

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMEDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Zemědělská a dopravní technika

Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Mechanismus rozkládání aplikačních ramen postřikovače**

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

Autor diplomové práce: Bc. Jakub Tretera

České Budějovice, 2018

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

Fakulta zemědělská

Akademický rok: 2016/2017

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub TRETERA**

Osobní číslo: **Z15518**

Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Zemědělská a dopravní technika**

Název tématu: **Mechanismus rozkládání aplikačních ramen postřikovače**

Zadávací katedra: **Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky**

### Z á s a d y p r o v ý p r a c o v á n í :


1. Proveďte rešerši z dostupné literatury a prací dosud zpracovaných na toto téma
2. Vymezte základní pojmy, požadované vlastností a teorie z oblasti konstrukce obdobných strojů.
3. Konzultujte řešenou problematiku s odborníky z praxe
4. Proveďte souhrn všech informací pro navrhování a způsoby konstrukčních řešení uvedené problematiky
5. Pokuste se vytvořit návrh konstrukčního řešení, které by splňovalo požadované parametry
6. Pokuste se analyzovat navržené řešení z hlediska funkčnosti, nákladovosti, výrobní realizovatelnosti a to v součinnosti s konstruktéry a technologi z praxe.
7. Pokuste se o zhodnocení přínosů navrhovaného řešení
8. Vypracujte názornou prezentaci této práce v PowerPoint, kterou využijete při obhajobě.

Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Rozsah pracovní zprávy: 50 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická  
Seznam odborné literatury:

1) VELES, P. : Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov: celoštátna vysokoškolská učebnica pre hutnícke a strojárské fakulty vysokých škôl. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1989. 401 s.; 2) VLACH, R.: Základy lomové mechaniky, VUT FSI, Ústav Materiálových Věd a Inženýrství, 13 s. [online], Dostupné z WWW: <http://ime.fme.vutbr.cz/files/vyuka/GS0/06%20%20Lomova%20mechanika.doc>; 3) HÖSCHL, C.: Pružnost a pevnost ve strojnictví, SNTL, Praha, 1971, pp. 376; 4) PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I a II. Brno: CERM, 2000 a 2001. 218 a 264 s.; 5) VLACH, B. Mezní stavy materiálů, zkoušení mechanických charakteristik materiálů. Brno: VUT, 2002. 226s.; 6) MOLLIKOVÁ E., KALÁB P., STRÁNSKÝ L., SEDLÁČEK J.: Zkouška rázem v ohybu. [online]. VUT FSI, Ústav Materiálových Věd a Inženýrství, 2006 [cit. 2011-03-09]. Dostupné z WWW: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/umvi/zk.raz.ohybu.pdf>; 7) POKLUDA, J., Kroupa, F., Obdržálek, L.: Mechanické vlastnosti a struktura pevných látek (Kovy, keramika, plasty). VUT Brno, 1994. ISBN 80-214-0575-9; 8) KUMHÁLA, F. et al.: Zemědělská technika-stroje a technologie v rostlinné produkci. ČZU v Praze v nakladatelství Powerprint, 2007, 438 s., ISBN 978-80-213-1701-7; 9) KOVAŘÍČEK, P. Plošné postřikovače pro ochranu rostlin a hnojení kapalnými hnojivy, IVV MZeČR, 1997, 38.s ISBN 807105-159-4; 10) SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva ŠMEHLÍKOVÁ. Speciální technologie tváření: část II. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4406-5.

Vedoucí diplomové práce: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.  
Katedra zemědělské, dopravní a manipulační techniky  
Konzultant diplomové práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.  
Katedra aplikované fyziky a techniky  
Ostatní konzultanti: Jiří Havel  
AGRIO Křemže MZS s.r.o.

Datum zadání diplomové práce: 14. února 2017  
Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2018

  
prof. Ing. Milošlav Šoch, CSc., dr. h. c.  
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA <sup>43</sup>  
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA  
studijní oddělení  
Studenácká 1668, 370 05 České Budějovice

  
doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 17. března 2017

## Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce na téma: **Mechanismus rozkládání aplikačních ramen** a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 27. 4. 2018

Podpis: .....

