



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh plastového dávkovacího ústrojí
pro secí stroj**

**Design of a plastic metering device
for a seeder**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2024

Bc. Jan ŠKARYD

Studijní program: Dopravní a transportní technika

Studijní obor: Transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Jan Hoidekr, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Škaryd** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **491161**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Dopravní a transportní technika**
Specializace: **Transportní technika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh plastového dávkovacího ústrojí pro secí stroj

Název diplomové práce anglicky:

Design of a Plastic Metering Device for a Seeder

Pokyny pro vypracování:

- 1) Proveďte průmyslovou rešerši konstrukčních typů výsevních ústrojí
- 2) Proveďte patentovou rešerši klíčových prvků výsevního ústrojí
- 3) Analyzujte nedostatky současného konstrukčního řešení zadaného typu výsevního ústrojí
- 4) Navrhněte nové konstrukční řešení, které podpořte výpočetními simulacemi pomocí DEM (Discrete Element Method) a FEM (Finite Element Method)
- 5) Vytvořte 3D model navrženého řešení
- 6) Proveďte ekonomické zhodnocení vašeho návrhu oproti původnímu řešení.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Hoidekr, Ph.D. ústav konstruování a částí strojů FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **09.04.2024**

Termín odevzdání diplomové práce: **02.08.2024**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Jan Hoidekr, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. František Lopot, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci s názvem „Návrh plastového dávkovacího ústrojí pro secí stroj“ zpracoval samostatně pod vedením Ing. Jana Hoidekra, Ph.D. s použitím literatury, uvedené na konci práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 22. 5. 2024

.....
Bc. Jan Škaryd

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Janu Hoidekrovi, Ph.D. za vedení práce, Ing. Václavu Křepčíkovi Ph.D. a Bc. Vojtěchu Fialovi za poskytnutí cenných rad a odborné pomoci a celé rodině a přátelům za morální podporu během studia.

Anotační list

Jméno autora: Bc. Jan Škaryd
Název DP: Návrh plastového dávkovacího ústrojí pro secí stroj
Anglický název: Design of a plastic metering device for a seeder
Rok: 2024
Studijní program: N0716A270001 Dopravní a transportní technika
Obor studia: Transportní technika
Ústav: Ústav konstruování a částí strojů
Vedoucí DP: Ing. Jan Hoidekr, Ph.D.

Bibliografické údaje:

počet stran	88
počet obrázků	76
počet tabulek	9
počet příloh	3

Klíčová slova: dávkovací ústrojí, návrh, secí stroj
Keywords: metering device, design, seed drill

Anotace: Tato Diplomová práce se zabývá rešerší konstrukčních řešení
Česky dávkovacích ústrojí secích strojů a jejich historie, návrhem plastového dávkovacího ústrojí pro pneumatický secí stroj, následnou tvorbou 3D modelu a ověřením tohoto návrhu pomocí FEM a DEM analýzy.

Abstract: This Masters thesis describes the research into the past and
Anglicky present of metering devices for seed drills, the design of a plastic metering device for a pneumatic seed drill, subsequent creation of its 3D model and FEM and DEM analysis.

Obsah

Úvod.....	1
Teoretická část.....	2
1. Výsevní ústrojí.....	2
1.1 Dělení secích strojů.....	3
2. Individuální výsevní ústrojí.....	4
2.1 Válečkové výsevní ústrojí.....	4
2.2 Hrotové výsevní ústrojí.....	6
2.3 Lžičkové výsevní ústrojí.....	6
2.4 Kotoučové výsevní ústrojí.....	7
2.5 Páskové výsevní ústrojí.....	9
2.6 Pneumatické výsevní ústrojí.....	9
3. Centrální výsevní ústrojí.....	11
3.1 Pneumatické přetlakové centrální výsevní ústrojí.....	11
3.2 Odstředivé centrální výsevní ústrojí.....	12
4. Přehled současně používaných řešení.....	13
4.1 Horsch Pronto.....	13
4.2 Lemken Solitair.....	15
4.3 Väderstad Spirit.....	16
4.4 Kverneland DGII.....	18
4.5 Farnet Falcon.....	20
4.6 Amazone Primera.....	21
5. Patentová rešerše.....	22
5.1 Horsch EP4165967 A1.....	22
5.2 Horsch EP3662733 A1.....	25
5.3 Väderstad EP3358930 A1.....	26
5.4 Väderstad EP3413699 B1.....	27
5.5 Kverneland EP2862431 B1.....	28

5.6	Důsledky patentové rešerše	28
6.	Typy plastů v zemědělství	29
6.1	Polyetylen (PE)	29
6.2	Polyvinylchlorid (PVC)	29
6.3	Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)	29
6.4	Polypropylen (PP).....	30
6.5	Polyamid se skelnými vlákny	30
	Praktická část	31
7.	Stávající řešení dávkovacího ústrojí BEDNAR.....	32
8.	Návrh hrubé geometrie plastového ústrojí.....	34
8.1	Dvoudílné tělo ústrojí	36
9.	Simulace otěru pomocí Ansys RockyDEM.....	38
9.1	Charakteristika pracovního cyklu.....	38
9.2	Měření statického sypného úhlu draselné soli.....	39
9.2.1	Statické tření.....	41
9.3	Experimentální měření dynamického sypného úhlu	41
9.3.1	Dynamické tření.....	43
9.4	Způsob využití dávkovacího ústrojí.....	43
9.5	Výpočet hmotnostního toku ústrojím	44
9.6	Nastavení simulace	47
9.7	Diskuse výsledků simulace	48
9.7.1	Použití nerezové vložky	49
10.	Hybridní tělo dávkovacího ústrojí.....	51
10.1	Technologické požadavky	51
10.2	Vývoj hybridního ústrojí.....	52
11.1	Detailní popis hybridního těla.....	55
11.1.1	Popis vnitřního uspořádání.....	57
11.1.2	Univerzální boční víčka	59
11.1.3	Výměnná zadní víka	61

11.	Simulace pomocí FEM analýzy	63
12.1	Nastavení simulace a vstupní parametry	64
12.2	Diskuse výsledků	67
12.2.1	Ověření výsledků pro transport bez dávkovacího válečku.....	70
12.2.2	Ověření výsledků pro ucpání během otřesu stroje	71
12.3	Shrnutí výsledků simulace	72
12.	Technologické úpravy těla ústrojí	73
13.	Ekonomické zhodnocení.....	76
	Závěr	79
	Slovník odborných výrazů	80
	Citovaná literatura	81
	Seznam obrázků	84
	Seznam tabulek.....	87
	Seznam symbolů a zkratek.....	87
	Seznam příloh	88



Úvod

Jedním z nejdůležitějších zemědělských vynálezů, hned po ruchadlu bratranců Veverkových, byl secí stroj. Na rozdíl od ručního setí umožnil rovnoměrné dávkování osiva a jeho zapracování do půdy. Jeho počátky sahají až do 17. století, nicméně hlavní inovace v tomto sektoru nastaly až v 18. století, kdy došlo k vývoji několika druhů dávkovacích ústrojí. Nejrozšířenější byly v té době válečková a lžičková ústrojí, jejichž popis je uveden v následujících kapitolách teoretické části této práce. [1]

V druhé polovině 20. století pak dochází k zásadní inovaci v podobě vynálezu pneumatického secího stroje s centrálním zásobníkem na osivo. Ten vedl k zvětšení záběrů secích strojů na mnohdy až 20 metrů. Zásadním prvkem těchto secích strojů je dávkovací ústrojí, které dávkuje osivo do semenovodů, jež jej dopraví až k secím botkám a právě vývojem tohoto dávkovacího ústrojí se bude práce zabývat.

Práce se skládá z dvou hlavních částí, a to teoretické a praktické. Teoretická část se zabývá rešerší různých konstrukčních řešení dávkovacích mechanismů secích strojů, průzkumem trhu a konkurenčních řešení včetně rešerše patentů a plastů vhodných pro konstrukci ústrojí.

Praktická část pak obsahuje rozbor stávajícího konstrukčního řešení firmy BEDNAR FMT, shrnutí jeho výhod a nevýhod a následný návrh nového plastového dávkovacího ústrojí. Vývojový proces je detailně popsán a má několik iterací. Praktická část je také doplněna o analýzu otěru pomocí programu Ansys RockyDEM a FEM simulací celého dávkovacího ústrojí.

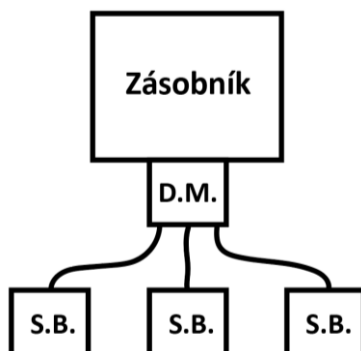
V úplném závěru práce je pak prezentován finální návrh a jeho nutné technologické úpravy společně s ekonomickým zhodnocením návrhu a návratnosti investice.

Teoretická část

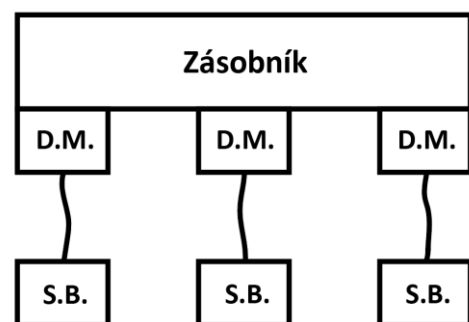
V této části bude představeno několik základních konceptů dávkovacích ústrojí, jejich historie a použití. Nadále pak průzkum trhu, rešerše stávajících patentů různých konkurenčních firem a rešerše možných plastů, použitelných pro konstrukci plastového dávkovacího ústrojí.

1. Výsevní ústrojí

Výsevní ústrojí je jednou z hlavních součástí secího stroje, která zajišťuje průchod přesného množství osiva do semenovodů a následně k secí botce. Výsevní ústrojí se dělí na ústrojí centrální (Obr. 1), u kterých jeden ústřední dávkovací mechanismus (D.M.) zajišťuje dávkování osiva pro všechny secí botky (S.B.) a ústrojí individuální (Obr. 2), kde každá secí botka má svůj vlastní dávkovací mechanismus. Individuální dávkování pak může mít buďto jeden zásobník pro každý dávkovací mechanismus, nebo centrální zásobník, z něhož jsou zásobovány všechny dávkovací mechanismy najednou.



Obr. 1 – Schéma centrálního výsevního ústrojí; D.M. - dávkovací mechanismus; S.B. – secí botka



Obr. 2 – Schéma individuálního výsevního ústrojí; D.M. - dávkovací mechanismus; S.B. – secí botka



Požadavky na výsevní ústrojí:

- minimální poškození semene při průchodu výsevními ústrojími;
- semena v řádku musí být v rovnoměrné vzdálenosti od sebe a v rovnoměrné hloubce;
- výsev se musí dávat jednoduše a přesně nastavovat podle požadavků různých plodin.

1.1 Dělení secích strojů

Secí stroje lze dělit dle několika kritérií, a to:

a) Dle způsobu zavěšení za traktor:

- i. přívěsné,
- ii. návěsné,
- iii. nesené.

b) Dle typu výsevního ústrojí:

- i. univerzální – pro výsev veškerého osiva,
- ii. pro přesné setí – pro výsev některých plodin, každá výsevní jednotka má svůj zásobník,
- iii. zvláštní – setí do nezpracované půdy,
- iv. kombisemy – speciální stroj, který jedním přejezdem půdu zpracuje, zapracuje do ní osivo a často i aplikuje chemickou ochranu nebo přihnojení.

c) Dle umístění výsevního ústrojí:

- i. individuální výsevní ústrojí – každý řádek má svůj vlastní dávkovací mechanismus,
- ii. centrální výsevní ústrojí – ústrojí má pouze jeden či dva dávkovací mechanismy, které přes distribuční hlavu dopravují semenovody semena k secím botkám.



2. Individuální výsevní ústrojí

Následující sekce se zaměří na různá konstrukční řešení individuálních výsevních ústrojí. Ačkoliv je individuální výsev nejčastěji spojován s přesným setím, určité typy individuálních ústrojí dominovaly i v tradiční setbě až do počátku nového tisíciletí. V dnešní době, kdy tyto modely dosáhly konce své životnosti, probíhá jejich nahrazování secími stroji s centrálním výsevem.

2.1 Válečkové výsevní ústrojí

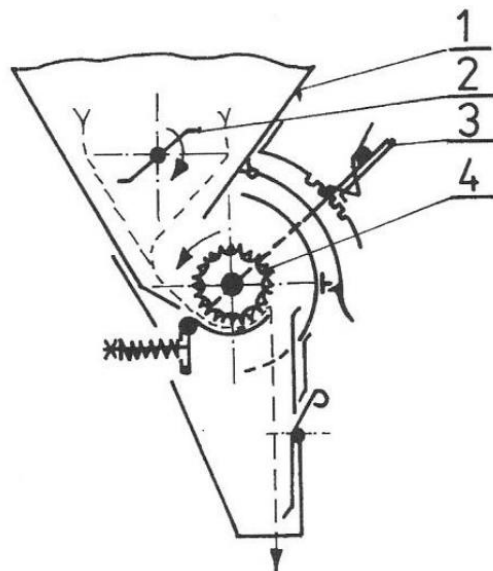
Tento typ výsevního ústrojí se umísťuje typicky pod zásobník osiva v tzv. výsevní komůrce. Výsevní komůrkou prochází hřídel, osazený žlábkovaným válečkem, který při otáčení hřídele vyhrnuje osivo buď spodem nebo vrchem. Spodním výsevem se vysévají převážně obiloviny, vrchním pak semena velká, nebo naopak velmi malá, a to ze dvou důvodů. U malých semen lze při vrchním výsevu docílit přesnějšího dávkování, zatímco u velkých semen se tato metoda používá zejména kvůli její větší šetrnosti vůči semenu a jeho menšímu poškození. [2][3]

Výsevní komůrka je od zásobníku na osivo oddělena uzavíratelnou přepážkou pro zastavení přísunu osiva. Nad touto přepážkou pak často bývá přítomen čechrač pro zlepšení průtoku osiva. Dno výsevní komůrky bývá pružné, aby se při přítomnosti cizího předmětu, například kamínku, bylo schopno odklonit a zabránit tak poškození rýhovaného dávkovacího válečku. V případě většího množství cizích předmětů však dochází k nerovnoměrnosti výsevu. K nerovnoměrnosti též dochází při malém množství osiva v zásobníku, a tak je doporučeno doplňovat zásobník, když je v něm stále 10–15 % osiva. [2][3]

Hřídel dávkovacího válečku bývá u starších secích strojů poháněna od pojezdového kola secího stroje, popřípadě napřímo od náhonu traktoru. Pro tento typ pohonu musí být otáčky vývodového hřídele traktoru závislé na pojezdové rychlosti, aby při zrychlení

traktoru došlo též k úměrnému zvýšení otáček dávkovacího válečku. U ještě starších strojů bývá zadní pojezdové kolo traktoru opatřeno řetězovým kolem, které pomocí kombinace řetězového a ozubeného převodu pohání výsevní ústrojí. Od těchto pohonů se v posledních dekádách ovšem ustupuje a nahrazují je snadno regulovatelné elektromotory připojené napřímo k hřídeli dávkovacího válečku.

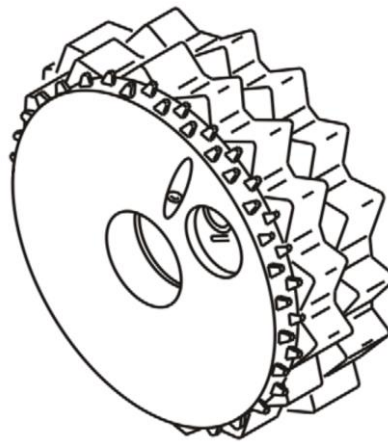
Válečkové výsevní ústrojí je univerzální a lze ho použít pro setí plodin jak s velkými, tak malými semeny. Mezi jeho výhody patří spolehlivý výsev i při větších otřesech secího stroje, při vyšších rychlostech a při velkém sklonu rámu. Nevýhodou je naopak větší riziko poškození semínka mezi dnem komůrky a dávkovacím válečkem. [2]



Obr. 3 - Válečkové výsevní ústrojí; 1 – zásobník na osivo; 2 – čechrač; 3 – páka nastavení průtoku semen; 4 – výsevní váleček [4]

2.2 Hrotové výsevní ústrojí

Hrotové výsevní ústrojí se značně podobá tomu válečkovému. Místo rýhovaného válečku ovšem dávkování probíhá pomocí několika válečků opatřených hroty umístěných za sebou tak, že každý další váleček je na hřídel umístěn s takovým natočením, aby hroty tohoto válečku byly mezi hroty toho předchozího. Na obrázku níže je zobrazen hrotový dávkovací váleček sečky Amazone D9, který je opatřen hrubými a jemnými hroty.

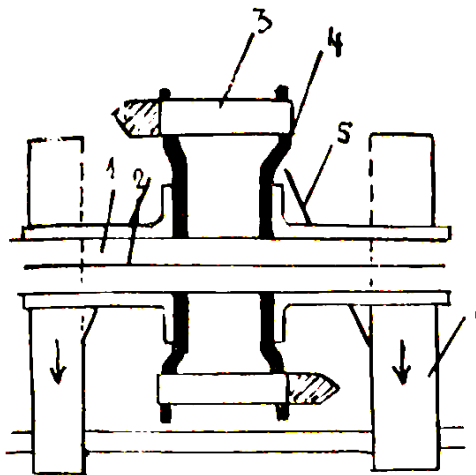


Obr. 4 - Hrotový váleček sečího stroje AMAZONE D9 [5]

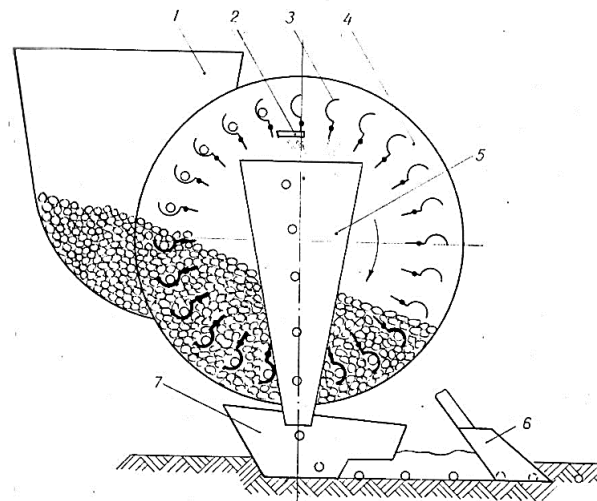
2.3 Lžičkové výsevní ústrojí

Lžičkový výsevní mechanismus je určen pro setí do dvojřádků. Pracuje mimo výsevní skříň ve výsevnících, kterými prochází dělená výsevní hřídel. Na této hřídeli je umístěn kotouč, tzv. lžičník, ze kterého na jeho obvodu vyčnívají lžičky nabírající osivo. Kotouč je dělený a každá jeho polovina je uchycena k odlišné části výsevního hřídele. Regulace průtoku osiva probíhá přibližováním, či oddalováním polovin kotoučů, a tak se mění aktivní délka lžiček.

Tento mechanismus dopraví semínka ze spodní úvrati do horní, ve které působením gravitace vypadnou z jednotlivých lžiček do semenovodu a dále do brázdy vytvořené secí botkou.



Obr. 5 – Lžičník [2]; 1 – výsevní hřídel; 2 – dělicí polovina; 3 – lžička; 4 – kotouč; 5 – odklopná stěna; 6 – výpadkový kanál



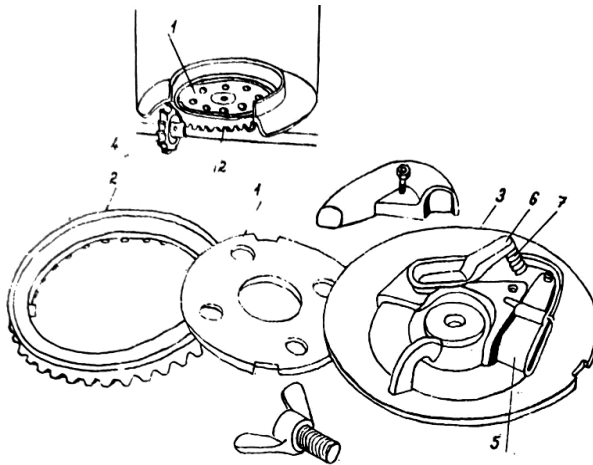
Obr. 6 - Lžičkové výsevní ústrojí [6]; 1 – zásobník na osivo; 2 – výstupek; 3 – lžička; 4 – lžičník; 5 – semenovod; 6 – zahrnovač; 7 - botka

Mezi výhody lžičkových ústrojí patří šetrnost vůči semenům a snadné seřízení dávky výsevu. Nevýhodou ovšem je jeho citlivost na otřesy. Při vyšších otřesech, vyšší rychlosti setí a práci ve svažitém terénu dochází ke zvyšování nerovnoměrnosti výsevu. [2]

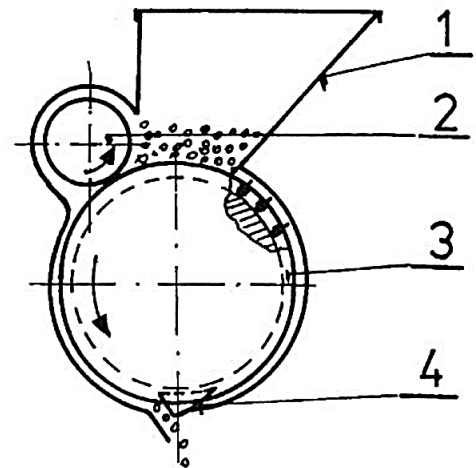
2.4 Kotoučové výsevní ústrojí

Hlavní částí tohoto výsevního ústrojí je disk, který je po jeho obvodu opatřen jamkami. Do těchto jamek zapadají vlastní vahou jednotlivá semena z výsevní skříně, které kotouč dopraví k vyhazovači. Důležitá je také přítomnost mechanismu, který zabrání nabrání několika semen zároveň. Konstrukční řešení tohoto stíracího mechanismu se liší podle typu kotoučového ústrojí. Rozlišují se dva hlavní typy:

- Kotoučové výsevní ústrojí s vertikální osou rotace;
- Kotoučové výsevní ústrojí s horizontální osou rotace.



Obr. 7 - Výsevní ústrojí s vertikální osou rotace [2];
1 – kotouč s otvory; 2 – prsten s ozubením; 3 – kryt;
4 – ozubené kolo pro pohon mechanismu; 5 – prst ke
shrnutí přebytečných semen; 6 – odpružený prst
vyhazování; 7 - pružina



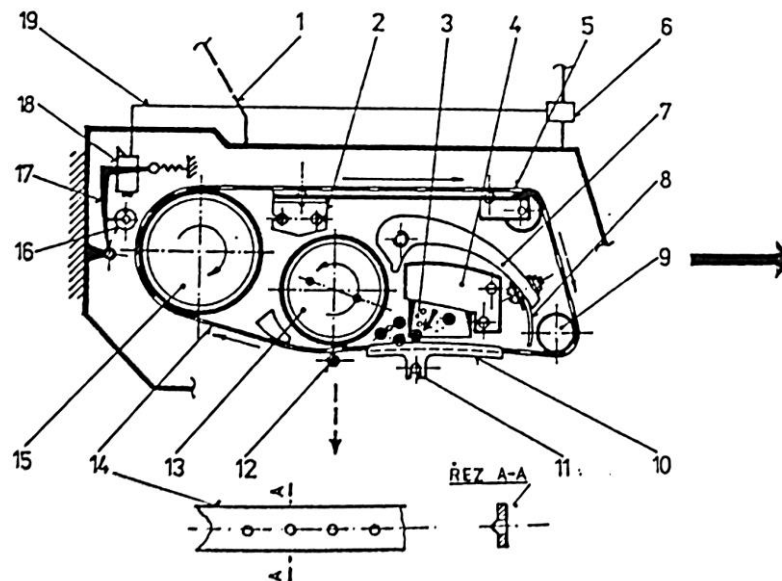
Obr. 8 - Výsevní ústrojí s horizontální osou rotace [4];
1 – zásobník; 2 – stírací kotouč; 3 – výsevní kotouč;
4 – nožový vyhazovač

Konstrukční řešení stíracího mechanismu, jak je vidět na obrázcích výše, funguje na odlišném principu pro různé osy rotace výsevního kotouče. Pro vertikální osu rotace je kotouč opatřen prstem, který zabraňuje nabrání více semen. Pro horizontální osu je pak prst nahrazen stíracím kotoučem otáčejícím se proti pohybu semen, který vyhazuje semena z prostoru nad jamkou. Obě tyto varianty mohou být buďto čistě kovové nebo pogumované. Z jamek pak semínko vypadne buďto samovolně působením gravitace, nebo mu dopomůže vyhazovač. Výsevní kotouče jsou vyměnitelné a otvory na obvodu mohou mít různý průměr, rozteč a velikost pro setí nejrůznějších plodin, neboť každá plodina má různě velká semínka a rozměr jamky musí přesně odpovídat jejich velikosti.

[2] [3] [4]

2.5 Páskové výsevní ústrojí

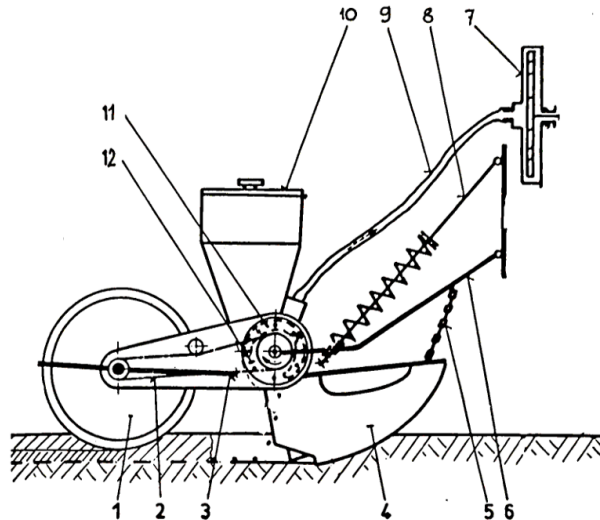
Páskové výsevní ústrojí funguje na velice podobném principu jako výsevní ústrojí kotoučové s přímým náběrem. Toto ústrojí vznikne nahrazením kotouče páskem s otvory. Dnes použití tohoto ústrojí již není tak časté.



