TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Inovace utužovacího systemu stroje pro přesné setí

Diplomová práce

Studijní program: N0788A270004 Inovační a průmyslové inženýrství
Autor práce: **Bc. Pavel Plotnytskyi**
Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.
Katedra částí a mechanismů strojů

Liberec 2022

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní

Zadání diplomové práce

Inovace utužovacího systemu stroje pro přesné setí

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel Plotnytskyi**
Osobní číslo: S20000258
Studijní program: N0788A270004 Inovační a průmyslové inženýrství
Zadávající katedra: Katedra částí a mechanismů strojů
Akademický rok: **2021/2022**

Zásady pro vypracování:

Inovujte zařízení utužovacího systému stroje pro přesné setí tak aby bylo docíleno přesného řádkování a utužování osiva během požadované rychlosti traktoru 20 km/h.

1. Představení úkolu (cíl, seznámení se strojem a stávajícím řešením)
2. Provedení analýzy současného stavu (rešerše, patentový průzkum, provedení tematické rešerše v patentové i nepatentové literatuře pomocí otevřených databází).
3. Analýza současných konstrukcí a systemů secí botky pro přesné setí pomocí metody FOA.
4. Navrhněte koncepty nových řešení pomocí metod inovačního inřenýrství.
5. Vyberte koncept podle zvolených objektivních kritérií.
6. Vytovřte výpočtovou zprávu a nakreslete 3D model vybrané varianty.
7. Zhodnocení navržené konstukce.

Rozsah grafických prací:
Rozsah pracovní zprávy:
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

[1] Mašín, I.; Petrů, M.; Novák, O.: Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni. Technická univerzita v Liberci, 2015, ISBN 978-80-7494-187-0
[2] Mašín, I.; Ševčík, L.: Metody inovačního inženýrství. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006, ISBN 80-903533-0-4
[3] Pešík, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec: TUL, 2010, ISBN 978-80-7372-573-0
[4] Pešík, L.: Části strojů. 2. díl. Liberec: TUL, 2010, ISBN 978-80-7372-574-7
[5] Neubauer, K. a kol. Stroje pro rostlinou výrobu, SZN Praha, 1989
[6] Roh, J; Kumhála, F.; Heřmánek, P.: Stroje používané v rostlinné výrobě, Praha, Credit, 296 s.
[7] PETRŮ, M. a spol. Vybrané statě z částí strojů I – příklady pro cvičení, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-203-7
[8] Internetové podklady firem vyrábějící zemědělské stroje s ohledem na přesné setí (WWW stránky).

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.
Katedra částí a mechanismů strojů

Datum zadání práce: 25. listopadu 2021
Předpokládaný termín odevzdání: 25. května 2023

L.S.

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

doc. Ing. Michal Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry

V Liberci dne 14. října 2021

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

18. května 2022 Bc. Pavel Plotnytskyi

Poděkování

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Michalu Petrů, Ph.D. za odborné rady, vstřícnost a trpělivost. Dále bych poděkoval mým rodičům a přítelkyní za důvěru a podporu během celé doby studia.

Anotace

Diplomová práce se zabývá inovací utužovacího systému stroje pro přesné setí. Začátkem práce je rešeršní část, ve které je uveden historický rozvoj secích strojů a jejích současný stav. V rešeršní části je udělán patentový průzkum současných řešení. Práce obsahuje funkční-objektovou analýzu současného řešení. Tyto znalosti jsou využité k hledaní řešení v jiných odvětvích s využitím metody FOS (function objective search). Bylo navrženo pět konceptů, ze kterých pomocí výběrových tabulek byl vybrán jeden vítězný koncept. Vítězný koncept byl následně rozpracován do 3D modelu. Dále se provedl výpočet systému a simulace metodou konečných prvků. Byla vytvořená výkresová dokumentace zařízeni obsahující výkres celkové sestavy secí jednotky, sestavy utužovacího systému a vybraných dílů. V závěru se provedlo ekonomické zhodnocení navrhnutého systému a jeho jednotlivých komponent a hodnotová analýza.

Klíčová slova:

Setí, přesné setí, secí stroj, utužovací ústrojí, secí botka, zemědělství, klikový mechanismus, MKP simulace.

Annotation

The diploma thesis deals with the innovation of the compaction system of the precision planting machine. The beginning of the work is a research part in which the historical development of seed drills and their current state is presented. The research part is a patent research of current solutions. The work contains a functional-object analysis of the current solution. This knowledge is used to find solutions in other industries using the method function objective search. Five concepts are proposed, from which one winning concept is selected using selection tables. The winning concept is developed into a 3D model. Performed basic system calculation and finite element simulation. Created drawing documentation of the device containing the drawing of the overall assembly of the seeding unit, the assembly of the compaction system and selected parts. In the end, an economic evaluation of the whole system and its individual components and a value analysis are made.

Key words:

Sowing, precision planting, seed drill, compaction device, farming, crank machanism, FEM simulation.

Obsah

1. Úvod 11
1.1. Úkol a cíl práce 12
2. Přehled z historie secích stojů 12
3. Současnost 15
3.1. Běžné secí stroje 15
3.1.1. Mechanické secí stroje 15
3.1.2. Pneumatické secí stroje 16
3.2. Přesné secí stroje 17
4. Patentový průzkum 18
4.1. Patent EP 3 777 501 A1 18
4.2. Patent EP 2 213 152 B1 19
4.3. Patent US 10842072 B2 20
4.4. Patent US 2021/0315149 A1 21
4.5. Závěr patentového průzkumu 21
5. FOA (Funkčně-objektová analýza) existujících řešení 22
5.1. Tvorba modelu 22
5.2. Závěr FOA 25
6. Průzkum možných řešení v jiných odvětvích 25
6.1. Stavebnictví 25
6.2. Farmaceutika 28
6.3. Šicí stroje 28
6.4. Zemědělské stroje 29
6.5. Sněžná rolba 30
6.6. Výstup průzkumu 30
7. Návrh konceptů 35
7.1. Koncept 1: Zahlazování 35
7.2. Koncept 2: Zamačkávání 37

7.3. Koncept 3: Jehla 38
7.4. Koncept 4: Klikový mechanismus 39
7.5. Koncept 5: Vačkový mechanismus 41
8. Zhodnocení a výběr konceptů 42
8.1. Kritéria 42
8.2. Rozhodovací tabulky 44
8.3. Hodnocení konceptů 47
8.3.1. Koncept 1: Zahlazování 47
8.3.2. Koncept 4: Klikový mechanismus 48
8.3.3. Koncept 5: Vačkový mechanismus 49
8.4. Výběr vítězného konceptu 50
9. Konstrukční návrh 50
9.1. Frekvence zdvihů 51
9.2. Volba elektromotoru 52
9.3. Kinematika mechanismu 53
9.3.1. Numerická simulace pohybu mechanismu 54
9.3.2. Pevnostní výpočty vybraných dílů 56
9.4. Popis konstrukce 60
10. Zhodnocení 63
10.1. Celkové náklady 63
10.2. Hodnotová analýza VA/VE 64
11. Závěr 67
Použitá literatura a zdroje 69
Seznam Obrázků 74
Seznam Tabulek 76
Přílohy 76

Seznam použitých symbolů

Značka	Název	Jednotka
a	Zrychlení klínu	[m/s^2]
a_{max}	Maximální zrychlení klínu	[m/s^2]
b	Zatížený zdvih	[mm]
c	Rychlost klínu	[m/s]
C_{d1}	Základní dynamická únosnost	[kN]
Cs_1	Základní statická únosnost	[kN]
c_{max}	Maximální rychlost klínu	[m/s]
F	Síla působící na klín	[N]
f_{max}	Maximální frekvence	[s^{-1}]
f_{min}	Minimální frekvence	[s^{-1}]
l	Délka ojnice	[mm]
L_1	Životnost ložiska	[mil.ot]
L_{h1}	Doba životnosti ložiska	[hod]
l_{max}	Maximální rozteč semen v řádku	[mm]
l_{mix}	Minimální rozteč semen v řádku	[mm]
M	Potřebný moment elektromotoru	[N·m]
n_{max}	Maximální potřebné otáčky	[min^{-1}]
n_{min}	Minimální potřebné otáčky	[min^{-1}]
P	Potřebný výkon elektromotoru	[W]
r	Poloměr kliky	[mm]
T	Tečná síla na kliku	[N]
v	Rychlost pohybu traktoru	[mm/s]
α	Úhel natočení kliky	[°]
ω	Úhlová rychlost elektromotoru při maximálních otáčkách	[rad/s]

1. Úvod

Zemědělství poskytuje potraviny pro lidstvo od pravěku do současnosti. Ze začátku lidé využívali dřevěné, kamenné, později železné nástroje, které pomáhaly při těžké práci s půdou. S technickým rozvojem lidstva rostla složitost a komplexnost zemědělských strojů a nástrojů. V dnešní době s vysokou populací, klimatickými změnami a jinými faktory může zasáhnout celé lidstvo potravinová krize resp. nedostatek potravin. Proto je potřeba dbát na maximální výnosnost vysetých plodin. Větší výnosnost šetří výsevní plochy, palivo a vodu. Některé plodiny jako jsou například řepka, slunečnice a kukuřice jsou dost náročné na přesnost setí ohledně rozestupu mezi jednotlivými rostlinami, což se promítá na jejích výnosnosti. Nejen z těchto důvodů v dnešní době pokračuje pokročilý rozvoj a inovace zemědělských strojů. Vývoj setí vychází z původního náhodného ručního vysévání osiva, což dále pokračovalo řádkovými secími strojí až dosáhlo k vývoji přesných secích strojů. Přesné secí stroje jsou využívány k setí slunečnice, kukuřice, řepky a dalších osiv/plodin. Obecně lze charakterizovat, že různé plodiny vyžadují různé podmínky k setí, jako meziřádkovou vzdálenost, rozteč mezi semeny v řádku, hloubku setí, atd. Proto secí stroje jsou nastavitelné v rozmezí typů plodin, které mohou sít. Různé modifikace těchto strojů mohou sít za různých podmínek ohledně typu půdy, před-přípravou pole, reliéfem a tvarem pole. Na trhu jsou dostupné secí stroje, které mohou sít osivo s roztečí řádků od 450 do 800 mm. Počet secích jednotek na jednom stroji může přesahovat 20. Takže maximální šířka záběru může přesahovat až 12 m. Širší záběr stroje dovoluje snížit čas potřebný pro zpracování pole. Moderní secí stroje mohou mít různé moduly, které dovolují předzpracovávat půdu hned před setím, nebo upravovat půdu po setí. Hodně často jsou využívány modulární systémy, které dovolují během setí přidávat hnojivo přímo do secí drážky. Běžná secí jednotka obsahuje systém určený pro otevíraní secí drážky, která se může skládat z otevíracích disků a kopírovácích kol, které tvarují drážku. Dále obsahuje třídicí systém, který odděluje jednotlivá semena a podává je s určitou frekvencí do secí drážky, utužovací systém, který je určen k zamáčknutí semene do půdy a zavlačovací systém, který ukrývá secí drážku.

1.1. Úkol a cíl práce

Cílem této diplomové práce je inovace utužovacího zařízení stroje pro přesné setí. Inovovaný systém musí dosahovat přesného řádkování a utužovaní osiva během požadované rychlosti traktoru 20 km/hod. Výsledný konstrukční návrh musí být finančně přijatelný, dále by měl mít relativně jednoduchou konstrukci, kterou lze snadno udržovat.

Pro dosažení tohoto cíle budou splněné následující úkoly:

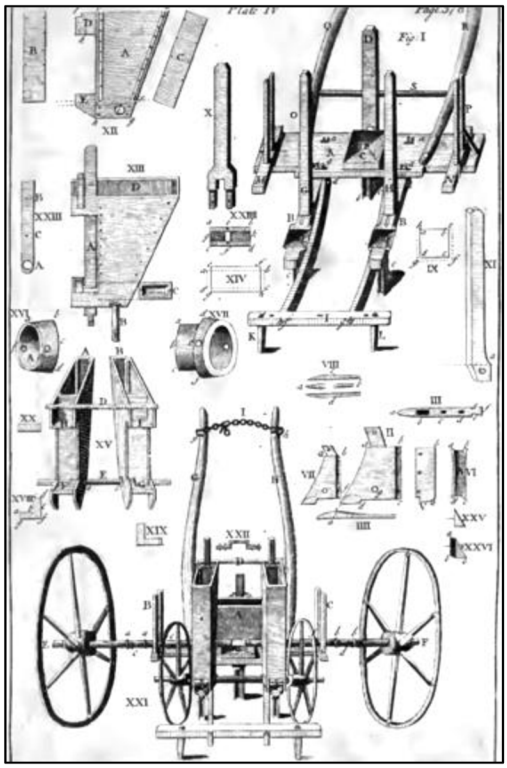
provedení historické rešerše,
provedení rešerše současného stavu problému,
patentový průzkum,
funkční-objektová analýza současných konstrukcí,
navržení 5 konceptů,
výběr jednoho konceptu, vytvoření 3D modelu,
provedení základních výpočtů a zhodnocení navržené konstrukce.

2. Přehled z historie secích stojů

Jedním z prvních historicky známých secích strojů byl čínský vynález z 2. století před naším letopočtem. Byl to více trubkový secí stroj (obr. 1), který pomohl Číně vytvořit účinný systém produkce potravin.. Obecně nejjednodušším způsobem setí bylo ruční setí, avšak u ručního setí dochází k dvoum velkým nedostatkům: nerovnoměrné rozmístění semen a nemožnost setí za větrného počasí. Tyto nedostatky vedly k vývoji různých secích strojů. Nejjednodušší konstrukce byla konstrukce pln- osevního secího stroje. První evropský secí stroj byl

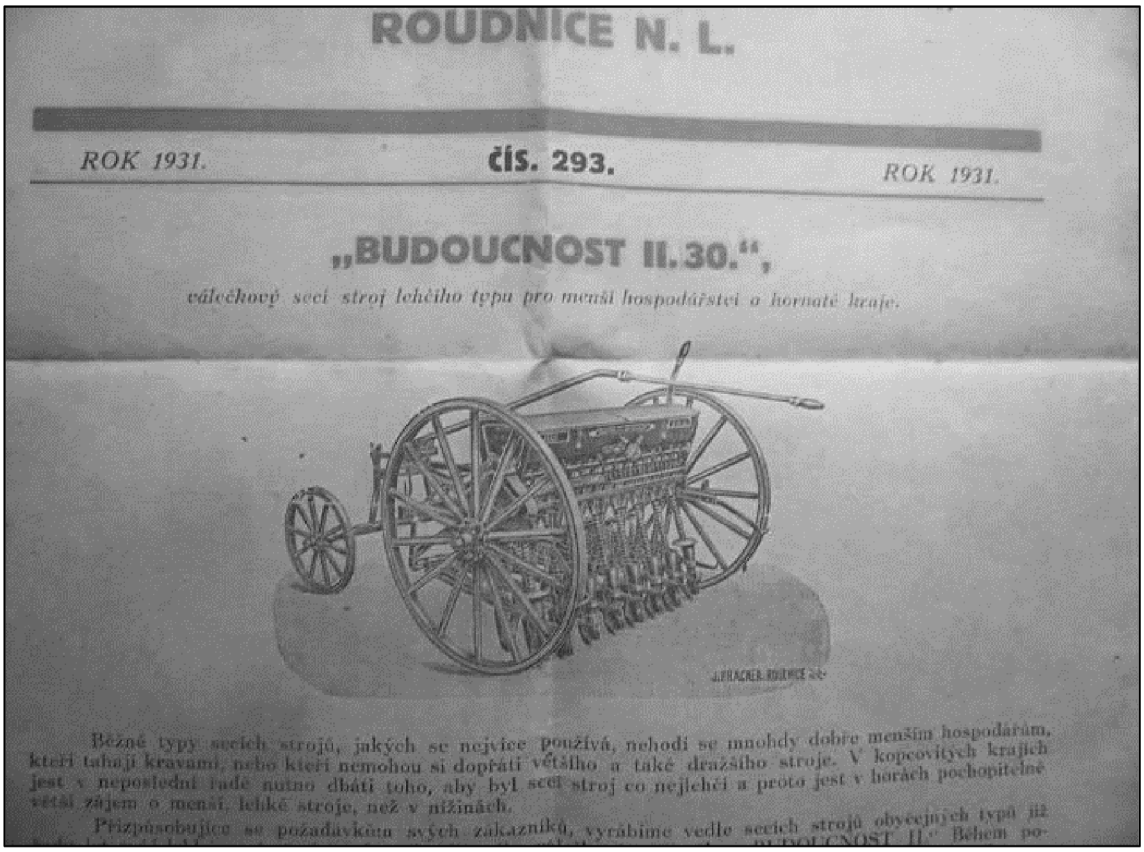
Obr. 1 Čínský dvoutrubkový secí stroj [46]

patentován benátským senátem v roce 1566 (obr. 2). V Anglii v roce 1701 secí stroje zdokonalil Jethro Tull v rámci zemědělské revoluce, avšak tyto secí stroje byly drahé a nespolehlivé. Z toho důvodu k rozšíření secích strojů v Evropě došlo až koncem 19. století, kdy rozvoj obráběcích strojů, kování a lisování kovů umožnily precizní výrobu především ocelových dílu. Zásadní změny v konstrukci secích strojů provedl František Melichar (obr. 3), který byl zakladatelem fabriky na výrobu secích strojů v Brandýse nad Labem. V roce 1901 bylo v jejich závodě vyrobeno 2100 secích strojů [27, 29, 46].



Obr. 2 Secí stroj Jethro Tull (1762) [29]

Obr. 3 Secí stroj Melichar [26]



ROUDNICE N. L.

ROK 1931. ČÍS. 293. ROK 1931.

„BUDOUCNOST II.30.“,

válečkový secí stroj lehčího typu pro menší hospodářství a hornaté kraje.

Běžné typy secích strojů, jakých se nejvíce používá, nehodí se mnohdy dobře menším hospodářům, kteří tahají kravami, nebo kteří nemohou si dopřáti většího a také dražšího stroje. V kopcovitých krajích jest v neposlední řadě nutno dbáti toho, aby byl secí stroj co nejlehčí a proto jest v horách pochopitelné větší zájem o menší, lehké stroje, než v nížinách.

Přizpůsobujíce se požadavkům svých zákazníků, vyrábíme vedle secích strojů obyčejných typů již

Obr. 4 Prospekt secího stroje "Budoucnost" [33]

Nova konstrukce, kterou nabízela firma Melichar, neměla nevýhod předchozích secích strojů. Zlepšila se rovnoměrnost setí na svazích, vylepšily se secí botky, bylo inovováno vedení stroje. V roce 1890 byl zaregistrován patent lžičkového výsevného ústrojí, který umožnil plynulou regulaci výsevku. Tento vynález proslavil Melichara v celé Evropě. Druhá významná česká továrna, která vyráběla secí stroje, byla firma resp. továrna, kterou založil Jan Pracner v Roudnice nad Labem. Jan Pracner vyráběl univerzální secí stroje značky „Budoucnost“ (obr. 4), ve kterých použil výsevní ústrojí s regulaci výsevu pomocí rýhovaných posuvných válečků. Tento stroj před první světovou válkou byl hodně rozšířen v Evropě a USA. Se zvyšující se rychlostí setí, lžičkové secí stroje začaly ztrácet svou spolehlivost a zároveň díky novým normalizačním opatřením se lžičkové secí stroje postupně nekonkurenceschopnými. Důležitou inovací secích strojů z poslední doby je možnost setí bez předchozí orby. To znamená, že půda je chráněna před erozí nebo ztrátou vlhkosti dokud semeno nevyklíčí a nevyroste dostatečně, aby ochránilo půdu. U některých plodin, jako je např. kukuřice, čirok, slunečnice a řepka je důležité stálé a rovnoměrné rozložení semen v řádku. Z tohoto důvodu

se v současné době hodně rozvíjejí přesné secí stroje, které mohou zajistit správné parametry setí pro tyto plodiny. Přesné secí stroje zajišťují uložení jednotlivých semen v řádku s určitou roztečí. Také využívání současných počítačových systému řízení umožnilo přesné rozložení semen při průjezdu zatáčky, hnojení během setí, plánování setí s využitím satelitních snímků a GPS [19].

3. Současnost

Moderní secí stroje musí podávat osivo do půdy v přesně určeném intervalu pro dosažení definované rozteče semen do řádku. Musí mít vhodnou utužovací část, která usadí semeno ve správném místě v půdě. V některých typech secích strojů jsou moduly, které připravují půdu před setím. Zároveň společně se setím je možné provádět hnojení, pomocí hnojícího modulu, který je součástí většiny secích strojů. V dnešní době secí stroje můžeme rozdělit na přesné secí stroje a běžné secí stroje. Při setí pomocí běžných secích strojů je důležitým parametrem množství osiva na jeden hektar (kg/ha). Na rozdíl od toho, přesné secí stroje mohou zajistit přesné rozložení osiva v řádku. U těchto strojů je důležitým parametrem množství semen na m^2, což je závislé na roztečí řádku a semen [2, 28, 35, 36, 39, 48].

3.1. Běžné secí stroje

Běžné secí stroje vysévají především pšenice, ječmen, řepku nebo mák. U těchto typů strojů je určujícím parametrem hmotnost vysetého osiva na hektar. Někdy tyto stroje jsou nazývány jako univerzální, protože mohou zasít velký počet různých druhů plodin. Taky jsou schopny vysít i různé množství osiva dle potřeby určité rostliny (od 1 kg/ha u máku do 250 kg/ha u pšenice) [28, 35, 48].

3.1.1. Mechanické secí stroje

Mechanické secí stroje k podání semen využívají dávkovací válečky, které jsou umístěny u dna zásobníku. Zásobník je umístěn po celém záběru stroje. Tyto válečky mají různě tvarovaný povrch, který zajišťuje potřebné dávkování osiva do semenovodu, kterým je osivo doručeno do secí botky.

Válečky mohou být poháněny buď přímo od traktoru, nebo pomocí opěrných kol a různých typů mechanických převodů. Hlavní výhodou těchto secích strojů je jednoduchá a levná konstrukce. Mezi nevýhody patří nižší přesnost výsevu, horší ovladatelnost stroje, nemožnost elektrického řízení průběhu setí a obvykle menší šířka stroje [25, 28, 35, 48].

Obr. 5 Mechanický secí stroj KUHN [25]

3.1.2. Pneumatické secí stroje

Tento typ secího stroje umožňuje více způsobů provedení. Pneumatické secí stroje využívají jeden centrální zásobník osiva. Stroj je vybaven ventilátorem (většina výrobců využívá radiální ventilátory). Podobně jako u strojů mechanického typu, pneumatické stroje mají dávkovací váleček, který se nachází u dna zásobníku, v tomto případě jenom jeden. Tento váleček dopravuje osivo do velkého semenovodu (průměr okolo 150 mm). V tomto semenovodu je proud vzduchu vytvořen ventilátorem. Ventilátor může být poháněn mechanicky (od traktoru), hydraulicky (od hydraulického systému traktoru) nebo elektricky. Velkým semenovodem je osivo dopravováno do rozdělovací hlavy, kde osivo je rozděleno do jednotlivých semenovodů o průměru 30-50 mm. Malé semenovody dopravují osivo k secím botkám. Tento typ secího stroje umožňuje výrobu stroje se širším záběrem, který se dobu přepravy může složit do šířky dovolené pro provoz na silnici. Využití jiných typů pohonů umožňuje vetší elektrickou kontrolu výsevního procesu. Průtokové senzory zlepšují kontrolu množství osiva. Nevýhodou je nemožnost zajištění přesného rozložení semen v řádku [11, 28, 35, 48].

Obr. 6 Širokozáběrový secí stroj BEDNAR EFECTA CE [11]

3.2. Přesné secí stroje

Obr. 7 Secí stroj Vaderstad Tempo R 4-6 [43]

Pomocí přesných secích strojů se vysévá především kukuřice, slunečnice a řepka. Tyto stroje využívají menší zásobníky, které jsou umístěny přímo nad

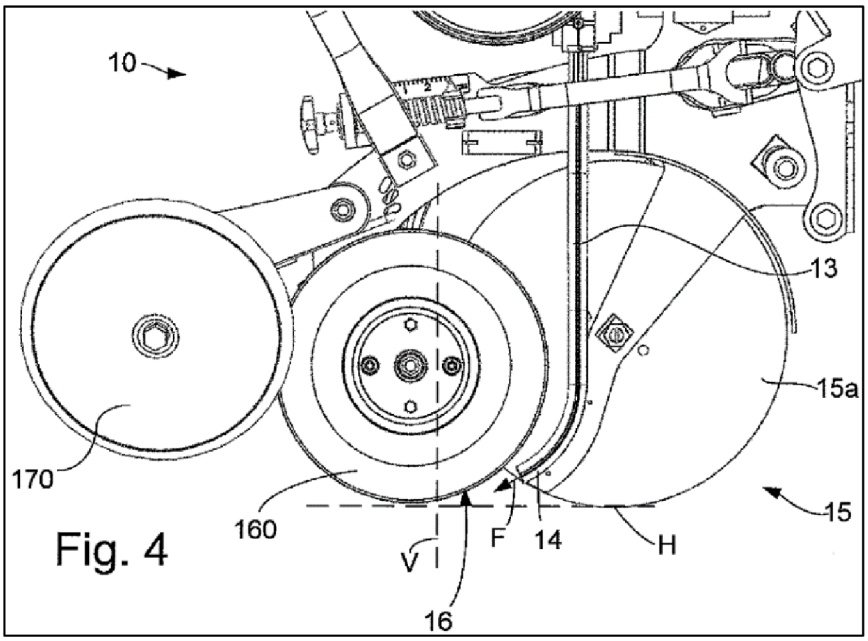
secí botkou pro každou výsevní jednotku. Při využití přihnojování lze konstatovat, že zásobník pro hnojivo může být jeden pro všechny secí jednotky, nebo pro každou jednotku zvlášť, podobně jako zásobníky na osivo. Osivo ze zásobníku je odebíráno různými druhý třídicích systémů podle výrobce, avšak každý tento systém musí dodat jednotlivé semeno do semenovodu s vyžadovanou frekvencí, která je zavislá na rychlosti traktoru a rozteči semen v řádku. Dál semeno je dopravováno semenovodem do seťového lože, které je připraveno secí botkou. U přesného setí seťové lože je tvarováno do přesného tvaru a zhutněno tak, aby mělo správnou hloubku a tvar a pomohlo správnému umístění semene a také, aby vytvořilo lepší podmínky pro klíčení [28, 35, 43, 48].