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval pánům doc. RNDr. Petru Bartošovi, Ph.D. a PaedDr. Bedřichu Veselému, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a připomínky.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá analýzou konstrukce rozkládacího mechanismu postřikovače, konkrétně kliky rozkládání. V úvodní teoretické části je popsána konstrukce a funkčnost hlavních částí postřikovače. Dále se tato část věnuje materiálům používaným při konstrukci a jejich vlastnostem, zkoušením a jejich svařitelnosti.

V praktické části diplomové práce autor popisuje konstrukci kliky rozkládání, diskutuje vhodnost použitého typu oceli a analyzuje namáhání v programu Autodesk Inventor. Závěr práce tvoří doporučené úpravy stávající konstrukce a návrh nového řešení.

## **Klíčová slova:**

Pevnostní řešení kliky postřikovače, postřikovač zemědělských plodin, konstrukce ramen postřikovače, namáhání součástí

## **Abstract**

The thesis deals with the analysis of the structure of the spraying mechanism of the sprinkler, namely the folding handles. The introductory part is theoretical and describes the construction of the main parts of the sprayer. Further, this section deals with materials used in construction and their properties, testing and their weldability.

The practical part focuses on the description of the part, ie the design and the type of steel used. In addition, an analysis is performed in Autodesk Inventor. The conclusion of the work consists of recommended modifications of the existing construction and design of a new solution.

## **Keywords:**

Strength of crank sprayer, sprayer, sprayer arms, load of parts

# 1. Obsah

|  |    |
|--|----|
| Úvod.....                                  | 9  |
| 1. Cíle práce .....                        | 10 |
| 1.1 Teoretické cíle.....                   | 10 |
| 1.2 Praktické cíle.....                    | 10 |
| 2. Literární přehled .....                 | 11 |
| 2.1 Základní části postřikovačů.....       | 11 |
| 2.1.1 Podvozek.....                        | 11 |
| 2.1.2 Zásobní nádrž.....                   | 15 |
| 2.1.3 Míchací zařízení.....                | 17 |
| 2.1.4 Filtry.....                          | 18 |
| 2.1.5 Čerpadlo.....                        | 19 |
| 2.1.6 Trysky .....                         | 21 |
| 2.1.7 Rozvod postřikové jichy .....        | 22 |
| 2.1.8 Doplnkové vybavení postřikovače..... | 23 |
| 2.1.9 Postřiková ramena.....               | 24 |
| 2.2 Vlastnosti ocelí.....                  | 33 |
| 2.2.1 Fyzikální vlastnosti .....           | 33 |
| 2.2.2 Mechanické vlastnosti.....           | 33 |
| 2.2.3 Technologické vlastnosti .....       | 35 |
| 2.2.4 Kontrola svarů (defektoskopie) ..... | 36 |
| 3. Metodika .....                          | 38 |
| 4. Praktická část .....                    | 40 |
| 4.1 Popis konstrukce .....                 | 40 |
| 4.2 Materiálová analýza .....              | 43 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.2.1 | Ocel S235JR .....                                       | 44 |
| 4.2.2 | Ocel E355+C (ČSN 11600) .....                           | 44 |
| 4.3   | Analýza .....   | 45 |
| 4.3.1 | Analýza působení sil .....                              | 45 |
| 4.3.2 | Analýza působení sil v programu Autodesk Inventor ..... | 46 |
| 4.3.3 | Analýza problému .....                                  | 50 |
| 4.4   | Řešení stávajícího stavu .....                          | 51 |
| 4.4.1 | Použitý materiál .....                                  | 52 |
| 4.5   | Návrh konstrukčního řešení .....                        | 54 |
| 4.5.1 | Konstrukce .....  | 54 |
| 4.5.2 | Analýza v programu Autodesk inventor .....              | 56 |
| 4.5.3 | Výsledek simulace .....                                 | 60 |
| 4.6   | Návrh stabilizace ramen při prudké deceleraci .....     | 60 |
| 5.    | Závěr .....   | 62 |
| 6.    | Doporučení pro konstrukční řešení kliky .....           | 63 |
|       | Seznam použité literatury .....                         | 64 |
|       | Seznam obrázků .....                                    | 66 |



## Úvod

V průběhu studia na vysoké škole jsem se začal zajímat o ocelové konstrukce. Tento koníček jsem přenesl do praxe a v této oblasti již několik let pracuji. V roce 2017 jsem začal s firmou Agrio MZS s.r.o. spolupracovat jako externí svářeč.