Obr. 9 - Páskové výsevní ústrojí [3]– 1 – zásobník; 2 – seřizovací pásek; 3 – ústí zásobníku; 4 – hradítko; 5 – napínací kladka; 6 – konektor elektronické signalizace; 7 – horní část výsevní komory (nálitek); 8 – pryžový stěrač; 9 – vodící kladka; 10 – výkyvné dno; 11 – čep; 12 – semeno; 13 – odmítací váleček; 14 – výsevní pásek; 15 – hnací kotouč; 16 – feritová kladka; 17 – držák kladky; 18 – indukční cívka; 19 – vodič elektronických signálů regulace

2.6 Pneumatické výsevní ústrojí

Pneumatické výsevní ústrojí se podobá výsevnímu ústrojí kotoučovému s tím rozdílem, že do jamky je semínko zatlačeno tlakem vzduchu a není spoléháno na gravitaci. Pneumatické výsevní mechanismy se dělí na přetlakové, kdy je semínko do jamky zatlačeno tlakem vzduchu z přetlakovaného zásobníku na osivo, a podtlakové, kdy je semínko do jamky naopak přisáto. V současnosti na trhu převažují podtlaková výsevní ústrojí s horizontální osou rotace výsevního kotouče. [2]



Obr. 10 - Podtlakové kotoučové výsevní ústrojí [2]; 1 – zamačkávací kolečko; 2 – řetězový převod; 3 – zadní část rámu výsevní jednotky; 4 – secí botka; 5 – řetěz; 6 – přední část rámu; 7 – exhaustor; 8 – boční tyč s pružinou; 9 – hadice; 10 – zásobní skříň na osivo; 11 – podtlaková komora; 12 – výsevní kotouč

Podtlakové výsevní ústrojí tvoří děrovaný výsevní kotouč umístěný mezi podtlakovou komorou a zásobník na osivo. Otvory jsou v tomto případě, na rozdíl od netlakového kotoučového ústrojí, menší než samotné semínko. Důležitou součástí je pružný čechrač přitlačující výsevní kotouč na podtlakovou komoru, který zabraňuje nadměrné ztrátě podtlaku. Otáčení výsevního kotouče obstarává řetězový převod, který pro svůj pohon využívá odvalování zamačkávacího kolečka. Změnu výsevní dávky pak regulují buďto vyměnitelná řetězová kola, přítomnost převodové skříňe nebo výměna výsevního kotouče za kotouč s jinou roztečí děr. [2] [4]

Další možností pohonu výsevního kotouče je pomocí centrálního hnacího hřídele připojeného přes mechanický převod k hydrostatickému pohonu s regulací otáček řízenou hlavními pojezdovými koly. Na rozdíl od pohonu od zamačkávacího kolečka tak do systému není vnesena nepřesnost výsevu způsobená prokluzem tohoto kolečka. [3]

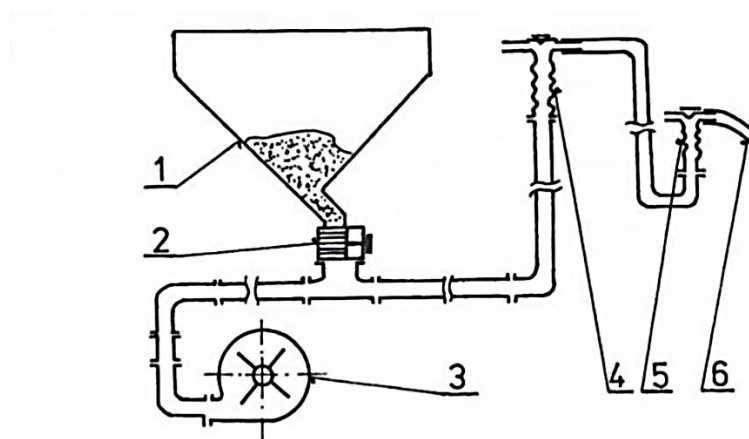
Semínka jsou kotoučem dopravena k výpadnímu prostoru, kde již nepůsobí podtlak, a tak mohou vlastní hmotností vypadnout před zamačkávací kolečko. Pokud by vlastní hmotností nevypadly, tak je mechanismus opatřen i škrabkou, která semínka z otvoru vytlačí. Podtlak pak zajišťuje exhaustor, v principu odsávací ventilátor, který je poháněn od zadního vývodového hřídele traktoru. [2]

3. Centrální výsevní ústrojí

Prodeje secích strojů s centrálním výsevem od počátku tisíciletí každým rokem rostly a nyní mají na trhu secích strojů vedoucí pozici. Nemají sice tolik variant konstrukčních řešení jako individuální výsevní ústrojí, nicméně následující krátký segment se bude věnovat právě jim.

3.1 Pneumatické přetlakové centrální výsevní ústrojí

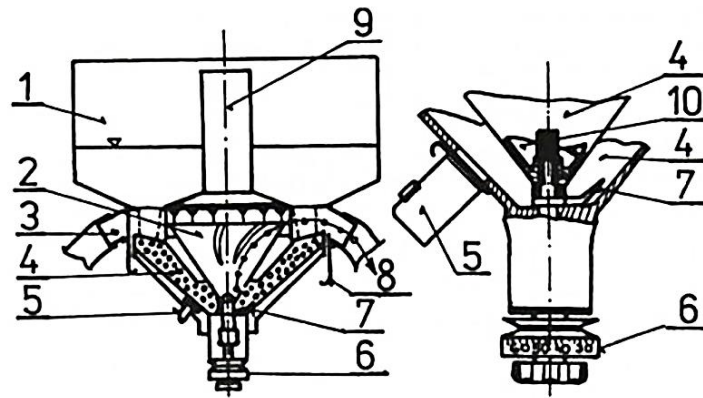
Výsevní ústrojí s centrálním dávkovacím mechanismem jsou vhodné především pro secí stroje s velkým záběrem. Tyto stroje obsahují centrální zásobník, pod nímž je přimontována dávkovací jednotka. Z této jednotky, jenž obsahuje komůrkový váleček dávkující potřebné množství osiva, vypadávají semena do potrubí. V tomto potrubí jsou pomocí vzduchu unášena k rozdělovací hlavě, která pak rozvádí semena hadicovými semenovody k jednotlivým secím botkám. Secí stroj může mít podle potřeby i více rozdělovacích hlav a tím dojde ke zvětšení pracovního záběru. Rozmístění semen mezi jednotlivými botkami ale není tak přesné jako u individuálních secích ústrojí. [4]



Obr. 11 - Pneumatické přetlakové centrální výsevní ústrojí [4]; 1 – zásobník; 2 – dávkovací mechanismus; 3 – ventilátor; 4,5 – rozdělovací hlavy; 6 – hadicový semenovod

3.2 Odstředivé centrální výsevní ústrojí

Centrální výsevní jednotka s odstředivým mechanismem obsahuje dutý výsevní kužel, do něž jsou semena přiváděna ze spodu. Vnitřní povrch kužele je opatřen lopatkami, které semenům dodávají rychlost. Odstředivé síly působící na semena pak způsobují jejich vzestup k hornímu okraji kužele, odkud vlétají do hadicových semenovodů umístěných po obvodu jednotky. Jejich počet je tedy omezený. [4]



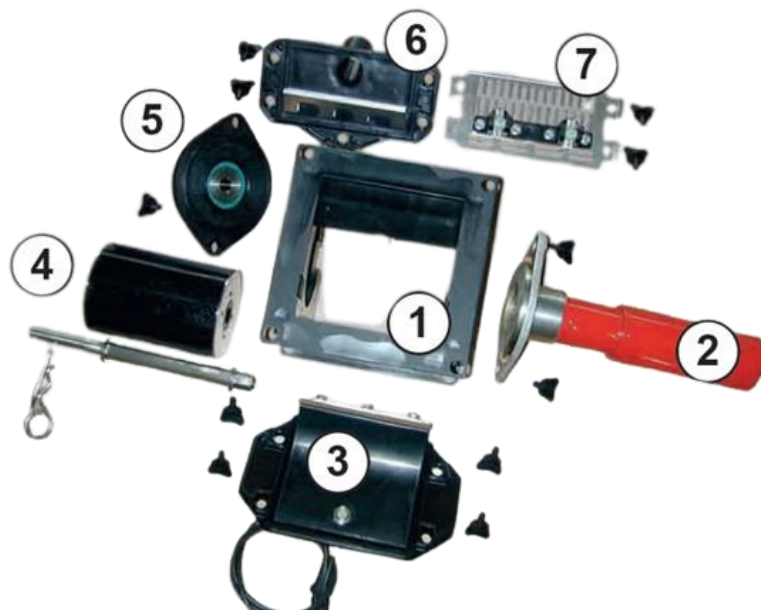
Obr. 12 - Odstředivé centrální výsevní ústrojí (4); 1 – zásobník; 2 – rotující kužel; 3 – semenovody; 4 – dávkované osivo; 5 – otvor na vypuštění zbytku osiva; 6 – regulační kolečko; 7 – čechrač; 8 – uzavírací šoupátko semenovodu; 9 – trubka; 10 - lopatky

4. Přehled současně používaných řešení

Před vlastním konstrukčním návrhem dávkovacího ústrojí byl proveden průzkum již existujících konstrukčních řešení předních výrobců zemědělské techniky. Všechna konkurenční řešení tvoří tělo dávkovacího ústrojí, které je vyrobeno buď z plastu nebo z nerezových plechů. Uvnitř těla je poté umístěn dávkovací váleček, který je v těle uchycen pomocí bočních víček, které umožňují jeho výměnu. Výjimku tvoří pouze firma Lemken, jejíž dávkovací váleček není vyměnitelný. Dále budou představeny odlišnosti různých ústrojí.

4.1 Horsch Pronto

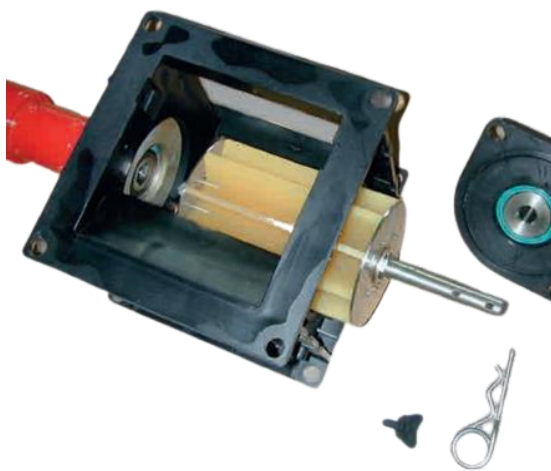
Výhodou dávkovacího mechanismu od firmy Horsch je možnost rychlé výměny dávkovacího válečku bez použití náradí. K dispozici je několik těchto válečků pro různé druhy osiva s rozličnými geometrickými tvary a velikostmi semena. Toto dávkovací ústrojí lze také použít pro různá hnojiva ve formě prášku nebo granulátu. Válečky jsou pak přizpůsobeny vlastnostem dávkované látky.



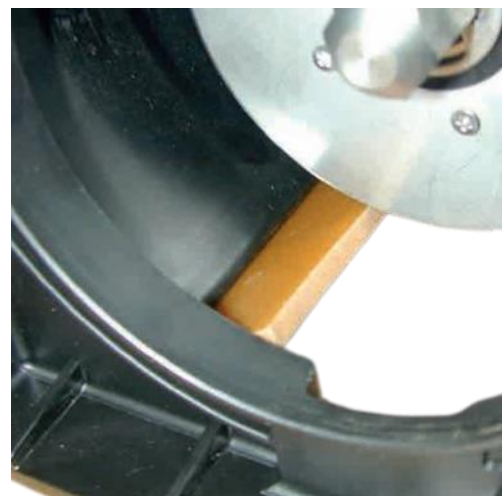
Obr. 13 - Dávkovací mechanismus Horsch [7]; 1 – tělo; 2 – Hnací motor; 3 – Vyprazdňovací klapka s těsnící chlopní; 4 – Váleček; 5 – Boční víko s uložením válečku; 6 – Boční víko s tlakovým zásobníkem a stíracím plechem; 7 – Boční víko pro normální zásobník s řepkovými kartáči

Samotná konstrukce tohoto dávkovacího mechanismu se opírá převážně o plastové materiály, které jsou na místech, kde není možné využití plastů, nahrazeny nerezovými součástmi. Plastový dávkovací váleček obsahuje kromě samotného žlábkovaného válečku také nerezové pouzdro a bočnice.

Dávkovací mechanismus je dodáván s jedinou hřídelí, takže při výměně válečků dochází pouze k výměně samotných válečků na této hřídeli. Takovýto postup umožňuje úsporu nákladů v porovnání s přímým uchycením válečku na hřídeli.



Obr. 14 - Detail dávkovacího mechanismu Horsch [7]



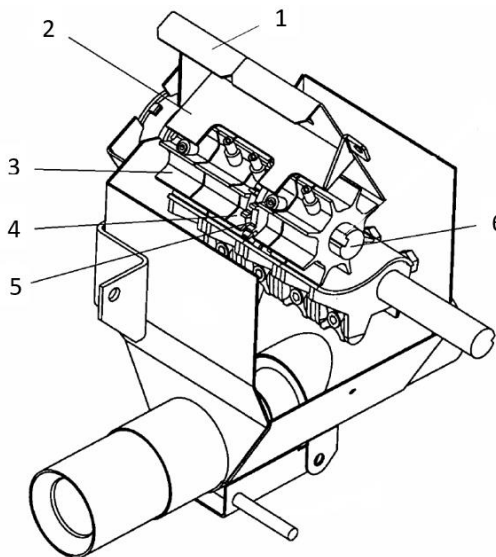
Obr. 15 - Těsnící chlopeč [7]

Hřídel je poté umístěna v plastovém tělu, na němž je na jedné straně instalován malý elektromotor a na straně druhé odnímatelný segment s ložiskem. Spodní část těla je opatřena těsnící chlopní, která přiléhá na váleček a zabraňuje tak nadměrnému průchodu semen. Je instalována s předpětím a montáž probíhá jejím nasunutím z boku po odejmutí bočního krytu s ložiskem. [7]

4.2 Lemken Solitair

Firma Lemken u secích strojů Solitair vyrábí z plastu pouze válečky. Zbytek dávkovacího ústrojí tvoří tenký plech v kombinaci s nerezovými díly.

Je opatřeno systémem Multi-Section dávkování, který secímu stroji umožňuje vypínání dávkování pro specifické části záběru. Dokáže tak optimalizovat distribuci osiva a tak například zamezit nechtěnému dvojitému zasetí stejného místa u trojúhelníkových polí.

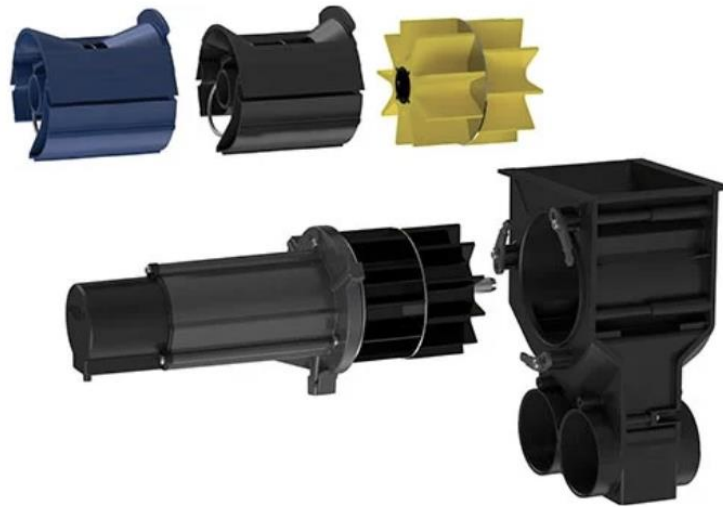


Obr. 16 - Dávkovací ústrojí secího stroje Lemken Solitair [8]; 1 – uzavírací šoupátka; 2 – zarážkový plech; 3 – široká secí kolečka; 4 – úzká secí kolečka; 5 – jemná secí kolečka; 6 – secí hřídel

Secí hřídel dávkovacího ústrojí je vybavena celkem sedmi secími kolečky, a to dvěma jemnými, dvěma úzkými a třemi širokými. Mezi jednotlivými secími kolečky, kromě jemných, jsou umístěny oddělovací kotouče, které zajišťují nezávislou práci každého secího kolečka.

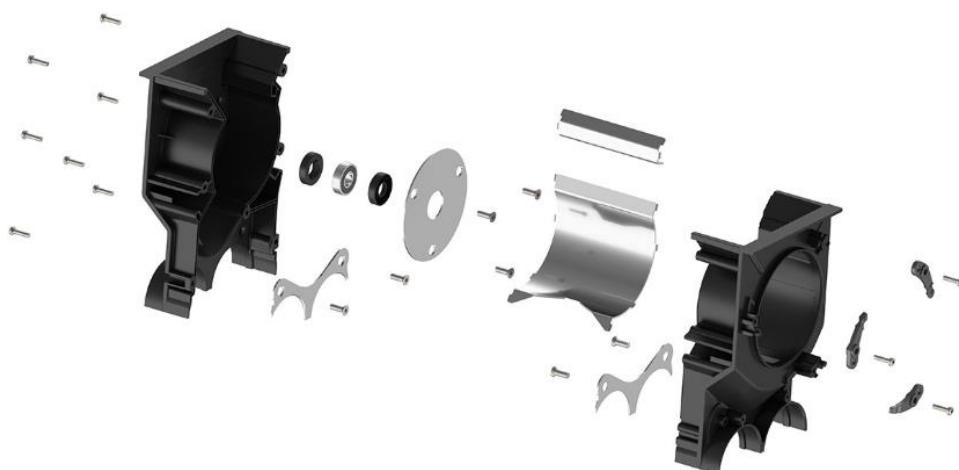
Všechna kolečka lze zapínat a vypínat zvlášť, takže je možné nastavit několik různých kombinací pro secí hřídel. Zapínání a vypínání secích koleček je pak provedeno zarážkovými šrouby, které se nachází přímo v secích kolečkách. Narozdíl od dávkovacího mechanismu firmy Horsch není nutná jejich demontáž, ale pouhé povolení zarážkových šroubů a tak jejich odpojení od hřídele. [8]

4.3 Väderstad Spirit



Obr. 17 - Hlavní komponenty dávkovacího ústrojí Fenix III [9]

Secí stroje produktové řady Spirit od švédské firmy Väderstad jsou vybaveny dávkovacím ústrojím Fenix III, jehož konstrukce je tvořena převážně plastovými díly. Tělo dávkovacího mechanismu obsahuje na zadní stěně a podávací straně vložku z nerezové oceli, která zvyšuje jeho odolnost vůči abrazivním materiálům, a tak je možné toto ústrojí použít i pro mikrogranuláty.



Obr. 18 - Tělo dávkovacího ústrojí Fenix III [9]

Dávkovací ústrojí je pak dodáváno se čtyřmi typy výsevních válečků a umožňuje tak dávkování široké škály semen a hnojiv variací různých rychlostí. Tyto válečky mají, podobně jako u firmy Horsch, nerezové pouzdro. Na rozdíl od nich ale výsevní váleček ústrojí Fenix III tvoří dva polyuretanové žlábkované flexibilní segmenty oddělené nerezovou přepážkou, které omezí pulsování materiálu přes dávkovací ústrojí a zajistí rovnoměrnější výsevek.

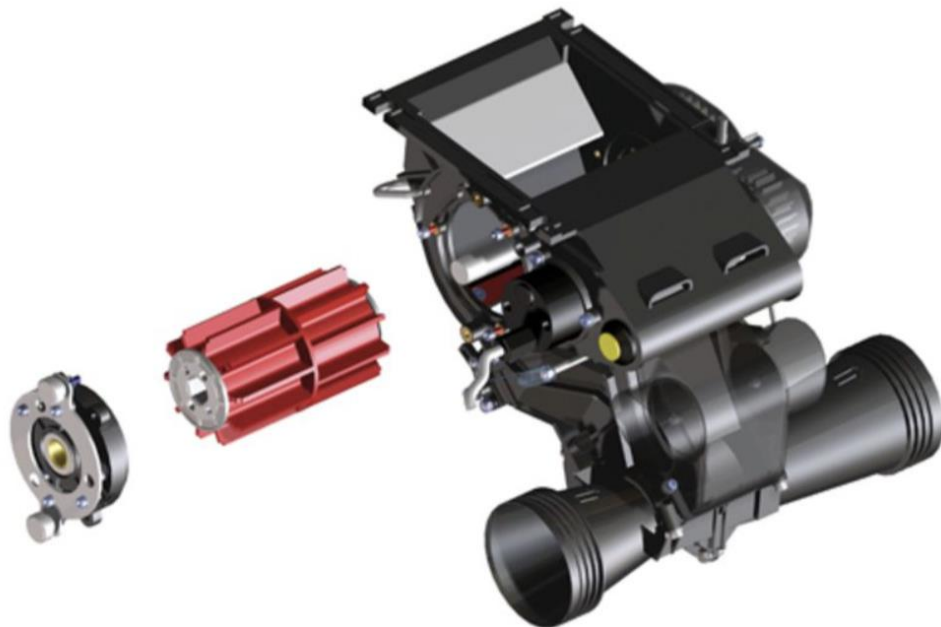


Obr. 19 - Součásti mechanismu dávkovacího ústrojí Fenix III [9]

Dávkovací ústrojí je pak poháněné elektromotorem o výkonu 40 W, který za pomoci převodovky s redukcí 64:1 umožňuje pracovat při nižších otáčkách, zvýšit točivý moment a snížit pravděpodobnost zablokování dávkovacího mechanismu. [9]

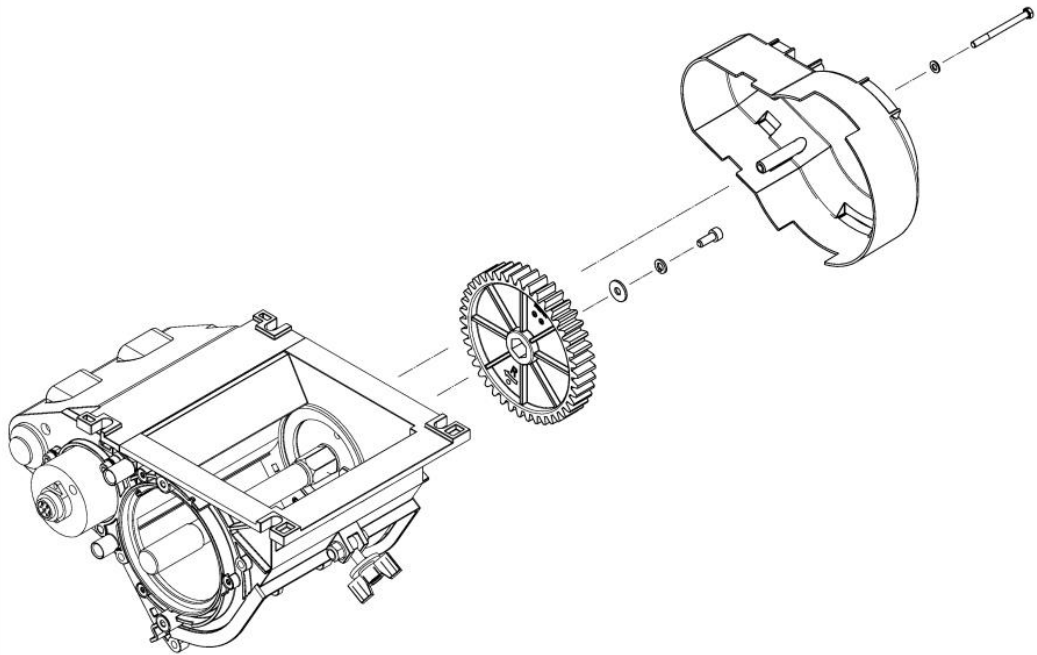
4.4 Kverneland DGII

Všechny moderní secí stroje od norského výrobce Kverneland produktových řad DGII, U-Drill, E-Drill a dalších, používají elektricky poháněné dávkovací ústrojí ELDOS. Konstrukcí je velmi podobné dávkovacímu ústrojí od firmy Väderstad. Tělo mechanismu je plastový s nerezovým vložkou pro zvýšení odolnosti proti opotřebení, a tak je možné dávkovací ústrojí ELDOS použít jak pro dávkování osiva, tak i hnojivového granulátu.



Obr. 20 - Dávkovací ústrojí Kverneland ELDOS [10]

S každou dávkovací jednotkou je dodáváno pět výsevních válečků pro různé velikosti a tvary semen a hnojiv. Jejich výměna je pak možná zcela bez použití nářadí a bez potřeby vyprazdňovat zásobník. Dávkovací ústrojí navíc obsahuje senzory, které obsluhu upozorní v případě instalace nevhodného výsevního válečku. [11]



Obr. 21 - Detail konstrukce dávkovacího ústrojí Kverneland ELDOS [12]

Čím se konstrukce ústrojí ELDOS zásadně odlišuje od předchozích ústrojí je montáž elektromotoru mimo osu výsevního válečku. Motor je uložen paralelně s válečkem a váleček je poháněn přes ozubené kolo na boku těla. [13]

4.5 Farmet Falcon

Dávkovací mechanismus vyráběný českou firmou Farmet pro její secí stroje produktové řady Falcon je konstrukčně méně vyspělý než dávkovače ostatních firem. Většinu jeho těla tvoří nerezový plech a jedinou plastovou součástí je přední víko sloužící pro výměnu dávkovacích válečků.