4. Patentový průzkum

V rámci řešení diplomové práce byl proveden patentový průzkum, který rozšířil znalosti současného stavu přesných secích strojů. Provedení odpovídajícího patentového průzkumu umožňuje lepší pochopení trhu a směr rozvoje. Patentový průzkum byl především zaměřen na patenty s klasifikaci „A01C“ výsadba, setí, hnojení (PLANTING; SOWING; FERTILISING) [17].

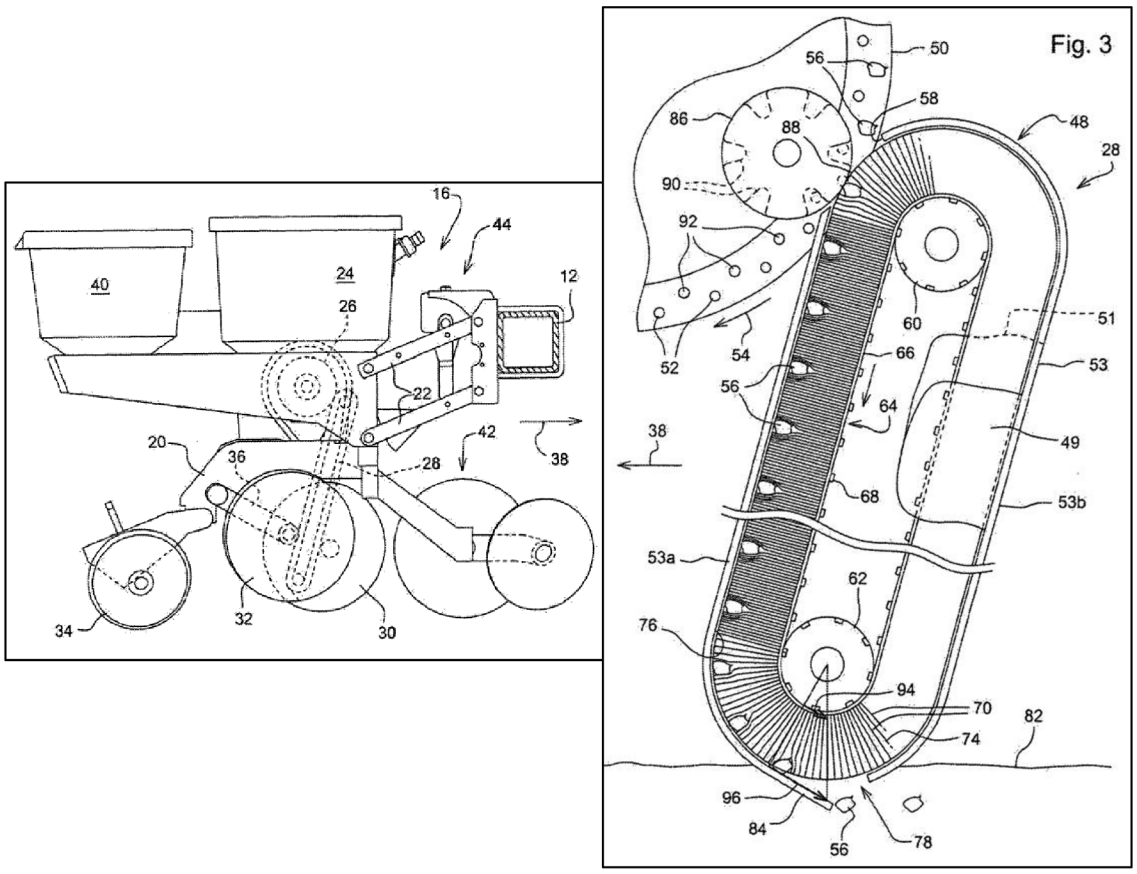
4.1. Patent EP 3 777 501 A1

V tomto patentu (obr. 8) je uvedena řádková jednotka pro přesné setí semen v předem stanoveném počtu rostlin na jednotku délky včetně zařízení pro podávání jednotlivých semen ze zásobníku. Podávání osiva je provedeno pomocí přetlaku vzduchu skrz podávající trubici 13. Otvírač secí brázdy 15 obsahuje dva secí kotouče 15a uspořádané vůči sobě pod úhlem. Mezi kotouče je uspořádáno pružné přítlačné kolo 160. Přítlačný povrch 16 je konfigurován vůči výstupu semenovodu 14 tak, aby byl směr toku semen F tečný nebo protínal přítlačný povrch. Výstupní část semenovodu je umístěna mezi výsevními kotouči uvnitř obvodu alespoň jednoho ze secích kotoučů [45].



Obr. 8 Řádková jednotka pro sazeč a způsob výsadby [45]

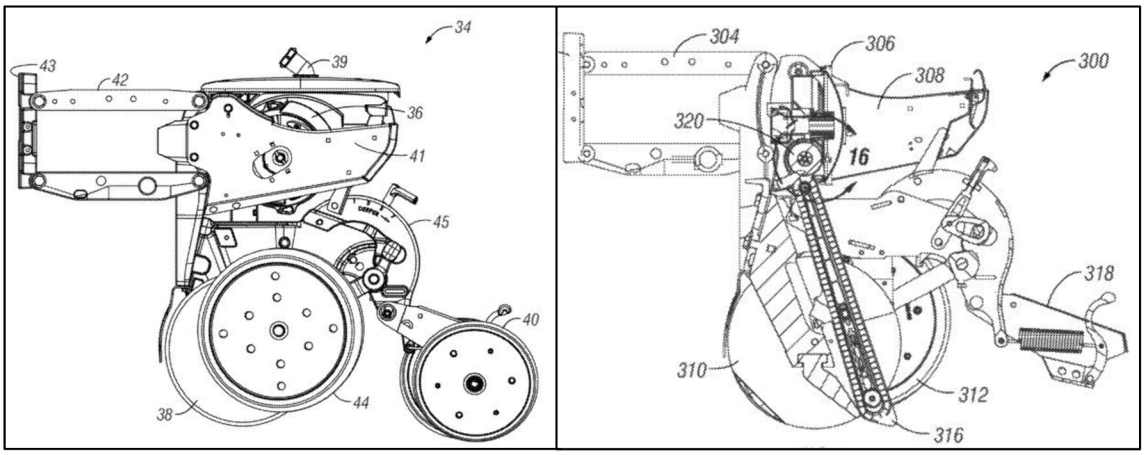
4.2. Patent EP 2 213 152 B1



Obr. 9 Řádková jednotka a systém podávání osiva secího stroje[9]

Řádková jednotka 16 secího stroje obsahuje systém pro podávání osiva 28, který odebírá osivo 56 z dávkovače semen 26 takovým způsobem, že z něj zachycuje semeno 56. Dodávající systém 28 poté přesune semeno 56 dolů do spodního výstupního bodu 78 a zrychlí semeno tak, že složka rychlosti semene směřující proti směru setí je přibližně rovná dopředné rychlosti setí (rychlosti pohybu secího stroje). Takovým způsobem dochází k tomu, že padající semeno má skoro nulovou horizontální rychlost vůči půdě. Tak je dosaženo minimálního valení osiva ve drážce. Tedy z důvodu malé vzdálenosti od výstupu ke dnu drážky má semeno nedostatečnou vertikální rychlost pro odraz od půdy. Dodávající systém používá kartáčový pás 60 k zachycení, přenosu a zrychlení semene. Od zachycení k výstupu se semeno drží na místě vzhledem k ostatním semenům a řádkové jednotce. Výsledkem je, že semena jsou izolována od dynamiky řádkové jednotky, čímž je zachována vzdálenost semen [9].

4.3. Patent US 10842072 B2



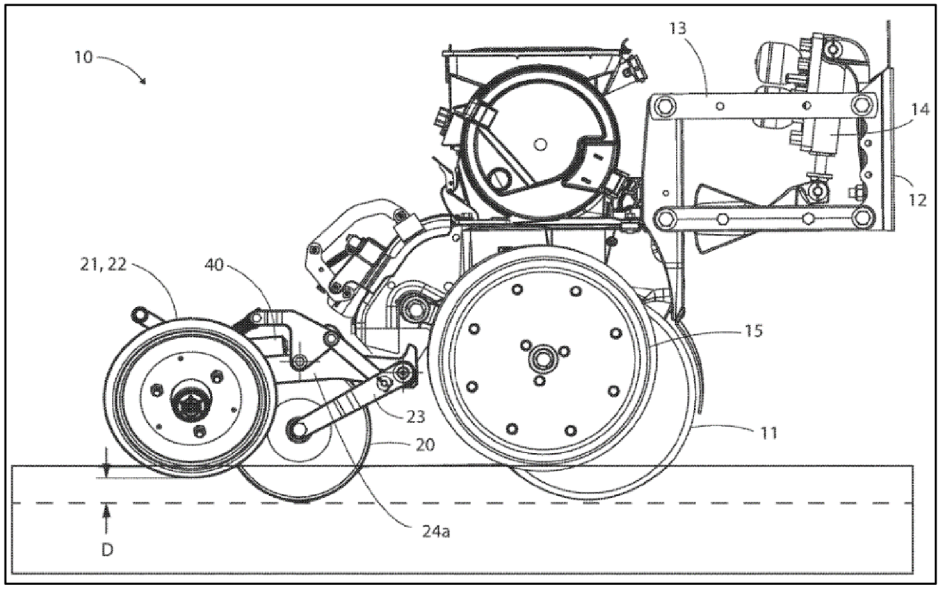
Obr. 10 Secí stroj s vysokorychlostním doručovacím zařízením [20]

Secí stroj uvedený v tomto patentu obsahuje více řádkových jednotek. Řádkové jednotky mají jeden nebo více dávkovačů semen pro příjem, oddělování a dopravování osiva do výsevní drážky tak, aby bylo dosaženo vhodného rozestupu mezi osiva. Osivo je podáváno dávkovačem jedno po druhém do nosiče, první součástí nosiče je kartáčové kolo. Kartáčové kolo posouvá semena na dopravník. Dopravník semen je pás s lopatkami přičemž rychlost semen při přenášení z nosiče odpovídá rychlosti pásu s lopatkami.

Dopravník posouvá semena do polohy blízko dna výsevní drážky a vyhazuje semena malou nebo nulovou horizontální rychlostí vůči drážce [20].

4.4. Patent US 2021/0315149 A1

V tomto patentu je uveden systém pro ovládání hloubky alespoň jednoho uzavíracího kola v řádkové secí jednotce. Řádková jednotka obsahuje utužovací zařízení, které zatlačuje semena do půdy na dně secí drážky a alespoň jedno uzavírací kolo, které tlačí ze strany na hranu drážky, aby uzavřelo drážku nad semenem. Řídicí systém snímá hloubku uzavíracích kol v drážce vzhledem k hloubce utužovacího zařízení a upravuje tlak na uzavírací kolo směrem dolů na základě změn snímané hloubky uzavíracího kola tak, aby kompenzoval změny v tvrdosti půdy. Pohyb nahoru a dolů utužovacího zařízení lze nastavit nezávisle na pohybu zavíracího kolečka. Utužovací zařízení může obsahovat několik otvorů, kterými je stlačený vzduch nucen vytlačit veškeré nečistoty. Nečistoty se hromadí na částech utužovacího zařízení. Utužovací zařízení může být vyrobeno pomocí technologie aditivní výroby, který umožňuje vytvoření úzkých vnitřních kanálů ve vyrobeném dílu [8].



Obr. 11 Zařízení na zpevňování půdy pro zlepšení kontaktu semen s půdou v secí drážce [8]

4.5. Závěr patentového průzkumu

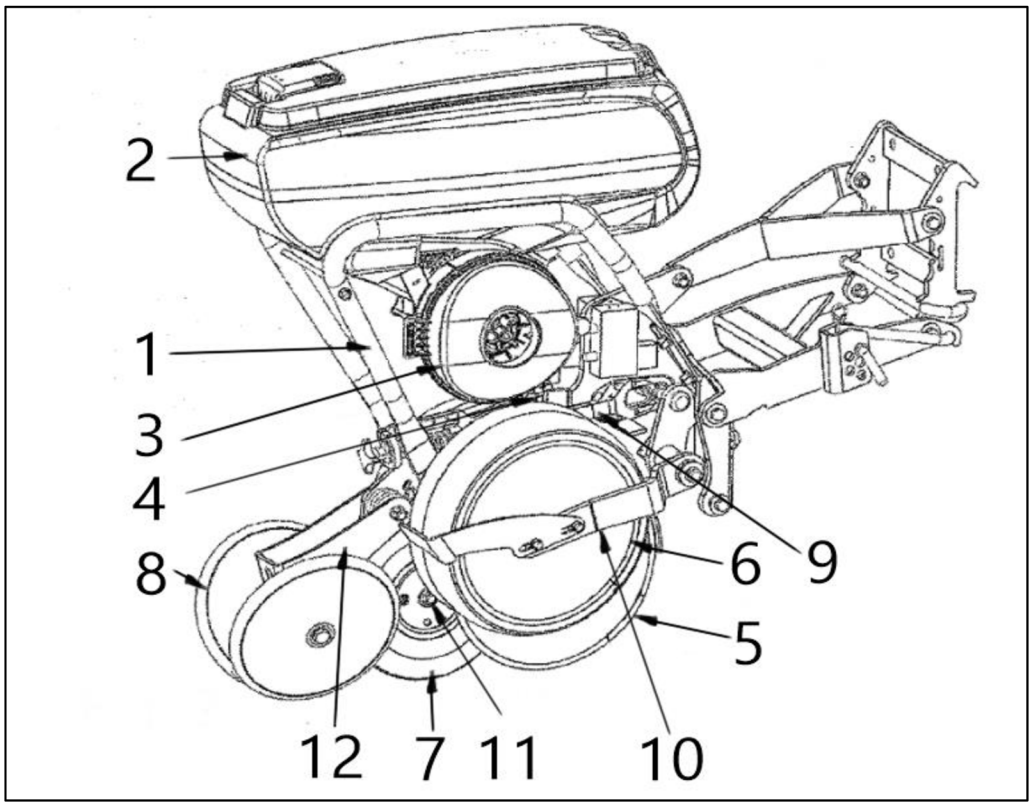
Během patentového průzkumu bylo prostudováno více patentů secích strojů a obecně zemědělských strojů. Některé vybrané patenty jsou uvedeny

v předchozích kapitolách. Z tohoto průzkumu je zřejmý trend na inovaci v oblasti podávajícího zařízení a zlepšení řízení parametrů setí, jako je hloubka setí, rozteč mezí osivem, přítlak utužovací jednotky a jiné. Na druhou stranu konstrukce ústrojí na vytváření drážky, utužování osiva a uzavíraní drážky jsou principiálně stejné až na drobné změny, což otevírá velký prostor v inovaci těchto ústrojí.

5. FOA (Funkčně-objektová analýza) existujících řešení

Funkčně-objektová analýza (FOA) je analytický nástroj využívaný k modelování problémů. Pomocí FOA identifikujeme funkce a parametry jednotlivých komponent systému a nadsystému. Cílem provedení FOA je identifikace nedostatku systému a definování problémů. FOA je stavěná na funkčním modelu, který zahrnuje objekty systému a nadsystému, popisuje jejich vzájemné působení a zahrnuje hlavní funkci celého systému [23].

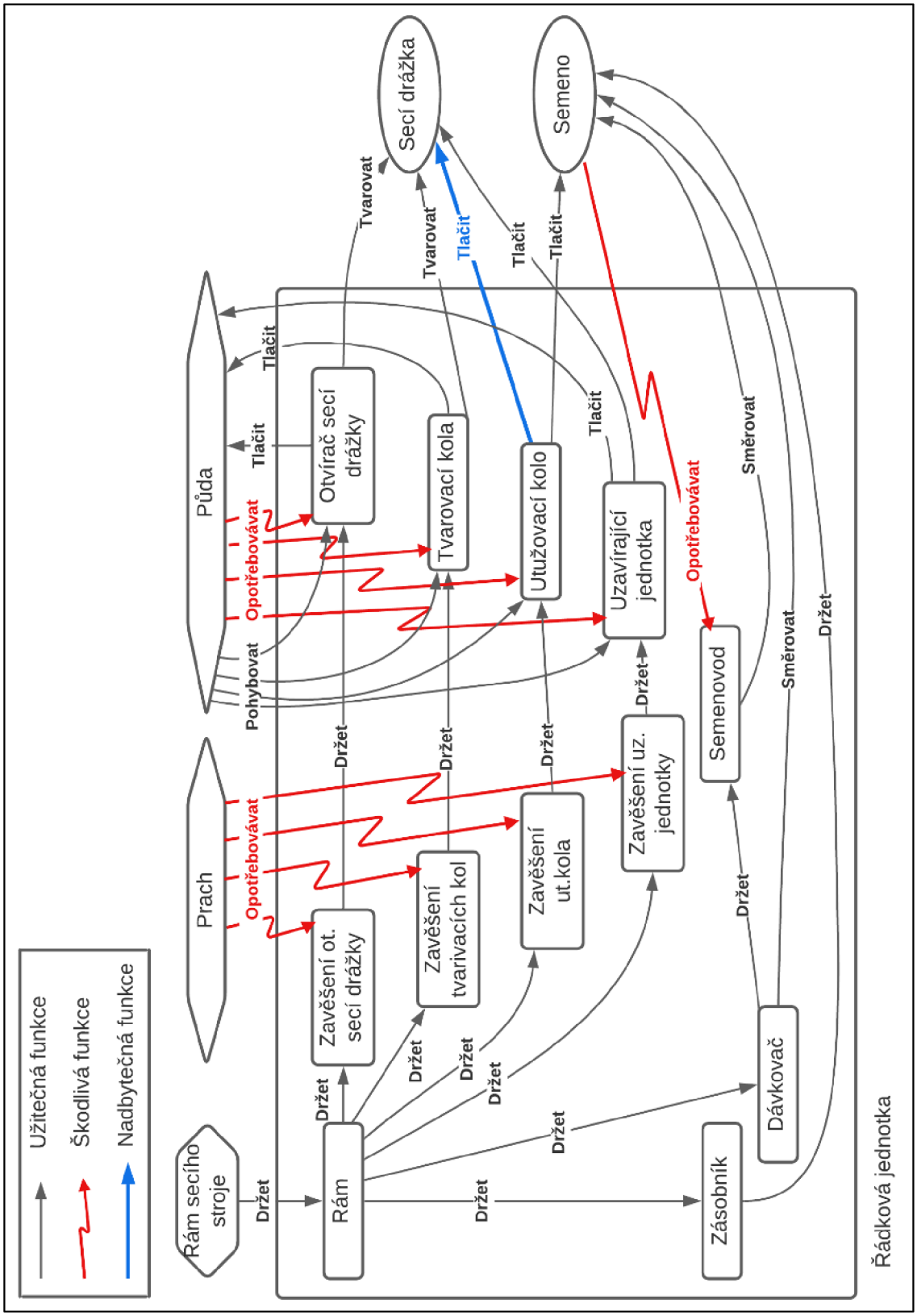
5.1. Tvorba modelu



Obr. 12 Řádková jednotka [8]

Pro tvorbu modelu byla vybrána konstrukce podle patentu, který je znázorněn v kapitole 4.1, protože tato konstrukce obsahuje všechny důležité komponenty a má jednoduchou konstrukci. Vybraná konstrukce bude zjednodušena do určité míry tak, aby model FOA nebyl příliš rozsáhlý a zároveň, aby obsahoval potřebné elementy pro definování nedostatků a problémů. Řádková jednotka byla rozdělena do základních elementů. Na základě tohoto rozdělení byl vytvořen model pro FOA. Byly vymezeny následující elementy (obr. 12) : 1. rám, 2. zásobník, 3. dávkovač, 4. semenovod, 5. otvírač secí drážky, 6. tvarovací kola, 7. utužovací kolo, 8. uzavírající jednotka, 9. zavěšení otvírače secí drážky, 10. zavěšení tvarovacích kol, 11. zavěšení utužovacího kola, 12. zavěšení uzavírající jednotky.

Pro vytvoření FOA modelu (obr. 13) bylo potřeba ještě zadat komponenty nadsystému a cílové komponenty. Jako prvky nadsystému byly zvoleny: rám celého secího stroje, protože systémem je řádková jednotka; půda, do které vlastně provádíme setí semen; prach, který vzniká při běhu stroje a může hodně ovlivňovat životnost některých komponent. Jako cílové komponenty byly zvoleny secí drážka a semeno, protože řádková jednotka takového typu vytváří secí drážku, následně tam vkládá semeno a pak tu drážku uzavírá. Rám secího stroje je komponentou nadsystému. Na rámu řádkové jednotky jsou připevněny další komponenty technického systému: zavěšení otvírače secí drážky, zavěšení tvarovacích kol, zavěšení utužovacího kola, zavěšení uzavírající jednotky. Zásobník vykonává jednu funkci a to je udržování semen. K dávkovači je připevněn semenovod. Dávkovač podává semena do semenovodu (směruje semeno). Semenovod směruje semeno do výsevní drážky, ale semenovod může být opotřebován semeny. Všechna zavěšení mají pohyblivé části, které jsou náchylné na opotřebení prachem. Zavěšení drží odpovídající ústrojí: otvírač secí drážky, tvarovací kola, utužovací kolo, uzavírající jednotka. Všechny tyto komponenty jsou ve styku s půdou, takže jsou jí opotřebovávány a zároveň všechny tyto komponenty jsou uvedeny do pohybu při kontaktu s půdou. Otvírač secí drážky tlačí na půdu, čímž tvaruje secí drážku. Tvarovací kola fungují společně s otvíračem secí drážky a zlepšují tvar secí drážky. Utužovací kolo přitlačuje semeno. Vedlejší nebo nadbytečná funkce utužovacího kola je tlačení na dno secí drážky. Uzavírající jednotka tlačí, jak na půdu okolo secí drážky, tak na okraj secí drážky a uzavírá ji.



Obr. 13 FOA diagram

5.2. Závěr FOA

Podle sestaveného modelu je zřejmě, že negativní vliv na celou konstrukci mají prach a půda. Takže při návrhu nového řešení musíme dbát na zamezení styku s půdou nebo využití vhodných a otěruvzdorných materiálů. Také musíme používat mechanizmy, které jsou odolné prachu, nebo využít ošetření průniku prachu do nežádoucích míst. Také vidíme, že nemusíme vyvolávat tlak na celé dno secí drážky, přičemž musíme působit na samotné semeno. **Návrh konceptů bude proveden s ohledem na tyto poznatky**.

6. Průzkum možných řešení v jiných odvětvích

Průzkum probíhal v otevřených zdrojích, patentové i nepatentové literatuře. Průzkum byl proveden s využitím metody Function Oriented Search (FOS), což je metoda, která je založena na hledání existujících technologií při použití funkčních kritérií. Před samotným hledáním možných řešení musíme generalizovat funkci, kterou musí vykonávat systém. Utužovací ústrojí řádkové jednotky musí přitlačit osivo do půdy (popř. utužit okolní půdu pro vytvoření vhodných podmínek pro klíčení některých plodin). Tato funkce byla generalizována několika způsoby pro co nejširší záběr při vyhledávání (např.: utužení půdy, utužení práškového materiálu, zhutnění práškového materiálu). Pro širší rozhled ve vyhledávání byla ještě prozkoumána řešení dopravování osiva do secí drážky. Tato funkce byla generalizována jako: pohybovat granulovaný materiál a přemisťovat granulovaný materiál. Poznatky získané tímto průzkumem budou využity k tvorbě konceptů [12].