Tato firma byla založena v roce 1993. Krátce po svém vzniku se firma zabývala opravami zemědělských strojů a postřikovačů. Později firma začala v České republice licenčně vyrábět postřikovače německé firmy GSB. Dnes vyrábí firma vlastní postřikovače a její výrobky jsou v dané oblasti srovnatelné se světovou špičkou. Postupem času se portfolio firmy rozrostlo od nesených a návěsných postřikovačů po speciální nástavbové a samojízdné postřikovače. Společnost nyní disponuje stroji s širokým spektrem pracovního záběru od 15 až do 36 m a s objemem zásobních nádrží od 2500 l do 14 000 l. V současné době roste poptávka po těchto postřikovačích a s tím rostou i požadavky na zlepšení těchto strojů. Například požadavky vyšší pojezdové rychlosti a co nejvyšší přesnost aplikace postřiku. Z těchto důvodů si firma do budoucna vytyčila celou řadu konstrukčních inovací, které chce aplikovat na dané stroje.

Výrobní zaměření firmy, konstrukce postřikovačů a různá technická řešení, mne natolik zaujalo, že jsem se při hledání tématu mé diplomové práce rozhodl oslovit hlavního konstruktéra pana Havla. Po konzultaci s ním, jsem si vybral jednu z částí postřikovače, která má být konstrukčně upravena. Jednalo se o kliku rozkládání aplikačních ramen na postřikovači NAPA Agrio.

Při realizaci zadaného úkolu se v teoretické části zaměříme na rešerši hlavních částí postřikovače. Speciálně se budeme zabývat popisem aplikačních ramen postřikovačů dané firmy, ale i ostatních výrobců polních postřikovačů. Při dalším postupu budou popsány vlastnosti materiálu, které se při konstrukci používají a do jaké míry splňují požadavek zaručené svařitelnosti.

Praktická část diplomové práce bude popisovat problematiku část. V této části bude analyzována vhodnost konstrukce a použitého materiálu. Dalším cílem je také provést zátěžovou analýzu v programu Autodesk Inventor, díky které budou zobrazena problematiska místa konstrukce, například vysoké koncentrace napětí. V závěru práce bude navrženo zlepšení stávajícího konstrukčního řešení a provedeny i některé materiálové změny. Posledním bodem by pak byl návrh nové konstrukce, s ohledem na požadavky, které jsou na tento díl v provozu kladeny.

# 1. Cíle práce

## 1.1 Teoretické cíle

- Rešerše informací z dostupných zdrojů o konstrukci postřikovačů
- Porovnání konstrukčních řešení aplikačních ramen a přílehlých částí od různých výrobců.
- Rešerše informací z dostupných zdrojů o vlastnostech a svařitelnosti kovů.

## 1.2 Praktické cíle

- Analyzovat konstrukční řešení rozkládací kliky postřikovače Agrio.
- Analyzovat namáhání kliky v programu Autodesk Inventor.
- Pokusit se o zjištění míst, kde dochází na klice ke koncentracím napětí.
- Vypracovat v závěru práce doporučení pro konstrukční řešení.
- Vypracovat prezentaci práce v PowerPoint, která bude použita při obhajobě.

## 2. Literární přehled

### 2.1 Základní části postřikovačů

Části postřikovače se rozdělují do dvou skupin.

První skupina obsahuje části, které jsou nutné pro standartní funkci postřikovače. Jsou tedy nutností a bez nich by stroj nepracoval správně:

- tryska,
- dávkovací zařízení se synchronizací podle změny otáček motoru,
- míchací zařízení,
- postřikový rám s nastavitelnou optimální výškou,
- ventil proti odkapávání trysek,
- systém filtrace postřikové jíchy.

Do druhé skupiny spadají části, které se přímo nepodílejí na postřiku:

- GPS systém,
- automatická regulace postřiku v závislosti na rychlosti pojezdu.

#### 2.1.1 Podvozek

Postřikovače rozdělujeme na:

- nesené,
- návěsné,
- samojízdné.

##### 2.1.1.1 Nesené postřikovače

Nesený postřikovač (viz obrázek 1) je ve většině případů k traktoru připojen pomocí tříbodového závěsu. Podvozkovou část postřikovače přebírá samotný traktor. Velikost běžných nádrží postřikovačů bývá do 1000 l a pracovní záběr do 15 m. Postřikovače s větší zásobní nádrží mohou být kombinovány jen s traktory vyšších výkonnostních tříd z důvodu únosnosti pneumatik a říditelnost soupravy.