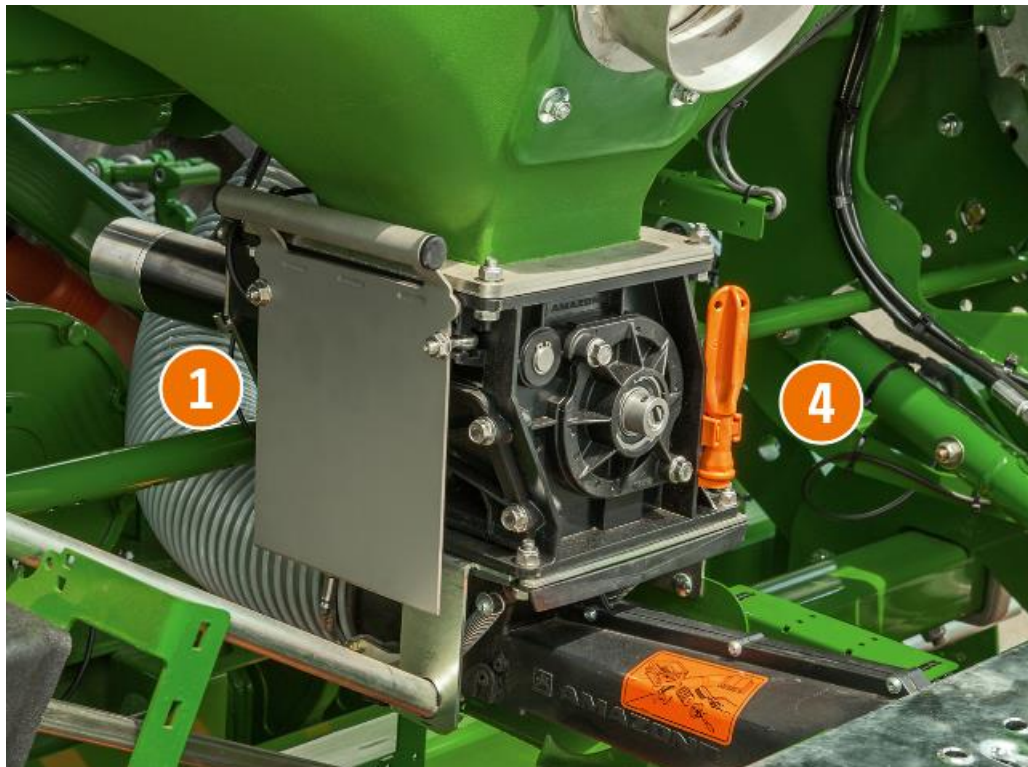


Obr. 22 - Dávkovací ústrojí secích strojů Farmet Falcon [14]

Další části konstrukce poté vykazují podobné rysy jako konkurence. Hlavní součástí je systém vyměnitelných válečků, uložených souose s elektromotorem, které se na rozdíl od firem Horsch a Väderstad dají vysunout i radiálně po odmontování plastového víčka, namísto pouze jejich axiálnímu vysunutí u konkurence. Stejně jako u firmy Horsch je toto dávkovací ústrojí opatřeno těsnicí chlopní ve spodu skříně a pro velká semena jako jsou například fazole nebo kukuřice je pak dávkovací jednotka dodávána s deflektorem, který zabrání vzpříčení semen mezi tělem dávkovače a válečkem. [14]

4.6 Amazone Primera

Tento výrobce z německého Hasbergenu používá u všech svých pneumatických secích strojů, včetně secího stroje Amazone Primera, dávkovací ústrojí Amazone Airstar. Tělo tohoto ústrojí je opět tvořeno z velké části plastovými díly. Dávkovací váleček je měněn axiálně a k jeho výměně je zapotřebí zablokování přísunu osiva pomocí přiloženého nerezového plechu (Obr. 23 – poz. 1) pokud je zásobník plný. Pro jeho demontáž blokovacího plechu z přepravní pozice je pak tato dávkovací jednotka dodávána s nástrojem (Obr. 23 – poz. 4) pro snadné povolení matic. Konstrukce je jinak velice podobná ostatním plastovým dávkovacím ústrojím. Elektromotor je opět uložen axiálně s válečkem, tělo obsahuje několik demontovatelných plastových panelů, včetně čelního panelu s ložiskem a uvnitř těla se opět nachází nerezová vložka pro zvýšení odolnosti proti abrazi granuláty a hrubými zrny.



Obr. 23 - Dávkovací ústrojí Amazone Airstar [15]

5. Patentová rešerše

Patentová rešerše představuje důležitý krok vývojového procesu daného konstrukčního řešení. Pomocí ní identifikujeme existující patenty, které mohou omezit možnosti vývoje a nutí nás tak přemýšlet o unikátních a inovativních přístupech k dané problematice.

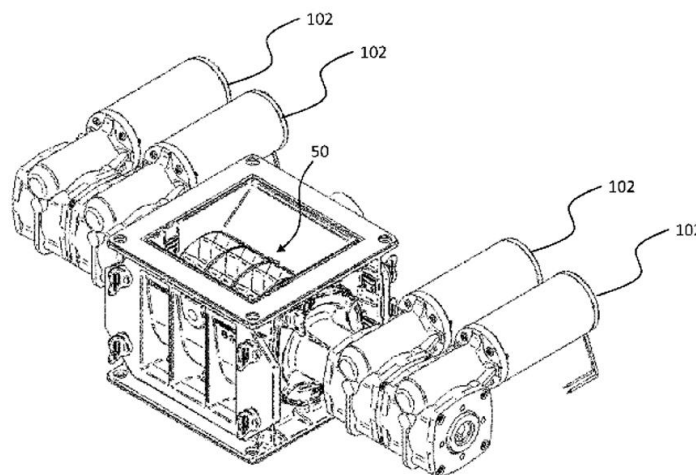
V rámci patentové rešerše byly nalezeny související patenty týkající se dané problematiky a jejich seznam je uveden v příloze. V následujících několika podkapitolách je popsán pouze jejich užší výběr, který nejvíce limituje předpokládané konstrukční řešení.

5.1 Horsch EP4165967 A1

Zdaleka nejproblematictější je pro předpokládané konstrukční řešení evropský patent EP4165967 A1 německé firmy Horsch.

Při použití dávkovacího ústrojí pro secí stroj s vícesegmentovou secí lištou, kde každý segment vyžaduje nezávislou regulaci dávky osiva, by bylo obvykle nutné instalovat dva samostatné dávkovací mechanismy. To vede k zásadnímu navýšení rozměrů secího stroje. To je například u nesených secích strojů problematické.

Alternativním řešením je využití jednoho dávkovacího ústrojí s jednou komorou, ve které by se nacházel dělený váleček s dvěma nezávisle poháněnými sekcemi. Každá sekce válečku by byla poháněna vlastním elektromotorem a sekce by mezi sebou byly propojeny rotační vazbou. Tím by bylo dosaženo individuální regulace dávky osiva a zároveň by nedošlo k zásadnímu navýšení prostorových požadavků na zástavbu dávkovacího ústrojí.



Obr. 24 - Dávkovací ústrojí dle patentu EP4165967 A1; 50 - dávkovací váleček, 102 - motor pohonné jednotky dávkovacího ústrojí [16]

Tímto patentem je chráněn dávkovací systém, který:

- 1) Má alespoň dva nezávisle ovladatelné segmenty jejichž motory jsou vůči sobě paralelně.
- 2) Má dávkovací váleček z alespoň dvou segmentů, které jsou nezávisle ovladatelné a spolu sousé.
- 3) Má dávkovací váleček popsany v předchozích bodech, jehož pohon zajišťuje pohonná jednotka skládající se ze dvou motorů kde každý motor pohání jeden segment.
- 4) Má dávkovací ústrojí popsané v předchozích bodech s dvěma pohonnými jednotkami, kde všechny motory jsou sousé s válečkem.
- 5) Má dávkovací ústrojí popsané v předchozích bodech, kde motory pohonné jednotky jsou umístěny na pouze jedné straně ústrojí.
- 6) Má dávkovací váleček, popsany v předchozích bodech, jehož alespoň dvě části jsou uchyceny ve společném pouzdru.
- 7) Má dávkovací váleček popsany v předchozích bodech, který obsahuje společnou podpěrnou osu, vůči které jsou segmenty válečku axiálně zajištěny.



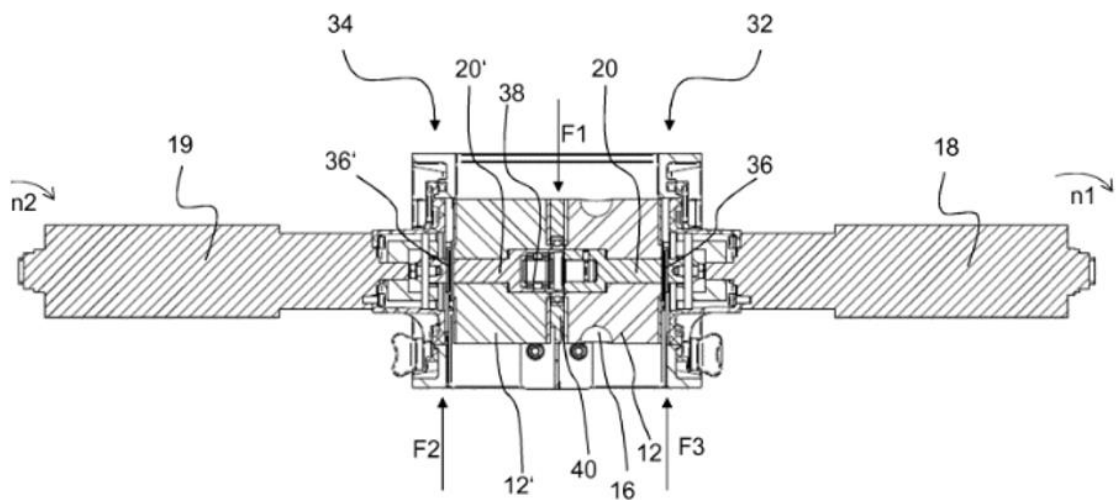
Následujících 28 nároků patentu se týká všech možností souosého uchycení segmentů dávkovacího válečku. Tento patent tedy vylučuje přítomnost několika-segmentového dávkovacího válečku uchyceného na společné ose a poháněného pohonnou jednotkou, sestávající se z jednoho a více motorů, kde tato jednotka je uložena souose s osou válečku. [16]

Další patent firmy Horsch, který je aplikovatelný na secí stroje s nezávislým dávkováním pro různé sekce secího stroje je patent EP3918897 A1. Tento patent se zaměřuje na spojení několika dávkovacích válečků v odpovídajícím množství dávkovacích komor prostřednictvím jednoho hřídele.

Podobné řešení aplikuje i patent EP3918898 A1, který navíc umožňuje axiální posunutí dávkovacích zařízení podél společné osy dle zvoleného dávkovacího režimu.

5.2 Horsch EP3662733 A1

Nezávislé nároky tohoto patentu popisují dávkovací zařízení secího stroje obsahující váleček v dávkovacím mechanismu, který se skládá ze dvou částí, přičemž každá část má svoje vlastní pohonné ústrojí a tím je zajištěna nezávislá regulace dávky osiva do obou sekcí secího stroje.



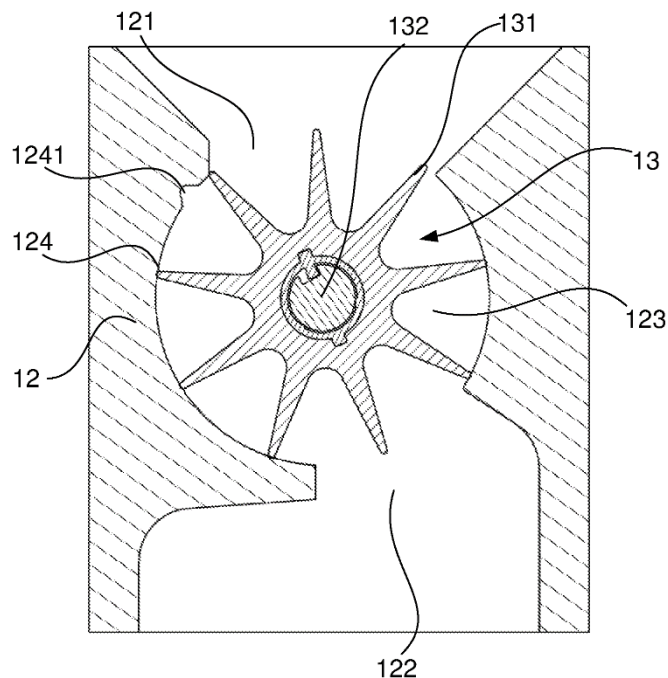
Obr. 25 - Dávkovací ústrojí chráněné patentem EP4165967 A1; 12 – dávkovací váleček, 18/19 – motory, 32/34 – sekce válečku [17]

Toto řešení, stejně jako u patentu EP4165967 A1 spoléhá na společnou osu, která je tentokrát vložena mezi dvě sekce dávkovacího válečku. [17]

Společně s předchozími patenty tak i tento vylučuje použití děleného válečku pro dávkování dvou odlišných dávek, a tak bude zapotřebí použití dvou dávkovacích ústrojí pro vícesegmentové secí stroje.

5.3 Väderstad EP3358930 A1

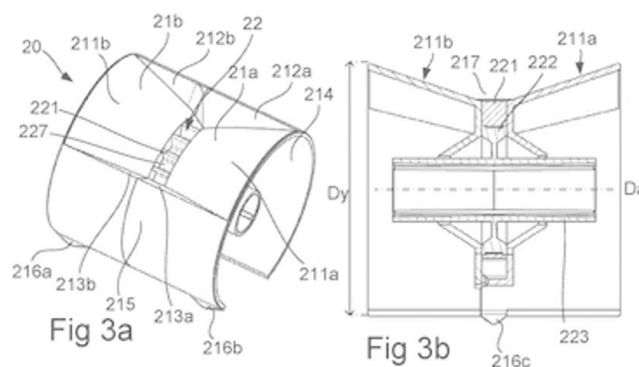
Tento patent firmy Väderstad popisuje dávkovací mechanismus, jehož hlavními komponenty jsou dávkovací váleček z pružného materiálu a dávkovací komora, jejíž vnitřní průměr je menší než průměr válečku. Váleček je tak v neustálém kontaktu se stěnou a je tak zabráněno ztrátě tlaku v přetlakovém zásobníku na osivo. Stěna těla pak obsahuje rýhu, vedoucí paralelně s osou válečku po celé délce kontaktní plochy, která zastává funkci stěrky a zabraňuje uchycení osiva mezi stěnou těla a výstupky válečku. [18]



Obr. 26 - Dávkovací zařízení dle patentu EP3358930 A1; 12 – dávkovací zařízení, 123 – prostor pro dávkovací váleček, 121 – vstup, 122 – výstup. 124 – stěna dávkovacího ústrojí, 1241 – rýha, zastávající funkci stěrky, 131 – pružný váleček, 132 – osa válečku [18]

5.4 Väderstad EP3413699 B1

Klíčová součást plastového dávkovacího ústrojí je nerezová vložka, zabraňující nadměrné abrazi komory. Kromě pružného dávkovacího válečku má firma Väderstad také patentovanou speciálně tvarovanou vložku, uzpůsobenou k vložení do dávkovacího prostoru a společně s válečkem tvoří vzduchotěsný uzávěr. Vložka, jak ukazuje obrázek níže, též svou skloněnou částí navádí dávkovaný materiál do buněk dávkovacího válečku.

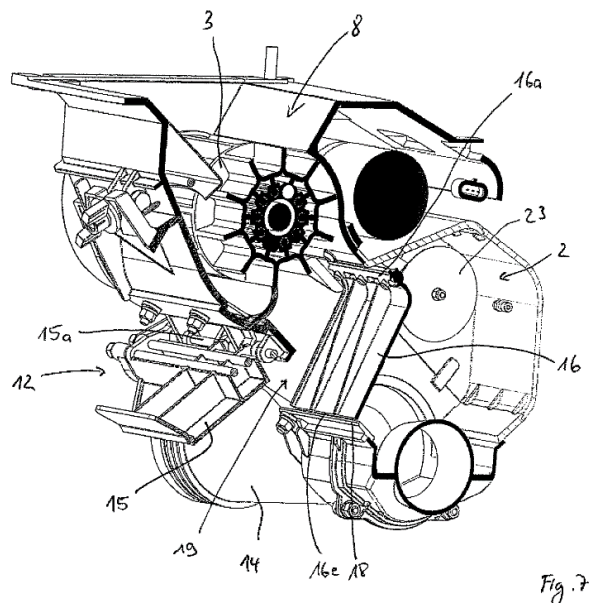


Obr. 27 - Vložka dávkovacího ústrojí dle patentu EP3413699 B1 [19]

Firma Väderstad kromě evropského patentu tohoto konstrukčního řešení vlastní též patent americký, švédský a kanadský, avšak všechny tyto patenty chrání téměř totožnou nerezovou vložku. [19]

5.5 Kverneland EP2862431 B1

Nároky tohoto patentu od firmy Kverneland popisují dávkovací ústrojí, jehož tělo obsahuje vychylovací klapku, která při procesu kalibrace dávky přesměruje tok osiva ze semenovodu do kalibračního vývodu. Klapka obsahuje pružinu, která klapku navrácí do dávkovací pozice a v základním stavu klapky tak zabrání propadnutí osiva do kalibračního vývodu. [20]



Obr. 28 - Dávkovací ústrojí dle patentu EP2862431 B1; 8 – vstup, 12 – klapkový mechanismus, 15 – klapka, 16 – defleční klapka [20]

5.6 Důsledky patentové rešerše

Jedním z požadavků firmy BEDNAR FMT na nové dávkovací ústrojí byla přítomnost děleného válečku podobného firmě Horsch. Ten by umožnil dávkování do více sekcí bez použití několika dávkovacích ústrojí. Toto konstrukční řešení je ale konkurencí velice dobře chráněno a tak jakákoliv sousost sekcí válečku je patenty výše zakázána.

Patenty firmy Väderstad a Kverneland poté limitují možnosti použití pružného válečku, tvarové vložky směřující osivo do dávkovacího válečku a použití klapky v těle dávkovacího ústrojí pro kalibrační výsev.



6. Typy plastů v zemědělství

V posledních letech se začíná v zemědělství používat více a více plastových dílů. Je to zejména kvůli jejich nízké ceně oproti dílům z jiných materiálů. Pomocí tlakového lití plastů dokážeme nahradit složitý svařovaný díl, složený z velkého množství výpalků, jedním plastovým dílem. Nevýhodou je ovšem vysoká cena formy pro tlakové lití, a tak je vhodné plastové díly použít u velkosériových dílů. [21]

6.1 Polyetylen (PE)

Polyetylen je univerzální a často používaný plast. Je známý pro svou pevnost a odolnost proti nárazům, snadno se formuje a zpracovává. Díky jeho schopnosti přežít náročné provozní podmínky je ideální pro výrobu součástí těžkých strojů. Tento materiál je navíc odolný proti vlhkosti, a tak se hodí pro výrobu součástí vystavených vodě. Polyetylen má také malý koeficient tření, což z něj činí vhodný materiál pro aplikace, ve kterých je potřeba snížit tření na minimum. [21]

6.2 Polyvinylchlorid (PVC)

PVC je polymer s dlouhou životností, dobrou odolností proti nárazům, chemikáliím a povětrnostním vlivům. Často se proto používá v těžkých strojích a zemědělských aplikacích. PVC je ideálním řešením pro situace, ve kterých hraje velkou roli cena. Jedná se totiž o levný a snadno zpracovatelný materiál. Je ideální pro venkovní použití, neboť kromě pevnosti a trvanlivosti disponuje také skvělou schopností odolávat povětrnostním vlivům. [21]

6.3 Akrylonitrilbutadienstyren (ABS)

Pod zkratkou ABS se nachází termoplast známý pro svojí vysokou tuhost a pevnost. To z něj dělá materiál vhodný pro výrobu objemných částí, které musí být pevné a stabilní. ABS je běžnou volbou pro aplikace, při kterých je zařízení vystaveno



hrubému zacházení, neboť kromě tuhosti a pevnosti je totiž také, jako všechny zmíněné plasty, odolné proti nárazu. Navíc je vhodné pro tlakové lití komplexních součástí, neboť má dobrou rozměrovou stabilitu a lze jej snadno formovat do složitých tvarů. Má také vynikající izolační vlastnosti a je tak vhodné pro použití i v elektronice. [21]

6.4 Polypropylen (PP)

Polypropylen je lehký a pevný materiál s dobrou odolností proti nárazům, chemikáliím a vlhkosti. Je tedy nejlepší volbou pro situace, kdy je zařízení vystaveno náročným podmínkám prostředí. Má také vysokou odolnost proti únavě a otěru a na první pohled se tak jeví jako neoptimálnější pro použití v dávkovacím ústrojí secího stroje. Je též dobrou volbou pro elektrická zařízení, neboť má vynikající izolační vlastnosti. Stejně jako ABS ho pak je možné tlakově lít do složitých forem a má skvělou rozměrovou stabilitu. [21] [22]

6.5 Polyamid se skelnými vlákny

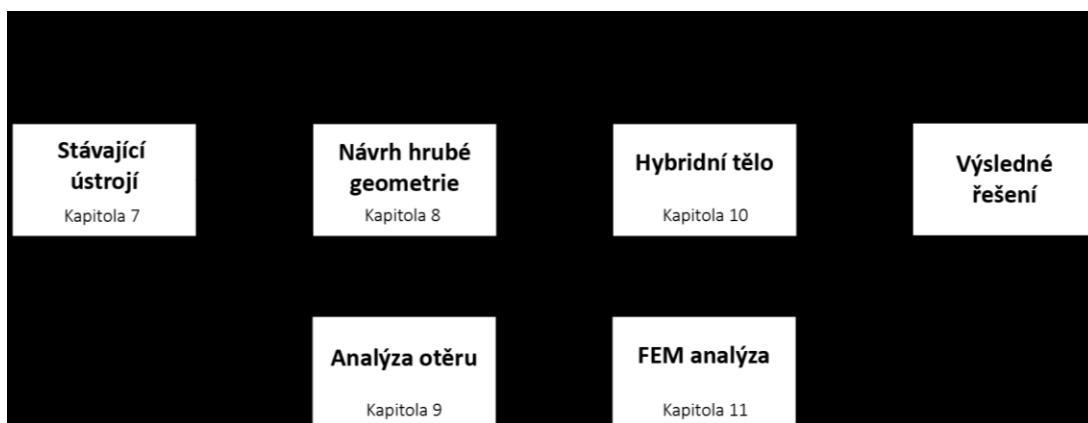
Pokud bychom zanedbali kompozitní materiály, tak by se jako optimální materiál pro tlakové lití těla dávkovacího ústrojí jevil polypropylen. Příměsí skelných vláken do polyamidu ale vznikne kompozitní materiál, který svými vlastnostmi mnohdy převyšuje i hliník. Polyamid je k dostání s 30, 40 a 50 % skelných vláken. Je vysoce pevný, tuhý, dobře odolává tlaku a opotřebení a má vysokou rozměrovou stabilitu. Těmito vlastnostmi je tak ideální pro aplikace, jako je tato, kde je materiál vystaven vysokým zatížením. Má navíc pevnost v tahu srovnatelnou s hliníkem. [23]

Praktická část

Praktická část práce probíhala ve spolupráci s firmou BEDNAR FMT a jejím hlavním cílem je návrh funkčního plastového dávkovacího ústrojí, které nahradí stávající nerezový dávkovač používaný na secích strojích firmy BEDNAR. V této části bude diskutováno stávající dávkovací ústrojí a bude popsán celý vývojový proces nového dávkovacího ústrojí využívající plastové díly. Navíc tato část obsahuje simulaci otěru těla ústrojí hnojivem, včetně popisu sběru dat potřebných pro simulaci a pevnostní simulaci výsledného návrhu pomocí FEM analýzy.

Nerezové ústrojí je poměrně nákladné, a tak je zapotřebí nahradit co možná největší množství dílů díly plastovými. Dochází také k ucpávání tlakovací hadice osivem a při výsevu řepky navíc k lepení osiva na dávkovací váleček. Tyto problémy musí nové ústrojí eliminovat a zároveň mít životnost minimálně pět sezón. Cíly práce jsou:

- Navržení dávkovacího ústrojí využívající co největší množství plastových dílů.
- Navržení zadního víčka, které omezí ucpávání tlakovací hadice.
- Navržení systému průběžného čištění dávkovacího válečku.



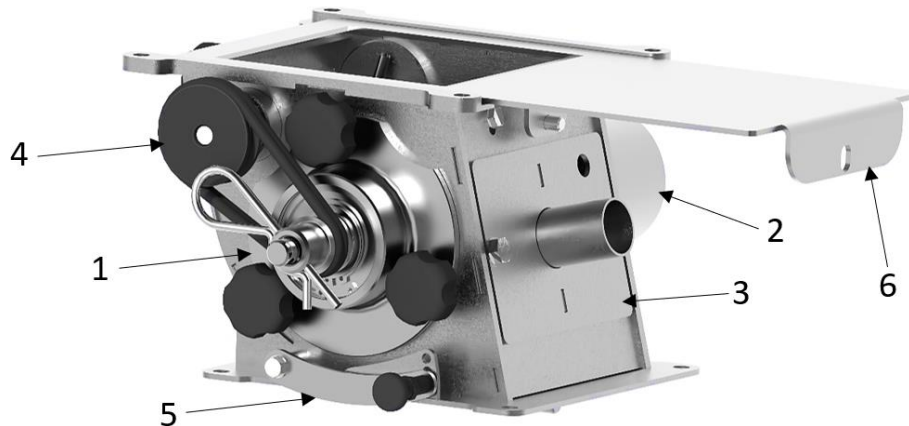
Obr. 29 - Schéma praktické části diplomové práce

Požadavky na dávkovací ústrojí jsou následující:

- Nízká cena,
- Životnost pět sezón,
- Snadná zaměnitelnost s původním dávkovacím ústrojím.