6.1. Stavebnictví

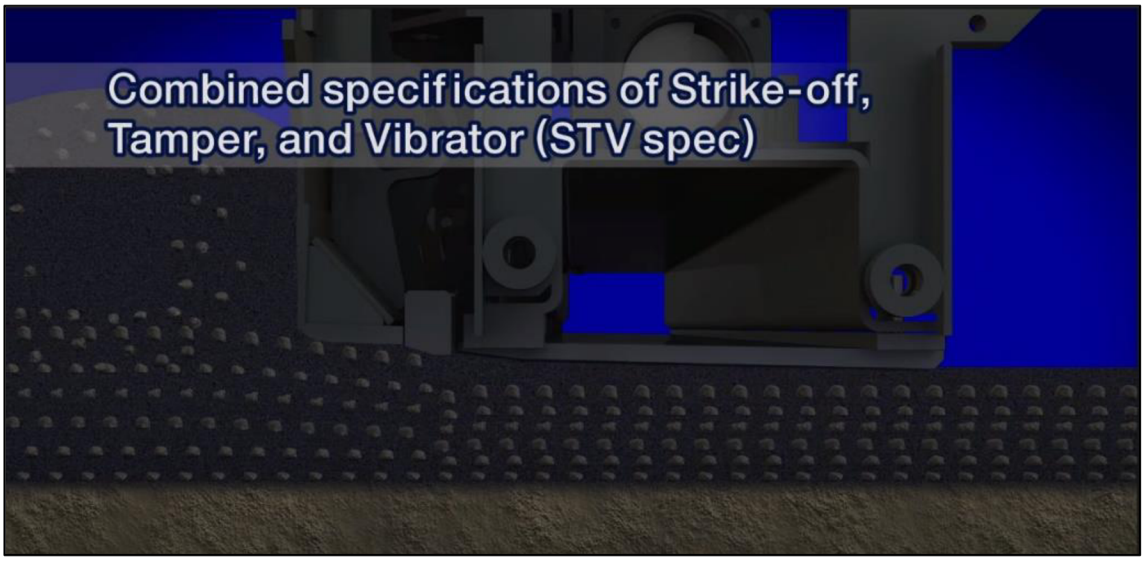
První odvětví, které se vhodně zabývá utužováním sypkých materiálů je stavebnictví. Ve stavebnictví jsou utužovány: asfalt, beton, hlína, písek, kamenivo a jiné. K utužování materiálů, ve stavebnictví, především je využita vibrace. Vibrační deska uvedená na obr. 14 je jedním s nejjednodušších strojů využívaných pro utužování ve stavebnictví. Vibrační desky jsou ručním strojem, který je poháněn spalovacím motorem. Rozlišují se především hmotností. U větších vibračních desek je možnost plynule měnit rychlost pohybu desky a pohybovat dozadu. U menších desek je jenom jedna rychlost dopředu [10, 22].

Obr. 14 Vibrační deska Wacker DPU 2540 [10]

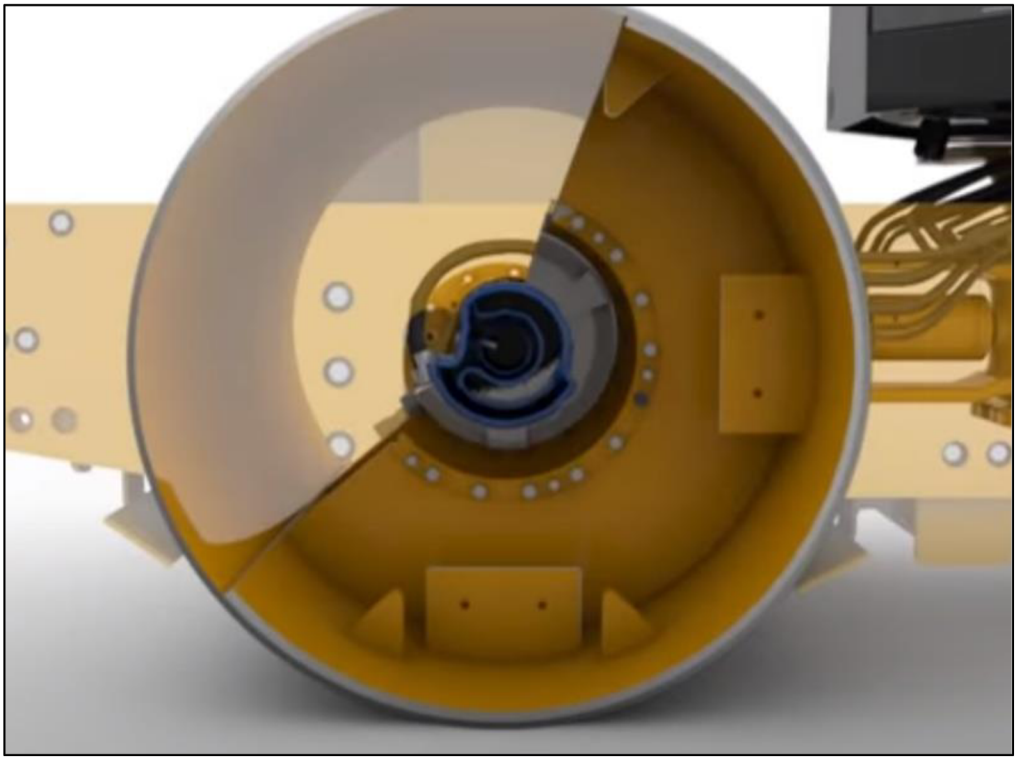
Obr. 15 Finišer pokládá asfalt [13]

Další stroj, který utužuje materiál je tzv. finišer (obr. 15). Finišer je stroj, který je určen k pokládaní asfaltu, betonu, případně jiných materiálů. Pro řešenou úlohu je zajímavá konstrukce „žehličky“ (obr. 16), která je součástí

finišeru a tvaruje vrstvu do potřebné výšky. Tvarování probíhá nejenom vibrační plochou, ale i utužovací částí v přední části „žehličky“ [40].



Obr. 16 Konstrukce "žehličky" finišeru [40]

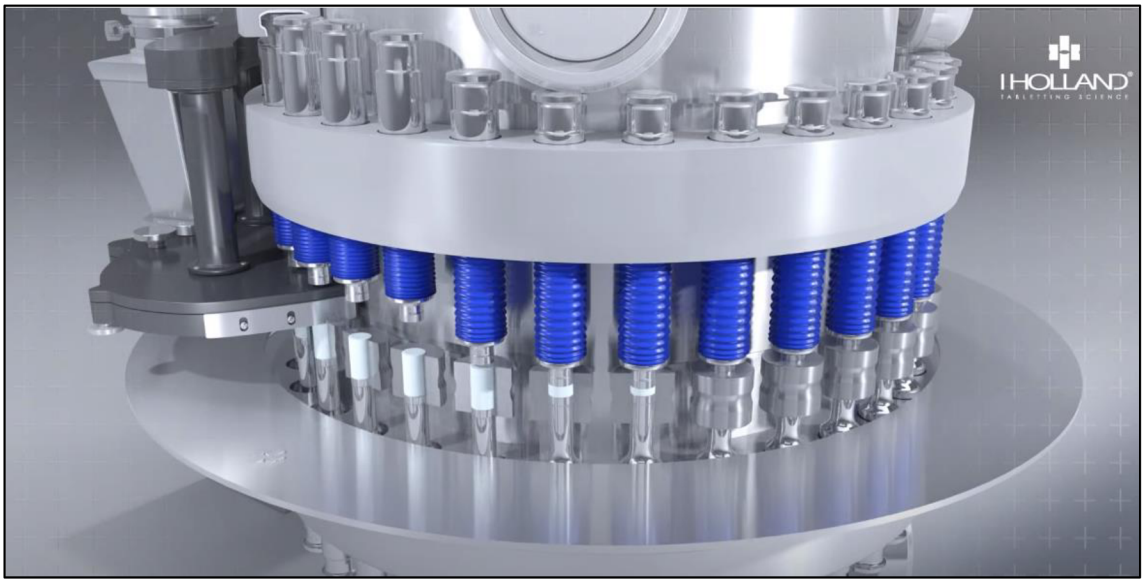


Obr. 17 Konstrukce vibračního válce [1]

Další utužovací stroj je vibrační válec (obr. 17). Vibrační válec je stroj využívaný k utužování různých materiálů a má hodně možných provedení. Existuje hodně druhů provedení vibrační jednotky pro dosažení potřebných parametrů při utužovaní různých materiálů. K samotnému pohonu celého válce

mohou být využita, jak klasická kola, tak pohon, který může být aplikován pomocí hydraulických motorů na válce, v takovém případě budou dva. Existují také ruční hydraulické válce, které jsou podobné vibrační desce [1, 6].

6.2. Farmaceutika

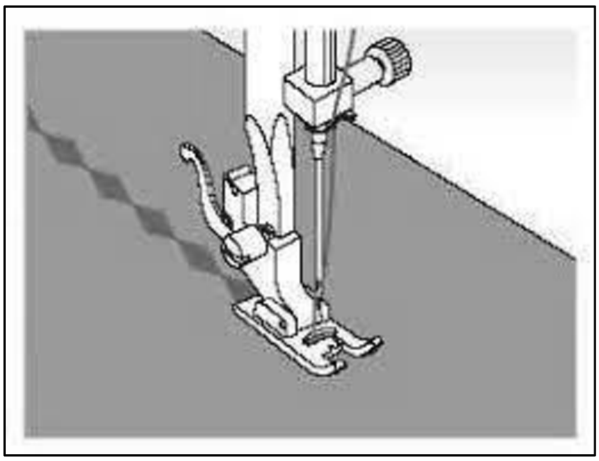


Obr. 18 Stroj na výrobu tablet [16]

Další zajímavá technologie byla nalezena v oboru farmaceutiky, týkající se přesné výroby klasických tablet. Tablety se hromadně vyrábí na speciálních karuselových strojích (obr. 18), kde se na jedné straně do formy nasype prášek, který během pohybu je slisován pístem, který najíždí shora a je poháněn vačkovým mechanismem. Na druhé straně tableta je vyhozena pomocí vyjíždění dolního pistu poháněného podobným vačkovým mechanismem [16, 18, 42].

6.3. Šicí stroje

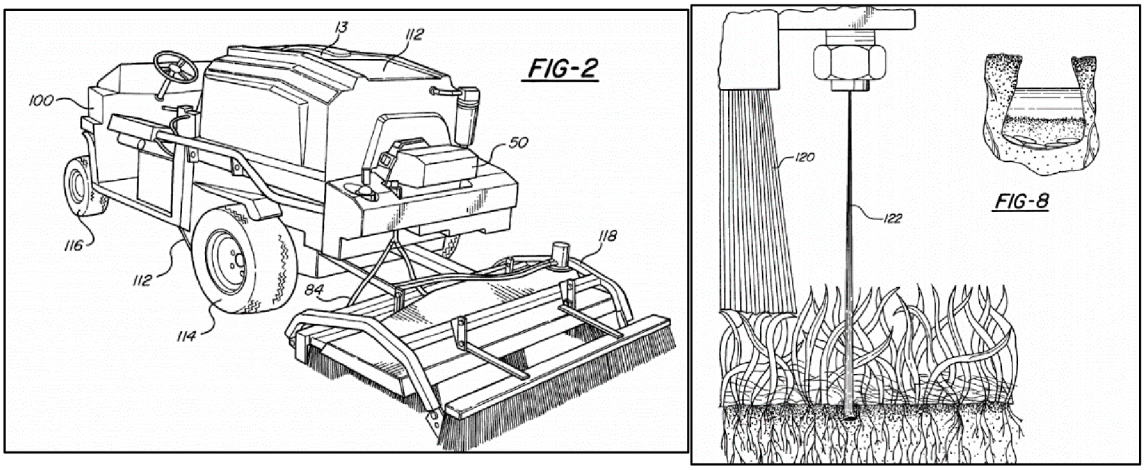
U šicího stroje patka stlačuje a drží pohromadě dvě tkaniny, které jsou následně sešité pomocí jehly, která vykonává lineární pohyb pomocí klikového mechanismu. Tyto patky většinou jsou ocelové, ale také mohou být plastové nebo keramické. Výběr materiálu patky zaleží na sešívané tkanině [14].



Obr. 19 patka šicího stroje s jehlou [47] (vlevo), patky pro šicí stroje [41] (vpravo)

6.4. Zemědělské stroje

Další zajímavá technologie byla dohledána během patentového průzkumu. Je to metoda vstřikování roztoku do půdy (obr. 20), která dle patentu umožňuje vstřikovat roztok na hloubku okolo 150-200 mm tlakem 3,5-10 MPa. Druhý stroj se využívá k aerifikaci trávníku (obr. 21). Na aerifikace mohou být použity více druhů strojů, ale pro naše účely je zajímavá konstrukce s přímočarým pohybem jehel, které jsou zapichovaný do půdy. Přímočarý pohyb v tomto případě je zajištěn klikovým hřídelem a pákovým mechanismem [3, 44] .

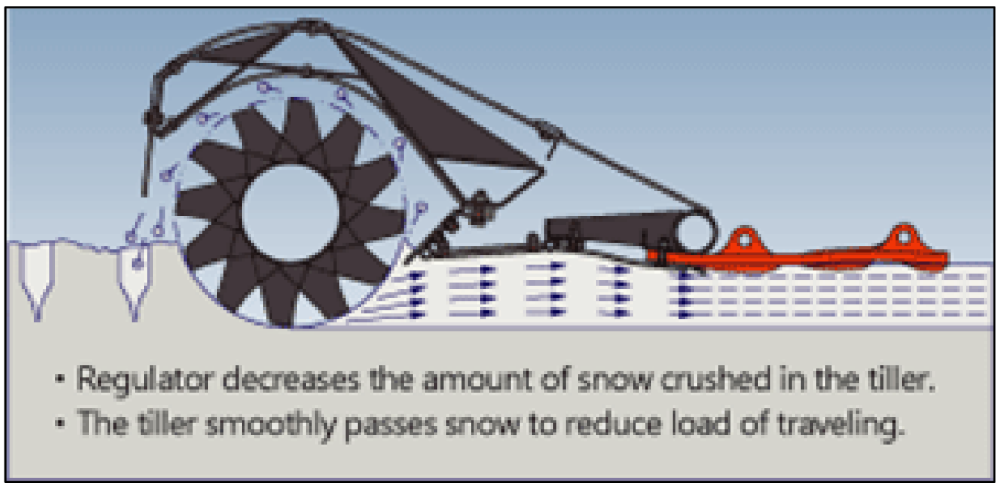


Obr. 20 Vysokotlaké vstřikování hnojiva do půdy [44]

Obr. 21 Stroj pro aerifikaci trávníku [3]

6.5. Sněžná rolba

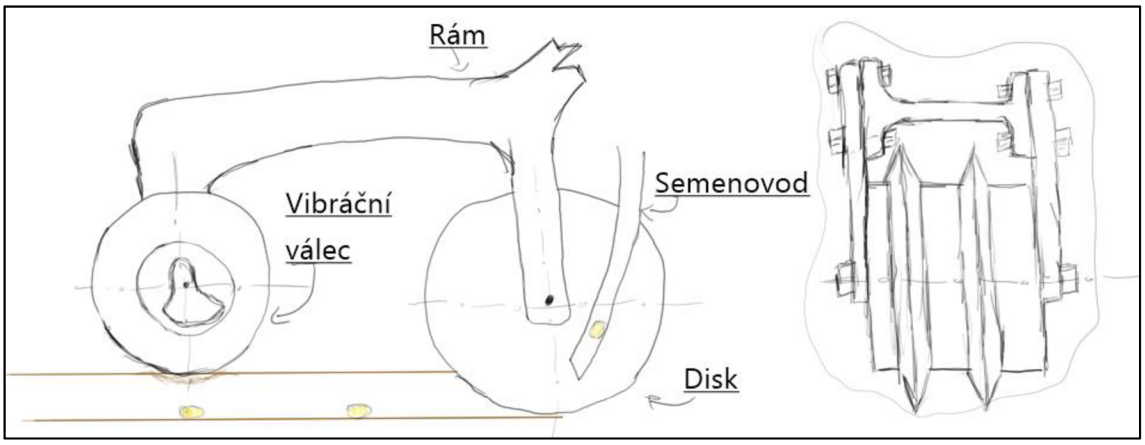
Sněžná rolba (obr. 22) je stroj určený k přípravě sněhu na sjezdovkách nebo na běžeckých tratích. Tento stroj v první fázi zpracování sněhu načechrá sníh pomocí frézy. V dalším kroku je sníh zhutněn a vytvarován do potřebného drážkového tvaru pomocí speciálního plechu [38].



Obr. 22 Schéma fungování utužovací části sněžné rolby [38]

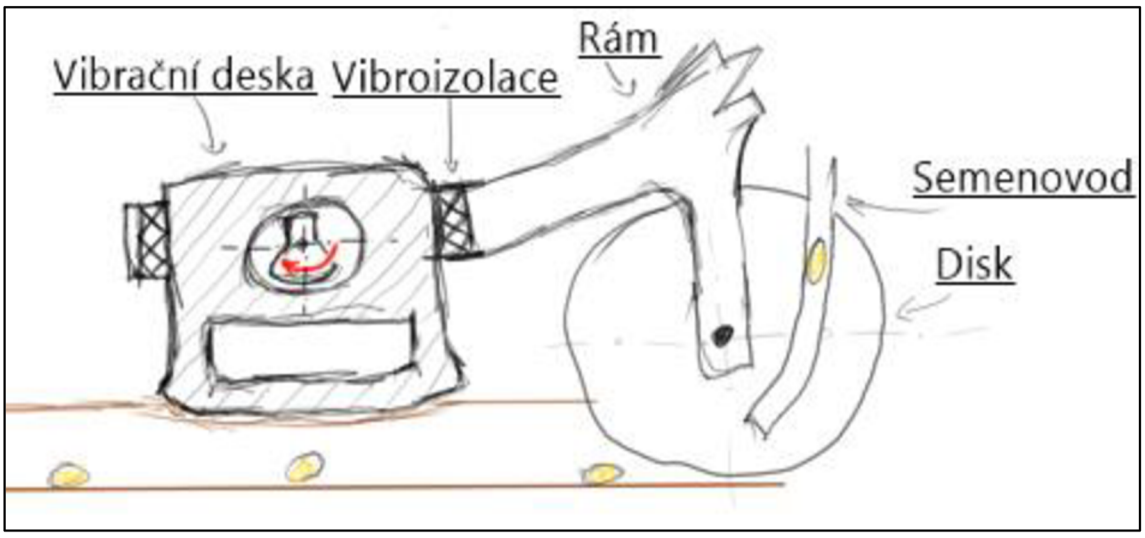
6.6. Výstup průzkumu

Výstupem tohoto průzkumu bylo několik náčrtů možných provedení utužovacího ústrojí secí botky.

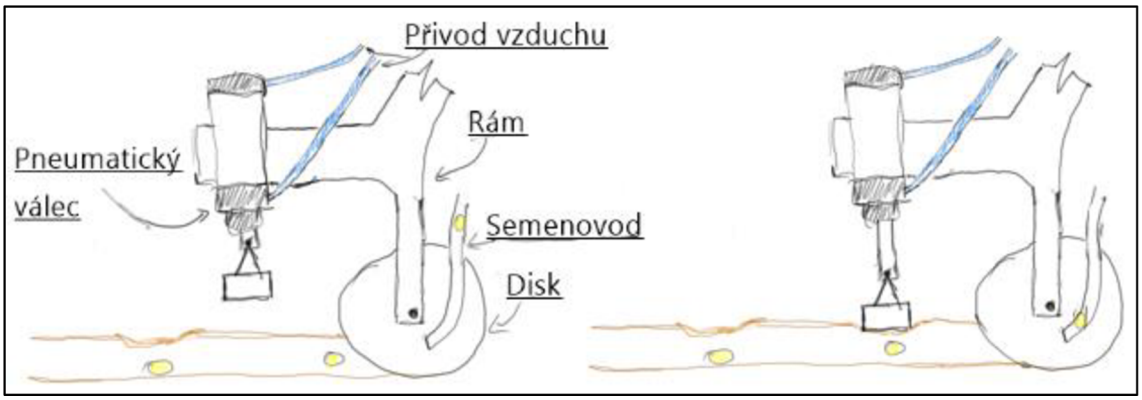


Obr. 23 Náčrt "Válcování vibračním válcem"

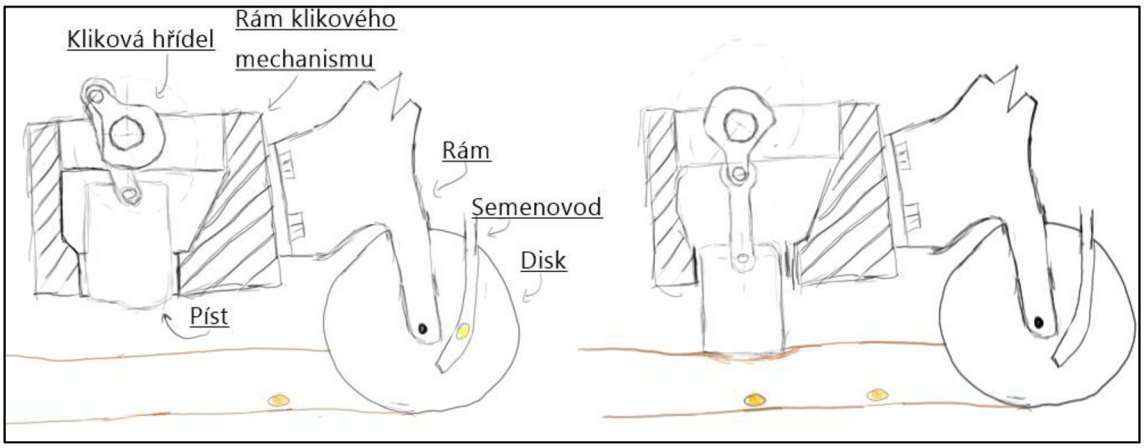
Ze stavebních strojů vznikly dva náčrty. První je inspirován vibračním válcem (obr. 23). Vibrační válec je uložen na rámu a má uvnitř nevývažek, který vytváří vibrační účinek. V tomto případě můžeme měnit utužovací účinek. Přívod osiva a vytvoření lože v daném případě je provedeno klasicky, jako v běžně dostupných secích strojích. Válec může být proveden s různým tvarem povrchu dle potřeb. Druhý návrh je podobný, ale s tím rozdílem, že místo vibračního válce použijeme vibrační desku (obr. 24). Tato konstrukce je jednodušší, ale bude se rychleji opotřebovávat.



Obr. 24 Náčrt "Vibrační deska"

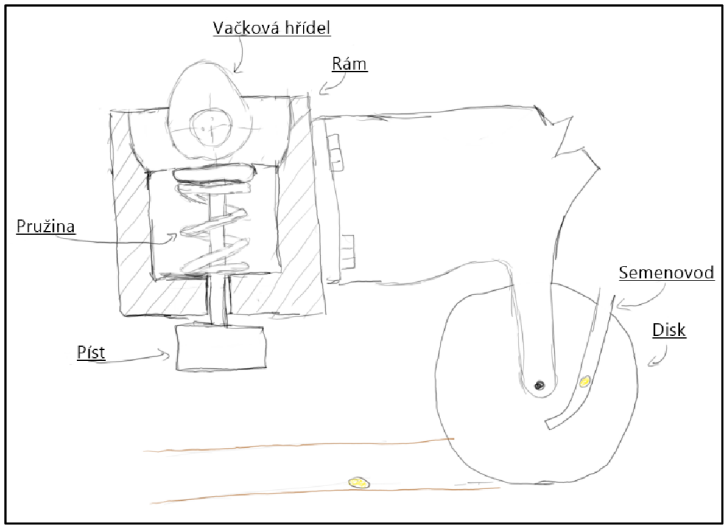


Obr. 25 Náčrt "Zamačkávání pneumatickým válcem"



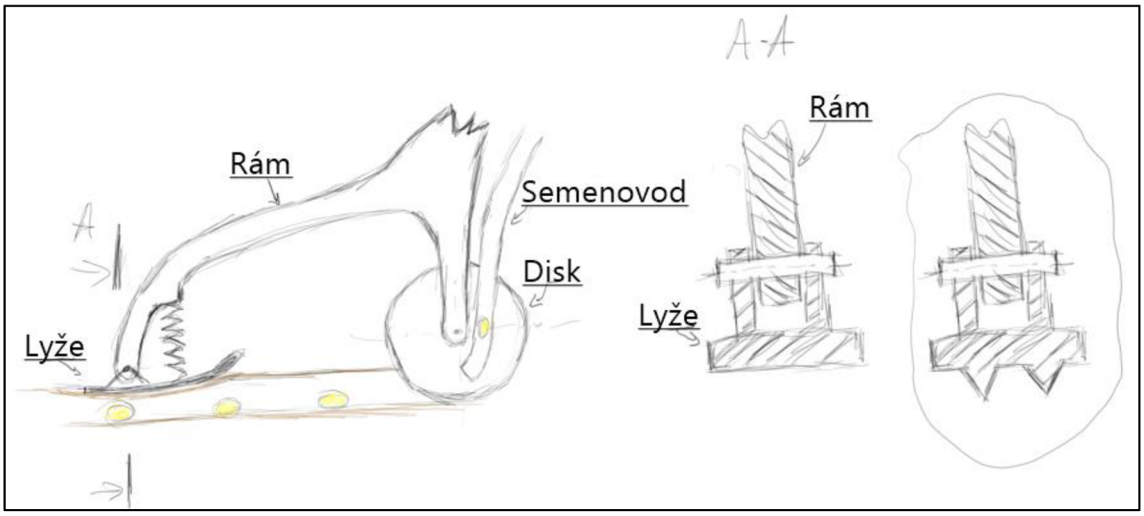
Obr. 26 Náčrt "Zamačkávání pomocí klikového mechanismu"

Na bázi mechanismu na výrobu tablet vznikly tři podobné návrhy, které se liší pouze pohonem. U prvního návrhu je svislý pohyb zajištěn pneumatickým válcem (může být změněn na elektrický lineární nebo elektromagnetický pohon) (obr. 25). U dalších dvou návrhů se svislý pohyb zajistí klikovým mechanismem (obr. 26) a vačkovým mechanismem (obr. 27). Tyto mechanismy mají složitější konstrukci.