Výroba nesených postřikovačů čím dál více ustupuje návěsným postřikovačům nižších objemů nádrží, ale stále nalézají uplatnění hlavně ve vinicích a ostatních řádkových kulturách.

Výhody:

- nižší cena,
- kompaktnost,
- skladnost,
- vysoká manévrovací schopnost.

Nevýhody:

- horší obslužnost (připojení - odpojení od traktoru),
- časté doplňování postřikové kapaliny (KOVARÍČEK, 1997).



Obrázek 1 – Nesený postřikovač TENCOMA TX 800 (Lukaservice s.r.o.)

### 2.1.1.2 Návěsné postřikovače

Návěsný postřikovač (viz obrázek 2) obsahuje již vlastní nápravu (i více náprav), díky které lze zvýšit hmotnost, tedy objem nádrže na 2000 l – 14 000 l. Na stroji může být díky menším nárokům na hmotnost umístěna další zařízení, např. přimíchávací nádrž, nádrž na oplachovou vodu, zařízení pro postřik s podporou vzduchu.

Pro postřikovač se používají převážně velká kola (44“ až 48“), která mají nižší valivý odpor, nižší tlak na půdu a vysokou světlou výšku pro práci v členitém terénu. Upřednostňují se spíše užší pneumatiky, kvůli možným škodám díky přejezdu po poli.

Moderní verze mají nastavitelný rozchod kol. Poškození porostu koly postřikovače při otáčení soupravy na souvrati lze odstranit buď umístěním kloubu na připojovacím závěsu stroje doprostřed rozvoru mezi zadní nápravou traktoru a nápravou postřikovače, nebo použitím mechanicky, popřípadě hydraulicky řízené nápravy postřikovače. Poslední varianta umožňuje řidiči dálkově ovládat ujiždění postřikovače na svahu při jízdě po vrstevnici.

Výhody:

- vyšší objem zásobní nádrže,
- nižší hmotnostní nárok,
- mohou být použity přídavná zařízení pro snazší obsluhu a provoz,
- jednodušší připojení než u neseného postřikovače.

Nevýhody:

- nižší manévrovací schopnost (KOVAŘÍČEK, 1997).



Obrázek 2 – Návěsný postřikovač AGRIO NAPA (Agrio Mzs s.r.o.)

### 2.1.1.3 Samojízdné postřikovače

Samojízdný postřikovač (viz obrázek 3) shrnuje výhody obou předchozích, tedy velkou manévrovací schopnost a vysoký objem zásobní nádrže. Díky speciální konstrukci podvozku a rámu je umožněna vysoká světlost stroje (nad 0,9 m). Tato vlastnost neplatí u nástavbových postřikovačů, které jsou montovány na stroje s malou světlou výškou (JCB Fastrac, MB Unimog, MB- rac). Postřikovač může být vybaven buď pevným, nebo roztažitelným rozchodem kol a je také umožněna jejich výměna pro zásahy v méně příznivých podmínkách, tedy montáž širokých nízkotlakých pneumatik. Pro práci v porostech se používají kola kultivační.

Výhody:

- manévrovací schopnost,
- vysoký objem zásobní nádrže,
- možnost výměnných nástaveb (postřikovací, rozmetací, cisterna s aplikátorem digestátu),

Nevýhody:

- vysoká pořizovací cena (3 mil. Kč a více) (KOVAŘÍČEK, 1997).



Obrázek 3 - Samojízdný postřikovač AGRIO DINO (Agrio Pardubicko)

### 2.1.2 Zásobní nádrž

Zásobní nádrže (viz obrázek 4) jsou ve většině případů, sklolaminátové, nebo polyetylenové.

Jsou tvarovány tak, aby v nich nemohly vznikat úsady. Sací potrubí je vyvedeno z prohlubně ve spádovém dnu nádrže, aby se mohla vyprázdnit i ve svahu. Technologicky nevyprázdnitelný zbytek v nádrži je předpisy omezen; v praxi jeho objem nepřevyšuje podle velikosti nádrže 5 až 15 l. (KOVARČÍČEK, 1997).