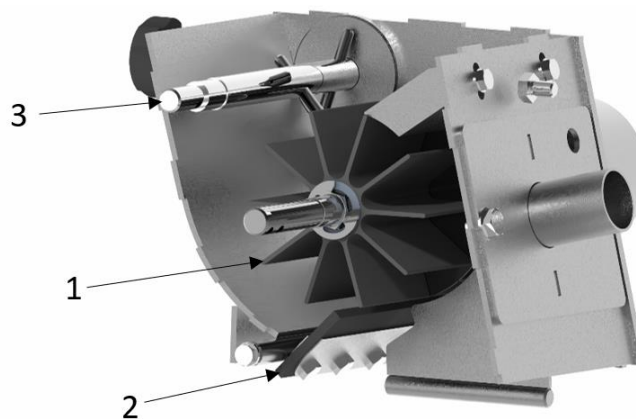
7. Stávající řešení dávkovacího ústrojí BEDNAR

Na Obr. 30 je zobrazeno aktuální nerezové dávkovací ústrojí užívané na secích strojích EFECTA, OMEGA, MATADOR, externích zásobnících na hnojivo FERTI-BOX a FERTI-CART a externím zásobníku na osivo SEED-BOX. Základním prvkem tohoto ústrojí je svařenec z nerezových plechů o tloušťce 2,5 mm doplněný o obrobené části z nerezové oceli. Svařenec má rozměry 170x200x250 (VxŠxD) a je osazen na obou stranách víčky zajišťující uchycení válečku. Víčko na pravé straně dávkovacího ústrojí též obstarává funkci úchytu pohonné jednotky s převodovkou.



Obr. 30 - Stávající nerezové dávkovací ústrojí na strojích firmy BEDNAR; 1 – levé víčko; 2 – pravé víčko s úchytem elektromotoru; 3 – zadní víčko s otvorem pro senzor a úchytem tlakovací hadice; 4 – pohon čehrače; 5 – aretace stěrky; 6 – šoupátkový mechanismus k uzavření toku osiva

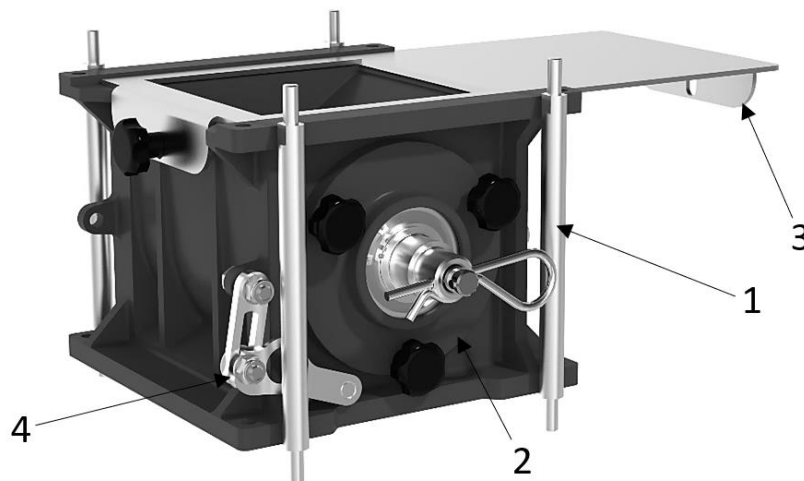
V místě vstupu se nachází čechrač, který napomáhá lepšímu toku osiva. Jeho pohon je zajišťován dvěma řemeny, které propojují osu válečku a plastovou řemenicí na ose čechrače. Ve spodní části se nachází stěrka, která stírá přebytečné částičky dávkované látky, aby prošly jen ty, které se nacházející v buňkách válečku. Na zadní straně dávkovacího ústrojí se nachází svařenec víčka obsahující trubku, k níž je uchycena hadice tlakující zásobník na osivo. V pravém horním rohu tohoto svařence se nachází otvor pro tlakový senzor.



Obr. 31 - Řez nerezovým dávkovacím ústrojím; 1 – dávkovací váleček; 2 – stěrka; 3 – čechrač

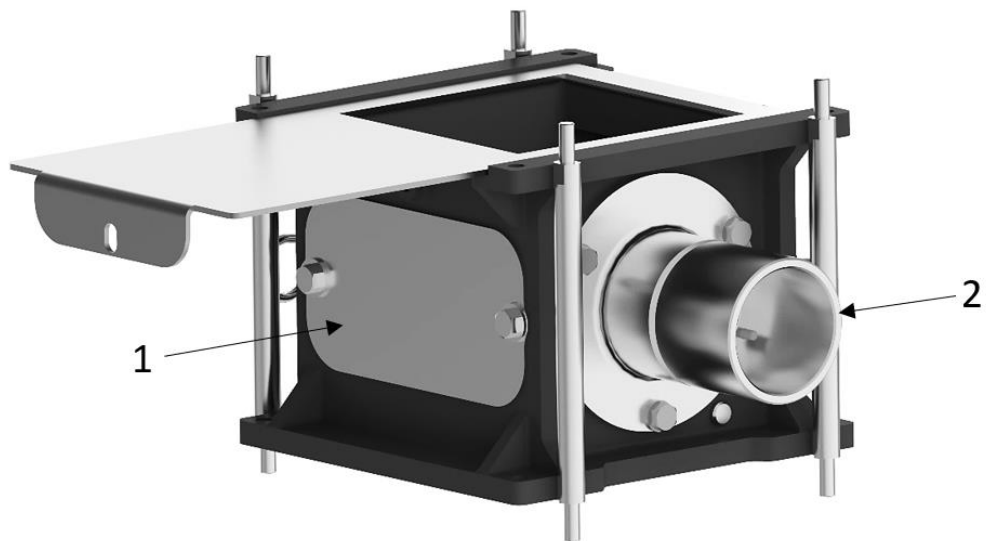
8. Návrh hrubé geometrie plastového ústrojí

Mezi nevýhody plastu, oproti nerezovému svařenci, patří jeho nižší pevnost a náchylnost na únavový lom. Secí stroje firmy BEDNAR používají tělo dávkovacího ústrojí jako nosný prvek semenovodů, a tak je nutné plastovou konstrukci správně dimenzovat. Prvním dílčím cílem bylo zjistit, zda je tělo odlitelné jako jeden kus pomocí tlakového lití. Místo složitého tvarování plastového těla tak, aby simulačně splnil požadované zatížení, bylo toto zatížení deflektováno pomocí čtyřech nosných tyčí mimo plastovou konstrukci. Tyče totiž přímo propojují přírubu zásobníku na straně horní a přírubu semenovodu na straně spodní. Nosné tyče navíc mají osazení, které zabraňuje nadměrnému dotažení šroubů a tím destrukci plastového těla.



Obr. 32 - První verze plastového dávkovacího ústrojí; 1 – nosné tyče; 2 – levé víčko; 3 – šoupátkový mechanismus; 4 – nový aretační mechanismus stěrky

Vzhledem k nutnosti deflektovat zatížení mimo plastovou konstrukci vznikl konstrukční nárok na posunutí úchytných přírub dávkovacího ústrojí přímo pod sebe. Vzhledem k zástavbovým limitacím na celkovou výšku ústrojí tak zanikla možnost použití čechrače, což je jedna z hlavních nevýhod tohoto návrhu. Nicméně účelem tohoto návrhu je spíše vytvořit hrubou geometrii, na které je možné iterovat a přiblížit se tak k finálnímu řešení.



Obr. 33 - Pravá strana prvního návrhu plastového dávkovacího ústrojí; 1 – zadní nerezové víčko; 2 – pravé víčko s úchytem elektromotoru

Jako držák motoru byl použit stávající nerezový obrobek a stejně tak i šoupátkový mechanismus zůstal z původní nerezové verze nepozměněn.

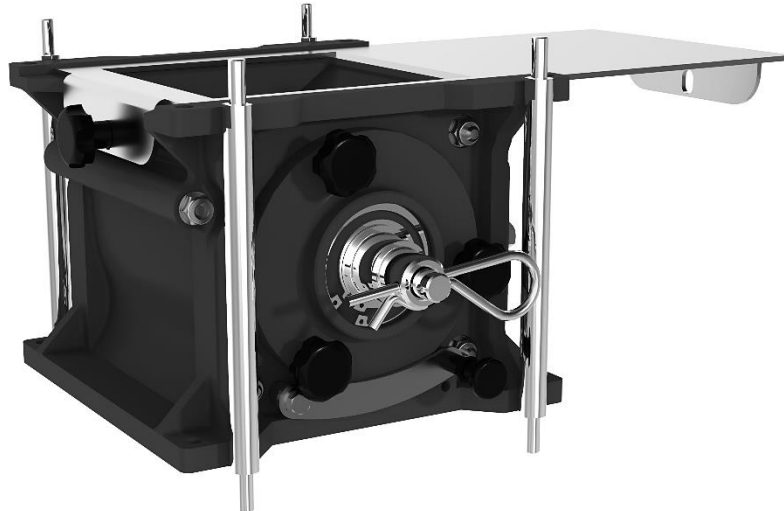


Obr. 34 - Jednodílné plastové tělo dávkovacího ústrojí

Plastové tělo s velkým množstvím výběžků a zákoutí je ovšem prakticky nevyrobitelné. Forma by musela být z velkého množství složitých dílů. Byla by tak velice nákladná a trvalo by několik let, než by se celková úspora na ústrojí vyrovnala počátečním nákladům. Je tedy třeba na tomto řešení iterovat a jednodílný plastový odlitek nahradit tělem ze dvou částí.

8.1 Dvoudílné tělo ústrojí

Mezi zásadní změny návrhu v této iteraci patří rozdělení těla výsevního ústrojí na dva a nastavitelné řešení aretace polohy spodní stěrky se třemi polohami.



Obr. 35 - Druhá iterace plastového dávkovacího ústrojí

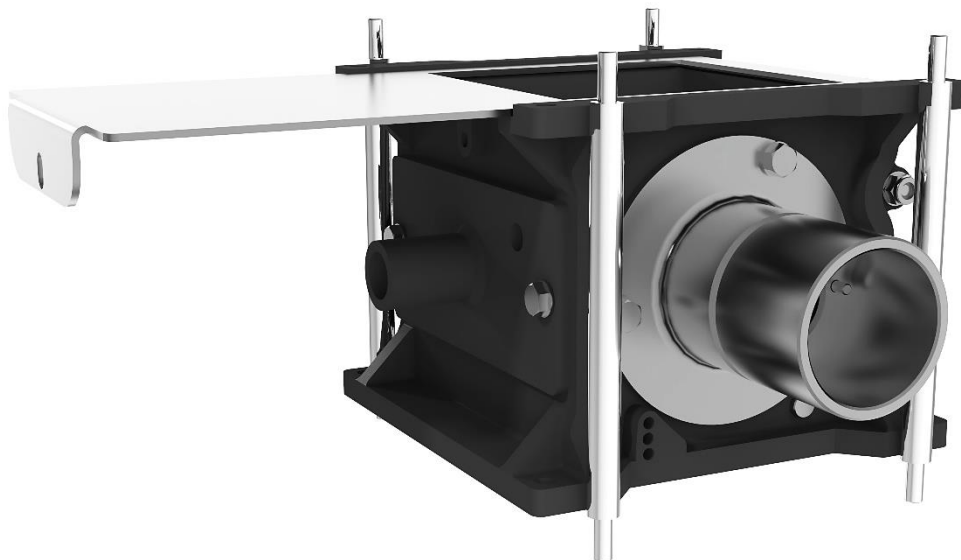
Aby byla zajištěna dostatečná tuhost dvoudílného těla je zapotřebí vymyslet řešení, které by co nejlevněji propojilo oba díly. U této iterace je tato problematika řešena pomocí čtyř tyčí se závitem na obou koncích, které oba díly pevně spojují. Navíc je jedna polovina těla opatřena výběžky, které zapadají do prohlubní části druhé.



Obr. 36 – Návrh dvoudílného těla dávkovacího ústrojí

Důležitá je poloha švu mezi oběma díly. Existuje nemalá pravděpodobnost, že umístění švu přímo do středu by mohlo vést ke zvětšenému opotřebení, neboť by se semínka mohla zachytávat o nedokonale doléhající plochy. K největšímu otěru totiž bude pravděpodobně docházet přesně uprostřed dávkovacího ústrojí a umístění koncentrátoru otěru přímo do tohoto místa by bylo značně kontraproduktivní.

Aby mohl být použit stejný díl šoupátkového mechanismu, jako na nerezovém ústrojí, je také potřeba zachovat umístění fixačního závitu nacházejícího se uprostřed horní části těla.



Obr. 37 - Pravá strana druhé iterace plastového dávkovacího ústrojí

Pravá strana těla zůstala na první pohled téměř totožná s prvním návrhem. Jediné zásadní změny na obou bocích ústrojí je pootočení děr pro závitové vložky o 30°, aby na spodní straně boku těla vzniklo dostatečné místo pro mechanismus aretace polohy stěrky. Dále pak pár nutných úprav polohy a tvaru výztuh pro zajištění dostatečného prostoru pro klíče při utahování matic tyčí, jež drží tělo pohromadě.

Zadní víko bylo nahrazeno plastovým. Je ale nejspíše zbytečně robustní, stejně jako zbytek plastového těla. Zde je tedy pořád místo pro vylepšení návrhu. Nicméně odebírání materiálu bude možné až po provedení pevnostní analýzy.



9. Simulace otěru pomocí Ansys RockyDEM

Důležitou součástí návrhu je také jeho ověření pomocí simulace odolnosti vůči otěru. Pro simulaci byl zvolen software Ansys RockyDEM. Následující text se bude zabývat získáním experimentálních dat pro nastavení simulace, diskusí simulace a jejím vyhodnocením.

9.1 Charakteristika pracovního cyklu

Pro správné zadání vstupních hodnot do simulace proudění dávkovaného materiálu ústrojím je třeba znát charakteristiku pracovního cyklu, ve kterém bude dávkovací ústrojí použito. Zdaleka nejabrazivnější látkou, na kterou musí být dávkovací zařízení dimenzováno jsou nikoliv osiva běžných plodin, ale draselná sůl. Draselná sůl (chlorid draselný) je hnojivo typicky používané pro základní hnojení u pěst, jež jsou náchylné ke kornatění – vzniku tenké, nepropustné krusty na povrchu polí. Její požadovaná dávka pro nejčastější plodiny je uvedena v tabulce níže. [24]

Tab. 1 - Aplikační dávky draselné soli pro nejčastější plodiny [24]

Kultura	Dávka v kg/ha
Pšenice ozimá	180-300
Ječmen setý	250-400
Žito	180-300
Řepka olejná	200-350

Z Tab. 1 plyne, že největší dávku draselné soli vyžaduje ječmen setý, a to až 400 kilogramů na hektar. Tato dávka tedy bude použita jako jedna ze základních vstupních hodnot do simulace.

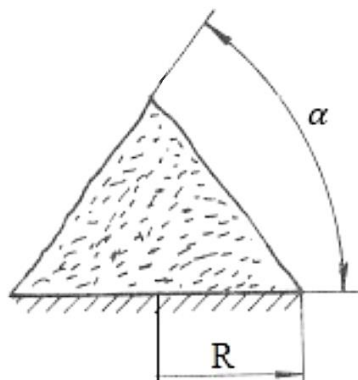
Dalším vstupním parametrem jsou materiálové vlastnosti draselné soli, které jsou uvedeny v Tab. 2. Vzhledem k výpočetní náročnosti simulace bude pro výpočet použita granulovaná forma vzhledem k větším rozměrům částic. Čím větší rozměr částic, tím menší bude jejich celkový počet v simulaci při zachování stejného hmotnostního toku dávkovacím ústrojím, a tak tedy i klesne výpočetní náročnost.

Tab. 2 - Materiálové vlastnosti draselné soli [24]

Vlastnost	Hodnota
Sypaná hmotnost	1030 kg/m ³
Ve formě krystalické:	
Obsah částic pod 1 mm	min. 95%
Obsah částic nad 4 mm	max. 1,5%
Ve formě granulované:	
Obsah částic 1-5 mm	min. 95%
Obsah částic pod 1 mm	max. 3%

9.2 Měření statického sypného úhlu draselné soli

Sypný úhel je parametr, z něž je možné určit vnitřní koeficienty tření mezi jednotlivými částicemi sypkého materiálu. Jedná se o úhel, který svírá vrchní vrstva volně nasypaného materiálu vzhledem k vodorovné rovině.



Obr. 38 - Sypný úhel [25]

Experimentální měření probíhá sypáním vzorku na desku z postupně se zvedající válcové násypky dle normy ČSN EN 12047. Otvor této násypky je nutno držet co nejbližší ke kuželu tvořeného sypaným materiálem, aby byl minimalizován vliv dopadajících částic. Sypný úhel pak není měřen napřímo, ale dopočítán pomocí výšky kužele a jeho poloměru z rovnice (1). [25]

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h}{R}\right) \quad (1)$$



Obr. 39 - Přípravek na měření statického sypného úhlu

Samotný měřicí přípravek použitý při laboratorním měření je pak znázorněn na Obr. 39. Skládá se z několika OSB desek tvořících rám měřícího boxu a PVC trubky uchycené v kluzném uložení nad měřícím terčem. PVC trubka je pak opatřena aretačním kroužkem umožňující nastavení maximální možné výšky vysunutí.

Vzhledem k metodě měření je pro výpočet sypného úhlu nutno upravit rovnici (1) a zohlednit vrchní poloměr trubky r , který činí 50 mm. Za h se dosadí výška vysunutí trubky, která byla konstantní pro všech deset měření, a to 60 mm. R značí spodní poloměr nasypného kužele.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{h}{R-r}\right) \quad (2)$$



Tab. 3 - Naměřené a vypočtené hodnoty

Číslo měření [-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Poloměr R [mm]	115	115	120	120	120	125	120	120	120	125
Sypný úhel α [°]	42,7	42,7	40,6	40,6	40,6	38,7	40,6	40,6	40,6	38,7

Výsledkem experimentu je průměrná hodnota sypného úhlu o hodnotě $\alpha = (40,64 \pm 1,26)^\circ$.

9.2.1 Statické tření

Statické vnitřní tření mezi jednotlivými částicemi sypkého materiálu lze určit ze sypného úhlu. Lze tedy sestavit silovou rovnováhu (3) částice umístěné na povrch kuželu volně nasypného materiálu.

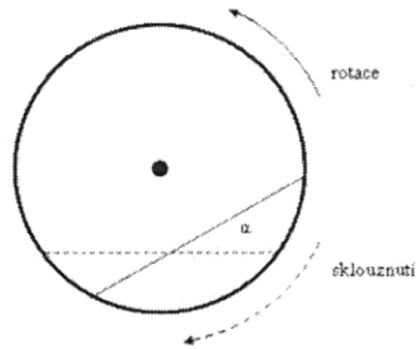
$$m \cdot g \cdot \sin \alpha = f \cdot g \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

V této rovnici m značí hmotnost částice, g gravitační zrychlení, f koeficient vnitřního tření a α sypný úhel. Tuto rovnici můžeme upravit a zredukovat na vztah uvedený v rovnici (4) a vypočítat tak výsledný statický koeficient vnitřního tření.

$$f = \operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(40,64^\circ) = 0,858 \quad (4)$$

9.3 Experimentální měření dynamického sypného úhlu

Pro měření dynamického sypného úhlu bude použita nestandardizovaná metoda rotujícího válce. Kdy je do válce nasypáno určité množství sypké látky a následně je s ním otáčeno konstantní rychlostí. Vrchní vrstva látky následně zaujme úhel α_D , který slouží k následnému výpočtu dynamického koeficientu tření.



Obr. 40 - Schéma měření dynamického sypného úhlu (25)

Měřicí přípravek pro měření dynamického úhlu se skládá z válce, do nějž je měřená látka vsypána a na jedné straně uzavřena průhledným víkem. Skrz něj je možné na odečítat dynamický sypný úhel za stupnice přiložené před víko.



Obr. 41 - Měření dynamického sypného úhlu

Při měření dochází v horní části válce k převalování materiálu. Tuto část je tedy nutno z měření vyjmout a měřit úhel pouze části spodní, aby nedocházelo ke zkreslení výsledků. Tyto naměřené hodnoty jsou pak uvedeny v Tab. 4.

Tab. 4 - Naměřené hodnoty dynamického sypného úhlu

Číslo měření [-]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sypný úhel α_D [°]	33	29	31	32	32	31	34	31	30	32

Z těchto hodnot je opět, stejně jako u měření statického sypného úhlu, spočítán průměr dynamického sypného úhlu $\alpha_D = (31,5 \pm 1,36)^\circ$.

9.3.1 Dynamické tření

Koeficient dynamického tření je pak vypočítán ze stejné rovnice jako koeficient statického tření a jeho výpočet je uveden níže.

$$f_D = tg\alpha_D = tg(31,5^\circ) = 0,613 \quad (5)$$

9.4 Způsob využití dávkovacího ústrojí

Pro výpočet bude uvažováno nejintenzivnější zatížení dávkovacího ústrojí, tedy kombinace 12 m secího stroje EFACTA CE 12000 s přihnojováním z předně neseného zásobníku na hnojivo



Obr. 42 - Polopásový traktor New Holland T8 s 9 m secím strojem OMEGA a přihnojováním z předně neseného zásobníku na hnojivo FERTI-BOX [26]

Dále je pro stanovení simulačních parametrů potřeba znát očekávanou celkovou zasetou plochu. Jedním z hlavních požadavků je, aby dávkovací ústrojí bylo dostatečně robustní na to, aby vydrželo pět sezón. V tabulce níže je uvedena očekávaná pracovní výkonnost podle uživatelů.

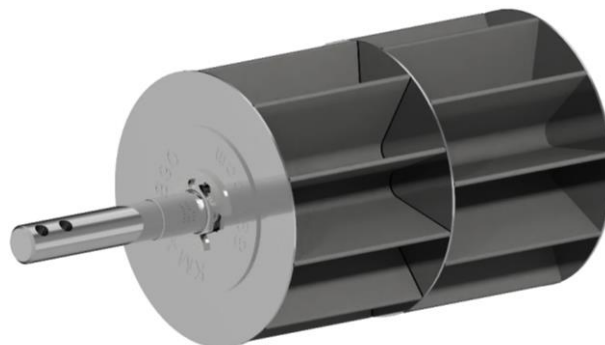
Tab. 5 - Podnikové statistiky o uživatelích strojů BEDNAR

Typ uživatele	ha/rok	ha/5 let
Průměrný uživatel	2000	10 000
Velký podnik	3000	15 000
Službař	3500	17 500

Jak je vidět v tabulce, tak k nejintenzivnějšímu použití bude docházet k provozu ve službách, tj. u uživatelů, kteří nemají vlastní pozemky, ale poskytují služby ostatním zemědělcům. Službaři za sezónu zasejí násobně větší plochu než průměrný uživatel strojů BEDNAR. Pro zajištění odolnosti a spolehlivosti dávkovacího ústrojí tedy bude dimenzováno na hypotetickou situaci, kdy službař bude sít každý rok po dobu pěti sezón pouze ječmen na ploše 3500 hektarů s výše zmíněným secím strojem EFECTA s přihnojováním pomocí externího FERTI-BOXU.

9.5 Výpočet hmotnostního toku ústrojím

Vzhledem k velkému pracovnímu záběru bude použit externí zásobník na hnojivo FERTI-BOX s největším dostupným dávkovacím válečkem KM420890. V Tab. 6 jsou uvedeny základní vstupní hodnoty pro výpočet hmotnostního toku.



Obr. 43 - Dávkovací váleček KM420890 o objemu 890 cm³

Tab. 6 - vstupní hodnoty pro výpočet hmotnostního toku

Parametr	Značka	Hodnota
Objem válečku:	V	890 cm ³
Záběr secího stroje:	Z	12 m
Pracovní rychlost:	v	12 km/h
Celková zasetá výměra:	S	17 500 ha
Sypaná hmotnost draselné soli:	m'	1030 kg/m ³



Externí zásobník na hnojivo se dodává ve dvou různých specifikacích, a to standardní FERTI-BOX FB-F a FB-F DUAL se dvěma dávkovacími ústrojími. V následujícím segmentu bude uvedeno porovnání hmotnostního toku jedním ústrojím pro tyto dva zásobníky.

V rovnici (6) je nejprve ze známé celkové obdělané plochy a požadované dávky zjištěna celková hmotnost hnojiva. Celková hmotnost hnojiva m_1 , která projde jedním dávkovacím ústrojím se pak u těchto dvou zásobníků liší, neboť FB-F DUAL je opatřen dvěma dávkovacími ústrojími. Ze známé sypné hmotnosti draselné soli je pak možné v rovnici (7) vypočítat celkový objem soli, která projde ústrojím za pět sezón, a následně v rovnici (8) celkový počet otáček.

$$m_{celk} = S \cdot D \quad (6)$$

$$V_{dras.sól} = \frac{m_1}{m'} \quad (7)$$

$$n = \frac{V_{dras.sól}}{V} \quad (8)$$

Další důležitou hodnotou pro výpočet otáček je celkový odpracovaný čas. Ten je vypočítán tak, že v rovnici (9) je nejprve celková obdělaná plocha vydělena záběrem stroje, je tak zjištěna celková vzdálenost, kterou secí kombinace urazí, a ta je následně vydělena rychlostí stroje v rovnici (10), a je tak získán odpracovaný čas.

$$l = \frac{S}{Z} = 14\,583\,333,33 \text{ m} = 14\,583,33 \text{ km} \quad (9)$$

$$t = \frac{l}{v} = \frac{14\,583,33}{12} = 1\,215,28 \text{ h} = 72\,916 \text{ min} \quad (10)$$



Podělením celkového počtu otáček odpracovaným časem v rovnici (11) je vypočítána rychlost otáčení dávkovacího válečku. Vynásobením rychlosti otáčení objemem válečku je rovnicí (12) získán objemový průtok a jeho vynásobením sypanou hmotností draselné soli v rovnici (13) tok hmotností.

$$\omega = \frac{n}{t} \quad (11)$$

$$Q = \omega \cdot V \quad (12)$$

$$\dot{m} = Q \cdot m' \quad (13)$$

Vzhledem k maximálním otáčkám hnacího elektromotoru, které dosahují hodnoty 100 ot/min je horní hranici požadované dávky pro přihnojování ječmene schopen dosáhnout pouze zásobník FB-F DUAL. Standardní zásobník FB-F by tuto dávku nestačil dávkovat.

