozní otáčky hřídele	127/min při 80 l/min	neuvádí se	neuvádí se	133-244 /min	neuvádí se	neuvádí se
Provozní tlak	20,7-31 MPa	20,7 MPa	24,1 MPa	15,9-31 MPa	neuvádí se	neuvádí se
Průtok hydrauliky	60-114 l/min	83,3-155,2 l/min	64,4-151,4 l/min	87-159 l/min	55-85 l/min	109,6-166,5 l/min
Hydraulický okruh	standardní	neuvádí se	neuvádí se	vysoký rpůtok	neuvádí se	neuvádí se
Objem hydromotoru	629 cm ³	neuvádí se	neuvádí se	neuvádí se	neuvádí se	neuvádí se
Pracovní hloubka	25-152 mm	0-152 mm	152 mm max.	51-142 mm	115 mm	152 mm
Pracovní šířka	1848 mm	1980 mm	1915 mm	1930 mm	1780 mm	1727 mm



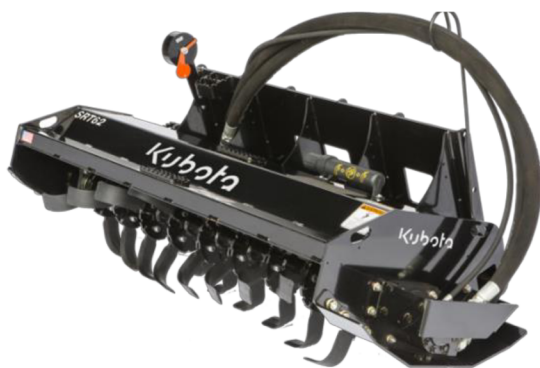
Obr. 1 CAT LT18B [4]



Obr. 2 Quick Tiller-Rotary Tiller [10]



Obr. 3 Bobcat- Rotary Tiller [11]



Obr. 4 Kubota SRT76 [7]



Obr. 1 Himac Skid Steer Rotary Tiller [12]



Obr. 2 FFC HT78 [16]