Nádrž je pro indikaci stavu hladiny vybavena vodoznakem, buď mechanickým plovákovým, nebo elektronickým. Přívody pomocných technologických okruhů postřikové jíchy – hydraulického míchání – od přetlakového ventilu do nádrže jsou v horní části nádrže, aby nemohlo dojít k úniku jíchy při poškození jejich potrubí. Nádrž má v horní části kontrolní a plnicí otvor o minimální světlosti 300 mm, který musí být opatřen dobře těsnícím víkem, zajištěným proti náhodnému otevření a ztrátě. Proti vniknutí větších nečistot do nádrže je v plnicím otvoru vloženo síto ve tvaru koše (KOVARČÍČEK, 1997).



Obrázek 4a - Polyetylenová nádrž (Agrio Mzs s.r.o.)



Obrázek 4b - Sklolaminátová nádrž (Agrio Mzs s.r.o.)



### 2.1.3 Míchací zařízení

Míchání obsahu nádrže (viz obrázek 5) je nutné při přípravě postřikové jíchy, nebo při krátkodobém přerušení postřiku. Pokud se aplikují nerozpustné přípravky, které vytvářejí emulze a suspenze, musí se obsah nádrže míchat i při průběhu postřiku (KOVAŘÍČEK, 1997).

Míchací zařízení rozdělujeme na:

- mechanické,
- hydraulické,
- pneumatické.

#### 2.1.3.1 Mechanické

K míchání je využívána hřídel, na které jsou umístěny dva až čtyři páry lopatek. Hřídel je umístěna ve spodní části nádrže. Rychlost otáčení hřídele je  $100 - 180 \text{ ot. min}^{-1}$ .

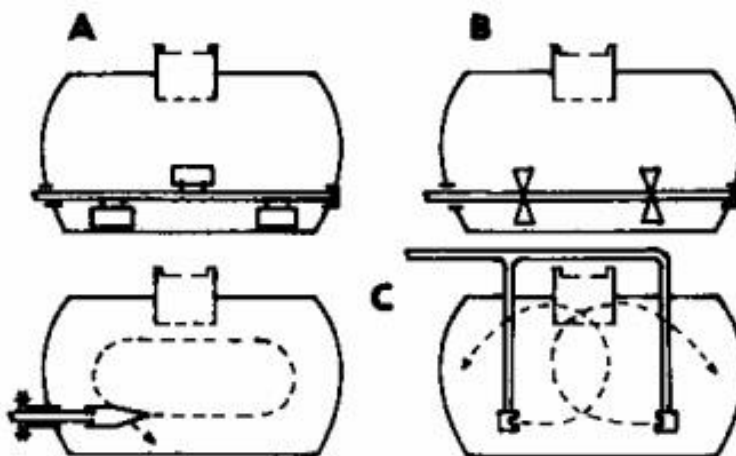
Také se mohou používat míchadla kyvná, která se skládají z hřídelí a lopatek. Rychlost kývání je přibližně  $15 - 50 \text{ kyvů. min}^{-1}$  (KUMHÁLA a kol. 2007).

#### 2.1.3.2 Hydraulické

K míchání se používají míchací trysky s ejektorovou hubicí nebo trubky s tryskami umístěné nade dnem nádrže. Pro vyšší účinnost míchání při přípravě jíchy je často vřazen druhý míchací rozvod s velkými a účinnými tryskami, označovaný jako tlakové míchání. Ten je napájen samostatným přívodem pouze při uzavřeném postřiku celého postřikového rámu. Často se využívá i pro výplach zásobní nádrže čistou vodou po ukončení postřiku (KUMHÁLA a kol. 2007).

#### 2.1.3.3 Pneumatické

Míchání nádrže zajišťuje přetlakový vzduch, který je přiveden do spodní části nádrže.



Obrázek 5 – Míchadla nádrží postřikovačů: A – lopatkové, B – vrtulové, C – hydraulické (FRÍD).