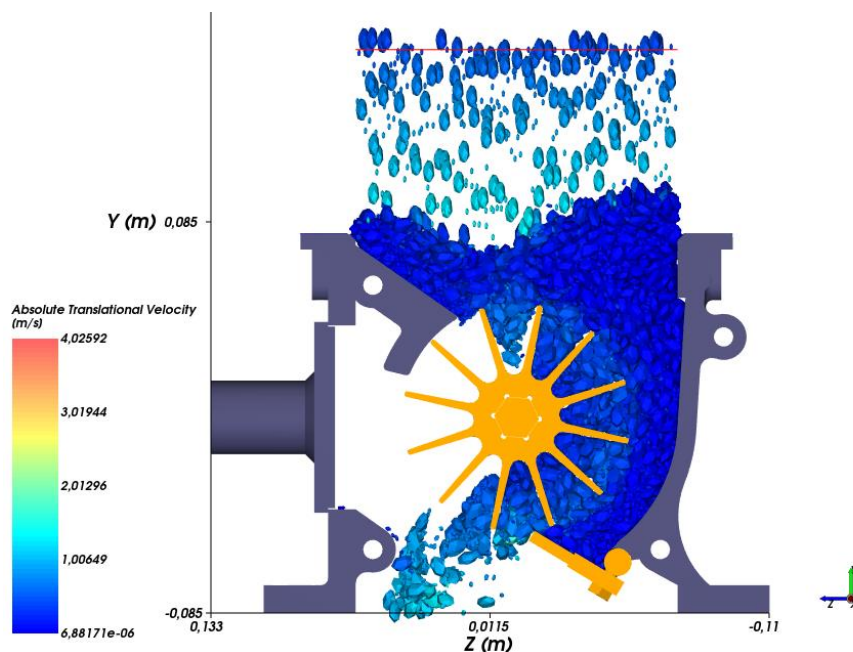
Při snížení dávky o 20 kg/ha nicméně dosáhne jedno ústrojí zásobníku FB-F horšího zatěžovacího stavu, kdy se bude otáčet téměř maximální rychlostí a dávkovat hmotnostní tok daleko převyšující hmotnostní tok procházející jedním dávkovacím ústrojím zásobníku FB-F DUAL, jehož dvě ústrojí dávkují vyšší celkovou dávku. Dílčí výsledky jsou uvedeny v tabulce níže.

Tab. 7 - Porovnání dílčích výsledku zásobníku FERTI-BOX FB-F a FB-F DUAL

FERTI-BOX FB-F	FERTI-BOX FB-F DUAL
$D = 380 \text{ kg/ha}$	$D = 400 \text{ kg/ha}$
$m_1 = m_{celk} = 6\,650\,000 \text{ kg}$	$m_1 = \frac{m_{celk}}{2} = 3\,500\,000 \text{ kg}$
$V_{dras.sůl} = 6\,456,31 \text{ m}^3$	$V_{dras.sůl} = 3\,398,06 \text{ m}^3$
$n = 7\,254\,281 \text{ ot}$	$n = 3\,817\,977 \text{ ot}$
$\omega = 99,48 \text{ ot/min}$	$\omega = 52,36 \text{ ot/min}$
$Q = 5,312 \text{ m}^3/\text{hod}$	$Q = 2,796 \text{ m}^3/\text{hod}$
$\dot{m} = 5\,471,6 \text{ kg/hod}$	$\dot{m} = 2\,879,9 \text{ kg/hod}$

9.6 Nastavení simulace

Simulace průchodu osiva byla zpracována v programu Ansys RockyDEM, který slouží pro simulaci toku sypkých materiálů. Kvůli výpočetní náročnosti byla úloha zjednodušena na třetinový výřez z prostřední části dávkovacího ústrojí. Vzhledem k lineární závislosti opotřebení na čase je pak navíc možné zredukovat výpočetní čas zkrácením simulace. Ze simulace trvající pouze minutu tak lze extrapolovat opotřebení ústrojí po uplynutí více než 1200 hodin.

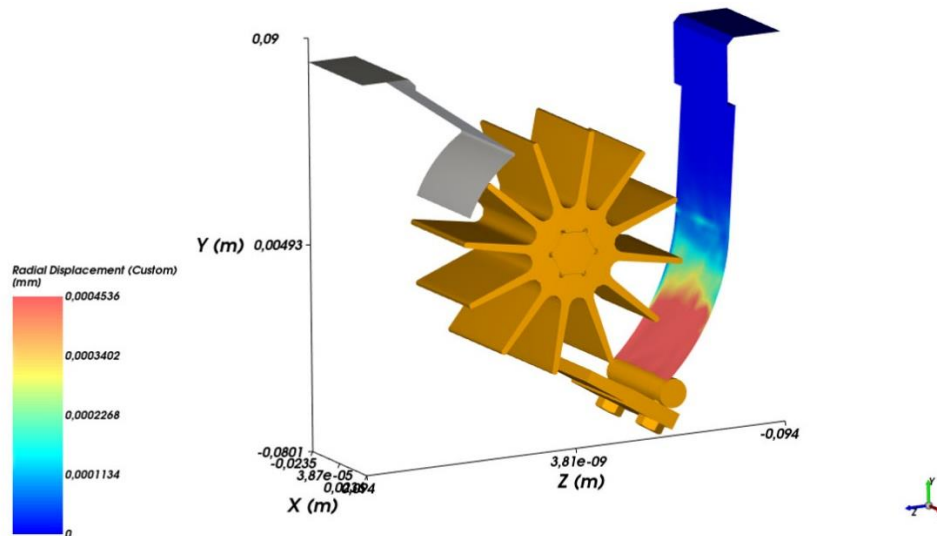


Obr. 44 - Ukázka průchodu částic dávkovacím ústrojím

Pro simulaci bylo provedeno také další zjednodušení ve formě zanedbání proudu vzduchu, do kterého dávkovací ústrojí přesně odměřuje dávkovanou látku. V této simulaci jde totiž pouze o otěr zakřivené stěny a nikoliv o celkovou simulaci průchodu částic. Tímto zjednodušením byl tedy výpočetní čas znatelně zkrácen.

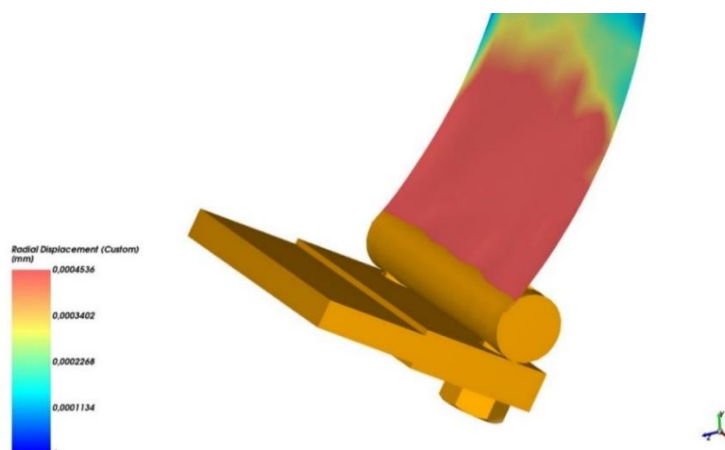
9.7 Diskuse výsledků simulace

Maximálně opotřebované místo byla spodní hrana zaoblené plochy přední stěny, na které hodnota otěru dosahuje po uplynutí jedné minuty 0,0004536 mm. Jedná se sice o malou hodnotu, nicméně po uplynutí 1200 hodin, jak je uvedeno v rovnici (14) by měl celkový ořez hodnotu více než 30 mm.



Obr. 45 - Výsledky simulace otěru bez použití nerezové vložky

Výsledky simulace potvrdily očekávání, že samotný polyamid s příměsí skelných vláken nebude dostačující pro zajištění požadované životnosti dávkovacího ústrojí.



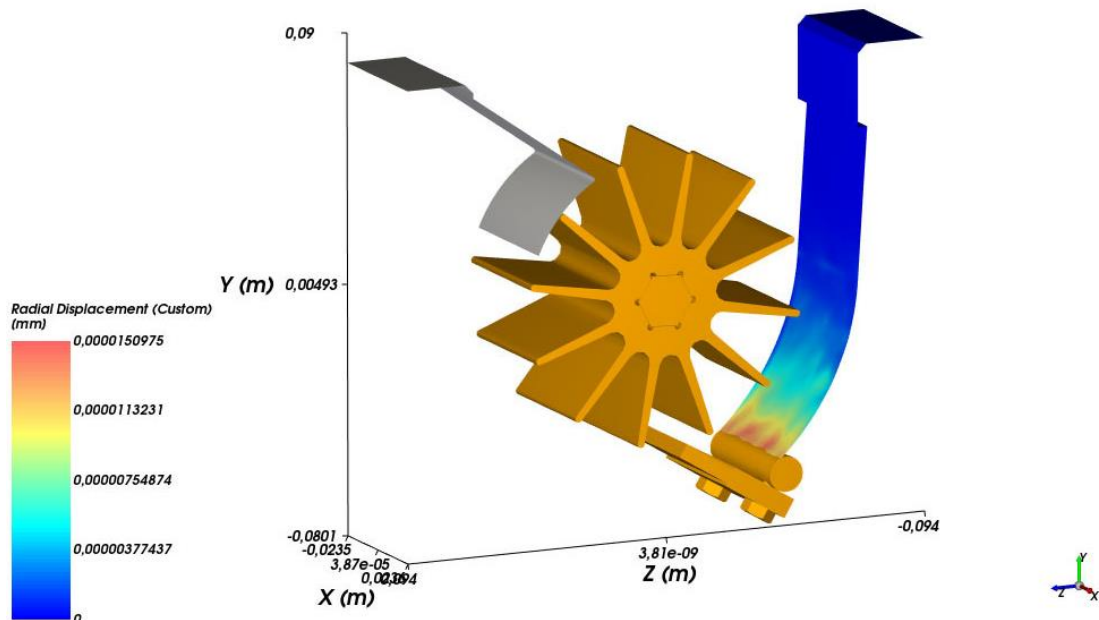
Obr. 46 - Detail výsledků simulace bez použití nerezové vložky

Otěr lze považovat za lineární funkci, a tak jednoduchý výpočtem získáme celkový otěr za 5 sezón.

$$o_{celkový_PA} = o_{60s_PA} \cdot t = 0,0004536 \cdot 72\,916,65 = 33,075 \text{ mm} \quad (14)$$

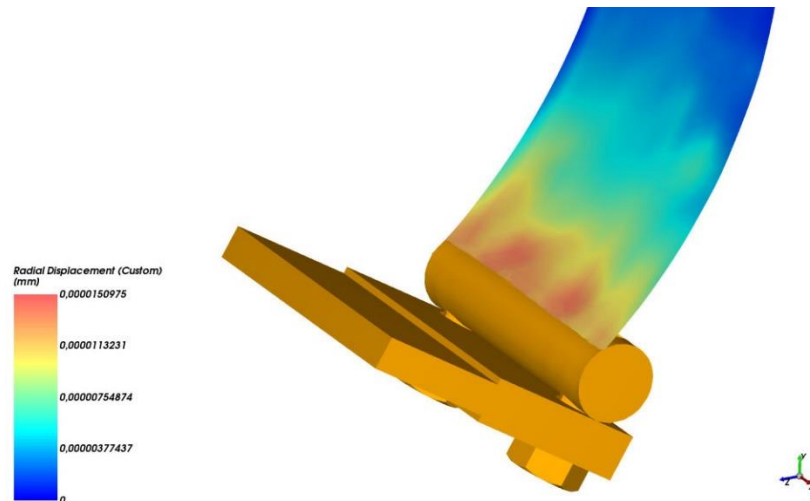
Jedná se o opravdu velké opotřebení, které by si vyžadovalo výměnu celého těla po pouhých několika stech hektarů. Je tedy třeba odsimulovat též použití výměnné nerezové vložky, která by plastové tělo ochránila před abrazí.

9.7.1 Použití nerezové vložky



Obr. 47 - Výsledky simulace otěru při použití nerezové vložky

Pro ověření byla zpracována i simulace, při které byl jako materiál stěn nastaven nerez, místo polyamidu se skelnými vlákny. Pro úsporu času bylo opět simulováno pouze 60 sekund. Výsledky potvrdily očekávání, že nerez bude mít několikanásobně vyšší odolnost vůči otěru.



Obr. 48 - Detail výsledků simulace otěru při použití nerezové vložky

Během šedesátisekundové simulace došlo k maximálnímu otěru opět na spodní části zakřivené plochy, a to 0,000015 mm. Celkový otěr za pět sezón je zjištěn výpočtem níže.

$$O_{\text{celkový_nerez}} = O_{60s_nerez} \cdot t = 0,000015 \cdot 72\,916,65 = 1,094 \text{ mm} \quad (15)$$

Jako vložka slouží nerezový plech o tloušťce 1 mm a takováto hodnota otěru je nepatrně vyšší. Dle simulace by tedy použití nerezového plechu, který by plnil funkci vložky, nestačilo pro splnění požadavku na životnost pěti sezón. Předtím, než dávkovací ústrojí půjde do sériové výroby, tedy bude zapotřebí provést laboratorní a polní zkoušky, které buďto potvrdí nebo vyvrátí závěry této simulace.

V případě, že by ústrojí nesplnilo zatěžkávací testy, se nabízí hned dvě jednoduché řešení. Zvýšit tloušťku nerezové vložky nebo zajistit její snadnou vyměnitelnost. Pro další fáze návrhu ale bude uvažována původní tloušťka plechu, tj. 1 mm.

10. Hybridní tělo dávkovacího ústrojí

10.1 Technologické požadavky

Vzniká několik bodů a problémů, které toto ústrojí musí vyřešit. Těmi jsou:

- a) **Nerezová vložka** – Jak vyplývá z výsledků simulace průchodu hnojiva, je její přítomnost naprosto zásadní pro delší životnost. Další verze dávkovacího ústrojí jí tedy musí obsahovat.
- b) **Samonostnost** – Přítomnost nosných tyčí není v ústrojí optimální. Zvětšují zástavbové rozměry, a hlavně by vyžadovaly přemístění přírub, nacházejících se nad a pod dávkovacím ústrojím. V horní části na zásobníku a ve spodní části na semenovodu. Aby se minimalizovala nutnost zásahu do strojů, na kterých je ústrojí použito, je nutné zachovat posunutí horní příruby o 50 mm po směru jízdy stroje vůči přírubě spodní. Výška ústrojí by také měla být co nejvíce stejná a tyto požadavky tak vedou v nejlepším případě na kompletní samonosnost celého ústrojí a eliminaci jakéhokoliv exoskeletu.
- c) **Čechrač** – Předchozí iterace neobsahovaly čechrač. Posunutí přírub přímo pod sebe zredukovalo vnitřní prostor, tedy i místo pro čechrač. Pokud ovšem dojde k posunutí přírub do původních poloh zkonstruováním samonosného ústrojí, tak by opět měl vzniknout dostatečný prostor pro montáž čechrače.
- d) **Zredukování směrů odformování** – Jednodílné tělo dávkovacího ústrojí vyžadovalo odformování ve všech třech směrech. Každý směr odformování přidává k ceně formy pro lití plastu dalších 10–15 tisíc euro navíc. Druhá iterace sice jeden směr odformování odebrala, nicméně přibyl další díl, který potřeboval další formu. Bylo by tedy vhodné vymyslet konstrukční řešení takové, které by umožnilo odformování dílu pouze v jedné ose.

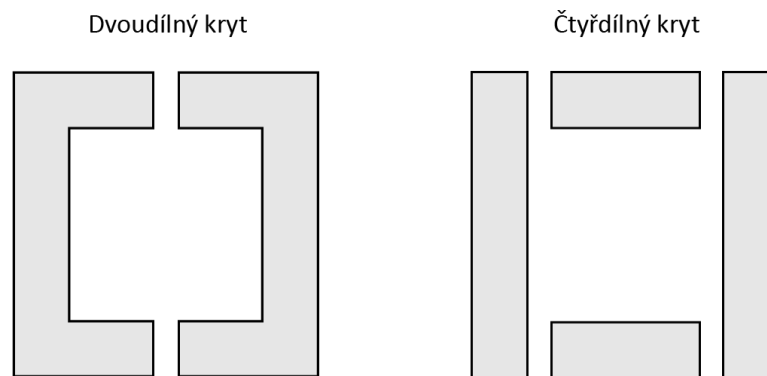
10.2 Vývoj hybridního ústrojí

Při vývojovém procesu určitých konstrukčních řešení je třeba vyzkoušet všechny možnosti. Veškerá konkurenční plastová dávkovací ústrojí jsou tvořena jedním velkým komplexním odlitkem odformovávaným ve třech směrech.

Vyvstává otázka, zda-li je možné vytvořit tělo dávkovacího ústrojí takové, které by mohlo být odformováno pouze v jednom směru, nikoliv ve dvou či třech. Odpověď zní „Ano“, ale je třeba nahlédnout na tělo ústrojí z úplně jiné perspektivy.

Požadavek na odformování v jediné ose nutně vede na ústrojí tvořené spojením několika plastových dílů dohromady. Jedním dílem totiž není možné vytvořit dutinu potřebnou pro usazení dávkovacího válečku. Jsou tedy dvě možnosti:

- a) Tělo rozděleno jako v druhé iteraci na dvě plastové poloviny s nerezovou vložkou.
- b) Tělo rozděleno na čtyři díly – levý bok, pravý bok, přední stěna a zadní stěna.



Obr. 49 - Schéma dvoudílného a čtyřdílného těla dávkovacího ústrojí při pohledu shora

I když se rozdělení těla na čtyři díly na první pohled zdá jako značně kontraproduktivní, tak druhá iterace ukázala, že dva díly nevedou ke drastickému zlevnění a pouze obtížně by bylo docíleno samonosnosti při navrhnutí takových dílů, které by byly odformovatelné pouze v jednom směru.

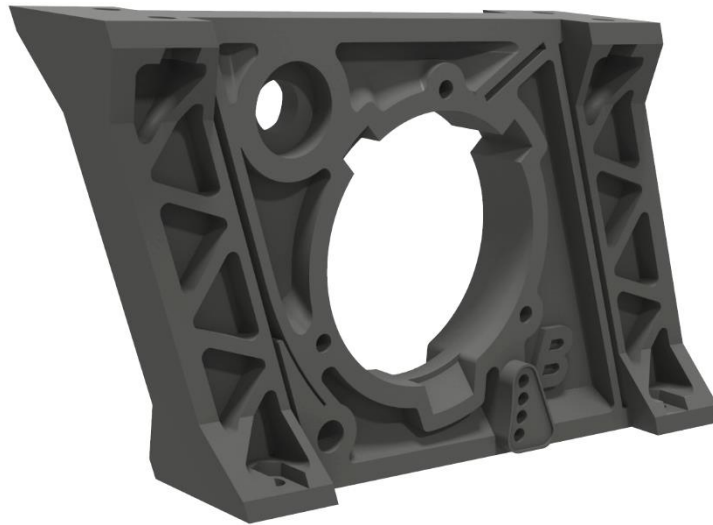


Jak napsal sir Arthur Conan Doyle: „Když vyloučíte nemožné, pak to, co zbývá, ať už je to jakkoli nepravděpodobné, musí být pravda“. Tento citát lze aplikovat i na zde prezentovanou situaci. Když předchozí kapitoly vyloučily možnost použití dvou dílů, tak jediné, co zbývá, je rozdělit tělo na díly čtyři.

Ne všechny čtyři díly ovšem musí být plastové. Nerezová vložka totiž může být rovnou použita jako přední stěna, bez nutnosti plastové výztuhy.

Totéž platí pro zadní stěnu. Nejspíše totiž bude levnější použít jednoduchý nerezový výpalek. Přeci jen ani tato stěna nemusí být tvarově náročná. Zbývají už tedy pouze dva plastové, tvarově náročné boky těla, které v sobě musí mít úchyt uložení dávkovacího válečku, uložení čechrače, nastavení úhlu spodní stěrky a uchycení nerezových stěn.

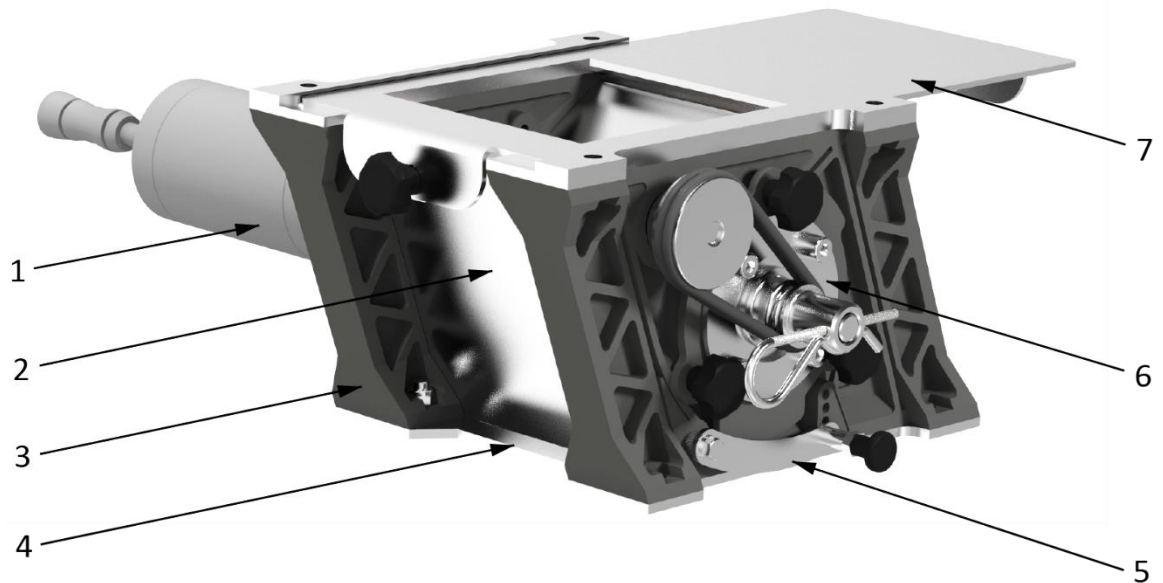
V tuto chvíli se hodí položit si otázku: „Je nezbytně nutné mít levý a pravý bok? Nemohl by tento díl být totožný na levé a pravé straně?“. Odpovědí je jednoznačné „Ano, mohl!“. Toto uvědomení umožní redukci počtu unikátních plastových dílů ze čtyř na pouze jeden a enormně zlevní výrobu. Vznikne tak ústrojí hybridní, které bude kombinovat otěruvzdornost nerezů na kontaktních plochách a nízké výrobní náklady plastu na tvarově složitých plochách, které by vyžadovaly komplexní nerezový svařenec.



Obr. 50 – Symetrický bok hybridního těla dávkovacího ústrojí

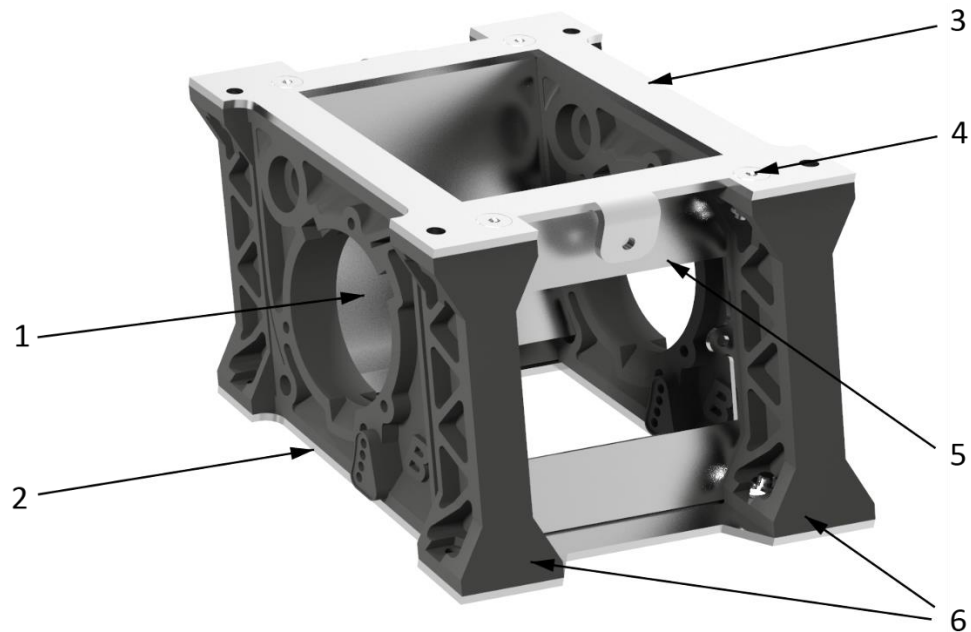
Použitím osově symetrického plastového dílu, zobrazeného na obrázku (Obr. 50), na obou bocích těla dojde k odstranění nákladů spojených s přesným sesazováním a svářením nerezového těla. Dalším prvkem, který má nezanedbatelný vliv na cenu, jsou dvě nerezová boční víčka, jejichž nahrazením plastovými díly dojde k nemalé úspoře nákladů. Lze opět použít podobný myšlenkový proces jako u boku těla a navrhnout víčka taková, aby bylo možné použít pouze jednu osově symetrickou formu.