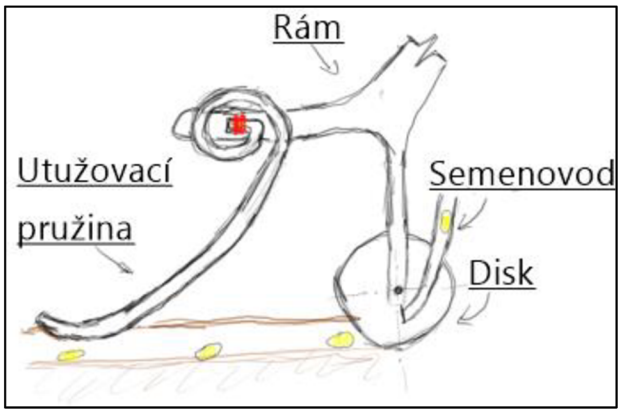
Obr. 27 Náčrt "Zamačkávání pomocí vačkového mechanismu"

Při použití k pohonu tohoto systému elektromotoru můžeme zajistit snadné řízení frekvence dvojzdvihů.



Obr. 28 Náčrt "Zahlazování lyží"

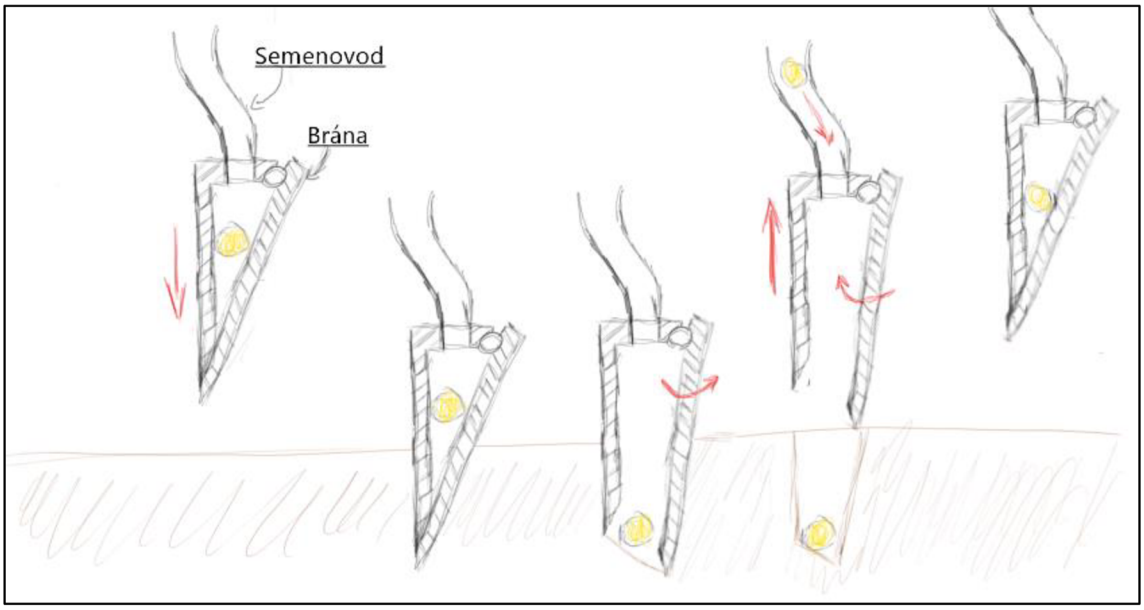
Další návrhy byly inspirovány sněžnou rolbou a šicí patkou (obr. 28). První náčrt je hodně podobný šicí patce. Je to zahlazovací lyže, která je uložena v rámu. Změna přítlaku v tomto případě se zajistí konstrukcí rámu.



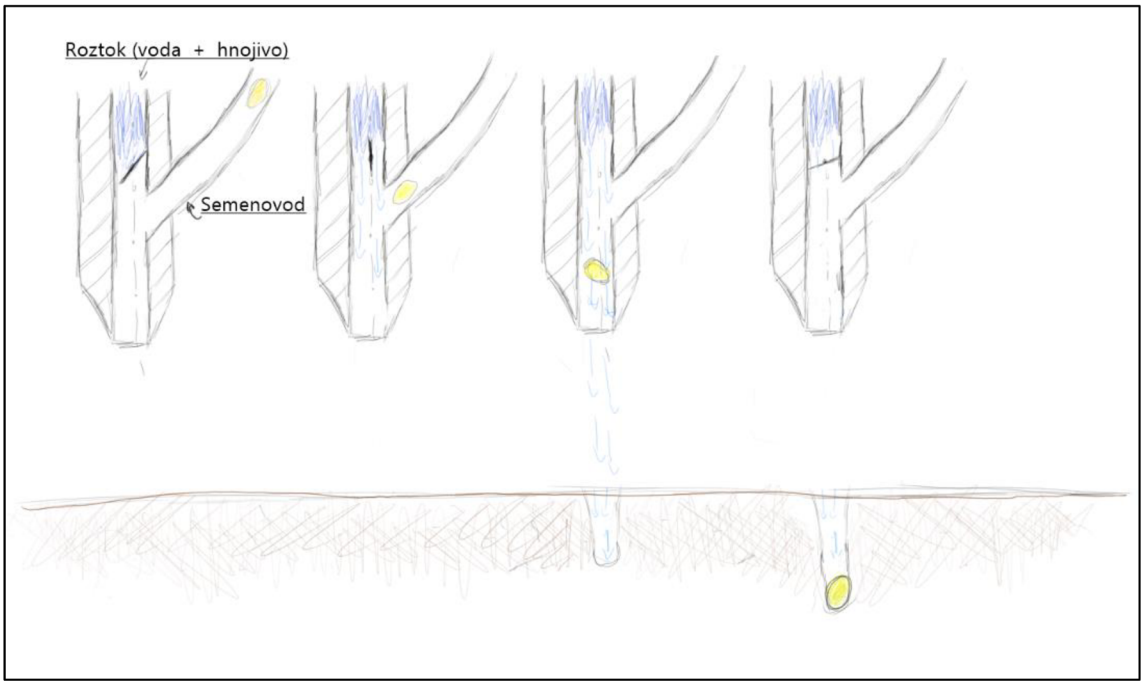
Obr. 29 Náčrt "Zahlazování pružinou"

Lyže může být pružně uložena v rámu. Dolní plocha může být provedena v různých tvarech dle potřeb. Druhý náčrt má místo lyže utužovací pružinu (obr. 29), která umožní snadnější nastavování přítlaku, ale na druhou stranu vyžaduje materiál, který bude, jak dostatečně pružný, tak otěruvzdorný. Další návrh (obr. 30) byl inspirován strojem pro aerifikace trávníku a šicím strojem. Oba tyto stroje využívají svislý přímočarý pohyb. Podobný princip lze využít u secího stroje. V případě využití přímočarého pohybu a injekce semena jehlou existuje řada možných provedení. Pro zajištění svislého pohybu je možné použít pneumatický nebo hydraulický válec, elektrický přímočarý pohon, klikový mechanismus nebo vačkový mechanismus. Jehla může být udělána jako krabice s klapkou, která se otevírá v momentě dosažení potřebné hloubky a tím nechává semeno na potřebné hloubce předem nastavené zdvihem. Druhá

možnost je vytvoření kuželovité jehly s kanálem, kterým bude semeno vedeno, například průtokem vzduchu.



Obr. 30 Náčrt "Injekce jehlou"



Obr. 31 Náčrt "Vstřikování semene kapalinou"

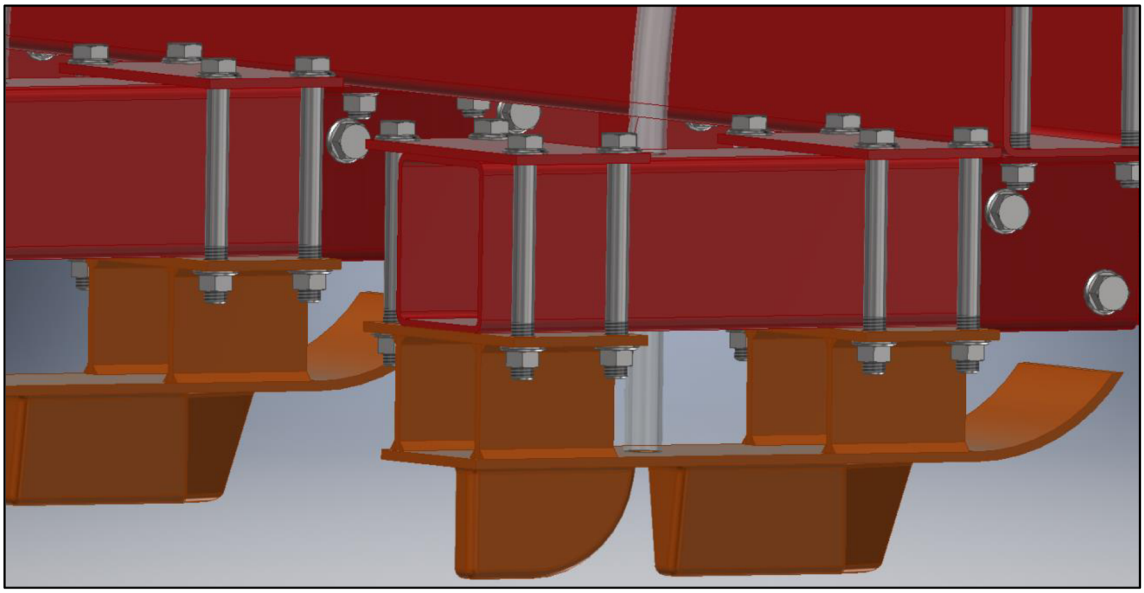
Poslední vytvořený náčrt (obr. 31) byl inspirován vstřikovacím strojem. Metoda vstřikování osiva kapalným médiem spočívá ve vyvození potřebného tlaku roztoku. Roztok potrubím je dopravován do místa vstřikování, kde je uzavřen elektricky řízeným ventilem. Ventil se otevírá s frekvenci, která je dána rychlostí pohybu traktoru a výsevní roztečí. Doba, na kterou bude ventil otevřen,

musí být dostatečná na vniknutí semene na požadovanou hloubku. V přesný okamžik vstřikování roztoku do trysky musí být dopraveno semeno přívodním potrubím.

7. Návrh konceptů

Obecně pojmem koncept rozumíme návrh, skicu nebo nákres. Cílem tvorby konceptu je rozpracovat návrhy nebo myšlenky, které vznikly během rešerše, funkčního objektového vyhledávaní (FOS), funkční objektové analýzy (FOA) do vizuální podoby dostatečné pro další posouzení a výběr lepšího řešení. Vytvořené koncepty byly rozpracovány do 3D modelů. Tyto modely nereprezentují konstrukční řešení hotového systému, ale jsou jenom skicou pro posouzení vhodnosti návrhu. Všechny koncepty využívají stejného způsobu uchovávání osiva, oddělování jednotlivých semen a semenovod. Tyto části konceptů jsou stejné jako u běžných secích strojů. V rámci konceptů budou řešeny části vytvoření drážky a utužování osiva v drážce. Větší důraz je kladen na část utužování osiva. V rámci návrhu konceptů není kladen velký důraz na výběr materiálů, konkrétní konstrukční provedení, způsob spojování a jiné.

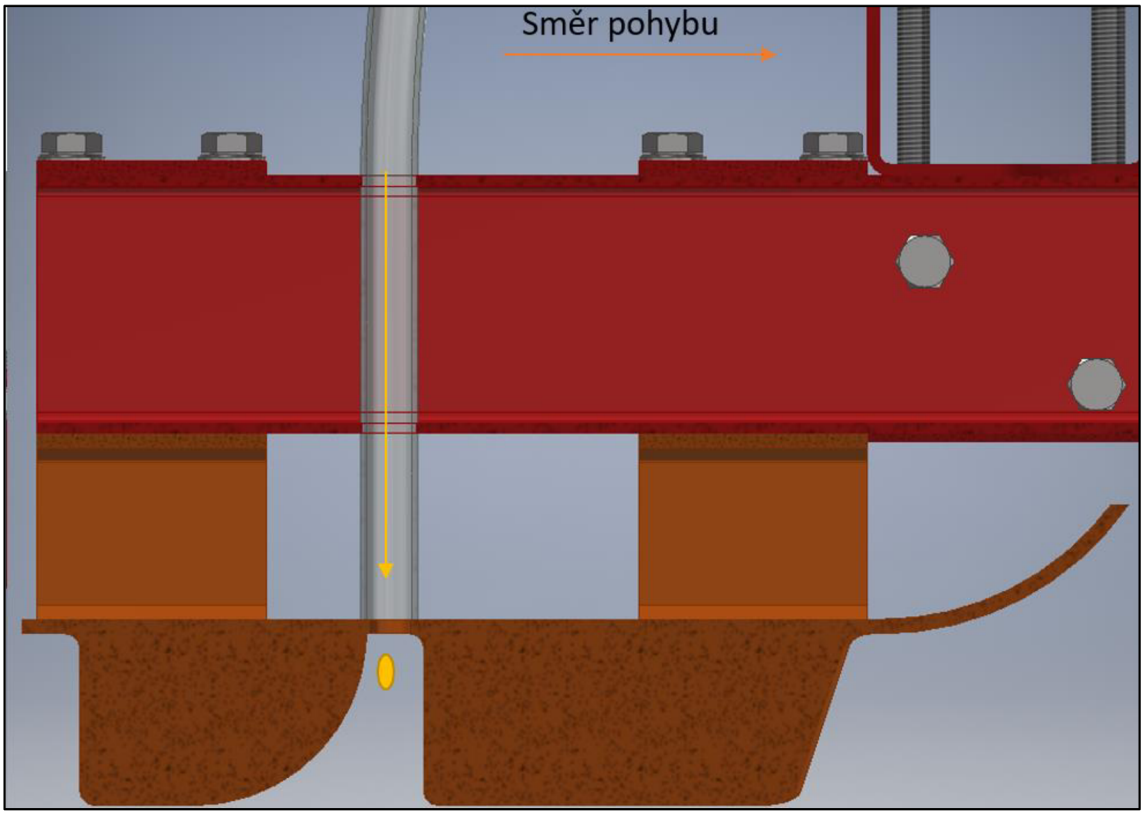
7.1. Koncept 1: Zahlazování



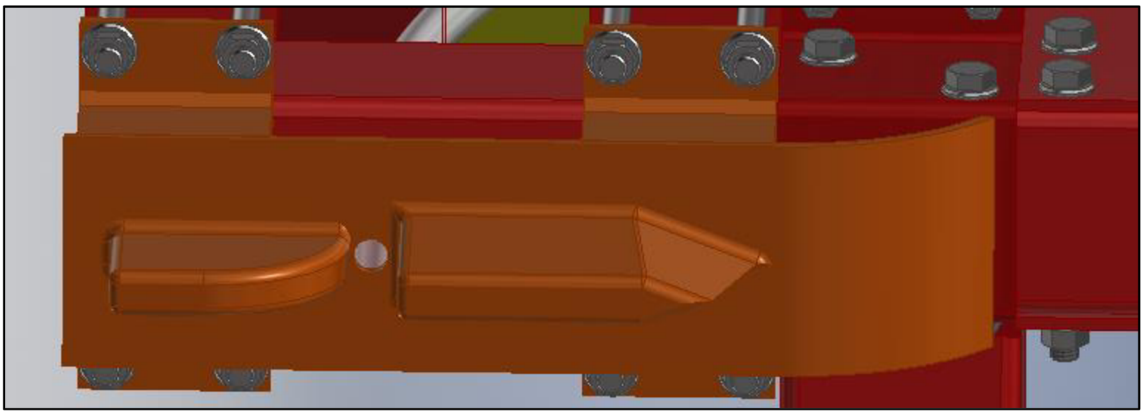
Obr. 32 Koncept 1. Celkový pohled

První koncept vznikl širším rozpracováním náčrtu „zahlazování lyží“ (obr. 26). Tento koncept (obr. 32) spočívá ve využití „lyže“, u které jsou dvě části.

První část je určená pro vytvoření výsevní drážky a má formu klínu (obr. 34). Druhá část je určená k zamáčknutí semene do půdy. Tato část má zaoblený nebo zkosený tvar (obr. 33). Mezi tyto dvě součásti je umístěn semenovod, který dodává jednotlivá semena do výsevní drážky. Nejvíce namáhané plochy otěrem mohou být provedeny jako vyměnitelné a otěruvzdorné části. Jsou možné konstrukce s rozdělenou „lyží“. Část na zasypaní drážky není v rámci tohoto konceptu řešená. Může být udělána jednou z běžně využívaných konstrukcí.



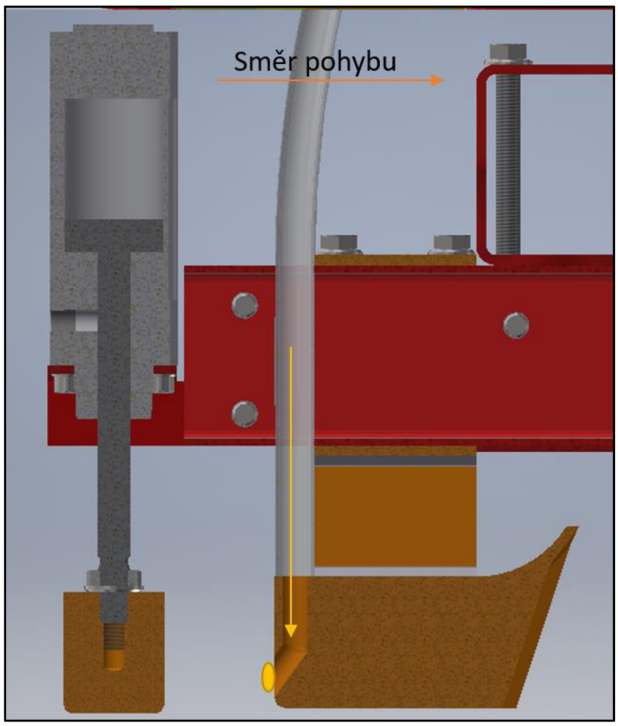
Obr. 33 Koncept 1. Pohled v řezu



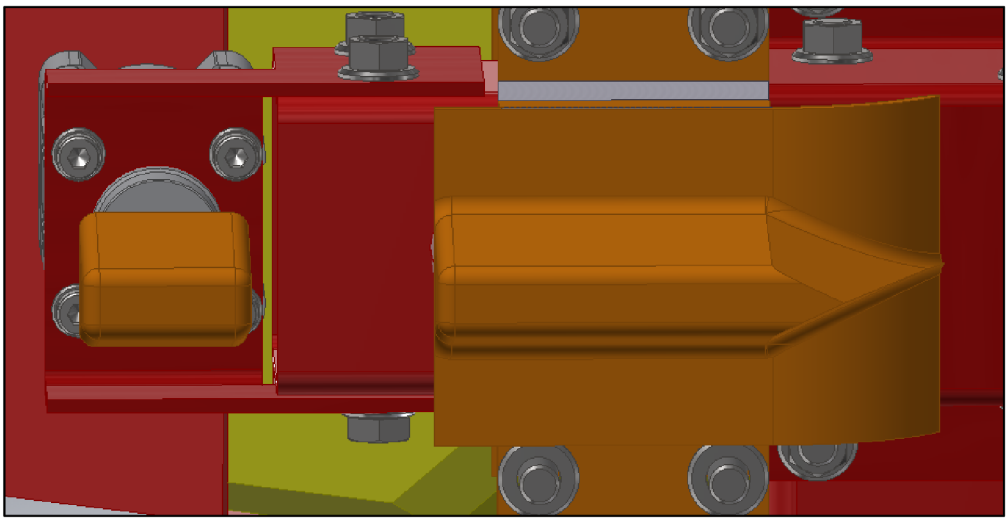
Obr. 34 Koncept 1. Pohled zespodu

7.2. Koncept 2: Zamačkávání

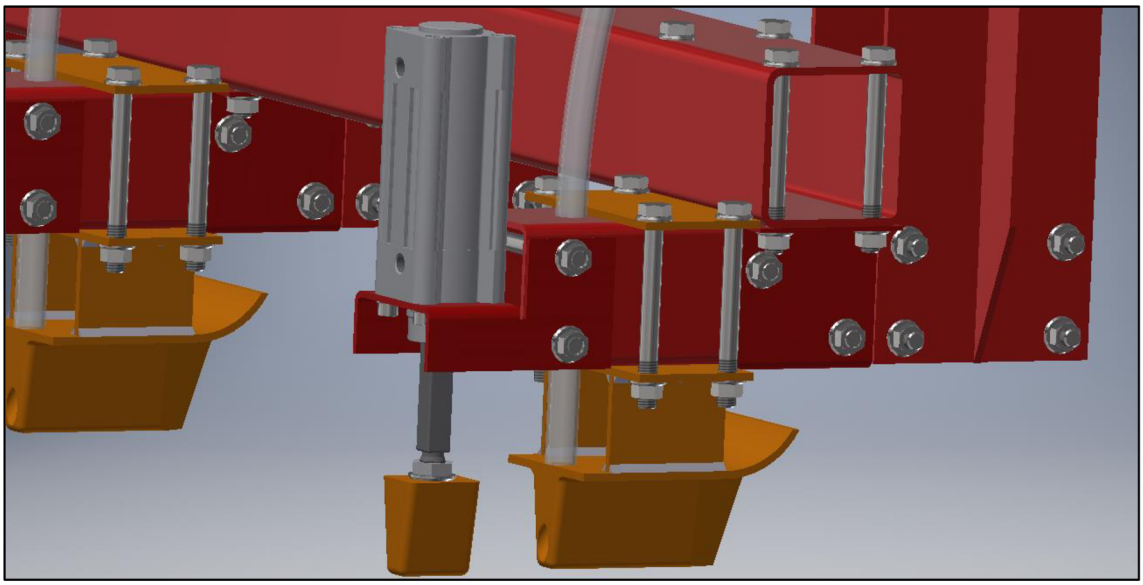
Koncept vznikl širším rozpracováním skici „zamačkávání pneumatickým válcem“ (obr. 27). V tomto konceptu, který je uveden na obr. 37 je využit podobný princip jako u předchozího konceptu. „Patka“ vhodného tvaru může mít otěruvzdorné vyměnitelné části a byla navržena s kanálem pro osivo (obr. 35), aby osivo mělo menší šanci na odraz od půdy. Na samotné zamačkávání je použit pneumatický válec, na konci kterého je umístěna zamačkávací hlava, která má odpovídající formu pro odpovídající zamáčknutí osiva a okolní půdy (obr. 36). Tento díl je klínového tvaru a délka teto hlavy musí být taková, aby při požadovaných frekvencích podávání osiva, semeno bylo zamáčknuto. V daném případě prostřednictvím pohonu pneumatickým válcem může vzniknout problém s nedostatečnou rychlostí pohybu pístu a z toho plynoucí nedostatečnou frekvencí zdvihu.



Obr. 35 Koncept 2. Pohled v řezu



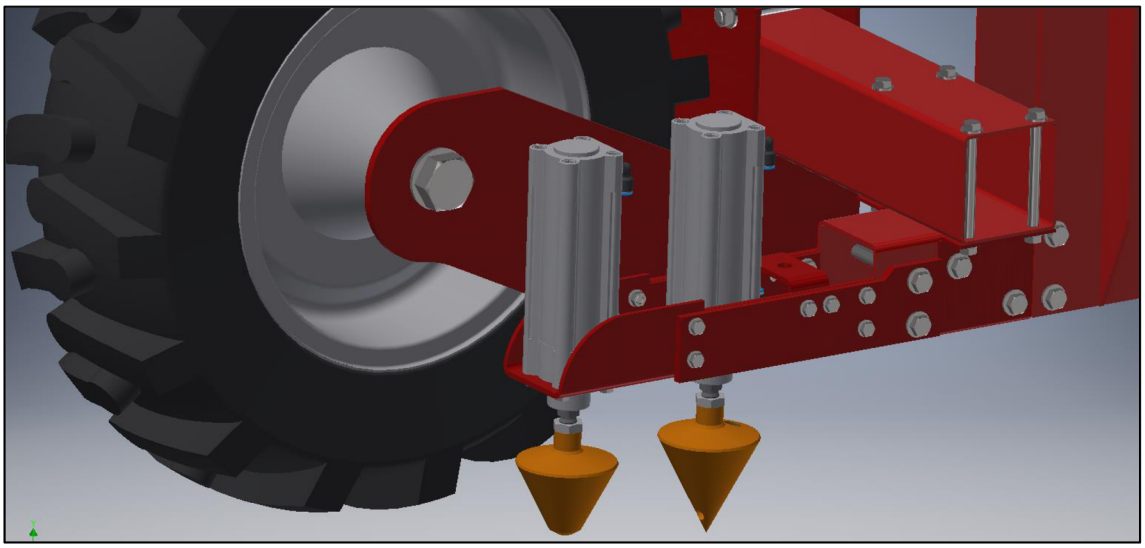
Obr. 36 Koncept 2. Pohled zespodu



Obr. 37 Koncept 2. Celkový pohled

V předběžném výpočtu bylo zjištěno, že pneumatické válce při největších rychlostech uvedených výrobcem, budou mít dostatečnou frekvenci pohybu na setí v běžných roztečích semen v řádku při požadované rychlosti traktoru.