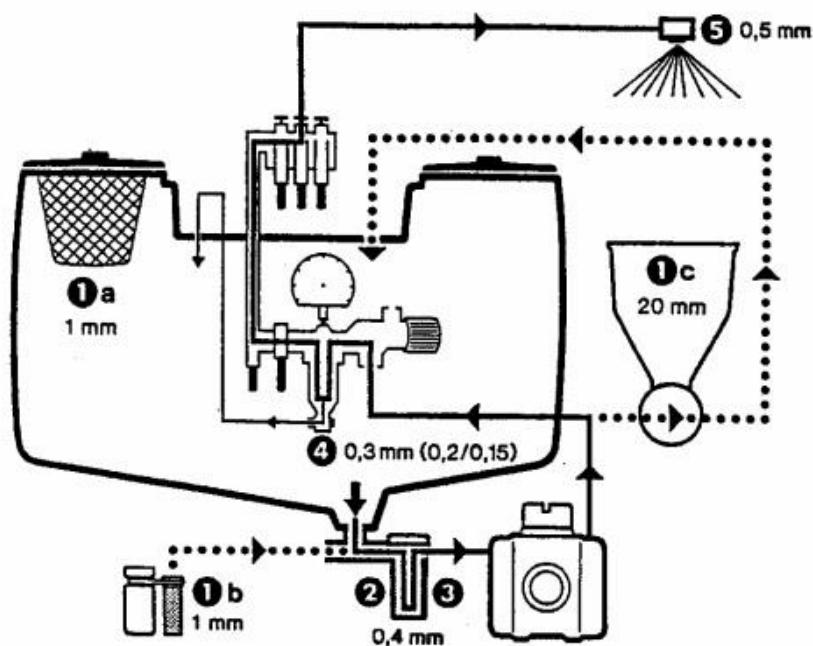
### 2.1.4 Filtry

Čistota postřikové jíchy je důležitým aspektem. Ucpání trysek může způsobit špatné rozmíchání přípravků, nebo různé nečistoty. To má za následek špatnou kvalitu zásahu a prostoje postřikovače z důvodu jeho čištění. Na cestě ze zásobní nádrže do trysek jsou až čtyři systémy filtrace (viz obrázek 6):

- sací koš, který je umístěn v plnicím otvoru (světlost 1 mm),
- sací filtr umístěný přímo před čerpadlem (světlost 0,4 mm),
- tlakový filtr ve výtlačku čerpadla,
- sítko v tělese trysky.

Poslední dva filtry mají výměnné vložky. Je důležité dodržet přesný typ vložky podle parametrů samotných trysek. Důležitým požadavkem je možnost čištění všech filtrů, i když je zásobní nádrž zcela plná a do vnějšího prostředí nesmí uniknout více kapaliny, než je ve vlastním těle filtru.

Tlakový filtr má samočisticí vlastnost. Díky průtoku části jíchy z primární strany síta zpět do nádrže jsou odnášeny hrubší částice, nebo špatně rozpuštěné práškové přípravky. Tím je zamezeno případnému zanesení filtru (KOVARÍČEK, 1997).



Obrázek 6 – Několikanásobný filtrační systém postřikovače: 1a, 1b – hrubá filtrace v sacím nebo plnicím koši, 1c – sítko v nádrži ekomixéru, 2, 3 – sací filtr, 4 – tlakový filtr se zpětným proplachováním a výměnnými vložkami filtru, 5 – filtr v držáku trysek (FRÍD).

## 2.1.5 Čerpadlo

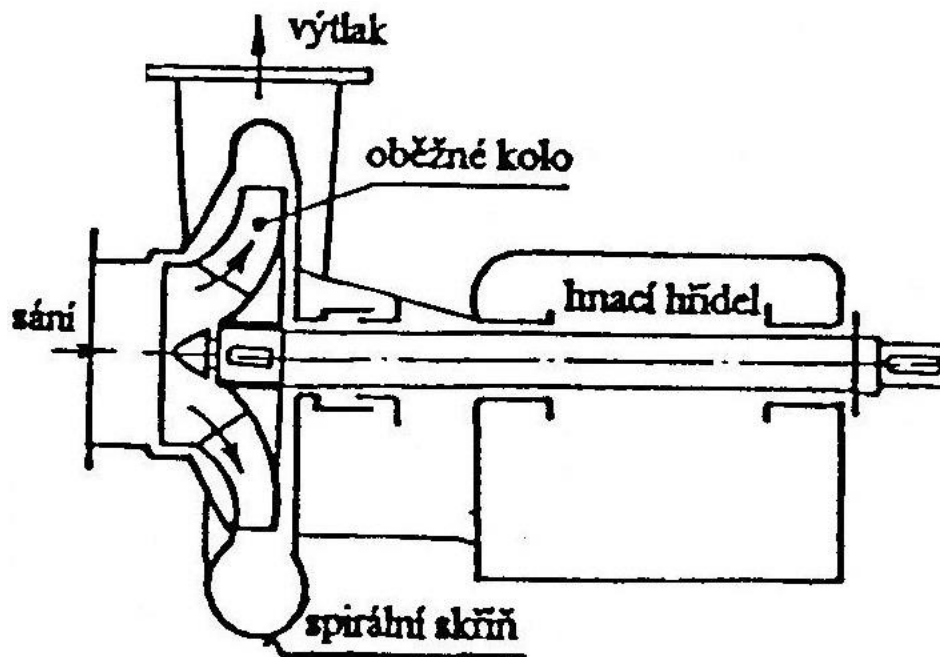
Čerpadlo je jednou z nejdůležitějších částí postřikovače, díky němuž je postřikovací jícha dopravována ze zásobní nádrže přímo k tryskám. Čerpadlo se také využívá k plnění zásobní nádrže vodou, pro přípravu postřikové jíchy a pro hydraulickou homogenizaci obsahu zásobní nádrže. Pokud má stroj přídatnou nádrž na vodu, čerpadlo se využívá i při ukončení aplikace, tedy pro asanaci nádrže a rozvod postřikové jíchy.