11.1 Detailní popis hybridního těla



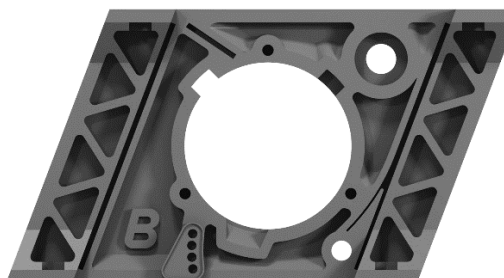
Obr. 51 - Celé hybridní dávkovací ústrojí; 1 – Elektromotor; 2 – Přední nerezová stěna; 3 – Plastový bok; 4 – Pomocná příruba; 5 – Páčka nastavení úhlu stěrky; 6 – Boční víčko s pohonem čechrače; 7 – Šoupátkový mechanismus k uzavření průchodu osiva

Mezi hlavní rozdíly mezi hybridním tělem a předchozími iteracemi je absence nosných tyčí a odsazení horní a spodní příruby ve směru jízdy stroje. Další zásadní změnou je přítomnost čechrače, jehož pohon zajišťuje jeho propojení s dávkovacím válečkem přes dva řemeny kruhového průřezu. Základní rozložení komponent ovšem zůstalo velmi podobné jako na předchozích iteracích a tak je dávkovací váleček stále v těla uložen pomocí dvou bočních víček, z nichž jedno v sobě obsahuje již zmíněný pohon čechrače a druhé uchycení motoru.

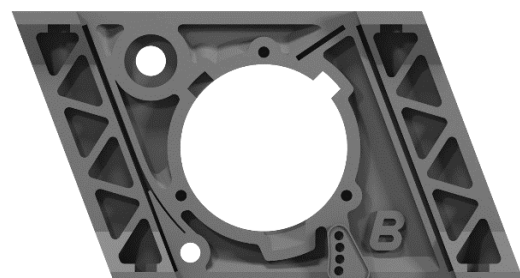


Obr. 52 - Tělo hybridního dávkovacího ústrojí; 1 – Přední vnitřní nerezový plech k vedení dávkované látky; 2 – Spodní příruba; 3 – Horní příruba; 4 – Zápustný šroub M8; 5 – Zadní plech s otvorem pro víčko; 6 – Plastový bok

Samotné tělo ústrojí je pak tvořen dvěma osově symetrickými boky, které mezi sebou svírají celkem čtyři různé plechy, jejichž funkce bude vysvětlena v následujících odstavcích. Primárně ale fungují jako stěny dávkovací komory a pomáhají vést dávkovanou látku přes dávkovací váleček. Zadní stěna pak též slouží k uchycení různých víček, kterým bude věnována separátní podkapitola. Pokud by stěny byly pouze sevřeny, tak by při montáži mohlo dojít k nechtěnému rozložení dávkovacího ústrojí, a tak je jeho horní a spodní část opatřena nerezovými přírubami, jež nemají žádnou nosnou funkci, pouze ústrojí drží pohromadě při jeho montáži na stroj.



Obr. 53 - Pravá strana plastového boku



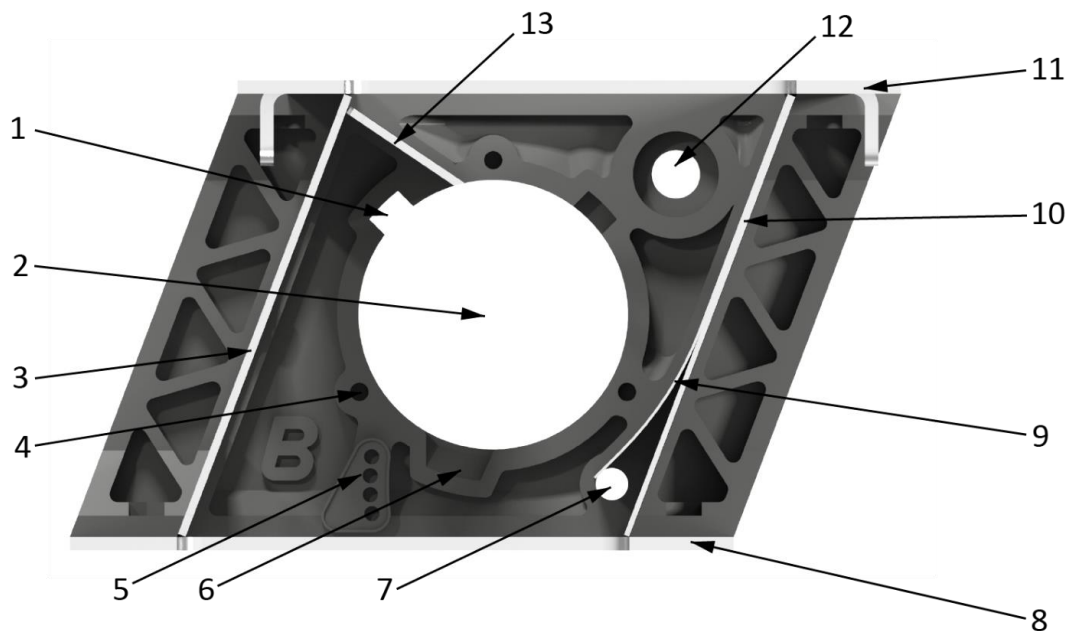
Obr. 54 - Levá strana plastového boku

Samonosnosti pak bylo docíleno vyztužením okrajů plastového dílu pomocí trojúhelníkového žebrování. Samonosnost je v této fázi pouze teoretická, a ještě bude

zapotřebí ji ověřit FEM analýzou. Největším nepřítelem nebude ovšem samotné zatížení, ale únava materiálu zapříčiněná vibracemi od semenovodu, který je uchycen pod dávkovacím ústrojím. Všechny šrouby jsou tedy uloženy v kapsách a obklopeny ze třech stran materiálem. Toto uspořádání by mělo značně pomoci k navýšení životnosti a zamezení únavového lomu. Pro snadnou montáž je pak tato kapsa navíc opatřena slotem, do kterého bude vložena matice a při montáži jí tak nebude nutné přidržovat klíčem.

11.1.1 Popis vnitřního uspořádání

Mezi dvěma boky je sevřeno hned několik nerezových plechů. Nejdůležitější z nich se nachází v přední části ústrojí a vede osivo směrem ke stěrce. Tvoří ho nerezový výpalek o tloušťce 1 mm vložený do zaoblené drážky, která mu dodává nezbytný tvar, neboť je do ní vkládán bez předchozího ohnutí. Tento tenký plech sdílí horní část svojí drážky s dalším výpalkem taktéž z nerezové oceli, nýbrž tentokrát o tloušťce 2 mm. Ten slouží k utěsnění ústrojí, neboť vede přes jeho celou výšku.



Obr. 55 - Vnitřní uspořádání dávkovacího ústrojí; 1 - Tvarový zámek; 2 - Otvor pro výměnu dávkovacího válečku; 3 - Zadní stěna s otvorem pro víčka; 4 - Otvor pro závitovou vložku; 5 - Sada otvorů pro nastavení úhlu stěrky; 6 - Prostor pro vypadnutí semínek uvězněných mezi dávkovacím válečkem a bočním víčkem; 7 - Otvor pro osičku stěrky; 8 - Spodní příruba; 9 - Přední vnitřní plech pro optimální vedení dávkovaného materiálu; 10 - Přední stěna; 11 - Horní příruba; 12 - Uložení ložiska čechrače; 13 - Horní stěrka



Zadní stěnu pak obstarává 3 mm tlustý nerezový výpalek, který obsahuje otvor pro vyměnitelná zadní víka, kterým bude věnována separátní kapitola, společně s dírami se závitem M8 pro jejich uchycení, a též sahá přes celou výšku ústrojí. V horní části těla se pak nachází další třímilimetrový plech, který je ze všech nejmenší, a obstarává jednak funkci horní stěrky a taktéž pomáhá vést dávkovanou látku dál do dávkovacího ústrojí. Pro jeho pozici platí, že čím větší část dávkovacího válečku při pohledu shora zakryje, tím více odlehčí zatížení motoru. Odebere totiž značnou část tření mezi válečkem a dávkovanou látkou. Byl tedy záměr zakrýt větší část válečku, než krylo původní nerezové tělo, nicméně vzhledem k nutnosti osové symetrie boku těla a pozice závitových vložek na něm nebylo možné tento záměr naplnit.

Oba boky těla pak v jejich horní a spodní části provazují dva nerezové plechy o tloušťce 5 mm, které drží dávkovací ústrojí pohromadě během jeho montáže na secí stroj. Na tyto boky jsou uchyceny pomocí zápusťných šroubů M8, neboť jak horní, tak spodní strana ústrojí musí být bez výstupků. Plechy jsou oba téměř totožné. Horní plech je ovšem opatřen též dvěma ohnutými částmi se závitovými dírami pro zajištění šoupátkového mechanismu v otevřené či uzavřené poloze.

Co se výstupků a otvorů plastových boků týče, tak největší z nich, nacházející se přímo uprostřed boku, slouží k výměně válečků. Symetricky, dle vertikální osy, jsou na tomto otvoru dva téměř shodné výstupky. Oba slouží jako tvarové zámky pro lepší přenos momentu od motoru a tím odlehčení závitovým vložkám. Válečky pro jemná osiva jsou z několika segmentů a z nich ne všechny se otáčejí společně z motorem, neboť jim je zabráněno v otáčení pomocí třech vystouplých šroubů, které se zarazí o horní stěrku. Aby byla možná montáž těchto válečků, je zadní z výše zmíněných otvorů průchozí.



11.1.2 Univerzální boční víčka

Původní boční víčka byla soustružena z nerez. Byla tak velice drahá a úchyt motoru navíc vyžadoval další operaci – svařování. Je tedy vhodné zkonstruovat víčka nová – plastová, která zjednoduší celý proces výroby a následné montáže. Jsou dvě možnosti, jak se k řešení tohoto problému postavit:

- a) Odlišná víčka na levé a pravé straně, kde jedno bude mít úchyt motoru a druhé uložení ložiska.
- b) Víčko rozdělené na dvě části, kde vnitřní bude totožná pro levou i pravou stranu a na ní bude montován buď úchyt motoru, nebo axiální jištění ložiska.

Na první pohled se obě varianty zdají jako rozumná řešení, nicméně váhy se nakloní drasticky v prospěch druhého řešení po uvážení všech výhod a nevýhod.

Dávkovací ústrojí je kromě konvenčních secích strojích používáno také u příslušenství zvaném ALFA DRILL. Jedná se o doplňkovou výsevní jednotku, která umožňuje výsev meziplodin pomocí například kultivátoru či diskového podmítače. Jedná se o příslušenství montované na nespočet různých strojů a jejich typů a u velké části z nich je potřeba montovat motor dávkovače na opačnou stranu.

Pokud by tomu tak nebylo, tak obě řešení budou potřebovat celkem tři odlišné díly, a to levé víčko, díl zajišťující axiální jištění ložiska a pravé víčko s úchytem motoru pro první variantu a univerzální díl víčka, axiální jištění a díl úchyty motoru pro variantu druhou.

Požadavek pro možnost přemístění motoru z levé strany na pravou ale zcela vylučuje první variantu, neboť by se zdvojnásobil počet forem pro tlakové lití, a to při jejich ceně není možné.



Obr. 56 - Univerzální plastový díl víčka



Obr. 57 - Sestava levého víčka s axiálním jištěním ložiska



Obr. 58 - Sestava pravého víčka s úchytem motoru

Bylo tedy navrženo symetrické boční víčko, do kterého bude pro použití na levé straně uloženo ložisko pojištěné nerezovým výpalkem a na pravé straně doplněno o plastový díl úchyty motoru, který svými výstupky zapadne do prohlubní v univerzálním dílu. Dojde tak k vytvoření tvarového zámku, který pomůže přenést moment od motoru v případě ucpání dávkovacího ústrojí.

11.1.3 Výměnná zadní víka

Zadní víko je jedna z mnoha částí, které bylo na starém dávkovacím ústrojí třeba optimalizovat. Může se buďto jednat pouze o záslepku, nebo součást, které dávkovací ústrojí rozdělí na dvě poloviny v případě dávkování do dvou hadic zároveň, popřípadě pro tlakování přetlakového zásobníku, kdy je víčko opatřeno úchytem hadice, která tlakuje zásobník pomocí proudu vzduchu od ventilátoru, který slouží k pneumatické dopravě osiva semenovodem.

U starého dávkovacího ústrojí je tato problematika řešena nespočtem různých vík, v rámci nového konstrukčního řešení byl tedy vyvinut nový systém, kdy jsou pouze dvě základní části víka. Jedno s otvorem pro tlakovací hadici a senzor měření tlaku a druhé bez těchto prvků.



Obr. 59 - Dělicí víko s tlakovací hadicí a senzorem

Obr. 60 - Dělicí víko s tlakovací hadicí, senzorem a stěrkou na hrubá osiva

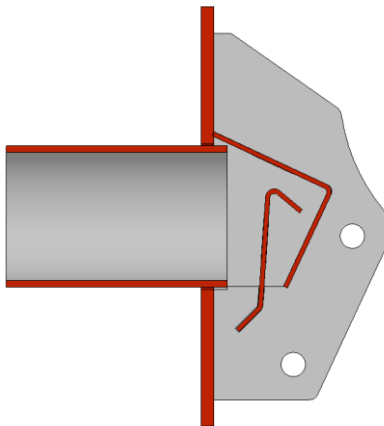
Obr. 61 - Dělicí víko s tlakovací hadicí, senzorem a čistícími kartáčky

Na obě tyto varianty je pak třeba montovat různé kombinace dalších součástí, které plní další funkce a mezi které patří:

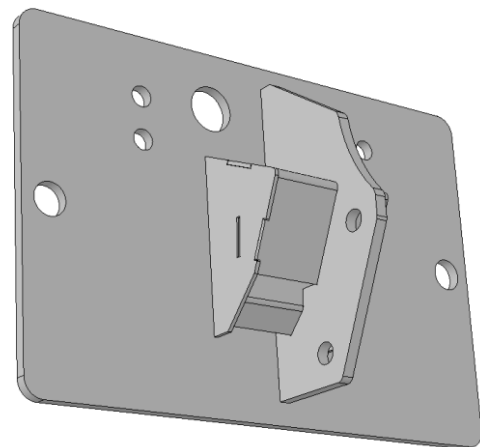
- a) **Dělič komory** – rozděluje dávkovací ústrojí na dvě poloviny, aby bylo zajištěno přesné dávkování do dvou hadic, bez něj by došlo k turbulencím a nerovnoměrnému rozdělení.

- b) **Stěrka na hrubá osiva** – nejedná se přímo o stěrku v pravém slova smyslu, jelikož není v přímém kontaktu s dávkovacím válečkem, funguje pouze jako fyzická zábrana, do které poletující semínka narazí a zamezí se tak zaseknutí hrubých osiv mezi dávkovacím válečkem a horní stěrkou. Pokud by nebyla namontována, dojde k jejich drcení o již zmíněnou horní stěrku.
- c) **Čistící válečky** – U osiv, zejména u řepky, dochází k tvorbě lepivé pasty tvořené ze směsi prachu, mořidla a rozdrčených semínek. Tato pasta poté ulpívá v komůrkách válečku a snižuje tak jejich objem. Tyto válečky tedy slouží k očištění komůrek od této pasty. Jsou nehnané a otáčejí se odvalováním.

Dalším problémem bylo zanášení tlakovací hadice osivy, byl tedy vyvinut deflektor, respektive bludiště, kterým vzduch musí projít a které má za cíl zbrzdit proud vzduchu dostatečně na to, aby tíha semínek byla vyšší než síla proudu vzduchu a semínka tak neměla šanci být vynesena proudem vzduchu až do zmíněné tlakovací hadice.



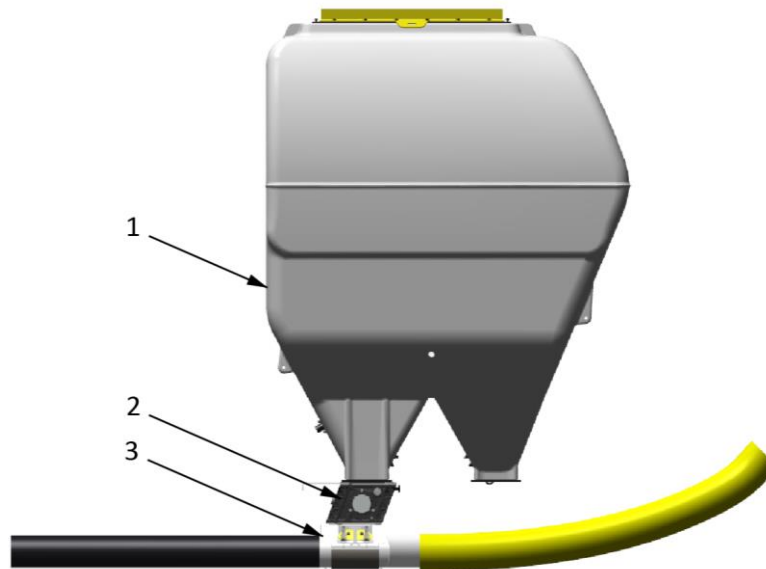
Obr. 62 - Bludiště pro zbrzdění proudu vzduchu



Obr. 63 -Svařenec bludiště se zámky pro snadnější sesazení a svaření

11. Simulace pomocí FEM analýzy

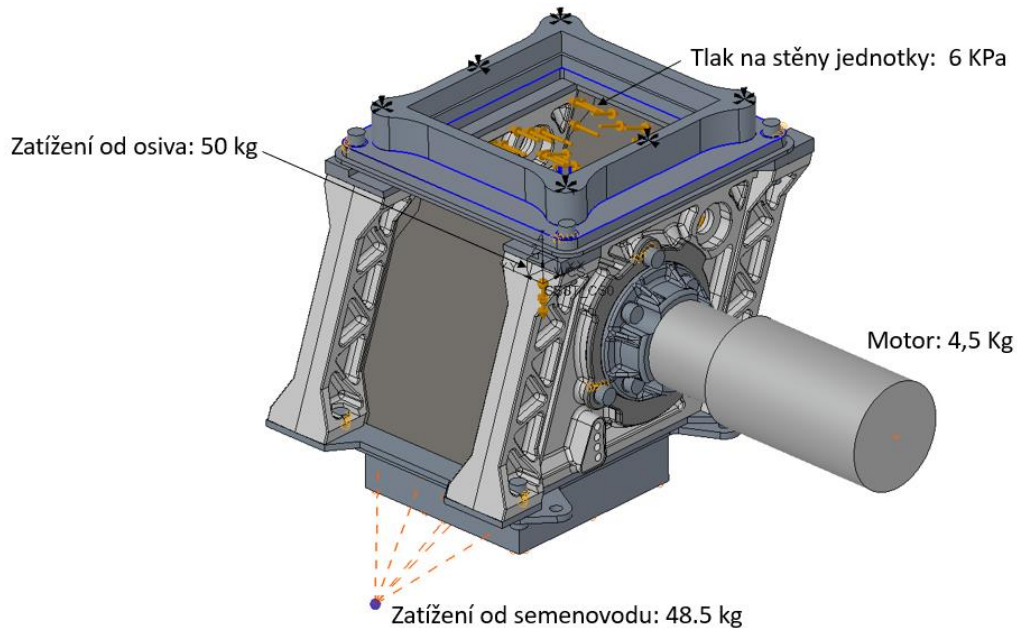
Nedílnou součástí vývojového procesu jakéhokoliv komponentu je ověření jeho odolnosti pomocí pevnostní analýzy metodou konečných prvků.



Obr. 64 - Zjednodušené schéma uchycení ústrojí pod zásobník na osivo na stroji OMEGA FL; 1 - Zásobník; 2 - Dávkovací ústrojí; 3 - Semenovod

Ústrojí není namáháno pouze tahovou silou, kterou na něj působí zavěšený semenovod, ale také, tíhou motoru uchyceného na levém víčku, tíhou sloupce osiva, zatěžující centrální osičku dávkovacího válečku a tlakem, jež tato síla vyvodí na čelní stěnu dávkovacího ústrojí.

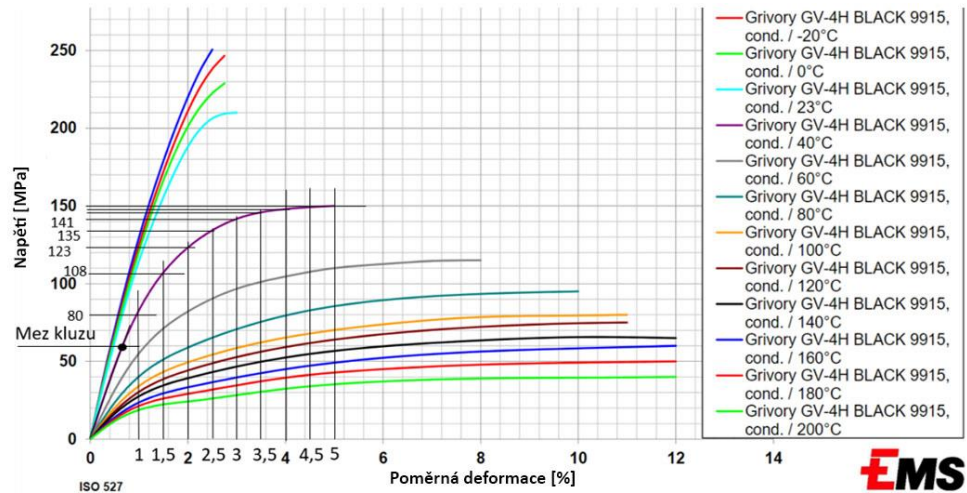
12.1 Nastavení simulace a vstupní parametry



Obr. 65 - Simulační model pro FEM analýzu

Je třeba ověřit následující hlavní zatěžovací stavy dávkovacího ústrojí při kterých dojde k největšímu namáhání:

- a) Přejezd nerovnosti na vozovce při transportu – jak již bylo zmíněno, tak na dávkovacím ústrojí visí semenovod, který pro secí stroj OMEGA FL s dělením výsevních sekcí váží až téměř 50 kilogramů. Secí stroje typicky nemají odpruženou nápravu, a tak při přejezdu nerovnosti dojde k otřesu celého stroje. Tyto případy jsou dle firemního standartu simulovány zvětšením gravitační konstanty na trojnásobek.
- b) Ucpání dávkovacího ústrojí – další případ, který nelze zanedbat je ucpání dávkovacího ústrojí dávkovanou látkou, při které dojde ke znehybnění dávkovacího válečku, a tak veškerý točivý moment motoru bude přenášen přes šrouby jeho uchycení až do plastového boku.



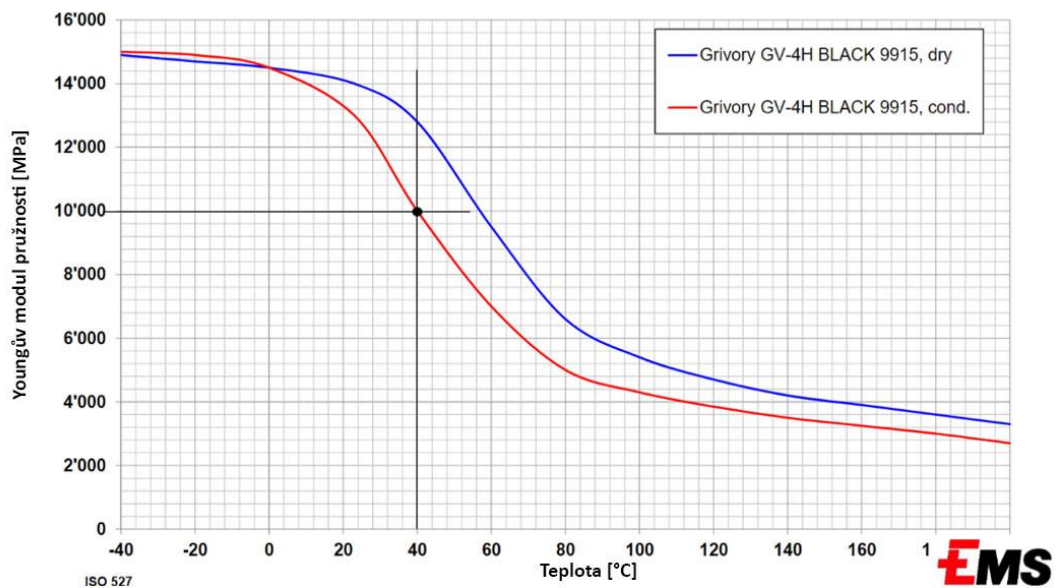
Obr. 66 – Závislost napětí na poměrné deformaci materiálu PA66+GF40 [27]

Na rozdíl od oceli je polyamid PA66+GF40 s 40 % příměsí skelných vláken elasto-plastický materiál. Simulace je počítána, stejně jako všechny ostatní simulace prováděné ve firmě BEDNAR FMT, v programu PTC Creo. Simulace byla nejprve provedena jako lineární s dvěma očekávanými závěry:

- Maximální napětí v plastových dílech nepřesáhne mez kluzu a výsledky budou finální.
- Maximální napětí přesáhne mez kluzu a bude třeba simulaci opakovat jako elasto-plastickou.

Pro správné výsledky simulace pak také bylo zapotřebí nastavit vlastnosti materiálu. Ty byly pro teplotu 40 °C odečteny z materiálových listů dodaných výrobcem a zadány do výpočetního programu. Tato teplota nejvíce odpovídá maximální teplotě, které ústrojí reálně může dosáhnout při práci na poli.

Je také vhodné zmínit, že pro případ simulace je polyamid s příměsí skelných vláken uvažován jako homogenní materiál s předpokladem, že příměsí skelných vláken bude docíleno lepších výsledků.