7.3. Koncept 3: Jehla

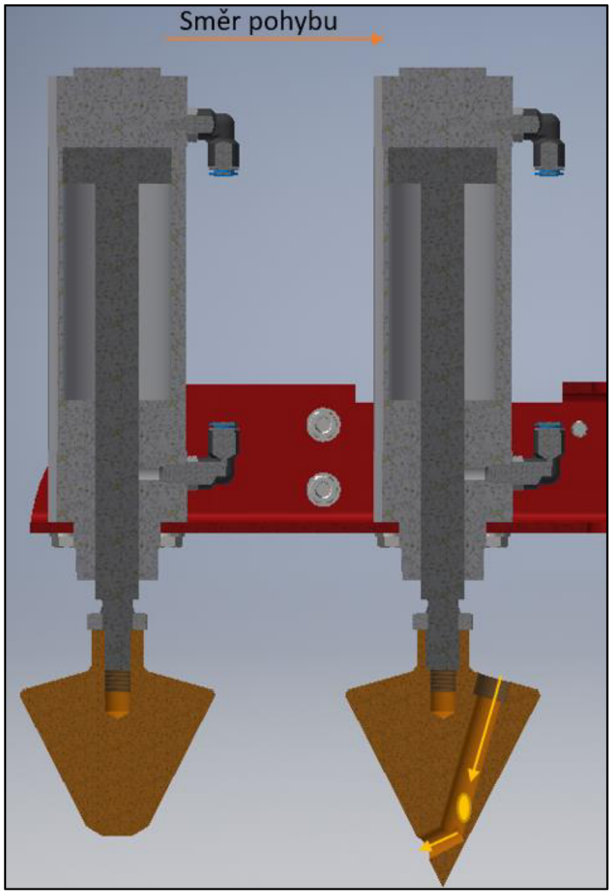


Obr. 38 Koncept 3. Celkový pohled

Koncept vznikl širším rozpracováním náčrtu „injekce jehlou“ (obr. 28). Koncept spočívá v použití dvou přímočarých pohonů (pneumatické válce) (obr. 38). Semeno semenovodem je dopravováno do kuželové jehly, která je připevněna na pístu prvního pneumatického válce. Tato jehla vytvoří důlek, do kterého kanálem jehly je dopravováno semeno (obr. 39). V druhém kroku

semeno je přimáčknuto druhým pístem s podobnou zamačkávací jehlou. V tomto konceptu může vzniknout podobný problém s frekvencí zdvihu pneumatických válců, jako je to u konceptu 2.

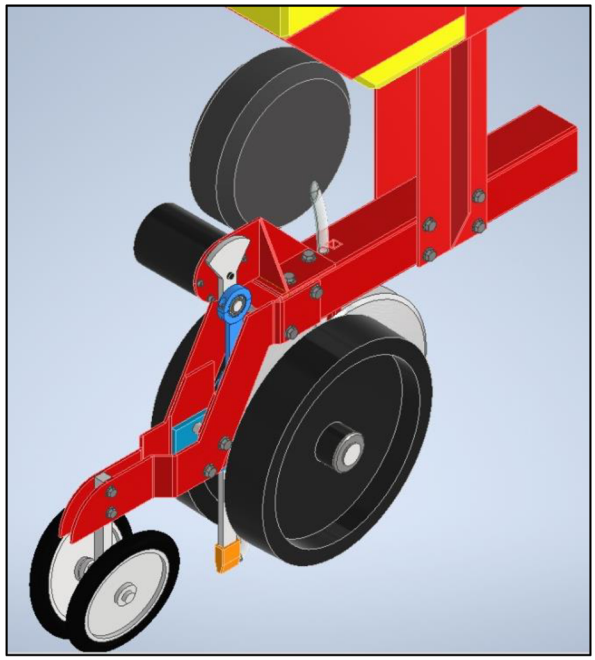
Je možné změnit druh přímočarého pohonu pro dosažení vyšších frekvencí zdvihu. V představeném provedení není potřeba vytvářet celou výsevní drážku. Vytvářejí se pouze jednotlivé důlky, vytvořené jehlou, pro každé semeno. Zavlačovací část může být provedena stejným způsobem, jako u běžně dostupných secích strojů.



Obr. 39 Koncept 3. Pohled v řezu

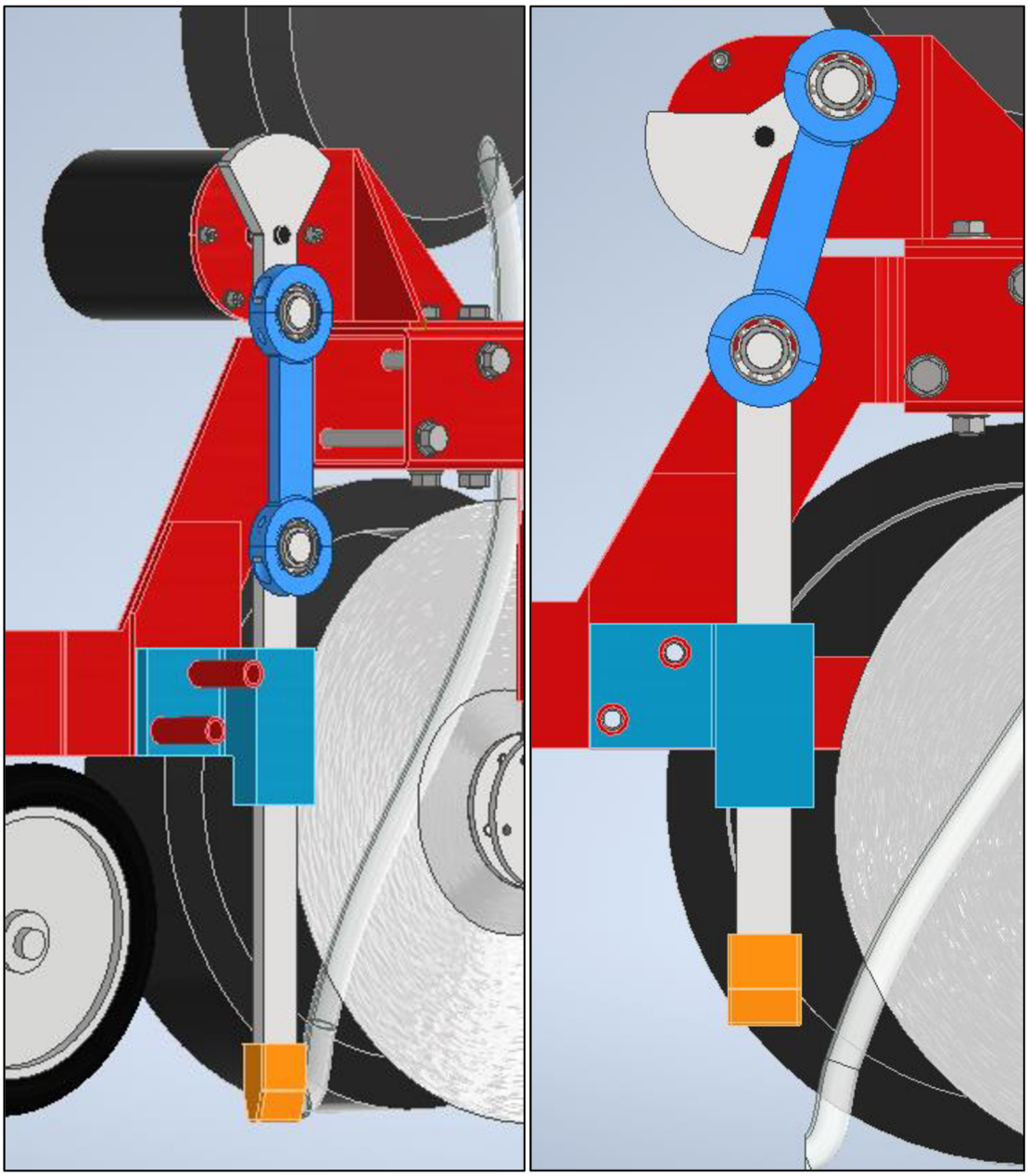
7.4. Koncept 4: Klikový mechanismus

Koncept 4 vznikl širším rozpracováním náčrtu „zamačkávání pomocí klikového mechanismu“ (obr. 24). Tento koncept spočívá v modifikaci běžné secí jednotky změnou utužovacího ústrojí. Secí drážka je tvořena pomocí dvou disků a kopírovacích kol. Mezi disky je vložen semenovod, kterým osivo je dopravováno do secí drážky (obr. 41). Semeno je zamáčknuto do půdy pomocí klínu vhodného tvaru. Klín je vytvořen z otěruvzdorného materiálu a je poháněn přes táhlo pomocí klikového mechanismu, který je uloženo v rámu, a zároveň je poháněn



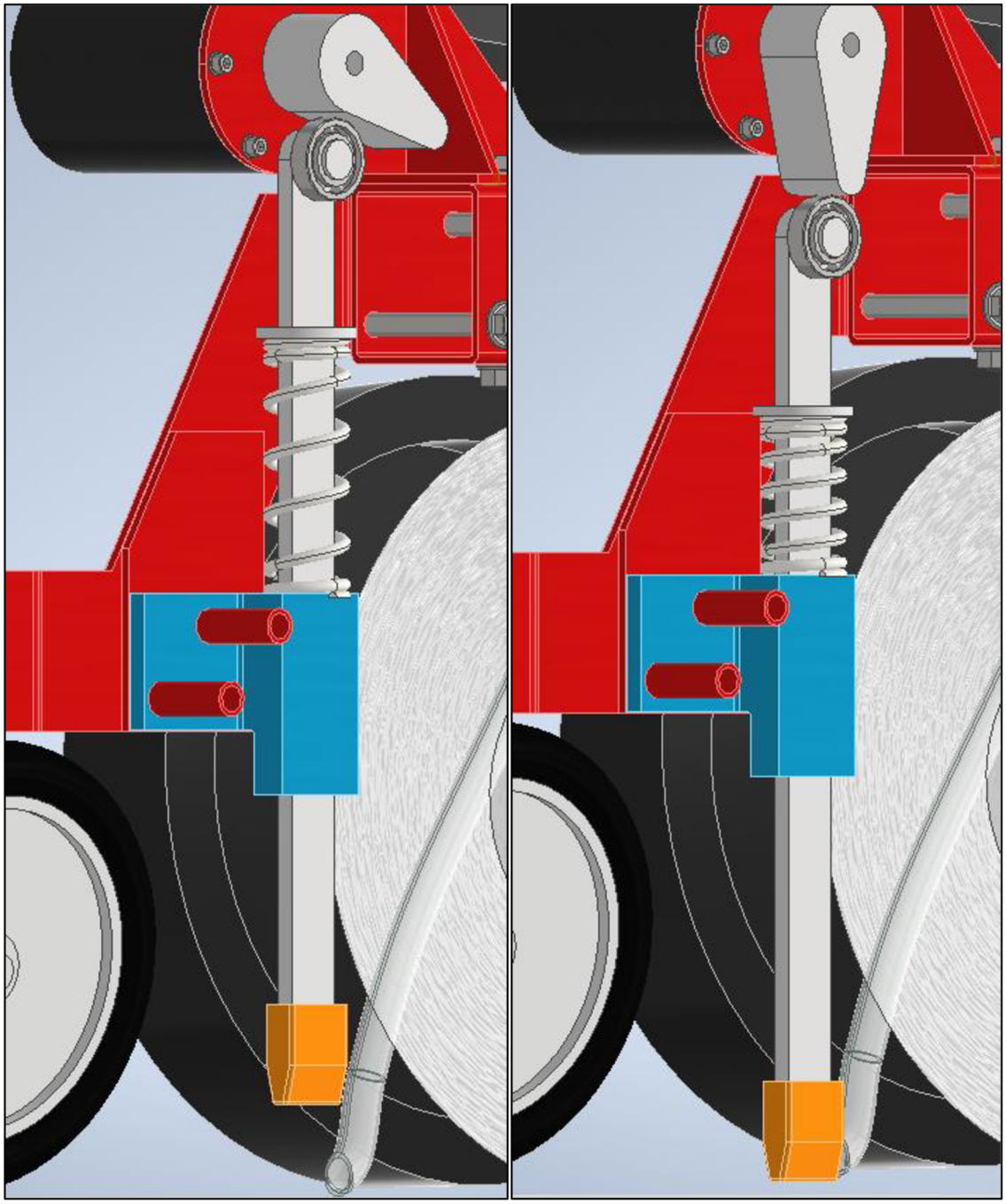
Obr. 40 Koncept 4. Celkový pohled

elektromotorem. Pro lepší kontrolu zdvihů může být použit bezkartáčový DC motor (obr. 40). Všechny pohyblivé součásti jsou umístěny dál od secí drážky pro minimalizaci opotřebování prachem a půdou. Takový mechanismus může dosahovat potřebné frekvence pohybů s využitím běžně dostupných elektromotorů. Je možné synchronizovat a řídit zdvih klínu pomocí snímače polohy klínu a snímače semen. Na zavlačování jsou využita přítlačná kolečka. Může být využit jakýkoliv jiný způsob zavlačování.



Obr. 41 Koncept 4. Pohled na utužovací část, dolní pozice klínu (vlevo), pozice klínu při pohybu dolů (vpravo)

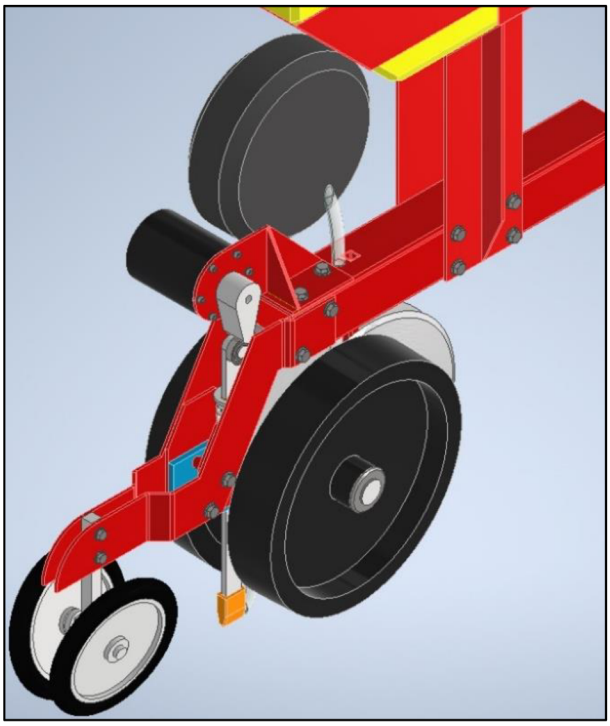
7.5. Koncept 5: Vačkový mechanismus



Obr. 42 Koncept 5. Pohled na utužovací část, dolní pozice klínu (vlevo), pozice klínu při pohybu dolů (vpravo)

Koncept vznikl širším rozpracováním náčrtu „zamačkávání pomocí vačkového mechanismu“ (obr. 27). Tento koncept (obr. 43) má podobnou konstrukci jako předchozí koncept (obr. 40). Část vytvářející secí drážku je podobná jako u běžně dostupných secích strojů. Daný návrh se skládá ze dvou otevírajících disků a dvou kopírovacích kol. Dále následuje semenovod, který

dodává osivo z třídicí jednotky do secí drážky. V následujícím kroku semeno je utuženo klínem vhodného tvaru, který je vyroben z otěruvzdorného materiálu. Klín je upevněn na táhle, které je poháněno vačkou, která je zároveň poháněna bezkartáčovým DC motorem. Pohyb klínu nahoru je zajištěn tlačnou pružinou. Vačka působí na táhlo klínu přes ložisko pro zmenšení vlivu tření (obr. 42). Zavlačovací část může být stejná jako u běžně dostupných secích jednotek.



Obr. 43 Koncept 5. Celkový pohled

8. Zhodnocení a výběr konceptů

Pro další postup a konstrukční návrh je potřeba vybrat jeden koncept, který bude nejvíce vyhovujícím pro řešení hlavního cíle diplomové práce. Výběr konceptu bude proveden pomocí dvou rozhodovacích tabulek. Rozhodování bude provedeno podle kritérií. První rozhodovací tabulka je určená pro základní hodnocení konceptů. Z této tabulky budou vybrány 3 koncepty, které postoupí do detailní rozhodovací tabulky, pomocí které už bude vybrán jeden vítězný koncept. Tento koncept bude postupovat v konstrukčním návrhu.

8.1. Kritéria

- **Jednoduchost konstrukce** — kritérium hodnotící celkový počet dílů, využití nakupovaných prvků, množství spojovacího materiálů a složitost dílů.
- **Nenáročnost montáže** — kritérium hodnotící počet montážních operací, potřeba speciálního nářadí a přípravků, čas montáže.

- **Nenáročnost na údržbu** — kritérium hodnotící čas potřebný na opravy, počet prvků, které vyžadují periodickou nebo pravidelnou údržbu.
- **Nenáročnost na obsluhu** — kritérium hodnotící složitost obsluhy, periodičnost výměn výměnných součástí.
- **Bezporuchovost** — hodnotí počet dílů, ve kterých mohou vznikat poruchy.
- **Účinnost** — hodnotí maximální možnou frekvenci setí.
- **Pořizovací cena** — kritérium hodnotící odhadovanou cenu vstupních investic.
- **Provozní náklady** — hodnotí výdaje na provoz zařízení.
- **Zástavbový prostor** — kritérium hodnotící celkový objem a rozměry stroje.
- **Životnost** — hodnotí dobu, během které zařízení může fungovat za normálních provozních podmínek.
- **Hmotnost** — hodnotí celkovou hmotnost zařízení.
- **Energetická náročnost** — kritérium hodnotící množství energie potřebné k pohonu dané jednotky.
- **Otěruvzdornost vůči prachu** — hodnotí náchylnost na opotřebení prachem vznikajícím za chodu stroje.
- **Otěruvzdornost vůči půdě** — hodnotí náchylnost na opotřebení půdou za chodu stroje.
- **Spolehlivost utužování semene** — hodnotí přesnost utužování a jestli stroj utuží semeno v potřebném místě a nedojde k nežádoucímu pohybu semene.
- **Univerzálnost** — hodnotí použitelnost s různými typy semen, setí v různých podmínkách, různý tvar secí drážky.
- **Namáhání rámu** — hodnotí velikost namáhaní a jeho druh.

8.2. Rozhodovací tabulky

Kritérium	Koncepty				
	1.	2.	3.	4.	5.
Jednoduchost konstrukce	+	+	0	-	-
Nenáročnost montáže	+	+	0	0	0
Nenáročnost na údržbu	+	0	-	0	0
Nenáročnost na obsluhu	-	0	+	+	+
Bezporuchovost	+	0	-	-	-
Účinnost	+	-	-	+	0
Pořizovací cena	+	0	0	0	0
Provozní náklady	-	-	0	+	+
Zastavbový prostor	+	0	0	0	0
Životnost	-	-	0	+	0
Hmotnost	+	0	0	-	-
Energetická náročnost	-	-	0	+	+
Otěruvzdornost vůči prachu	+	-	-	0	-
Otěruvzdornost vůči půdě	-	-	+	+	+
Spolehlivost utužování semene	-	0	0	+	+
Univerzálnost	-	0	+	+	+
Namáhaní rámu	0	-	0	0	0
Součet (+)	9	2	3	8	6
Součet (0)	1	8	10	6	7
Součet (-)	7	7	4	3	4
Skóre	2	-5	-1	5	2
Pořadí	2.	5.	4.	1.	3.
Vyhodnocení	**ANO**	NE	NE	**ANO**	**ANO**

Tab. 1 Základní rozhodovací tabulka

První etapa rozhodování byla provedena pomocí základní rozhodovací tabulky, pomocí kritérií, které jsou uvedeny v předchozí kapitole. Tyto kritéria byly seřazeny do jedné tabulky a všechny mají stejnou váhu. Hodnocení bylo provedeno na všech pět navržených konceptů.

Hodnocení každého konceptu pro každý kritérium je tříbodové:

„ + “ — koncept plní požadavky daného kritéria

„ 0 “ — koncept nevyniká v daném kritériu

„ - “ — koncept neplní požadavky daného kritéria

Hodnocení pro každý kritérium bylo přiděleno na bázi znalostí vzniklých rešerší a vlastní intuicí. Dál byl proveden součet jednotlivých hodnocení pro

každý koncept. Z těchto součtů byla dopočítána skóre. Podle tohoto skóre bylo přiděleno pořadí každému konceptu. K další etapě posuzování byly zvoleny 3 první koncepty.

Koncept na 3. místě je koncept 5: vačkový mechanismus. Tento koncept podle většiny kritérií není nejvhodnější, ale v nějaké míře kritéria splňuje, neboť má velmi dobrou odolnost vůči půdě, protože utužovací klín není v nepřetržitém dotyků s půdou. Na druhou stranu, nesplňuje požadavky otěruvzdornosti vůči prachu, protože vačkový mechanismus je pořád v tření, prach bude zrychlovat jeho opotřebování. **Na druhém místě je koncept 1: zahlazování**. Tento koncept má výhodu v jednoduché konstrukci a svojí jednoduchostí získal hodně bodů v kritérií jako nenáročnost montáže, údržby, bezporuchovost, pořizovací cena, zástavbový prostor a hmotnost. Však má horší hodnocení v kritérií jako jsou nenáročnost na obsluhu, provozní náklady, otěruvzdornost vůči půdě z toho důvodu, že tento systém je pořád ve styku s půdou, takže je potřeba poměrně často vyměňovat výměnné části systému. Také horší hodnocení je u kritéria univerzálnost, protože při daném provedení semeno není přimáčknuto, ale přihlazeno, čímž mohou vznikat nežádoucí jevy, jako například kutálení semene nebo odraz. **První místo dostal koncept 4: klikový mechanismus**. Tento koncept má složitější konstrukci, ale zcela plní požadavek spolehlivosti utužování semene, univerzálnost, otěruvzdornost vůči půdě. Při použití specializovaných uzavřených ložisek pro zemědělské stroje může být dostatečně odolný vůči prachu.

Detailní rozhodovací tabulka byla udělána jenom pro tři vybrané koncepty. Ke každému kritériu byla přidána váha, která ukazuje do jaké míry kritérium je důležitý v procentech. V tomto případě každý koncept je hodnocen ve stupnicí 1-10. 1 je nejnižší hodnota a ukazuje, že koncept neplní požadavky daného kritéria, 10 je nejvyšší hodnota a ukazuje, že koncept plní požadavky daného kritéria. Dál z této hodnoty a váhy je vypočítána vážená hodnota. Sečtením vážených hodnot dostáváme celkový součet, ze kterého vychází pořadí.

Kritérium	Váha (%)	Koncepty					
		1.		4.		5.	
		Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota	Hodnota	Vážená hodnota
Jednoduchost konstrukce	6	10	0,6	2	0,12	2	0,12
Nenáročnost montáže	2	10	0,2	3	0,06	4	0,08
Nenáročnost na údržbu	4	10	0,4	5	0,2	5	0,2
Nenáročnost na obsluhu	6	4	0,24	8	0,48	8	0,48
Bezporuchovost	6	7	0,42	5	0,3	5	0,3
Účinnost	9	10	0,9	10	0,9	8	0,72
Pořizovací cena	4	10	0,4	6	0,24	6	0,24
Provozní náklady	8	3	0,24	8	0,64	7	0,56
Zastavbový prostor	4	10	0,4	7	0,28	7	0,28
Životnost	5	1	0,05	8	0,4	5	0,25
Hmotnost	6	9	0,54	5	0,3	5	0,3
Energetická náročnost	6	4	0,24	8	0,48	7	0,42
Otěruvzdornost vůči prachu	7	4	0,28	8	0,56	6	0,42
Otěruvzdornost vůči půdě	7	1	0,07	9	0,63	9	0,63
Spolehlivost utužování semene	10	4	0,4	8	0,8	8	0,8
Univerzálnost	6	4	0,24	7	0,42	7	0,42
Namáhaní rámu	4	8	0,32	5	0,2	6	0,24
Součet			5,94		7,01		6,46
Pořadí			**3.**		**1.**		**2.**

Tab. 2 Detailní rozhodovací tabulka

8.3. Hodnocení konceptů

8.3.1. Koncept 1: Zahlazování

- **Jednoduchost konstrukce** — tato konstrukce je dost jednoduchá. Nevyskytují se tady žádné pohyblivé části. Provedení může být s výměnnými části.
- **Nenáročnost montáže** — montáž je jednoduchá z důvodu malého množství dílu. Systém může být vyroben tak, aby byl jednoznačně polohovatelný na rámu.
- **Nenáročnost na údržbu** — nepotřebuje skoro žádnou údržbu a opravy z důvodu malého počtů dílů.
- **Nenáročnost na obsluhu** — je potřeba častá obsluha kvůli tomu, že elementy jsou pořad ve tření, takže dost často bude potřeba vyměňovat opotřebené části.
- **Bezporuchovost** — kvůli nízkému počtů dílu systém je nenáchylný na poruchy. Avšak během opotřebení může měnit svou geometrii, což může zhoršit kvalitu setí.
- **Účinnost** — tento systém může utužovat libovolné osivo s jakoukoliv rychlostí.
- **Pořizovací cena** — systém nemá žádné drahé součásti.
- **Provozní náklady** — z důvodu potřeb časté výměny výměnných částí během provozu budou provozní náklady vysoké.
- **Zástavbový prostor** —systém je dost malý.
- **Životnost** — z toho důvodu, že systém je nepřetržitě ve tření je jeho životnost mála.
- **Hmotnost** — tohoto systému je dostatečně malá.
- **Energetická náročnost** — tření bude způsobovat větší energetické náklady.
- **Otěruvzdornost vůči prachu** — prach zrychluje opotřebování třením.
- **Otěruvzdornost vůči půdě** — systém je pořád v dotyku s půdou. Při použití otěruvzdorných materiálů jeotěruvzdornost celého systému malá.

- **Spolehlivost utužování semene** — je nižší z toho důvodu, že semeno není přímo přitlačeno, ale zahlazeno, a proto tím může docházet k valení nebo odražení.
- **Univerzálnost** — systému je nízká, protože pro jiný tvar drážky je potřeba použít jinou zahlazovací a tvarovací část.
- **Namáhání rámu** — samotný systém vyvolává statické namáhání. Dynamická složka se přidává nerovnostmi.

8.3.2. Koncept 4: Klikový mechanismus

- **Jednoduchost konstrukce** — systém se složitou konstrukcí, ve kterém se vyskytuje velké množství pohyblivých části.
- **Nenáročnost montáže** — systém je dost náročný na správnou montáž, všechny pohyblivé části musí být správně uloženy.
- **Nenáročnost na údržbu** — elektromotor a pohyblivé spoje mohou vyžadovat občasnou údržbu.
- **Nenáročnost na obsluhu** — není potřeba skoro žádná obsluha, klín ve styku s půdou je pouze krátkou dobu.
- **Bezporuchovost** — střední poruchovost kvůli většímu počtu dílů. Bezkartáčový DC motor je dostatečně spolehlivý.
- **Účinnost** — běžné bezkartáčové DC motory mají dostatečnou rychlost otáčení pro setí v podmínkách splňujících zadání.
- **Pořizovací cena** — je vyšší, protože se zde vyskytují ložiska a elektromotor.
- **Provozní náklady** — nízké. Bezkartáčový DC motor nevyžaduje skoro žádné náklady na jeho provoz. Opotřebování klínu je nízké, protože ve styku s půdou je pouze krátkou dobu.
- **Zástavbový prostor** — zabírá větší zástavbový prostor, ale může být zcela umístěn v rozměrech běžné secí jednotky.
- **Životnost** — vysoká životnost speciálních ložisek pro zemědělské stroje, bezkartáčového DC motoru a klínu, který je ve styku s půdou pouze krátkou dobu.
- **Hmotnost** — systém má větší hmotnost.

- **Energetická náročnost** — nízká. Většinu času elektromotor funguje skoro bez zátěže. Tření mezi systémem a půdou je krátkodobé.
- **Otěruvzdornost vůči prachu** — lepší otěruvzdornost vůči prachu při využití ložisek pro zemědělské stroje a bezkartáčový DC motor.
- **Otěruvzdornost vůči půdě** — vysoká otěruvzdornost vůči půdě, protože klín je ve styku s půdou pouze krátkou dobu.
- **Spolehlivost utužování semene** — je vysoká, protože semeno je přímo zatlačeno do půdy, takže nedochází kvalení nebo odražení.
- **Univerzálnost** — vyšší. Pro změnu tvaru drážky stačí vyměnit klín a pro změnu rozteče setí musíme změnit otáčky motoru.
- **Namáhání rámu** — je horší, protože systém vyvolává dynamické zatížení.

8.3.3. Koncept 5: Vačkový mechanismus

- **Jednoduchost konstrukce** — složitější konstrukce systému, vyskytuje se zde hodně pohyblivých části.
- **Nenáročnost montáže** — jednotlivé součásti musí být správně uloženy.
- **Nenáročnost na údržbu** — pohyblivé spoje a elektromotor mohou vyžadovat občasnou údržbu.
- **Nenáročnost na obsluhu** — není potřeba skoro žádná obsluha, klín ve styku s půdou je pouze krátkou dobu.
- **Bezporuchovost** — střední poruchovost kvůli většímu počtu dílů. Bezkartáčový DC motor je dostatečně spolehlivý.
- **Účinnost** — běžné bezkartáčové DC motory mají dostatečnou rychlost otáčení, avšak může vzniknout problém s rychlostí vrácení (pružina).
- **Pořizovací cena** — vyšší cena elektromotoru a jiných částí.
- **Provozní náklady** — provozní náklady mohou být zvýšené otěrem váčkového mechanismu.
- **Zástavbový prostor** — zabírá větší zástavbový prostor, ale může být zcela umístěn v rozměrech běžné secí jednotky.
- **Životnost** — menší životnost kvůli váčkovému mechanismu.

- **Hmotnost** — větší hmotnost.
- **Energetická náročnost** — nízká.
- **Otěruvzdornost vůči prachu** — horší, protože prach urychluje opotřebení váčkového mechanismu.
- **Otěruvzdornost vůči půdě** — vysoká.
- **Spolehlivost utužování semene** — je vysoká, protože semeno je přímo zatlačeno do půdy, takže nedochází k valení nebo odražení.
- **Univerzálnost** — vyšší, pro změnu tvarů drážky stačí vyměnit klín, pro změnu rozteče setí se musí změnit otáčky motoru.
- **Namáhání rámu** — vyskytují se dynamické síly.

8.4. Výběr vítězného konceptu

Z detailní rozhodovací tabulky vidíme, že všechny tři koncepty byly bodově dost blízko. Avšak rozhodujícími byly parametry, které se tykají setí a otěruvzdornosti (univerzálnost, spolehlivost utužování semene, otěruvzdornost vůči prachu a půdě). Na třetím místě je nejjednodušší koncept 1, avšak u tohoto konceptu se vyskytují problémy se spolehlivostí utužování semene a také s otěruvzdorností. Koncepty 4 a 5 jsou principiálně podobné, a proto jejich bodové hodnocení má menší rozdíl. **Vítězný koncept je koncept 5**, který využívá k utužování klikový mechanismus poháněny elektromotorem. Celý tento systém je vložen do běžně využívané secí jednotky. Tvarovací část je složena z disků a kopírovacích kol. Na provedení oddělovače a semenovodů tento systém není závislý. Uzavření secí drážky může být provedeno pomocí uzavírajících kol. Pro synchronizaci podání osiva a samotného utužení bude potřeba využít snímač osiva a kontrolér elektromotoru.

9. Konstrukční návrh

Vítězný koncept utužovacího systému secí jednotky k utužování semen v secí drážce využívá přímočarý vratný pohyb, který je realizován pomocí klikového mechanismu. Klikový mechanismus je poháněn pomocí bezkartáčového DC motoru. K zajištění funkčnosti konceptu je potřeba provést kontrolu jestli navržený systém má dostačující parametry k setí běžných rostlin, které vyžadují přesné setí.

9.1. Frekvence zdvihů

Výpočet potřebné frekvence zdvihů byl proveden, protože podle těchto parametrů bude zvolen pohon, případně převod. Zajištění potřebné frekvence zdvihů je rozhodujícím pro funkčnost systému. Frekvence zdvihů závisí na rozteči semen v řádku a rychlosti pohybu traktoru. Rychlost pohybu je známá ze zadání a je stanovena na 20 km/hod. Přesné setí je obvykle využité při setí kukuřice, slunečnice, řepy a řepky.

Parametry pro výsadbu kukuřice: hloubka setí je 30 – 80 mm; meziřádková vzdálenost je 750 nebo 375 mm; rozteč semen v řádku je 106 – 422 mm [15].

Parametry pro výsadbu slunečnice: hloubka setí je 40 – 60 mm; meziřádková vzdálenost je 600 – 700 mm; rozteč semen v řádku je 220 – 270 mm [4].

Parametry pro výsadbu řepy: hloubka setí je 40 – 60 mm; meziřádková vzdálenost je 600 – 700 mm; rozteč semen v řádku je 170 – 210 mm [34].

Z těchto hodnot určíme maximální a minimální potřebnou frekvenci pohybů utužovacího klínu. K tomu budou použity hodnoty minimálních roztečí, což je rozteč semen v řádku pro výsadbu kukuřice – minimální rozteč 106 mm a maximální rozteč – 422 mm.

Minimální frekvence:

$$f_{min} = \frac{v}{l_{max}} = \frac{5555{,}6}{422} = 13{,}16\ s^{-1} \qquad (1)$$

Maximální frekvence:

$$f_{max} = \frac{v}{l_{min}} = \frac{5555{,}6}{106} = 52{,}41\ s^{-1} \qquad (2)$$

Pro správný výběr elektromotoru bude frekvence zdvihů převedena na otáčky. Za jednu otáčku elektromotoru vykonává utužovací klín jeden zdvih.

Minimální otáčky:

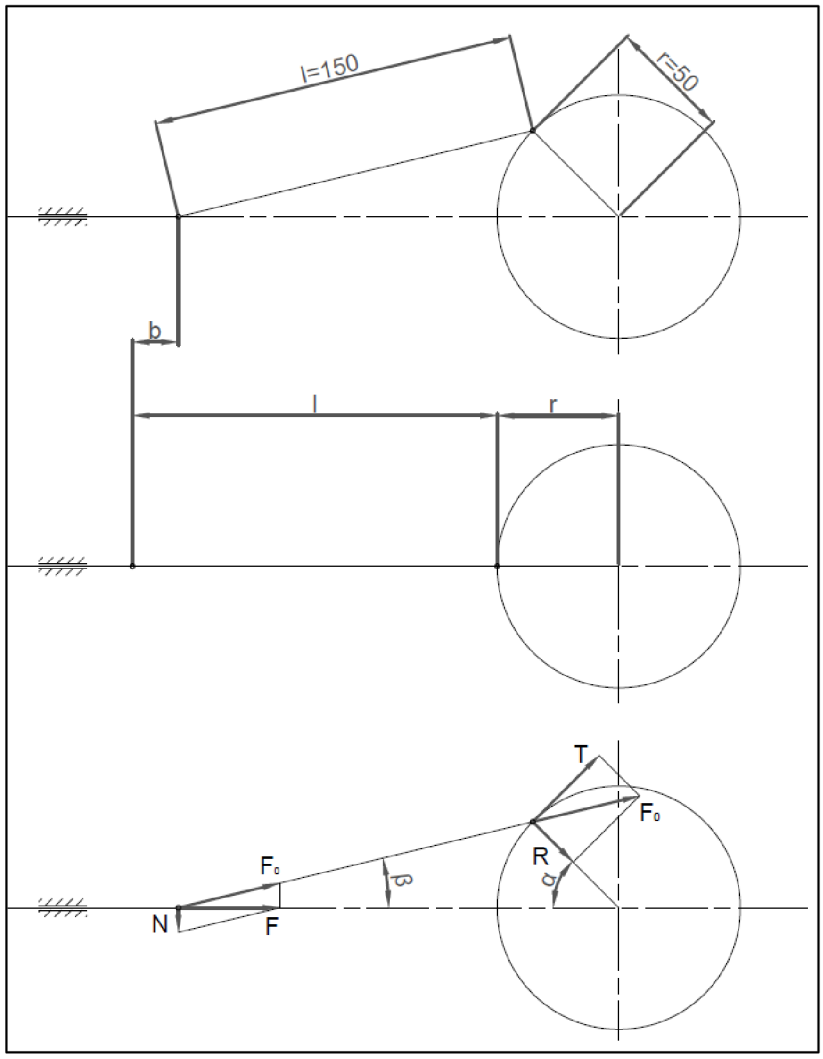
$$n_{min} = f_{min} \cdot 60 = 13{,}16 \cdot 60 = 790\ min^{-1} \qquad (3)$$

Maximální otáčky:

$$n_{max} = f_{max} \cdot 60 = 52{,}41 \cdot 60 = 3145\ min^{-1} \qquad (4)$$

9.2. Volba elektromotoru

Před výběrem elektromotoru je třeba určit potřebný výkon. Větší část zdvihu motor vykonává skoro bez zátěže. Systém je zatížen jenom při pohybu dolů, na část délky zdvihu, která odpovídá hloubce vniknutí klínu do dna secí drážky. Tato hloubka byla zvolena s ohledem na rozměr semene a secího stroje. Zvolená hloubka vniknutí klínu do půdy je b=20 mm. Taky byl zvolen přítlak utužovacího systému, který byl stanoven na 20 kg.



Obr. 44 Schéma klikového mechanismu: Horní obrázek: obecná poloha, Prostřední obrázek: krajní poloha, Dolní obrázek: silové poměry v obecné poloze

Z těchto hodnot bude dopočítán moment působící na kliku, ze kterého bude určen potřebný výkon pohonu.

Nejdříve bude určen úhel natočení kliky při daném zdvihu vycházející z kosinové věty:

$$l^2 = r^2 + (l + r - b)^2 - 2 \cdot r \cdot (l + r - b) \cdot \cos\alpha \quad (5)$$

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{r^2 + (l + r - b)^2 - l^2}{2 \cdot r \cdot (l + r - b)}\right) = 46{,}48° \quad (6)$$

Tečná síla na kliku bude určena dle vzorce (7):

$$T = F \cdot \left(\sin\alpha + \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{l} \cdot \sin 2\alpha\right) = 174{,}8\ N \quad (7)$$

Výkon potřebný k pohonu systému (9):

$$M = T \cdot r = 8{,}74\ Nm \quad (8)$$

$$P = \frac{2 \cdot \pi \cdot M \cdot n_{max}}{60} = 2877\ W \quad (9)$$

Pro daný výkon a maximální otáčky byl zvolen elektromotor :

Kunray Motor MY1020	
Výkon [W]	3000
Maximální otáčky [ot/min]	5800
Hmotnost [Kg]	4.8
Napájecí napětí [V]	72

Tab. 3 Parametry elektromotoru [7]

K tomuto elektromotoru byl zvolen kontrolér s následujícími parametry:

Výkon [W]	3000
Napětí [V]	42-72
Proud [A]	50

Tab. 4 Parametry kontroléru [7]

9.3. Kinematika mechanismu

V teto kapitole bude proveden výpočet kinematických parametrů: posunutí, rychlost a zrychlení klínu.

Rychlost koncového bodu klínu v momentu vniknutí do půdy je vypočítaný pomocí vztahu (10-11):

$$c = \omega \cdot r \cdot \left(\sin\alpha + \frac{r}{l \cdot 2} \cdot \sin 2\alpha\right) = 14{,}7\ m/s \qquad (10)$$

Klín dosahuje maximální rychlosti při úhlu α≈74°.

$$c_{max} = \omega \cdot r \cdot \left(\sin\alpha + \frac{r}{l \cdot 2} \cdot \sin 2\alpha\right) \approx 17{,}3\ m/s \qquad (11)$$

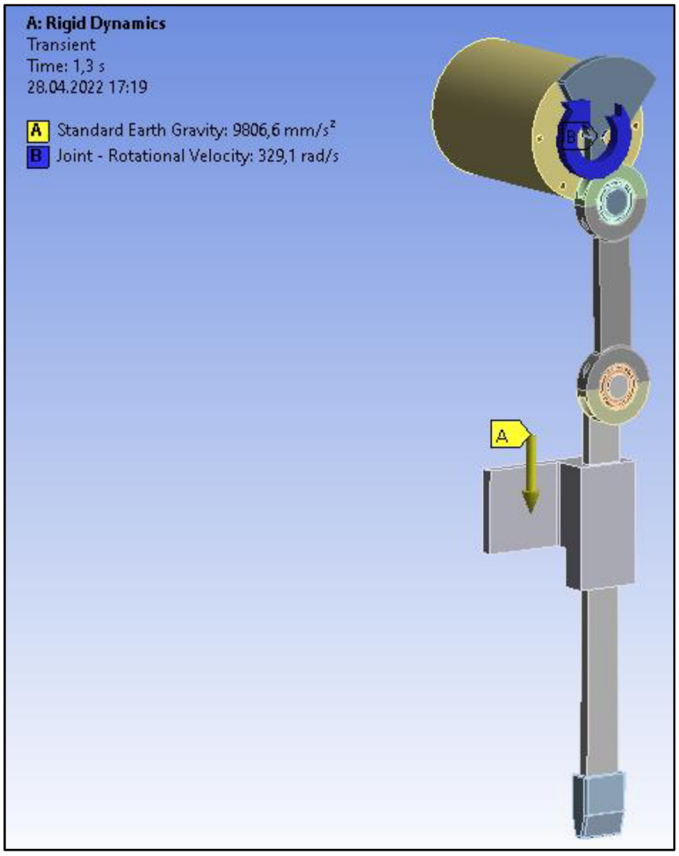
V následujícím výpočtu bylo určeno maximální zrychlení a zrychlení při vniknutí klínu do půdy. Maximální zrychlení je v krajních polohách klínu, to znamená při úhlu natočení kliky α=0° nebo α=180°.

$$a = \omega^2 \cdot r \cdot \left(\cos\alpha + \frac{r}{l} \cdot \cos 2\alpha\right) = 3640\ m/s^2 \qquad (12)$$

$$a_{max} = \omega^2 \cdot r \cdot \left(\cos\alpha + \frac{r}{l} \cdot \cos 2\alpha\right) = 7222\ m/s^2 \qquad (13)$$

9.3.1. Numerická simulace pohybu mechanismu

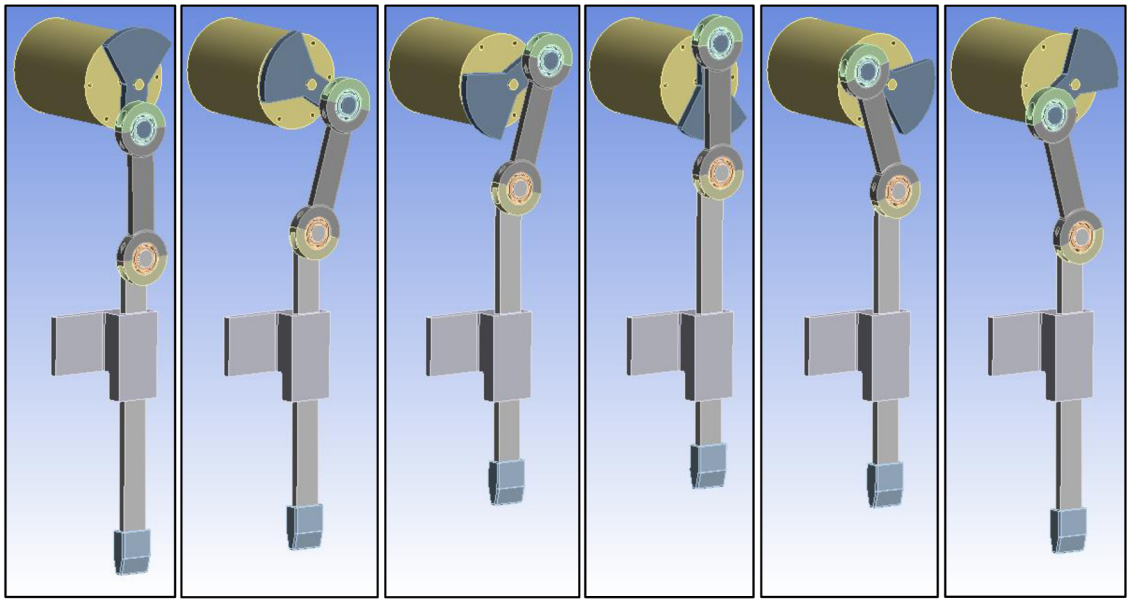
Pro ucelené výsledky pohybu mechanismu byla vytvořena numerická simulace zjednodušeného modelu klikového mechanismu, ve které bylo simulována kinematika mechanismu. Tato simulace byla provedena metodou konečných prvků (MKP) v programu ANSYS. ANSYS je program, který je vhodný pro simulaci systémů a součástí namáhaných jak v statickém tak dynamickém režimu. Tento software dovoluje vytvářet model přímo v interním modulu pro modelování nebo exportovat



Obr. 45 Model klikového mechanismu s označenými okrajovými podmínkami v simulačním softwaru (Dynamická simulace)

data z jiných softwarů v určitých formátech (.step, .iges, .xtl). Z celé řady dostupných výpočetních modulů (toolboxů) byl zvolen toolbox „Rigid Dynamics“ (Dynamika tuhých těles). Do tohoto toolboxu byl nahrán 3D model (Obr. 45) z externího CAD softwaru v standardním formátu step. Po kontrole geometrie v interním CAD modulu byl otevřen modul k nastavení simulace. V tomto modulu byly nastaveny materiály jednotlivých součástí. Jako materiál byla zvolena konstrukční ocel z široké nabídky přednastavených materiálů.

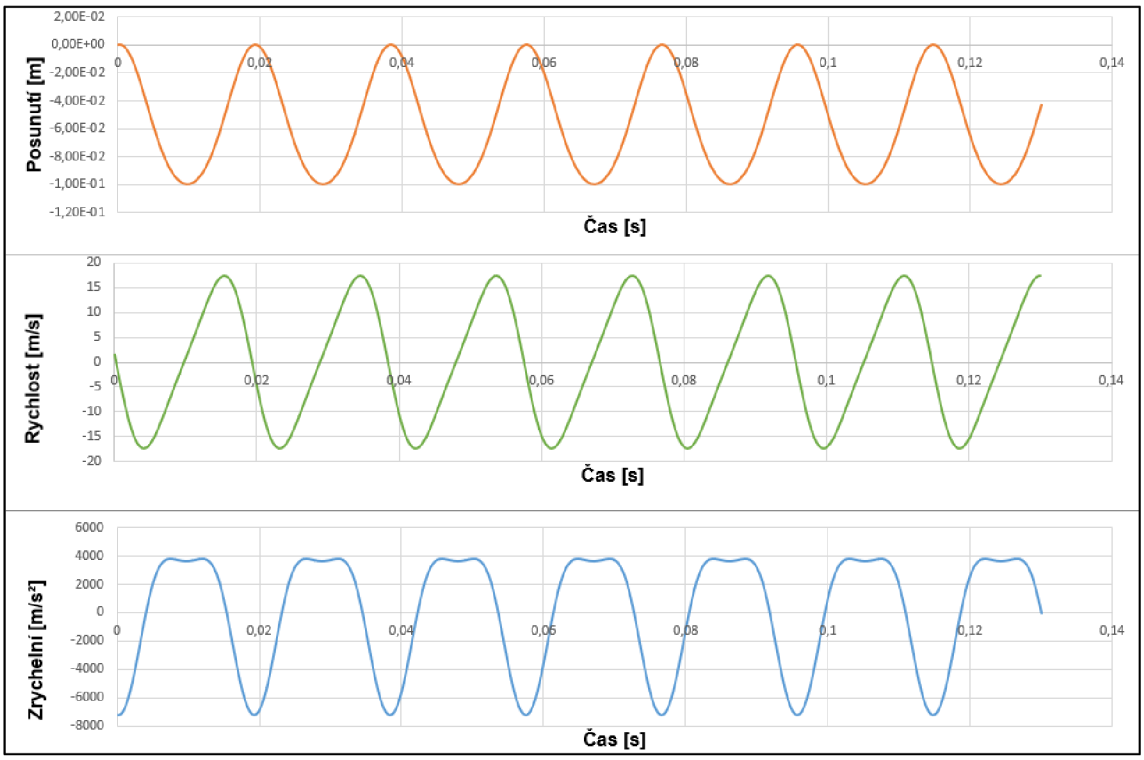
V dalším kroku byly nastaveny vazby mezi jednotlivými součástmi. Nepohybující se součásti byly uloženy jako rám tj. fix (napevno). Dále byla zadána rychlost rotace kliky (B) na maximální a minimální otáčky, které byly uvedeny v kapitole 9.1. Poté byly zadány výstupní parametry, které po výpočtu budou zobrazeny prostřednictvím grafů. Provedení simulace je závislé na optimální době výpočtu tak abyjsme získaly relevantnívýsledky, a proto je potřeba správně nastavit „dobu simulace“, „počáteční časový krok“, „minimální časový krok“ a „maximální časový krok“. Výsledná hodnota těchto parametrů byla dosažena analyzováním vstupních parametrů, které byly postupně měněny.



Obr. 46 Znázornění pohybu klikového mechanismu

Na obr. 46 jsou grafy výsledků vytvořené z hodnot, které byly výstupem simulace. Grafy byly vytvořeny v softwaru MS Excel, protože v tomto programu je více možnosti formátování grafů. Z těchto grafů vidíme průběhy posunutí, rychlosti a zrychlení. Maximální hodnota rychlosti, která byla vypočtena simulací

je téměř stejná jako hodnota maximální rychlosti, která byla vypočtena ve vztahu (11) tj. c_{1max} = 17,3 m/s. Jak ze zřejmé z grafu, maximální zrychlení je v dolní poloze klínu. Simulační hodnota maximálního zrychlení stanovila hodnotu a_{1max} = 7220 m/s^2, což je v porování s analytickými výpočty významná shoda. . Dále byla provedena simulace při nejnižších otáčkách. Tato simulace ukázala tvarově stejné průběhy kinematických parametrů s maximálními hodnotami: rychlost – c_{2max} = 4,4 m/s, zrychlení – a_{2max} = 456 m/s^2.