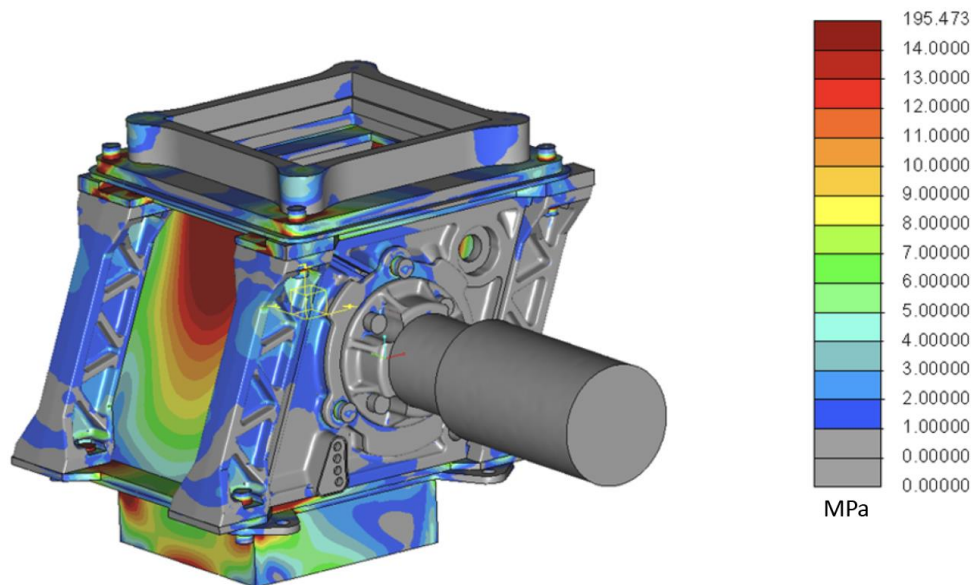


Obr. 67 – Youngův modul pružnosti PA66+GF40 pro různé teploty, hodnota odečítána pro vlhký vzorek [27]

12.2 Diskuse výsledků

Lineární simulace bude validní a bez nutnosti opětovného elasto-plastického simulování za předpokladu, že napětí v plastu nepřekročí mez kluzu materiálu PA66+GF40, která má hodnotu 60 MPa.

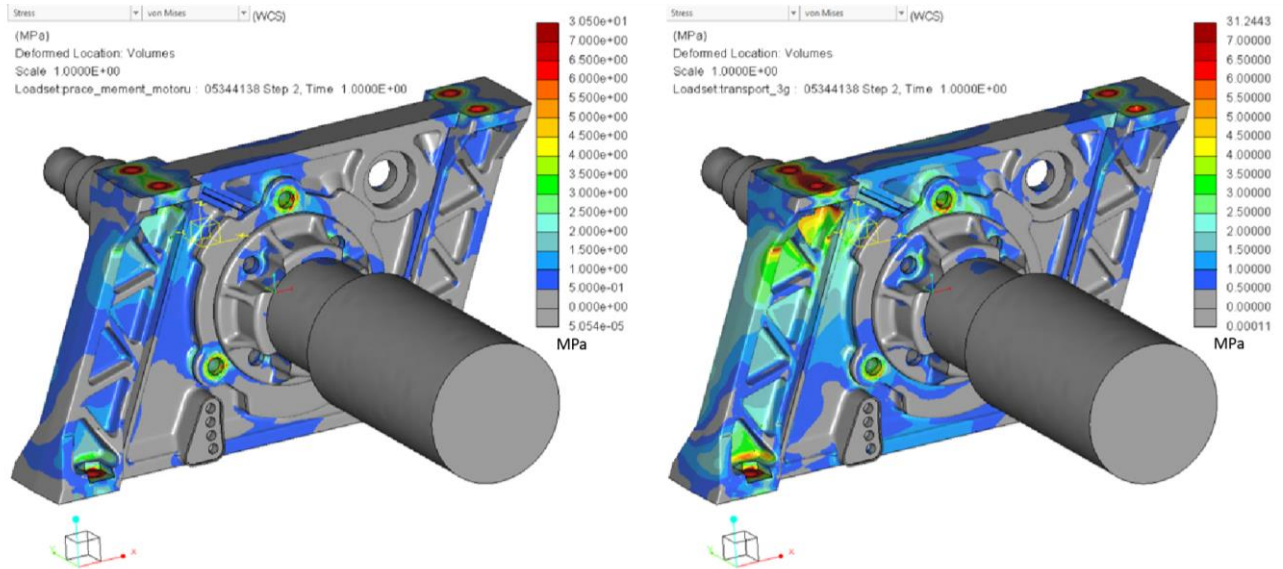
K překročení nedošlo. Maximální hodnota napětí v plastovém boku činí 8,5 MPa, a to u horních a spodních děr pro šrouby. Jedná se o necelých 15% meze kluzu.



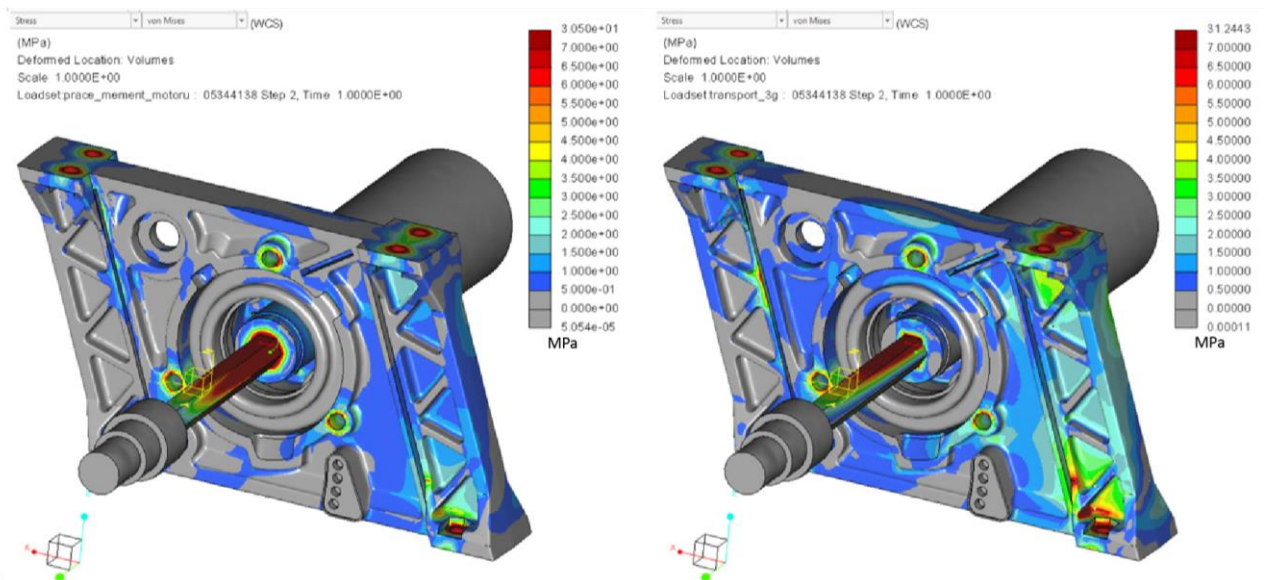
Obr. 68 - Celkové výsledky simulace dávkovacího ústrojí pro otřes při transportu

Pro snadnější rozpoznání rozložení napětí v dávkovacím ústrojí byly upraveny hodnoty barevné škály. Tmavě červené je tak napětí již okolo 14 MPa. Z výsledků simulace pro transport tedy můžeme vyvodit jasný závěr, že ústrojí je předdimenzované. Pokud by hlavním cílem byla váha, tak by bylo vhodné zredukovat tloušťku stěn. Vzhledem k příměsi sklených vláken je ale již tato tloušťka na limitu zatékavosti materiálu a při její redukci by mohlo dojít k situaci, kdy se vstříkovaný plast nedostane do všech částí odlitku.

Hlavní tmavě červená místa s vyšším napětím jsou na nerezových částech dávkovacího ústrojí a nepředstavují tak hrozbu, neboť největší napětí v těchto částech při trojnásobném gravitačním zrychlení dosahuje 195 MPa, zatímco nerezová ocel má mez kluzu 300 MPa. Jedná se o 65% využití. Takto vysoké napětí je ovšem mimo samotné dávkovací ústrojí v přírubě zásobníku.



Obr. 69 - Vnější strana plastového boku dávkovacího ústrojí; vlevo - výsledky simulace při zaseknutí motoru při práci; vpravo - výsledky simulace při otřesu během transportu



Obr. 70 - Vnitřní strana plastového boku dávkovacího ústrojí; vlevo - výsledky simulace při zaseknutí motoru při práci; vpravo - výsledky simulace při otřesu během transportu

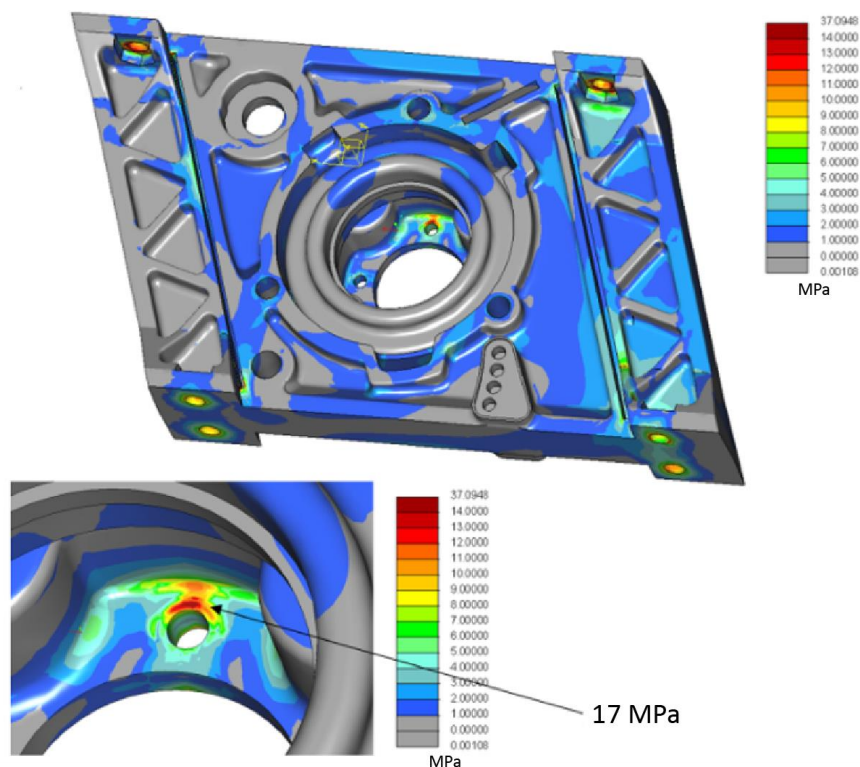


Z obrázků Obr. 68 a 71 lze pozorovat rozdílné rozložení toku napětí v plastovém boku při různých zatěžovacích stavech. Je zajímavé pozorovat asymetrii toku napětí. Dalo by se očekávat, že dojde k jisté asymetrii, neboť otvory pro šrouby, které uchytávají ústrojí ke zbytku secího stroje jsou na vnější straně plastových boků, nicméně tato asymetrie nese docela jinou podobu. Nejvíce namáhaná jsou totiž v obou zatěžovacích stavech místa v okolí otvorů pro šrouby na zadní straně ústrojí. Konkrétně okolí vnějšího horního a vnitřního dolního otvoru. Jde to přímo proti předpokladu, dle kterého by nejvíce namáhaná místa měla být pouze v okolí otvorů na vnější straně. Otvory na vnitřní straně totiž slouží pouze pro usnadnění montáže ústrojí do secího stroje, neboť pomocí nich je ústrojí drženo pohromadě.

Je také třeba podotknout, že ač se všechny otvory pro šrouby chovají jako koncentrátoři napětí, tak převážná část skoku napětí v jejich okolí, kterou ukazují výsledky simulace, je způsobena předpětím, které je na šrouby aplikováno při montáži.

12.2.1 Ověření výsledků pro transport bez dávkovacího válečku

Dávkovací ústrojí obsahuje výměnný dávkovací váleček. Existuje tedy možnost, že dojde k transportu stroje po silnici s prázdným zásobníkem na osivo, zatímco bude dávkovací váleček vymontovaný. Tento případ je dobré ověřit, neboť hřídel válečku pomáhá přenést část zatížení od otřesů motoru na druhou stranu dávkovacího ústrojí a tím odlehčit bočnímu plastovému úchytu motoru.

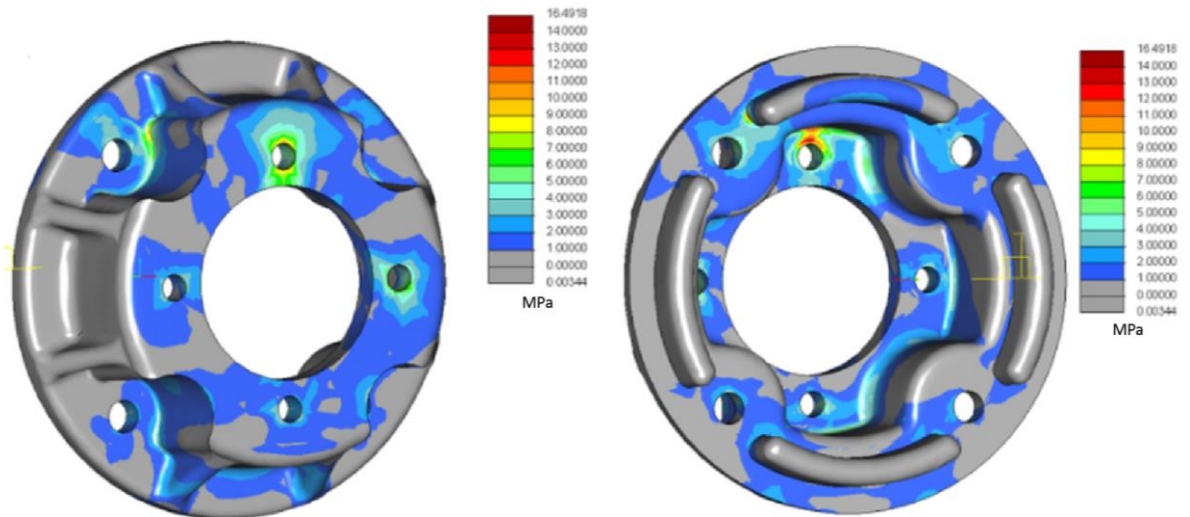


Obr. 71 - Výsledky simulace pro otřes stroje při transportu, tj. s 3g

Pro simulaci zatížení při transportu byla opět použita trojnásobná velikost gravitačního zrychlení, aby simulace odpovídala firemním standardům. Pokud pomineme špičky napětí okolo otvorů pro šrouby sloužící k uchycení dávkovacího ústrojí ke zbytku stroje, tak největšího napětí bylo dosaženo v okolí horní díry plastového úchytu motoru. Meze kluzu PA66+GF40 nebylo ovšem dosaženo ani na jednom z těchto míst. V úchytu motoru je největší napětí 17 MPa (28% využití meze kluzu) a v okolí otvorů pro uchycení dávkovacího ústrojí 37 MPa (62% využití meze kluzu).

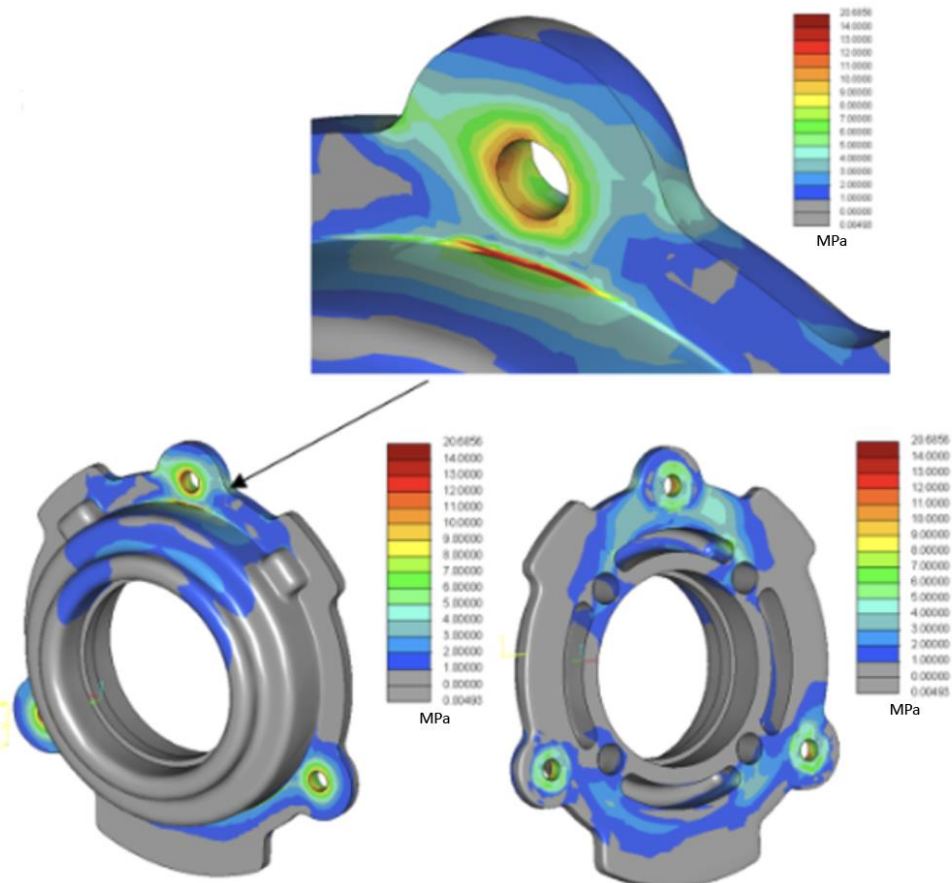
12.2.2 Ověření výsledků pro ucpání během otřesu stroje

Absolutně nejhorší možný případ, který by mohl nastat je ucpání dávkovacího ústrojí, zatímco secí stroj najede na poli na velkou nerovnost v plné pracovní rychlosti. Byla tedy provedena také simulace tohoto případu.



Obr. 72 – Úchyt motoru s výsledky simulace ucpání ústrojí během otřesu stroje, tj. s 3g a 8,26Nm působící na motor

Pro tento případ se vyskytnou dvě hlavní kritická místa s vyšším napětím. Jedno z nich se nachází, stejně jako u předchozího simulovaného případu u horní díry pro uchycení motoru na plastový úchyt, kde maximální napětí dosahuje 16,5 MPa (27,5% využití meze kluzu). Druhé pak v okolí horní díry univerzálního bočního víčka, na které je úchyt motoru uchycen. Relativně ostrý přechod mezi přírubou víčka a jeho válcovitou částí se totiž chová jako koncentrátor napětí, a to v něm dosáhne až 20 MPa. Nejedná se ale o nebezpečí, neboť dojde pouze k třetinovému využití meze kluzu.



Obr. 73 - Boční víčko s výsledky simulace ucpání ústrojí během otřesu stroje, tj. s 3g a 8,26Nm působící na úchyt motoru

12.3 Shrnutí výsledků simulace

Polyamid s 40% příměsí skelných vláken je velice odolný materiál pro tlakové lití, jehož pevnost v tahu se blíží hliníku. Tomu odpovídají i výsledky simulací pomocí FEM analýzy, dle kterých vyvinuté dávkovací ústrojí splní všechny zatěžovací stavy.

Zdaleka nejhorším případem je náraz na nerovnost ve vozovce, která vyvodí v okolí horních otvorů pro uchycení šroubů napětí 37 MPa a dojde tak k 62% využití meze kluzu materiálu PA66+GF40. Nutno ovšem podotknout, že se jedná o mez kluzu při teplotě 40°C. Při této teplotě je její hodnota rovna 60 MPa. Při teplotě 20 °C mez kluzu vzroste na 100 MPa a bude se jednat pouze o její 37% využití.

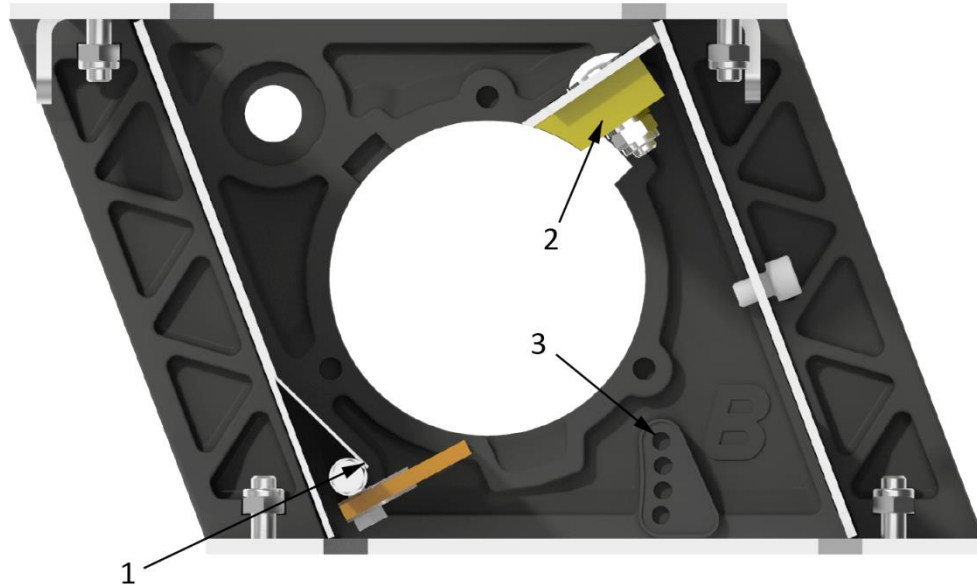


12. Technologické úpravy těla ústrojí

Mezi hlavní překážky pro výrobu plastového boku dávkovacího ústrojí patří zejména slot pro tenký plech. Forma pro tlakové lití je vždy negativ daného dílu, a tak tento slot je na formě zastoupen tenkým výstupkem, který lze snadno odlomit, ať už nešikovnou manipulací, či během odformování.

Původní záměr plech předem neohýbat a pouze ho vložit do drážky při montáži tedy není proveditelný, a tak došlo k přehodnocení výrobního postupu a drážka pro plech byla odstraněna. Nově se tedy bude již předohnutý plech vkládat do společné části drážky, kterou sdílí oba přední plechy a ve spodní části bude pouze ležet na hřídeli. Nutno podotknout, že začátek ohybu je již mimo drážku, neboť nelze zaručit přesnou polohu jeho osy. Jedná se o překlenutí pouze několika málo centimetrů, tedy vzhledem k tuhosti nerezů a jeho předchozímu ohnutí před montáží tak nebude nutné, aby byl v těchto místech podepírán.

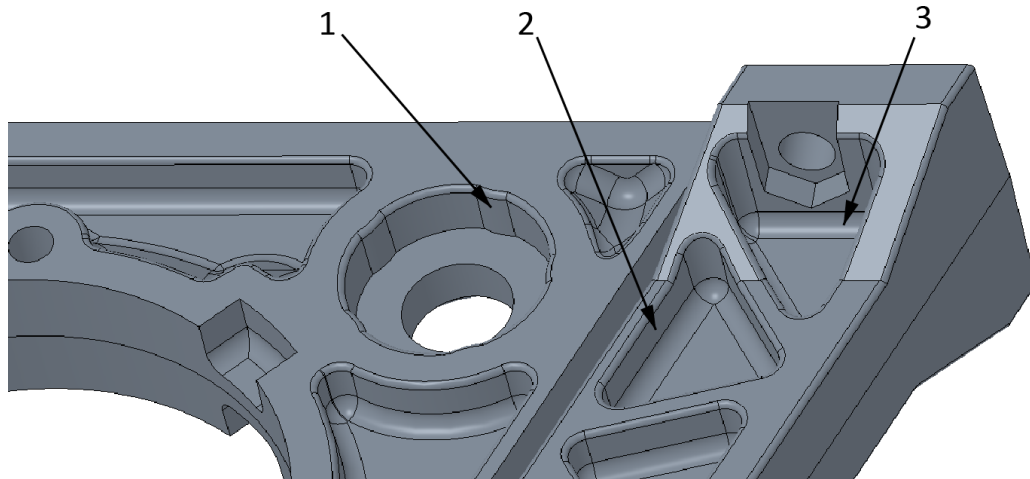
Dalším problematickým místem jsou sloty nastavení úhlu spodní stěrky. Vzhledem k potřebě jemného nastavení je třeba mezi jednotlivými sloty úhel $4,5^\circ$. Při použití původní páčky nastavení z nerezového ústrojí vznikne mezi jednotlivými sloty minimální vzdálenost kolem 1,5 mm. Rameno páčky tedy bylo zvětšeno o 10 mm a minimální vzdálenost tak navýšena na 2,2 mm, což je pro tlakové lití dostačující.



Obr. 74 - Finální vnitřní uspořádání hybridního dávkovacího ústrojí; 1 – Vnitřní předohnutý plech; 2 – Pryžový blok horní stěrky; 3 – Sloty pro nastavení úhlu stěrky

Další zásadní změnou konstrukce bylo přidání pryžového bloku pod horní stěrku, který umožní přesnější nastavení mezery mezi stěrkou a válečkem. Tento blok v sobě má drážky pro šroub namísto klasických děr a umožňuje tak seřízení již zmíněné mezery. Na nerezovou část horní stěrky je pak uchycen pomocí dvou vratových šroubů.

Výrobce také byly doporučeny technologické úkosity a zaoblení pro snadnější odformování, a to úkos $1,5^\circ$ na plochách paralelních se směrem odformování a vnitřní 3mm rádiusy. Problém nastává u válcové plochy pro nalisování ložiska, neboť by docházelo k jeho lisování do kuželovité plochy a mělo by tendenci z ní vyskakovat. Průměr této plochy byl tedy mírně zvětšen a byly přidány výstupky, které ložisko při lisování mírně zdeformuje a lépe se tak ukotví.