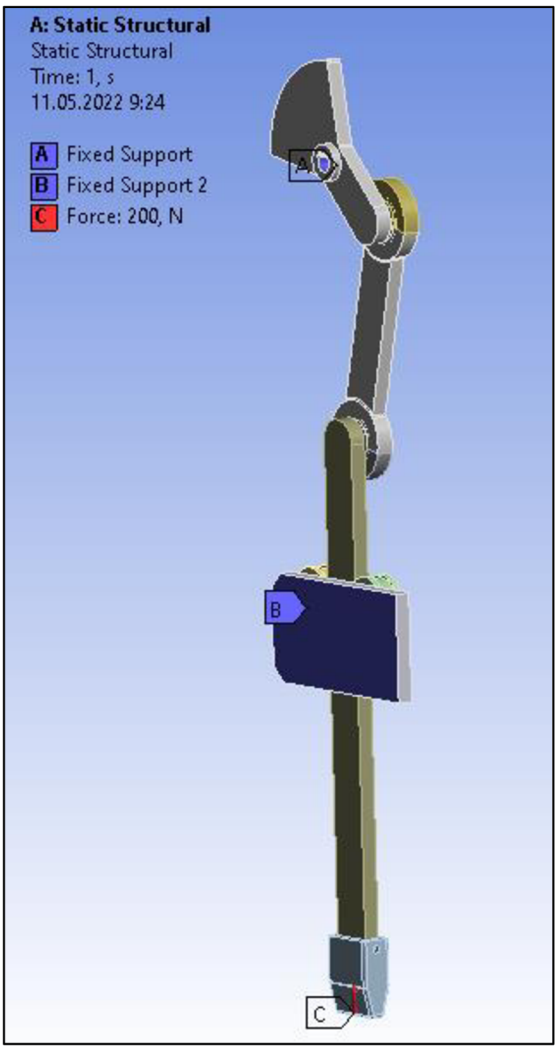
Obr. 47 Grafy: posunutí klínu, rychlost pohybu klínu, zrychlení klínu.

Z výsledků se získaly charakteristické hodnoty posunutí, rychlosti, zrychlení, které byly dále využity pro finální konstrukční řešení.

9.3.2. Pevnostní výpočty vybraných dílů

Pro ověření mechanických vlastností byla také provedena numerická simulace zjednodušeného modelu klikového mechanismupro studii rozložení napětí a deformace při statickém zatížení. Numerická simulace byla provedena opět metodou konečných prvků v programu ANSYS. Pro danou simulaci byl zvolen toolbox „Static Structural“ (statické zatížení). Do tohoto toolboxu byl nahrán 3D model z externího CAD softwaru v standardním formátu step. Model byl pro výpočet trochu upraven, neboť oproti dynamické analýze využité

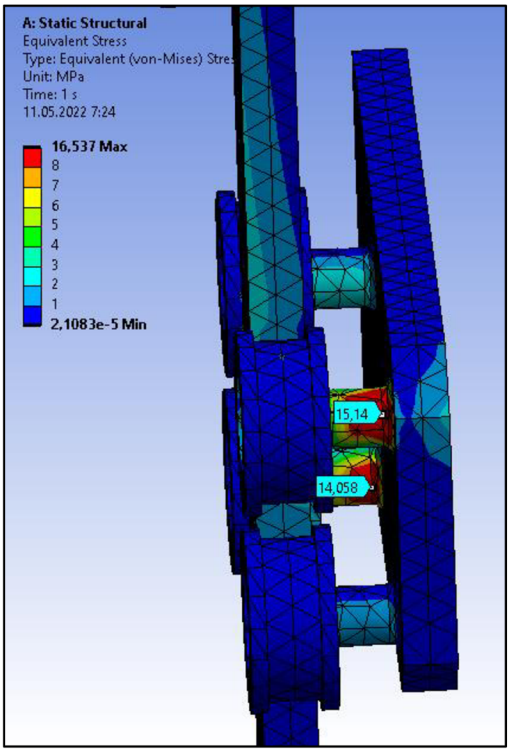
v předchozí kapitole, bylo změněno vedení táhla, tak abyodpovídalo návrhu finální konstrukce. V tomto modelu není elektromotor. Jako materiál pro všechny díly byla vybrána konstrukční ocel z široké nabídky přednastavených materiálů. V dalším kroku byly nastaveny kontaktní vazby mezi jednotlivými díly. Byly nastaveny okrajové podmínky (obr. 48), kde bylo definováno pevné uložení kliky (A) a vedení (B). Na klín působí síla (C). Tato síla odpovídá zvolenému přítlaku utužovacího systému, který stanoví 20 kg. Úhel natočení kliky byl nastaven na 46°, což je úhel začátku vniknutí do půdy. Pomocí simulace byly dosaženy následující výsledky napětí (obr. 50) a posunutí (obr. 51) v celém mechanismu. Maximální hodnota ekvivalentního napětí je 16,5 MPa, maximální hodnota posunutí je 0,12 mm. Podle sond na ojnici a táhleje vidět, že napětí na těchto součástech nepřesahuje 5 MPa. Maximální napětí je na čepu vedení (obr. 49) 15,14 MPa.



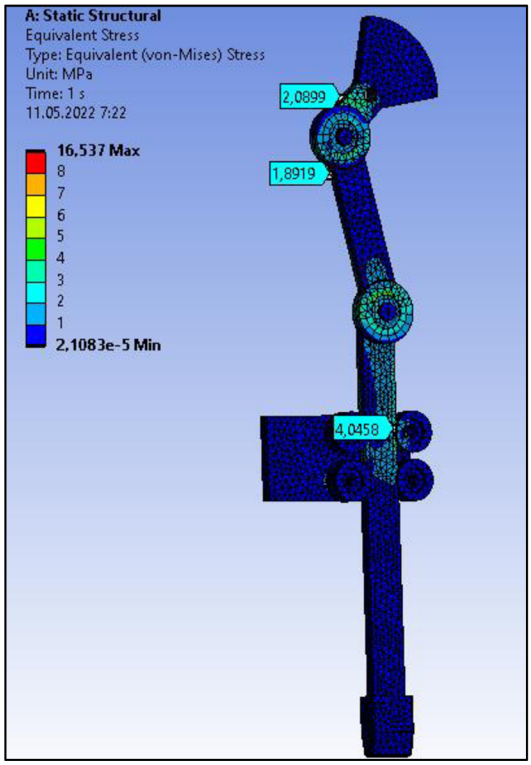
Obr. 48 M*odel klikového mechanismu s označenými okrajovými podmínkami v simulačním softwaru (Statická simulace)*

Výsledky rozložení napětí a deformace ve vybraných dílech ukázaly místa pro optimalizaci. **Z výsledků statického zatížení je patrné, že táhlo a ojnice mohou být odlehčené**, což povede i k lepším provozním podmínkám. Kritickým bodem tohoto systému je čep vedení, ale v daném případě je dostatečně dimenzovaný.

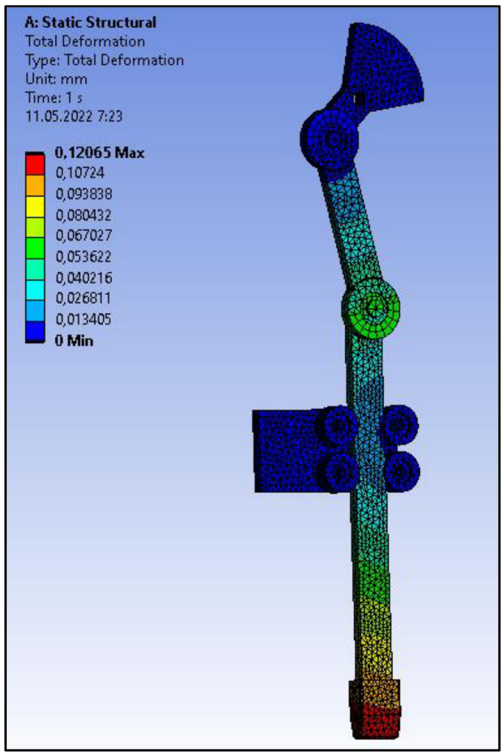
Bylo provedeno odlehčení táhla a ojnice záměnou plného profilu za dutý profil (obr. 54). Podle provedené simulace odlehčené konstrukce bylo stanoveno, že po těchto změnách bezpečnost konstrukce je dostatečná (Obr. 52, 53, 55).



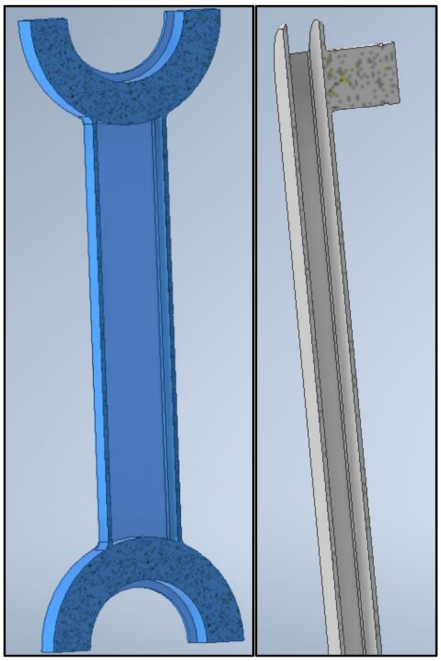
Obr. 49 *Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von- Mises) pro vedení*



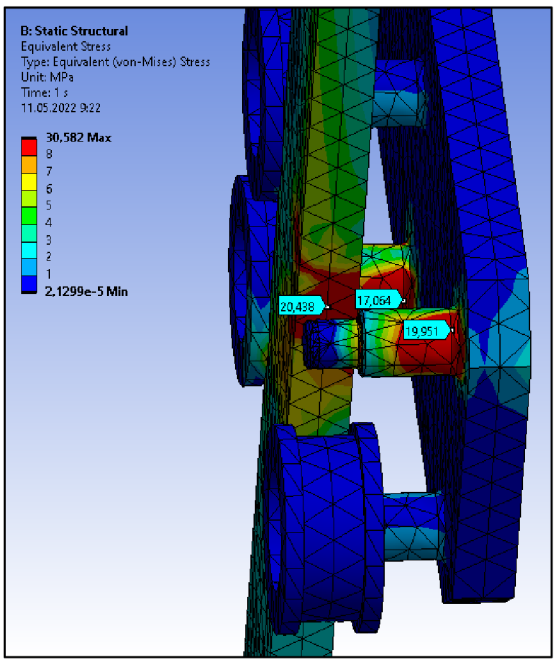
Obr. 51 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von-Mises) pro celý mechanismus



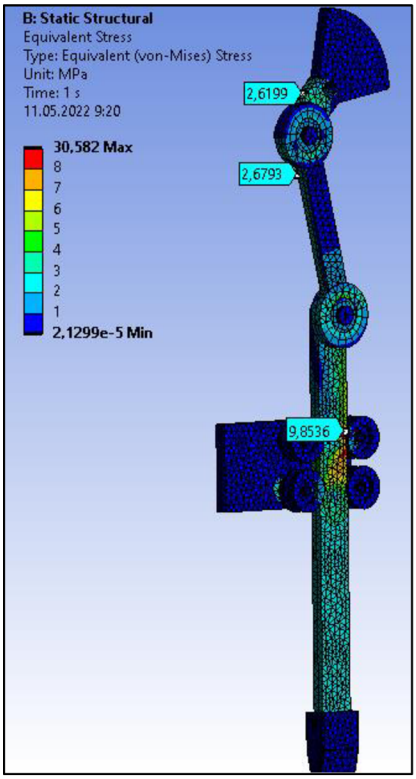
Obr. 50 Vyhodnocení posunutí pro celý mechanismus



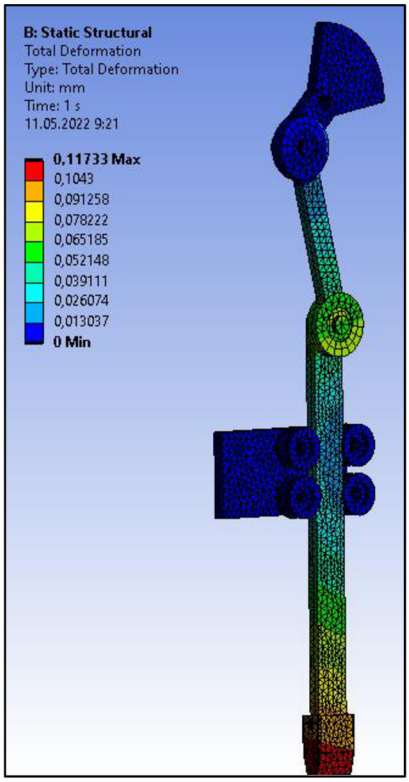
Obr. 54 Odlehčená klika a táhlo v řezu



Obr. 55 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von- Mises) pro vedení a táhlo (Odlehčená konstrukce)



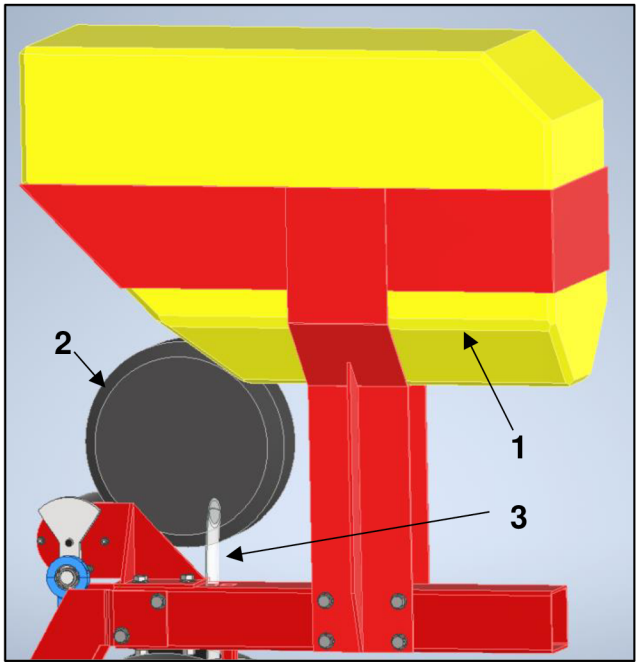
Obr. 53 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von-Mises) pro celý mechanismus (Odlehčená konstrukce)



Obr. 52 Vyhodnocení posunutí pro celý mechanismus (Odlehčená konstrukce)

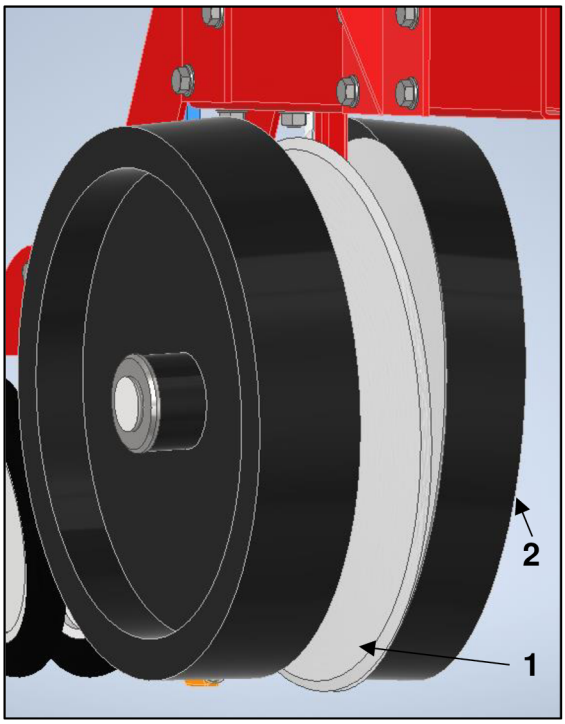
9.4. Popis konstrukce

Navržený utužovací systém secí jednotky secího stroje byl implementován do zjednodušeného modelu secí jednotky s běžnou konstrukcí. Ostatní systémy byly zobrazeny zjednodušeně jako ukázka možného uspořádaní řešeného utužovacího systému. Řada secích jednotek je uložena na rámu secího stroje pomocí různých druhů pružných uložení. Secí jednotka má vlastní rám. Na tento vlastní rám jsou pomocí šroubových spojů připevněny jednotlivé systémy nebo součásti. První systém je určen k uložení, třídění a podávání semen do secí drážky. Tento systém je schematicky zobrazen na obr. 56. Součástí tohoto systému je zásobník na osivo (1), který slouží k uložení dostatečného množství osiva pro dobu setí. Další část tohoto systému je třídící zařízení (2), které je určeno k odebírání osiva ze zásobníku, oddělení jednotlivých semen a podávání jednotlivých semen s potřebnou frekvencí do semenovodu. Třídicí zařízení může mít různé provedení. Nejrozšířenější jsou podtlakové a přetlakové. Poslední součást tohoto systému, který je představený na modelu, je semenovod (3). Nejjednodušší provedení semenovodu je trubka. Touto trubkou jsou semena dopravovaná prouděním vzduchu do secí drážky.

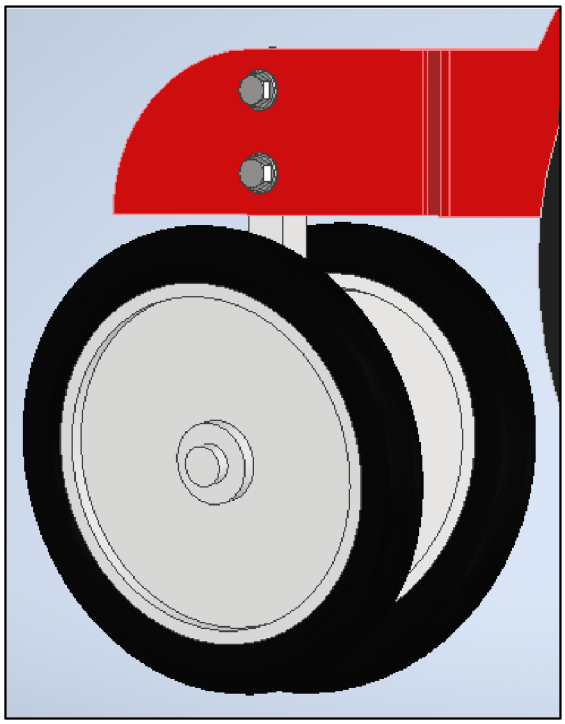


Obr. 56 Podávající systém

Druhý systém je tvarovací systém. Tento systém je určen k vytváření secí drážky, který je schematicky zobrazen na obr. 57. Je složen ze dvou tvarovacích disků (1), které jsou uloženy pod úhlem. Úhel sevření musí být takový, aby se disky dotýkaly v místě vniknutí do půdy. Další součástí tvarovacího systému jsou kopírovací kola (2), která jsou určena k utužení horní hrany a stěn drážky. Kola jsou uložena pod stejným úhlem jako tvarovací disky.



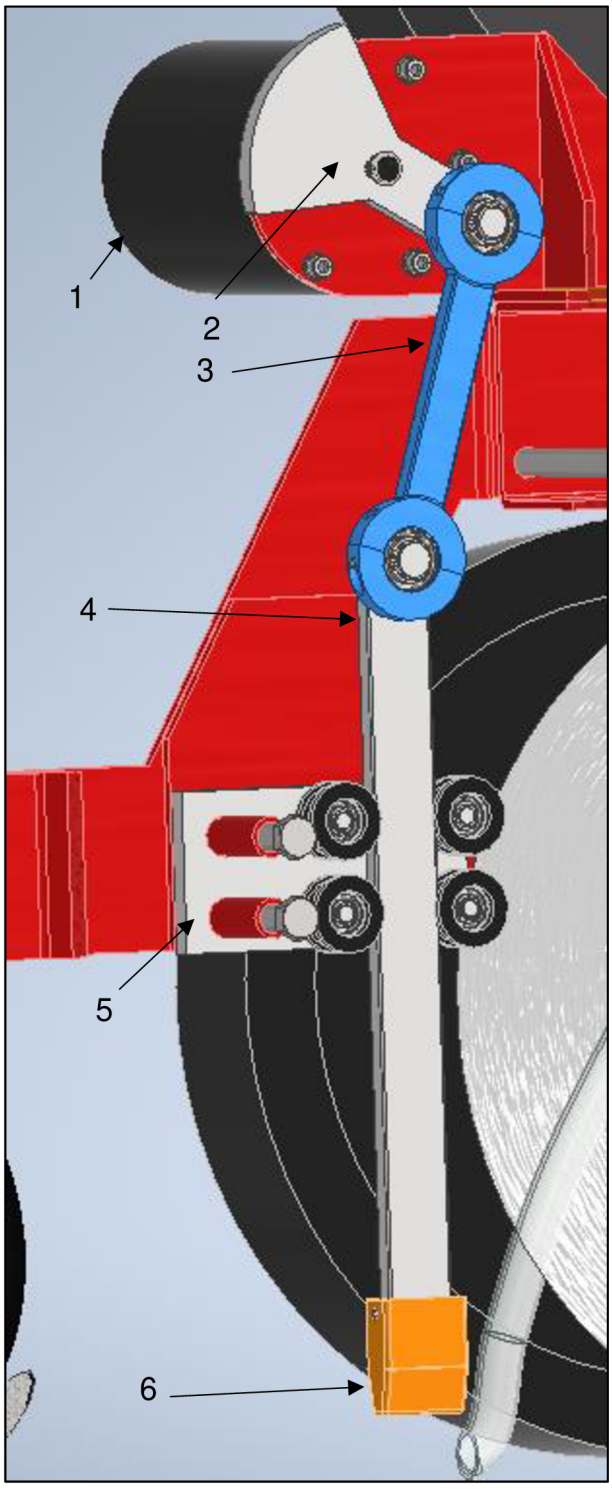
Obr. 57 Tvarovací systém



Obr. 58 Zavlačovací systém

Třetí systém je zavlačovací systém, který je určen k zavření secí drážky. Schematicky je zobrazen na obr. 58. Skládá se ze dvou kol, která jsou uložena pod úhlem, který zajišťuje správné ukrytí osiva pro klíčení. Utužovací systém secího stroje je zobrazen na obr. 59. Tento systém je složen z elektromotoru, který byl navržen v kapitole 9.2. Elektromotor (1) je připevněn na rám pomocí šestí šroubů M6. Na hřídeli elektromotoru je drážka pro pero. Přenos krouticího momentu na kliku (2) je realizován pomocí pera. Osový pohyb je zamezen pojistným kroužkem. Klika má čep na poloměru 50 mm. Průměr čepu je 20 mm. Na tento čep je připojena ojnice (3) s použitím kuličkového ložiska 6002 s těsněním typu RS1 (základní dynamická únosnost C_{d1}=5,85 kN, základní statická únosnost C_{s1}=2,85 kN). Tento typ těsnění poskytuje výbornou odolnost vůči prachu a dostatečnou odolnost vůči vodě. K zamezení osového pohybu ložiska byly použity kroužky (distanční kroužek na jedné straně a pojistný kroužek na straně druhé). Byl proveden bezpečnostní výpočet ložiska pro největší otáčky a nejvyšší zatížení. Toto ložisko je namáháno především radiální silou F. Druhé ložisko ojnice je zatíženo stejnou silou, akorát tady můžeme počítat se statickým zatížením, protože ložisko vykonává pomalé oscilační pohyby [37]. Dolní ložisko bude použito stejné jako ložisko horní pro zmenšení množství různých součástí.

Z výpočtu můžeme vidět předimenzování těchto ložisek. Toto předimenzování není zbytečné, protože tato ložiska budou pracovat ve velice prašných podmínkách, mohou být zatíženy většími otáčkami, charakter zatížení je dynamický s rázy. Dolní ložisko ojnice je uloženo na čepu táhla (4) podobně jako uloženo ložisko na klice. Pro zajištění dostatečné bezporuchovosti a odolnosti vůči prachu byla navržena možnost uložení táhla (5) mezi čtyřmi kuličkovými ložisky 608 s těsněním typu RS1 (základní dynamická únosnost C_{d2}=3,45 kN, základní statická únosnost C_{s2}=1,37 kN). Na tyto ložiska jsou nasazena pryžová kolečka, která udržují, směrují a zamezují prokluzování táhla. Samotná ložiska jsou nasazena na čepy. Axiální pohyb je omezen tvarem čepů na jedné straně a pojistným kroužkem na druhé straně. Na konci táhla je klín (6), který má tvar potřebný pro správné utužení osiva. Klín je připevněn k táhlu pomocí dvou stavěcích šroubů.



Obr. 59 Utužovací systém

$$L_1 = \left(\frac{C_{d1}}{F}\right)^3 = \left(\frac{5850}{196{,}2}\right)^3 = 26508\ mil.ot \quad (14)$$

$$L_{h1} = \frac{10^6 \cdot L_1}{60 \cdot n_{max}} = \frac{10^6 \cdot 26508}{60 \cdot 3145} = 140477\ hod \quad (15)$$

$$S_1 = \frac{C_{s1}}{F} = \frac{2850}{196{,}2} = 14 \quad (16)$$

10. Zhodnocení

Bylo provedeno ekonomické zhodnocení navržené části secí jednotky utužovacího zařízení. Ekonomické zhodnocení bylo provedeno ve dvou fázích, nejdřív byly určeny celkové náklady systému a jeho jednotlivých částí. V následujícím kroku byla provedena hodnotová analýza VA/VE.