Obr. 75 - Technologické úpravy plastového boku; 1 - Výstupky pro nalistování ložiska; 2 - Zkosení ploch rovnoběžných se směrem odformování o 1,5°; 3 - 3mm radius na vnitřních hranách

Také byly prodiskutovány možnosti uložení závitových vložek pro montáž bočních víček. Pro tyto aplikace jsou tři hlavní typy:

- a) Samořezné závitové vložky,
- b) Za tepla lisované závitové vložky,
- c) Závitové vložky vložené do formy před tlakovým litím a zalité plastem.

U samořezných závitových vložek dochází k jejich snadnému vytrhnutí či povolení, a tak možnost jejich použití byla zamítnuta. Za tepla lisované závitové vložky pak nejsou vhodné k použití u polyamidu se skelnými vlákny, který bude použit na tlakové lití boku těla. Jako optimální řešení bylo zvoleno použití závitových vložek určených k zalití. Je ale nutné použít vložky nerezové, namísto klasických mosazných, neboť bude ústrojí vystaveno vysoce korozivním hnojivům.

13. Ekonomické zhodnocení

Hlavním důvodem pro konstrukci nového dávkovacího ústrojí bylo snížit náklady na výrobu. Je tedy důležité porovnat původní nerezové ústrojí s novým hybridním z ekonomického hlediska a zjistit návratnost tohoto projektu. Ceny jednotlivých dílů byly poptány u jednotlivých dodavatelů, se kterými firma BEDNAR FMT spolupracuje.

Nelze ovšem porovnávat pouze cenu jednotlivých dílů, neboť plastové díly nového dávkovacího ústrojí mají také počáteční náklady na výrobu formy, které se pohybují v řádek několika stovek tisíců a jsou uvedeny v tabulce níže. Je vhodné podotknout, že u všech cen, uvedených v této kapitole, se jedná o ceny bez DPH.

Tab. 8 - Náklady na formy těla dávkovacího ústrojí

Univerzální víčko a úchyt motoru	354 989 Kč
Plastový bok ústrojí	534 976 Kč
Celkem	889 966 Kč

Jedná se o opravdu velké počáteční náklady, nicméně počáteční investice do forem s sebou nese sníženou kusovou cenu jednotlivých dílů.

Tab. 9 – Ceny dílů těla dávkovacího ústrojí

Univerzální víčko	154,06Kč/ks
Úchyt motoru	77,27 Kč/ks
Plastový bok ústrojí	512,54 Kč/ks

Nejvyšší úspory nákladu s sebou nenese samotné tělo dávkovacího ústrojí. U něj se podařilo novým návrhem zredukovat cenu o 9,6 % z necelých 4 000 Kč na 3605 Kč.

Zdaleka nejvyšší úspory se podařilo docílit u obou bočních víček, které v původním ústrojí tvořil svařenec několika nerezových výpalků a trubek. Nahrazením těchto



drahých dílů se podařilo cenu plastových víček dostat téměř na desetinu původní ceny. V tabulce jsou uvedeny ceny celých sestav víček.

K nárůstu ceny pak došlo u zadního víčka, neboť nově obsahuje i labyrint zabraňující průchodu osiva do tlakovací hadice. To zapříčinilo nárůst ceny z původních 759 Kč o necelých 47 % na 1 115 Kč.

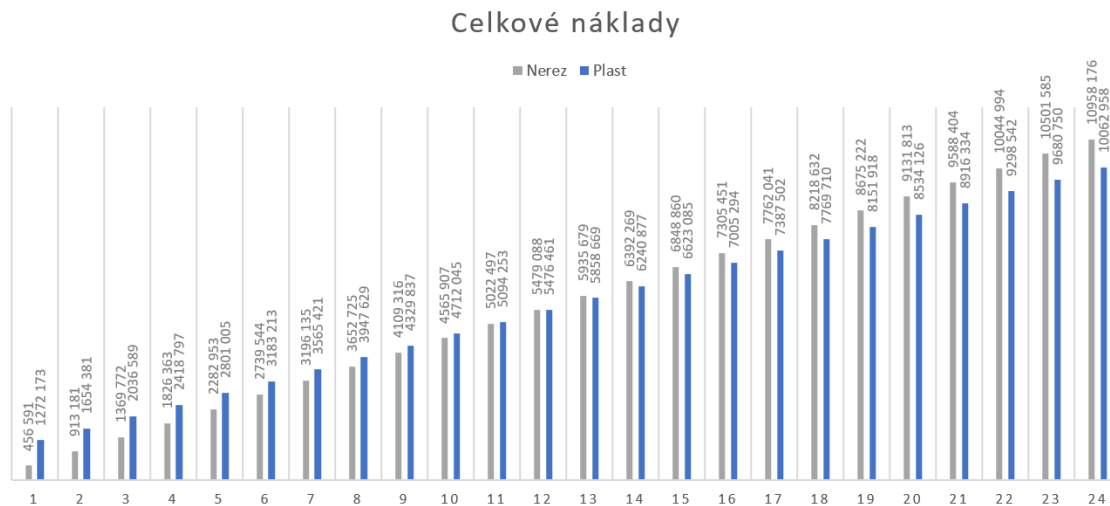
Další nárůst ceny se pak vyskytuje u zbylých dílů dávkovacího ústrojí. Je to zejména zapříčiněno tím, že se jedná o nové objednávky s malým počtem kusů. Dá se tedy předpokládat, že jejich cena se zavedením do sériové výroby ještě klesne.

Tab. 10 – Porovnání cen nerezového a hybridního dávkovacího ústrojí

	Nerezové ústrojí	Hybridní ústrojí	Změna ceny	
Tělo dávkovacího ústrojí	3 989,85 Kč	3 605,65 Kč	- 384,20 Kč	-9,6 %
Víčko s úchytem motoru	2 115,16 Kč	243,33 Kč	-1 871,85 Kč	-88,5 %
Víčko s ložiskem	1 501,41 Kč	201,06 Kč	-1 300,35 Kč	-86,6 %
Zadní víčko	759,68 Kč	1 115,85 Kč	+356,17 Kč	+46,9 %
Motor	7 133,97 Kč	7 133,97 Kč	0 Kč	0 %
Ostatní díly	2 763,56 Kč	2 988,46 Kč	+224,90 Kč	+8,1 %
Celkem	18 263,63 Kč	15 288,32 Kč	-2 975,31 Kč	-16,3 %

Celkově se na dávkovacím ústrojí podařilo snížit náklady na výrobu z původních 18 263 Kč, u ústrojí nerezového, na 15 288 Kč u ústrojí hybridního. Jedná se o redukcí ceny o 2 975 Kč, tedy 16,3 %.

Dávkovací ústrojí se dodává v průměru do 300 strojů za rok, a tak lze vypočítat celkové náklady spojené s výrobou těchto ústrojí a zjistit tak návratnost investice do forem na tlakové lití.



Obr. 76 - Porovnání celkových nákladů na výrobu dílů během prvních 24 měsíců

Z porovnání celkových nákladů na Obr. 76 je patrné, že počáteční náklady na výrobu formy jsou znatelné. Když ale přihlídneme k faktu, že nové dávkovací ústrojí je téměř o 3000 Kč levnější, tak zjistíme, že bodu zvratu dosáhneme již po uplynutí dvanácti měsíců. Po uplynutí dvou let pak dojde k úspoře 895 218 Kč.

Je ovšem nutno podotknout, že se jedná o porovnání základních verzí dávkovacích ústrojí. V případě nového hybridního ústrojí tedy není uvažována dodatečná výbava v podobě zadní stěrky na hrubá osiva, popřípadě čistících válečků pro výsev řepky. Je také předpokládán růst prodejů, který by zapříčinil znatelnější roční úspory na dávkovacích ústrojích.

Závěr

V rámci této diplomové práce byla zpracována rešerše týkající se historie a konstrukčních řešení různých typů výsevních ústrojí a jejich dávkovacích mechanismů. Byla též provedena rešerše konkurenčních řešení centrálních dávkovacích mechanismů pro pneumatické secí stroje, patentová rešerše aktivních patentů a rešerše týkající se plastů používaných v zemědělských aplikacích.

V praktické části byl pak vytvořen návrh ústrojí využívající plastové díly, zpracována jeho modelová dokumentace a pomocí DEM simulace zjištěna jeho odolnost vůči otěru proti vysoce abrazivní draselné soli, které se používá jako hnojivo. Na tomto návrhu poté bylo dle výsledků této simulace iterováno a vytvořen návrh nový, který kombinuje plastové a nerezové díly.

U tohoto návrhu byla provedena FEM simulace, jejíž cílem bylo zjistit odolnost dávkovacího ústrojí vůči zatížení při práci a transportu stroje. Dávkovací ústrojí splnilo požadavky na odolnost a byla prodiskutována jeho vyrobiteľnosť s firmou FormPlast s.r.o., která ukázala nutné technologické úpravy před výrobou ústrojí. Následně pak firma poskytla nacenění daných dílů, na základě čehož mohlo vzniknout ekonomické zhodnocení tohoto projektu. Zavedením nového ústrojí do výroby dojde ke snížení jednotkové ceny o 2975 Kč a k úspoře téměř 900 000 Kč během prvních dvou let.

Cíle diplomové práce byly splněny a byl úspěšně navržen nový dávkovací mechanismus obsahující jak plastové, tak nerezové části a snížil náklady spojené s výrobou ústrojí o 16,3 %. Zároveň také byla také podána přihláška na průmyslový vzor č. 015061163-0001.

Předtím, než bude dávkovací mechanismus zaveden do sériové výroby, bude ještě třeba během následujících několika měsíců provést laboratorní a polní zkoušky, aby byla zajištěna jeho odolnost v náročných polních podmínkách.



Slovník odborných výrazů

Secí stroj – stroj sloužící k uložení semene do půdy

Secí botka – součást secího stroje přímo zodpovědná za uložení semena do půdy

Výsevní komůrka – součástka zásobníků individuálních výsevních ústrojí, ve které se otáčí žlábkovaný váleček dávkující osivo do secích botek, secí stroj s individuálním výsevním ústrojím má stejný počet výsevních komůrek jako secích botek

Výsevník – obdoba výsevní komůrky, ovšem nacházející se mimo zásobník

Výsevní hřídel – hřídel procházející výsevní komůrkou nebo výsevníkem, na kterou je uchycen dávkovací váleček či jeho obdoba

Semenovod – zařízení, typicky hadice nejrůznějších průměrů, sloužící k dopravě semena od dávkovacího mechanismu k secí botce.

Čechrač – zařízení v zásobníku na osivo ve tvaru hřídele s hroty, sloužící ke zlepšení průchodu osiva.

Vyhazovač – součástka u určitých typů výsevních ústrojí sloužící k uvolnění semena z dávkovacího mechanismu

Exhaustor – odsávací ventilátor

Rozdělovací hlava – zařízení používané u centrálních pneumatických ústrojí k rozdělení proudu semen do jednotlivých semenovodů.

Těsnící chlopeň – také označována jako spodní stěrka, je součástka některých centrálních výsevních ústrojí sloužící k zamezení průchodu většího množství semen než bylo zamýšleno

Citovaná literatura

[1] **TEMPÍR, Zdeněk.** V českých zemích vznikalo revoluční nářadí, poznejte historii techniky ke zpracování půdy, sázení a setí. *Agroportal24h.cz*. [Online] 23.. Srpen 2021. [Citace: 29.. Duben 2024.] <https://www.agroportal24h.cz/clanky/v-ceskych-zemich-vznikalo-revolucni-naradi-poznejte-historii-techniky-ke-zpracovani-pudy-sazeni-a-seti>.

[2] **NĚMEC, Jiří.** *Mechanizace zemědělství II.* Praha : Státní pedagogické nakladatelství Praha, 1987. ISBN není uvedeno.

[3] **GOLASOVSKÝ, Karel.** *Zemědělské stroje.* Praha : Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství ČR v Praze, 1993. ISBN 80-7105-063-6.

[4] **KUMHÁLA, František a kol.** *Zemědělská technika: Stroje a technologie pro rostlinnou výrobu.* Praha : Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.

[5] **Amazonen-Werke GmbH** . Návod k obsluze Amazone pro secí stroje D9. *amazone.de*. [Online] 9. srpen 2008. [Citace: 3. březen 2023.] <https://et.amazone.de/files/pdf/mg2627.pdf>. MG2627.

[6] **ČIČKIN, V. P.** *Ovoščnyje Sejalki I Kombinirovannyje Agregaty: Teoria, Konstrukcije, Rasčet.* Kišiněv : Štiinca, 1984. ISBN není uvedeno.

[7] **HORSCH Maschinen GmbH.** *Návod k obsluze Pronto 6 AS.* Schwandorf : HORSCH Maschinen GmbH, 2021. 60063446. ISBN není k dispozici.

[8] **LEMKEN GmbH.** Alpen : LEMKEN GmbH, 2012. 175 3519. ISBN není uvedeno.

[9] **Väderstad Group.** Dávkovací jednotka Fenix III. *Vaderstad.com*. [Online] 2022. [Citace: 30. duben 2023.] <https://www.vaderstad.com/cz/produkty/davkovaci-jednotka-fenix-iii/>.

[10] **AGAZ Bučina s.r.o.** *Agaz.cz. Pneumatický secí stroj Kverneland u-drill plus.* [Online] 2021. [Citace: 1. květen 2023.] <https://agaz.cz/produkt/1437/>.



[11] **Kverneland Group**. *Kverneland DG II - High Performance Seed Drill*. Klepp : Kverneland Group, 2023. ISNB není uvedeno.

[12] **Kverneland Group**. *DG-II Spare Parts Manual*. Soest : Kverneland Group, 2021. A139074640.

[13] **Kverneland Group**. E-Drill Maxi Plus pro větší flexibilitu a efektivitu. *Kverneland.com*. [Online] 3. září 2020. [Citace: 1. květen 2023.] <https://cz.kverneland.com/Novinky/Produktove-clanky/Archiv-novinek-2021/E-drill-maxi-plus-pro-vetsi-flexibilitu-a-efektivitu>.

[14] **Farmet a.s.** Falcon PRO. *Farmet.cz*. [Online] Farmet a.s., 2023. [Citace: 1. květen 2023.] <https://www.farmet.cz/cs/modularni-seci-stroj-falcon-pro>.

[15] **Amazonen-Werke GmbH**. System Airstar: Accurate metering drive. *Amazone.net*. [Online] Amazonen-Werke GmbH, 2023. [Citace: 2. květen 2023.] <https://amazone.net/en/products-digital-solutions/agricultural-technology/seeding/pneumatic-seed-drills/system-airstar-accurate-metering-drive-1313262>.

[16] **PIRKENSEER, Michael**. *Dosing device, dosing system for agricultural distribution machine and distribution device with such a dosing system*. EP4165967 A1 EU, Německo, 14. Říjen 2021.

[17] **PIRKENSEER, Michael**. *Agricultural distribution machine and dosing device for agricultural distributor*. EP3662733 A1 EU, Německo, 5. Prosinec 2018.

[18] **GILSTRING, Gert**. *Meter housing for feeding granular or powdered material*. EP3358930 A1 EU, Švédsko, 15. Srpen 2018.

19. **GILSTRING, Gert**. *Rotor assembly, method, feeder device and agricultural implement for feeding granular or powder material*. EP3413699 EU, Švédsko, 7. Únor 2017.



[20] **MARTANGOLO, Enrico.** *Dosing equipment for dosing bulk material. EP2862431 B1* EU, Norsko, 16. Říjen 2013.

[21] **Laird Plastics.** How Are Plastics Used in Heavy Equipment? *lairdplastics.com*. [Online] Laird Plastics. [Citace: 17.. Prosinec 2023.] <https://lairdplastics.com/resources/how-are-plastics-used-in-heavy-equipment-/>.

[22] **PCC Group.** Polypropylen - vlastnosti, použití a vše, co o něm potřebujete vědět. *products.pss.eu*. [Online] PCC Group, 2021. Říjen 30. [Citace: 17.. Prosinec 2023.] <https://www.products.pcc.eu/cs/blog/polypropylen-vlastnosti-pouziti-a-vse-co-o-nem-potrebuje-vedet/>.

[23] **TechPlasty.** PA66+GF30 - polyamid modifikovaný skelnými vlákny. *techplasty.cz*. [Online] [Citace: 17.. únor 2024.] <https://www.techplasty.cz/material/polyamid/pa66gf30-polyamid-modifikovany-skelnymi-vlakny>.

[24] **Agrofert a.s.** Draselná sůl 60%. *mojehnojiva.cz*. [Online] Agrofert, 2019. [Citace: 18.. Prosinec 2023.] <https://www.mojehnojiva.cz/draselna-sul-60>.

[25] **HEMERKA, Jiří.** *Odlučování tuhých částic*. Praha: ČVUT, 1994. ISBN není dostupné.

[26] **BEDNAR FMT.** FERTI-BOX FB_F. *bednar.com*. [Online] BEDNAR FMT. [Citace: 18.. Prosinec 2023.] https://www.bednar.com/ferti-box-fb_f/.

[27] **EMS Grivory.** Technical Data Sheet Grivory GV-4H Black 9915. *www.emsgrivory.com*. [Online] červenec 2015. [Citace: 16. duben 2024.] www.emsgrivory.com. ISBN není dostupné.



Seznam obrázků

Obr. 1 – Schéma centrálního výsevního ústrojí	2
Obr. 2 – Schéma individuálního výsevního ústrojí.....	2
Obr. 3 - Válečkové výsevní ústrojí.....	5
Obr. 4 - Hrotový váleček secího stroje AMAZONE D9	6
Obr. 5 - Lžičník.....	7
Obr. 6 - Lžičkové výsevní ústrojí.....	7
Obr. 7 - Výsevní ústrojí s vertikální osou rotace	8
Obr. 8 - Výsevní ústrojí s horizontální osou rotace.....	8
Obr. 9 - Páskové výsevní ústrojí	9
Obr. 10 - Podtlakové kotoučové výsevní ústrojí	10
Obr. 11 - Pneumatické přetlakové centrální výsevní ústrojí	11
Obr. 12 - Odstředivé centrální výsevní ústrojí	12
Obr. 13 - Dávkovací mechanismus Horsch	13
Obr. 14 - Detail dávkovacího mechanismu Horsch.....	14
Obr. 15 - Těsnící chlopeň	14
Obr. 16 - Dávkovací ústrojí secího stroje Lemken Solitair	15
Obr. 17 - Hlavní komponenty dávkovacího ústrojí Fenix III.....	16
Obr. 18 - Tělo dávkovacího ústrojí Fenix III	16
Obr. 19 - Součásti mechanismu dávkovacího ústrojí Fenix III	17
Obr. 20 - Dávkovací ústrojí Kverneland ELDOS	18
Obr. 21 - Detail konstrukce dávkovacího ústrojí Kverneland ELDOS.....	19
Obr. 22 - Dávkovací ústrojí secích strojů Farnet Falcon	20
Obr. 23 - Dávkovací ústrojí Amazone Airstar	21
Obr. 24 - Dávkovací ústrojí dle patentu EP4165967 A1.....	23
Obr. 25 - Dávkovací ústrojí chráněné patentem EP4165967 A1	25
Obr. 26 - Dávkovací zařízení dle patentu EP3358930 A1	26



Obr. 27 - Vložka dávkovacího ústrojí dle patentu EP3413699 B1	27
Obr. 28 - Dávkovací ústrojí dle patentu EP2862431 B1.....	28
Obr. 29 - Schéma praktické části diplomové práce	31
Obr. 30 - Stávající nerezové dávkovací ústrojí na strojích firmy BEDNAR	32
Obr. 31 - Řez nerezovým dávkovacího ústrojím	33
Obr. 32 - První verze plastového dávkovacího ústrojí	34
Obr. 33 - Pravá strana prvního návrhu plastového dávkovacího ústrojí.....	35
Obr. 34 - Jednodílné plastové tělo dávkovacího ústrojí	35
Obr. 35 - Druhá iterace plastového dávkovacího ústrojí.....	36
Obr. 36 – Návrh dvoudílného těla dávkovacího ústrojí.....	36
Obr. 37 - Pravá strana druhé iterace plastového dávkovacího ústrojí.....	37
Obr. 38 - Synný úhel.....	39
Obr. 39 - Přípravek na měření statického synného úhlu	40
Obr. 40 - Schéma měření dynamického synného úhlu.....	42
Obr. 41 - Měření dynamického synného úhlu	42
Obr. 42 - Polopásový traktor New Holland T8 se secím strojem OMEGA	43
Obr. 43 - Dávkovací váleček KM420890 o objemu 890 cm ³	44
Obr. 44 - Ukázka průchodu částic dávkovacím ústrojím	47
Obr. 45 - Výsledky simulace otěru bez použití nerezové vložky.....	48
Obr. 46 - Detail výsledků simulace bez použití nerezové vložky	48
Obr. 47 - Výsledky simulace otěru při použití nerezové vložky	49
Obr. 48 - Detail výsledků simulace otěru při použití nerezové vložky.....	50
Obr. 49 - Schéma dvoudílného a čtyřdílného těla dávkovacího ústrojí.....	52
Obr. 50 – Symetrický bok hybridního těla dávkovacího ústrojí.....	54
Obr. 51 - Celé hybridní dávkovací ústrojí.....	55
Obr. 52 - Tělo hybridního dávkovacího ústrojí	56
Obr. 53 - Pravá strana plastového boku	56
Obr. 54 - Levá strana plastového boku	56



Obr. 55 - Vnitřní uspořádání dávkovacího ústrojí.....	57
Obr. 56 - Univerzální plastový díl víčka.....	60
Obr. 57 - Sestava levého víčka s axiálním jištěním ložiska	60
Obr. 58 - Sestava pravého víčka s úchytem motoru.....	60
Obr. 59 - Dělicí víko s tlakovací hadicí a senzorem.....	61
Obr. 60 - Dělicí víko s tlakovací hadicí, senzorem a stěrkou na hrubá osiva	61
Obr. 61 - Dělicí víko s tlakovací hadicí, senzorem a čistícími kartáčky	61
Obr. 62 - Bludiště pro zbrzdění proudu vzduchu.....	62
Obr. 63 - Svařenec bludiště se zámkou pro snadnější sesazení a svaření	62
Obr. 64 - Zjednodušené schéma uchycení ústrojí pod zásobník	63
Obr. 65 - Simulační model pro FEM analýzu.....	64
Obr. 66 – Závislost napětí na poměrné deformaci materiálu PA66+GF40.....	65
Obr. 67 – Youngův modul pružnosti PA66+GF40	66
Obr. 68 - Celkové výsledky simulace dávkovacího ústrojí pro otřes	67
Obr. 69 - Vnější strana plastového boku dávkovacího ústrojí.....	68
Obr. 70 - Vnitřní strana plastového boku dávkovacího ústrojí; vlevo	68
Obr. 71 - Výsledky simulace pro otřes stroje při transportu	70
Obr. 72 – Úchyt motoru s výsledky simulace ucpání ústrojí během otřesu.....	71
Obr. 73 - Boční víčko s výsledky simulace ucpání ústrojí během otřesu	72
Obr. 74 - Finální vnitřní uspořádání hybridního dávkovacího ústrojí.....	74
Obr. 75 - Technologické úpravy plastového boku	75
Obr. 76 - Porovnání celkových nákladů na výrobu dílů	78



Seznam tabulek

Tab. 1 - Aplikační dávky draselné soli pro nejčastější plodiny	38
Tab. 2 - Materiálové vlastnosti draselné soli	39
Tab. 3 - Naměřené a vypočtené hodnoty	41
Tab. 4 - Naměřené hodnoty dynamického sypného úhlu	42
Tab. 5 - Podnikové statistiky o uživateli strojů BEDNAR	43
Tab. 6 - vstupní hodnoty pro výpočet	44
Tab. 7 - Náklady na formy těla dávkovacího ústrojí	76
Tab. 8 – Ceny dílů těla dávkovacího ústrojí	76
Tab. 9 – Porovnání cen nerezového a hybridního dávkovacího ústrojí	77

Seznam symbolů a zkratk

Značka	Jednotka	Název
D	$kg \cdot ha^{-1}$	Požadovaná dávka hnojiva
f	–	Statický koeficient vnitřního tření
f_D	–	Dynamický koeficient tření
g	$m \cdot s^{-2}$	Gravitační zrychlení
h	mm	Výška kužele hnojiva
l	m	Celková zasetá vzdálenost
m	kg	Hmotnost částičky materiálu
m_{celk}	kg	Celková hmotnost hnojiva
m_1	kg	Celková hmotnost hnojiva, které projde jedním ústrojím
m'	$kg \cdot m^{-3}$	Sypaná hmotnost draselné soli
\dot{m}	$kg \cdot h^{-1}$	Hmotnostní tok dávkovacím ústrojím
n	1	Celkový počet otáček dávkovacího ústrojí
O_{60s_PA}	mm	Otěr plastového dávkovacího ústrojí za 60 s
$O_{celkový_PA}$	mm	Celkový otěr plastového dávkovacího ústrojí



O_{60s_nerez}	mm	Otěr nerezové vložky dávkovacího ústrojí za 60 s
$O_{celkový_nerez}$	mm	Celkový otěr nerezové vložky dávkovacího ústrojí
Q	$m^3 \cdot min^{-1}$	Objemový tok dávkovacím ústrojím
r	mm	Poloměr válcového zásobníku
R	mm	Spodní poloměr kužele hnojiva
S	ha	Celková zasetá výměra
t	h	Celkový odpracovaný čas
v	$km \cdot h^{-1}$	Pracovní rychlost
V	cm^3	Objem komůrek dávkovacího válečku
$V_{dras.sůl}$	m^3	Celkový objem hnojiva, které projde jedním ústrojím
Z	m	Záběr secího stroje
α	$^\circ$	Statický sypný úhel
α_D	$^\circ$	Dynamický sypný úhel
ω	min^{-1}	Frekvence otáčení dávkovacího válečku

Seznam příloh

Seznam patentů

Ceny dílů nerezového ústrojí

Ceny dílů hybridního ústrojí