10.1. Celkové náklady

Artikl	Název	Množství (ks)	Nákupní cena (Kč)	Materiál (Kč)	Práce (Kč)	Režie (Kč)	Celkem (Kč)
1	Elektromotor s kontr.	1	5000				5000
2	Klika	1		49,47	61,25	113,33	224,05
3	Ojnice	1		63,92	49,58	100,83	214,34
4	Distanční kroužek	2		1,81	23,33	55,00	80,15
5	Víko	2		80,14	35,00	88,33	203,47
6	Táhlo	1		77,18	23,33	37,50	138,02
7	Vedení	1		59,65	70,00	135,00	264,65
8	Klín	1		120,00	61,25	169,17	350,42
9	Kolečko	4		1,68	2,33	2,00	6,01
10	Pero	1	1				1
11	Pojistný kroužek 12	1	0,38				0,38
12	Pojistný kroužek 15	2	1,06				1,06
13	Pojistný kroužek 8	4	0,92				0,92
14	Šroub M5x16	4	3,36				3,36
15	Ložisko 6002	2	362				362
16	Ložisko 608	4	300				300
17	Stavěcí šroub M6x12	2	1,42				1,42
						Celkem	**7151,3**

Tab. 5 Tabulka nákladů

Byly stanoveny celkové náklady navrženého utužovacího systému secího stroje a náklady na výrobu jednotlivých součástí. Tyto náklady byly stanoveny přibližně pro vytvoření VA/VE analýzy a orientačního přehledu nákladů na výrobu tohoto systému. Celý rozpočet byl proveden pro výrobu představené konstrukce v předchozích kapitolách. Technologie na výrobu jednotlivých dílů byly vybrány s ohledem na malosériovou výrobu. Cena na výrobu pomocí jednotlivých technologií byla stanovena z hodinové sazby prací prováděných touto technologií. Ceny byly nalezeny od jednotlivých firem. Celkové náklady byly počítány bez ceny montáže. Náklady mohou mít určitou chybu, která je způsobená nestabilní situací na trhu, kolísáním kurzu valut a zjednodušeným výpočtem nákladů. Však tato chyba nemá zásadní vliv na účel stanovení těchto nákladů.

Celkové náklady výroby systému byly určeny na **7 151 Kč** bez DPH. Nejdražším elementem je elektromotor s kontrolérem, který stojí kolem 5 000 Kč. Vzhledem k současné době a mezinárodní situaci lze předpokládat, že výsledná cena bude větší.

10.2. Hodnotová analýza VA/VE

Hodnotová analýza (VA/VE) slouží k analýze jednotlivého systému nebo celého výrobku za účelem dosažení požadované funkce s dostatečnou kvalitou za co nejnižší náklady. V daném případě hodnotová analýza byla využita k podrobnějšímu přehledu a analýze navrženého systému z pohledu na funkčnost jednotlivých komponent a jejích hodnotu. K analýze byl podroben jenom navrhovaný utužovací systém secího stroje bez ostatních komponent secí jednotky a bez komponent sloužících k připevnění systému k rámu. Pro provedení hodnotové analýzy byla vytvořena tabulka funkcí (Tab. 6). V rámci této tabulky k jednotlivým komponentám byly přiřazeny funkce, které vykonávají tyto komponenty. Hodnoty těchto funkcí byly následně uvedeny v tabulce hodnotové analýzy.

Číslo	Komponenta	Funkce	Typ	
			Z	S
1	Elektromotor s kontrolérem	Otáčí klikou		X
		Reguluje rotaci kliky		X
2	Klika	Rotuje ložiskem		X
		Přenáší krouticí moment		X
3	Ojnice	Pohybuje ložiskem		X
		Přenáší sílu		X
4	Distanční kroužek	Omezuje axiální pohyb ložiska 6002		X
5	Víko	Drží ložisko 6002		X
6	Táhlo	Pohybuje klínem		X
		Přenáší sílu		X
7	Vedení	Drží ložisko 608		X
8	Klín	Tlačí semeno	X	
9	Kolečko	Směruje táhlo		X
10	Pero	Přenaší krouticí moment		X
11	Pojistný kroužek 12	Omezuje axiální pohyb kliky		X
12	Pojistný kroužek 15	Omezuje axiální pohyb ložiska 6002		X
13	Pojistný kroužek 8	Omezuje axiální pohyb ložiska 608		X
14	Šroub M5x16	Drží víko		X
15	Ložisko 6002	Umožňuje rotační pohyb		X
		Pohybuje ojnici		X
		Pohybuje táhlem		X
16	Ložisko 608	Drží kolečko		X
		Umožňuje rotační pohyb kolečka		X
17	Stavěcí šroub M6x12	Zajišťuje klín		X

Tab. 6 Tabulka funkcí

V tabulce hodnotové analýzy byl stanoven procentuální podíl každého dílu k vykonání jednotlivých funkcí a nákladů.

Tab. 7 Tabulka hodnotové analýzy

Číslo	Komponenta	Náklady (Kč)	Funkce																				
			Otáčí klikou	Reguluje rotace kliky	Rotuje ložiskem	Přenáší kroutící moment	Pohybuje ložiskem	Přenáší sílu	Omezuje axiální pohyb ložiska 6002	Drží ložisko 6002	Pohybuje klínem	Drží ložisko 608	Tlačí semeno	Směruje táhlo	Omezuje axiální pohyb kliky	Omezuje axiální pohyb ložiska 608	Drží víko	Umožňuje rotační pohyb	Pohybuje ojnicí	Pohybuje táhlem	Drží kolečko	Umožňuje rotační pohyb kolečka	Zajišťuje klín
1	Elektromotor s kontrolérem	5000	70% 3500	30% 1500																			
2	Klika	224,05			50% 112,03	50% 112,03																	
3	Ojnice	214,34					50% 107,17	50% 107,17															
4	Distanční kroužek	80,15							100% 80,15														
5	Víko	203,47								100% 203,47													
6	Táhlo	138,02						50% 69,01			50% 69,01												
7	Vedení	264,65										100% 264,65											
8	Klín	350,42											100% 350,42										
9	Kolečko	6,01												100% 6,01									
10	Pero	1				100% 1																	
11	Pojistný kroužek 12	0,38													100% 0,38								
12	Pojistný kroužek 15	1,06							100% 1,06														
13	Pojistný kroužek 8	0,92														100% 0,92							
14	Šroub M5x16	3,36															100% 3,36						
15	Ložisko 6002	362																50% 181	25% 90,5	25% 90,5			
16	Ložisko 608	300																			50% 150	50% 150	
17	Stavěcí šroub M6x12	1,42																					100% 1,42
	Celkem (Kč)	7151,3	3500	1500	112,03	113,03	107,17	176,18	81,21	203,47	69,01	264,65	350,42	6,01	0,38	0,92	3,36	181	90,5	90,5	150	150	1,42
	%	100%	49%	21%	2%	2%	1%	2%	1%	3%	1%	4%	5%	0,1%	0,01%	0,01%	0,05%	3%	1%	1%	2%	2%	0,02%

Z provedené analýzy je zřejmé, že se z větší části na ceně celého systému podílí jeho pohon (49%) a kontrola pohonu (21%). Cenu elektromotoru a kontroléru je možné zmenšit výběrem jiného dodavatele nebo sjednáním slevy. Tyto komponenty dovolují řídit utužovací proces na rozdíl od konkurenčních utužovacích systémů, u kterých proces utužování je kontinuální a není možné ho řídit během setí. Nákladově na třetím místě je základní funkce (tlačí semeno), která stanoví hodnotu 5%. Tato funkce je vykonána komponentou klín. Vetší cena klínu je vyvolána použitím otěruvzdornějšího materiálu, který je dražší a je složitější v obrábění.

11. Závěr

V této diplomové práci byla řešena inovace utužovacího systému stroje pro přesné setí. Úkolem práce bylo navrhnout nový utužovací systém. Jako první, pro seznámení s problematikou setí a přesného setí byl udělán historický přehled, který ukázal, že rozvoj secích strojů se začal od řady století před naším letopočtem, ale přesné secí stroje začaly svůj vývoj, až v současné době s rozšířením přesné výroby a GPS. V práci dále byl prostudován současný stav trhu secích strojů a zvlášť přesných secích strojů. Tento průzkum ukázal jaké existují řešení jak systému utužování, tak jiných systémů secí jednotky. V následujícím kroku byl udělán patentový průzkum, během kterého bylo prostudováno větší množství patentů, ze kterých byly představeny čtyři patenty, které jsou využívané většinou výrobci zemědělských zařízení, takže jsou odpovídajícím popisem současného stavu přesných secích strojů. Pro současné řešení byla sestavena funkční-objektová analýza, která ukázala problémy tohoto systému, mezi které patří negativní funkce opotřebení prachem a půdou a jako nadbytečná funkce utužení půdy. Pomocí metody funkční orientovaného hledaní byl proveden průzkum řešení podobného problému v jiných odvětvích. Problém byl zformulován jako „utužení práškového materiálu“. Během tohoto průzkumu byly nalezeny systémy, které řeší podobný problém v různých odvětvích jako je například stavebnictví, výroba léků, příprava sněhu a jiné. Jako výstup z tohoto průzkumu bylo vytvořeno několik návrhů, které byly realizovány jako náčrty pro další rozpracování nejlepších návrhů dokonceptů. Bylo vytvořeno 5 konceptů v 3D provedení. Následně tyto

koncepty byly podrobeny výběrovému řízení, které probíhalo ve dvou etapách. V první etapě rozhodování byla vytvořena základní rozhodovací tabulka, která obsahovala 17 nevážených kritérií, podle kterých bylo provedeno tříbodové hodnocení každého konceptu. K další etapě rozhodování postoupily tři koncepty (1, 4, 5). Byla vytvořena detailní rozhodovací tabulka, ve které pro stejná kritéria byly stanoveny váhy a bylo provedeno desetibodové hodnocení. Nejvíce bodu dostal koncept 4 „Klikový mechanismus“. Byl proveden konstrukční návrh vítězného konceptu. Pro konstrukční návrh byl proveden výpočet kinematických parametrů klikového mechanismu, a byla udělána dynamická simulace. Také byla provedena statická simulace, ve které systém byl vystaven statickému zatížení. Tato simulace ukázala kritické body systému, a to že některé komponenty systému mohou být odlehčené. Byla představena konstrukce celé secí jednotky, která byla vytvořena s určitým zjednodušením jako možné provedení aplikace navrhovaného utužovacího systému do secí jednotky. V rámci tohoto představení byl proveden návrh a výpočet ložisek. Na konci bylo uděláno zhodnocení celého navrženého systému pomocí vypočtených celkových nákladů a provedení hodnotové analýzy. Výpočet celkových nákladů ukázal ceny jednotlivých dílu systému jak nakupovaných tak vyráběných. Také byla zjištěna celková cena systému, která byla 7 151 Kč. Musí se však konstatovat, že v současné době s rostoucími cenami, by celková cena byla patrně vyšší. Hodnoty cen jednotlivých komponent systému byly následovně využity při vytvoření hodnotové analýzy. Pro hodnotovou analýzu byla vytvořena tabulka funkcí, v rámci které k jednotlivým komponentám byly přiřazeny funkce, které komponenty plní. Hlavní funkce celého systému je „Tlačit semeno“. Následně byla rozpracována tabulka hodnotové analýzy, která ukázala, že největší podíl má funkce pohonu a řízení pohonu, což je nová funkce systému, která se nevyskytuje u firem vyrábějících zemědělské stroje. Nákladově na třetím místě je hlavní funkce „Tlačit semeno“. Výsledkem teto práce je konstrukční návrh utužovacího systému stroje pro přesné seti, který odpovídá požadovaným parametrům.

Použitá literatura a zdroje

[1] Achieving Quality Compaction with the Cat® B-Series Vibratory Soil Compactors Animation - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=uSB7Yn_5pg4

[2] ADP Special, ADP Super, Avant. AMAZONE. [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://info.amazone.de/DisplayInfo.aspx?id=36376

[3] AERIFIKACE ferveje. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=qguk3t67CR4

[4] Agrotechnika slunečnice | Úroda. Úroda [online]. Copyright © [cit. 07.04.2022]. Dostupné z: https://uroda.cz/agrotechnika-slunecnice/

[5] BOLEK, Alfred a Jaroslav JANATKA. Části strojů. Díl IV, Části pístových strojů. Praha: Československá akademie věd, 1956.

[6] BOMAG Tangential-Oszillation - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=M0Xt0JQFOUQ

[7] Brushless Motor With 24 Mosfet 50A Controller [online]. Dostupné z: https://aliexpress.ru/item/1005003182241128.html?item_id=1005003182241128&sku_id=12000024540066072&spm=a2g2w.productlist.0.0.97082fa9TlKbI6

[8] DAWN EQUIPMENT COMPANY, Seed firming device for improving seed to soil contact in a planter furrow with feature designed to prevent the buildup of soil on the outer surfaces by discharging pressurized fluid. Vynálezce: Joseph D. Bassett, US 2021/0315149 A1. Dostupné z: https://patentimages.storage.googleapis.com/7f/45/cc/8ce567037c2831/US20210315149A1.pdf

[9] DEER & COMPANY MOLINE, Row unit and planter or seeding machine with such. Vynálezce: Garner Elijah, Friestad Michael, EP 2213152 B1. Dostupné z: https://patentimages.storage.googleapis.com/07/7e/e4/18a22e62e5eeec/EP2 213152B1.pdf

[10] DPU 2550: Lehký a obratný univerzál | Wacker Neuson. [online]. Copyright © 2022 Wacker Neuson SE [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.wackerneuson.cz/cs/vyrobky/hutneni/vibracni-desky/reverzni-vibracni-desky/model/dpu2540-dpu2550-dpu2560/

[11] EFECTA CE širokozáběrový secí stroj | BEDNAR FMT [online]. Copyright © 1997 [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://www.bednar.com/efecta-ce/

[12] ESTRADA, David. A Function-Oriented Ontology Tool for Solving Inventive Problems: výukový text. Mexico, Veracruz: Postgraduate Department, Instituto Tecnológico de Orizaba. 2012

[13] Finišer – Wikipedie. [online]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Fini%C5%A1er#/media/Soubor:Asphalteinbau.jpg

[14] How do sewing machines work? Explain that Stuff [online]. Copyright © Chris Woodford 2017, 2019. All rights reserved. [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.explainthatstuff.com/sewingmachines.html

[15] Hustota setí kukuřice – Kukuřice – Setí – Poradenství- KWS Osiva s.r.o.. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © KWS Osiva s.r.o. [cit. 07.04.2022]. Dostupné z: https://www.kws.com/cz/cs/poradenstvi/zakladani-porostu/hustota-seti/kukurice/

[16] I Holland: The Tabletting Cycle - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=4xggZRckfTE

[17] IPC Publication. IPC Publication [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://ipcpub.wipo.int/?notion=scheme&version=20220101&symbol=none&menulang=en&lang=en&viewmode=f&fipcpc=no&showdeleted=yes&indexes=no&headings=yes¬es=yes&direction=o2n&initial=A&cwid

[18] Jak se dělají léky? - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=6yISZDFwTWk

[19] Jak se vyvíjely secí stroje? | Mechanizace Zemědělství. Mechanizace Zemědělství [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://mechanizaceweb.cz/jak-se-vyvijely-seci-stroje/

[20] KINZE MANUFACTURING, INC, Planter with high speed seed delivery appartus. Vynálezce: Matthew Wilhelmi, Dustan Hahn, US 10842072 B2.

Dostupné z: https://patentimages.storage.googleapis.com/7f/fc/46/b0c7252a70389a/US10842072.pdf

[21] KUHN secí stroje - Prodej zemědělské, komunální a stavební techniky na Vysočině - Váňa Hybrálec. [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://www.vh-ji.cz/puda-seci-stroje

[22] MANEK stavební stroje spol. s r.o. - Prodej stavebních strojů - Olomouc, Brno | MANEK [online]. Copyright © 2021 [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.manek.cz/blog/jak-vybrat-vibracni-desku-pech-nebo-valec

[23] MAŠÍN, Ivan a Pavel JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 978-80-7372-853-3.

[24] Mašín, I.; Petrů, M.; Novák, O.: Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni. Technická univerzita v Liberci, 2015, ISBN 978-80-7494-187-0

[25] Mašín, I.; Ševčík, L.: Metody inovačního inženýrství. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006, ISBN 80-903533-0-4

[26] Muzeum historických strojů Velký Újezd - Fotoalbum - :: Pěstování a sklizeň - Secí stroj Melichar - Obraz014.jpg . Muzeum historických strojů Velký Újezd [online]. Copyright © 2022 eStránky.cz [cit. 08.04.2022]. Dostupné z: https://historie-zt.estranky.cz/fotoalbum/__-pestovani-a-sklizen/seci-stroj-melichar/obraz014.jpg.html

[27] NEEDHAM, Joseph a LU Gwei-Djen. Science and civilisation in china. Cambridge University Press, 1987.

[28] NEUBAUER, Karel. Stroje pro rostlinnou výrobu: celostátní vysokoškolská učebnice pro vysoké školy zemědělské. 1. vyd. Praha: SZN, 1989.

[29] New Agricultural Tools | History of Western Civilization II. Lumen Learning – Simple Book Production [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://courses.lumenlearning.com/suny-hccc-worldhistory2/chapter /new-agricultural-tools/

[30] Pešík, L.: Části strojů. 1. díl. Liberec: TUL, 2010, ISBN 978-80-7372-573-0

[31] Pešík, L.: Části strojů. 2. díl. Liberec: TUL, 2010, ISBN 978-80-7372-574-7

[32] PETRŮ, M. a spol. Vybrané statě z částí strojů I - příklady pro cvičení, Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015. ISBN 978-80-7494-203-7

[33] Please Wait... | Cloudflare. Please Wait... | Cloudflare [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://aukro.cz/jan-pracner-tovarna-na-seci-stroje-budoucnost-ii-30-prospekt-6982179177

[34] PULKRÁBEK Josef. Řepa cukrová. Pěstitelský rádce. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007 ISBN 978-80-87111-00-0

[35] Roh, J; Kumhála, F.; Heřmánek, P.: Stroje používané v rostlinné výrobě, Praha, Credit, 296 s.

[36] Secí stroje | BEDNAR FMT. Hlavní strana | BEDNAR FMT [online]. Copyright © 1997 [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://www.bednar.com/seci-stroje/

[37] SKF. Určení velikosti ložiska. [online]. Dostupné z: https://www.pkservis.com/data/web/skf/6000_CS_00_03_Ur%C4%8Den%C3%AD%20velikosti%20lo%C5%BEiska.pdf

[38] Snow Grooming Machine [online]. Copyright © 2020 [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: http://www.snowtech.co.kr/en/products/snow-grooming-machine/?ckattempt=2

[39] Spirit - pneumatický secí stroj pro velmi přesné setí. Highly efficient farm machinery - Vaderstad [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://www.vaderstad.com/cz/seti/seci-stroje-spirit/

[40] SUMITOMO Asphalt Paver 2016 - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=kXABWH21OqQ

[41] Šicí patky pro šicí stroje I. | Šicí-stroj.cz. Vítejte na stránkách blogu o šicích strojích a šití! | Šicí-stroj.cz [online]. Copyright © [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://sici-stroj.cz/sici-patky-pro-sici-stroje-i/

[42] Tablet Compression - How it works animation - YouTube. YouTube [online]. Copyright © 2022 Google LLC [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=fSg86Zq_hQM

[43] Tempo - rychlé a přesné secí stroje od společnosti Väderstad. Highly efficient farm machinery - Vaderstad [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://www.vaderstad.com/cz/presne-seti/presny-seci-stroj-tempo/

[44] TEXTRON INC. Method and system for high pressure liquid injection of turf seed Vynálezce:Milton C. Engelke, US 6,431,096 B1. Dostupné z:

https://patentimages.storage.googleapis.com/4b/75/54/47ad6dd3624299/US6431096.pdf

[45] VADERSTAD HOLDING AB. Row unit for a planter, planter and method for planting. Vynálezce: Magnus Stark, EP 3777501 B1. Dostupné z: https://patentimages.storage.googleapis.com/47/16/4a/23565cee7c9b96/EP3777501A1.pdf

[46] Velké starověké čínské vynálezy (Dějiny). Zajímavosti a užitečné informace! [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: https://cs.mydailyselfmotivation.com/articles/history-fact-fiction/10-great-ancient-chinese-inventions.html

[47] Vyšívací patka. Šicí stroje Lucznik - Lucznik Česká Republika [online]. Copyright © 2020 [cit. 06.04.2022]. Dostupné z: https://www.lucznik.cz/a/vysivaci-patka

[48] Výukový text Ing. Milan Fríd, Csc. [online]. Copyright © [cit. 05.04.2022]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2014/02/sazeni_a_seti.pdf

Seznam Obrázků

Obr. 1 Čínský dvoutrubkový secí stroj [46] 12
Obr. 2 Secí stroj Jethro Tull (1762) [29] 13
Obr. 3 Secí stroj Melichar [26] 13
Obr. 4 Prospekt secího stroje "Budoucnost" [33] 14
Obr. 5 Mechanický secí stroj KUHN [25] 16
Obr. 6 Širokozáběrový secí stroj BEDNAR EFECTA CE [11] 17
Obr. 7 Secí stroj Vaderstad Tempo R 4-6 [43] 17
Obr. 8 Řádková jednotka pro sazeč a způsob výsadby [45] 19
Obr. 9 Řádková jednotka a systém podávání osiva secího stroje[9] 19
Obr. 10 Secí stroj s vysokorychlostním doručovacím zařízením [20] 20
Obr. 11 Zařízení na zpevňování půdy pro zlepšení kontaktu semen s půdou v secí drážce [8] 21
Obr. 12 Řádková jednotka [8] 22
Obr. 13 FOA diagram 24
Obr. 14 Vibrační deska Wacker DPU 2540 [10] 26
Obr. 15 Finišer pokládá asfalt [13] 26
Obr. 16 Konstrukce "žehličky" finišeru [40] 27
Obr. 17 Konstrukce vibračního válce [1] 27
Obr. 18 Stroj na výrobu tablet [16] 28
Obr. 19 patka šicího stroje s jehlou [47] (vlevo), patky pro šicí stroje [41] (vpravo) 29
Obr. 20 Vysokotlaké vstřikování hnojiva do půdy [44] 29
Obr. 21 Stroj pro aerifikaci trávníku [3] 30
Obr. 22 Schéma fungování utužovací části sněžné rolby [38] 30
Obr. 23 Náčrt "Válcování vibračním válcem" 31
Obr. 24 Náčrt "Vibrační deska" 31
Obr. 25 Náčrt "Zamačkávání pneumatickým válcem" 32
Obr. 26 Náčrt "Zamačkávání pomocí klikového mechanismu" 32
Obr. 27 Náčrt "Zamačkávání pomocí vačkového mechanismu" 32
Obr. 28 Náčrt "Zahlazování lyží" 33
Obr. 29 Náčrt "Zahlazování pružinou" 33
Obr. 30 Náčrt "Injekce jehlou" 34

Obr. 31 Náčrt "Vstřikování semene kapalinou" 34
Obr. 32 Koncept 1. Celkový pohled 35
Obr. 33 Koncept 1. Pohled v řezu 36
Obr. 34 Koncept 1. Pohled zespodu 36
Obr. 35 Koncept 2. Pohled v řezu 37
Obr. 36 Koncept 2. Pohled zespodu 37
Obr. 37 Koncept 2. Celkový pohled 38
Obr. 38 Koncept 3. Celkový pohled 38
Obr. 39 Koncept 3. Pohled v řezu 39
Obr. 40 Koncept 4. Celkový pohled 39
Obr. 41 Koncept 4. Pohled na utužovací část, dolní pozice klínu (vlevo), pozice klínu při pohybu dolů (vpravo) 40
Obr. 42 Koncept 5. Pohled na utužovací část, dolní pozice klínu (vlevo), pozice klínu při pohybu dolů (vpravo) 41
Obr. 43 Koncept 5. Celkový pohled 42
Obr. 44 Schéma klikového mechanismu: Horní obrázek: obecná poloha, Prostřední obrázek: krajní poloha, Dolní obrázek: silové poměry v obecné poloze 52
Obr. 45 Model klikového mechanismu s označenými okrajovými podmínkami v simulačním softwaru (Dynamická simulace) 54
Obr. 46 Znázornění pohybu klikového mechanismu 55
Obr. 47 Grafy: posunutí klínu, rychlost pohybu klínu, zrychlení klínu. 56
Obr. 48 Model klikového mechanismu s označenými okrajovými podmínkami v simulačním softwaru (Statická simulace) 57
Obr. 49 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von- Mises) pro vedení 58
Obr. 50 Vyhodnocení posunutí pro celý mechanismus 58
Obr. 51 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von-Mises) pro celý mechanismus 58
Obr. 52 Vyhodnocení posunutí pro celý mechanismus (Odlehčená konstrukce) 59
Obr. 53 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von-Mises) pro celý mechanismus (Odlehčená konstrukce) 59
Obr. 54 Odlehčená klika a táhlo v řezu 59

Obr. 55 Vyhodnocení ekvivalentního napětí (von- Mises) pro vedení a táhlo (Odlehčená konstrukce) 59
Obr. 56 Podávající systém 60
Obr. 57 Tvarovací systém 61
Obr. 58 Zavlačovací systém 61
Obr. 59 Utužovací systém 62

Seznam Tabulek

Tab. 1 Základní rozhodovací tabulka 44
Tab. 2 Detailní rozhodovací tabulka 46
Tab. 3 Parametry elektromotoru [7] 53
Tab. 4 Parametry kontroléru [7] 53
Tab. 5 Tabulka nákladů 63
Tab. 6 Tabulka funkcí 65
Tab. 7 Tabulka hodnotové analýzy 66

Přílohy

Příloha 1 – Výkres: SECÍ JEDNOTKA
Příloha 2 – Výkres: UTUŽOVACÍ SYSTÉM
Příloha 3 – Výkres: OJNICE
Příloha 4 – Výkres: OBJÍMKA
Příloha 5 – Výkres: KLÍN
Příloha 6 – Kusovník: KUSOVNÍK UTUŽOVACÍ SYSTÉM
Příloha 7 – Simulace
Příloha 8 – Výpočet