Nejčastěji se u postřikovačů využívají čerpadla:

- hydrodynamická (jednostupňová, radiální, odstředivá),
- hydrostatická (membránová a pístová), (KOVARŤÍČEK, 1997).

### 2.1.5.1 Hydrodynamické čerpadlo

Hydrodynamická odstředivá čerpadla (viz obrázek 7) pracují s maximálním tlakem jen do 500 kPa. Protože charakteristika průtoku postřikové jíchy v závislosti na otáčkách má kvadratickou závislost, lze synchronizace dávky v závislosti na pracovní rychlosti dosáhnout jen ve spojení s řídicím počítačem. Tato čerpadla dosahují vysokých průtoků, což je velkou výhodou při plnění nádrže postřikovače. Pracují s dostatečnou účinností jen při otáčkách nad 1500 ot.min<sup>-1</sup>, a proto je pohon čerpadla řešen pomocí hydromotoru nebo vývodovým hřídelem traktoru přes převod do rychla (KOVARŤÍČEK, 1997).



Obrázek 7 – Hydrodynamické (odstředivé) čerpadlo (Hasiči a požární technika).

### 2.1.5.2 Hydrostatické čerpadlo

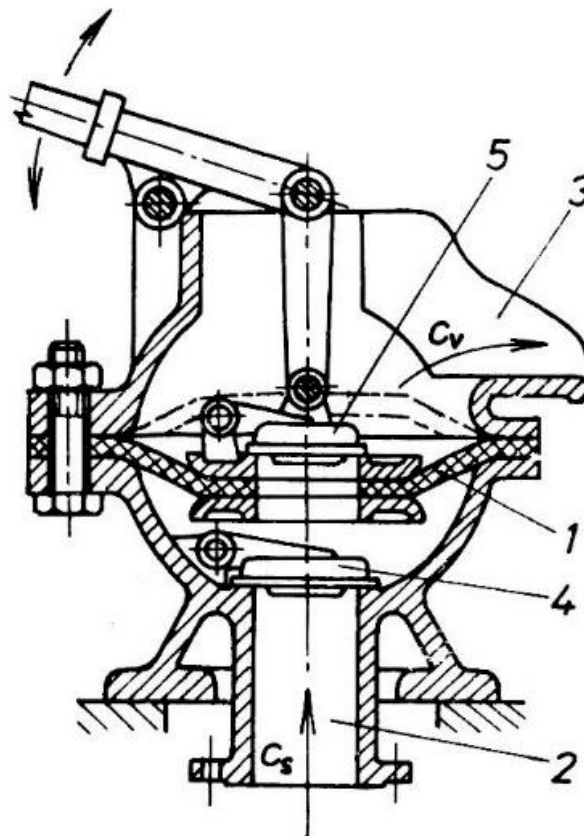
Hydrostatická čerpadla (viz obrázek 8) se též označují jako objemová

Patří mezi ně:

- pístová,
- plunžrová,
- membránová,
- zubová.

Průtok kapaliny čerpadlem má téměř přímo úměrnou závislost na otáčkách čerpadla. Díky tomu se čerpadlo používá při pohonu od kola postřikovače, kdy lze měnit hektarová dávka v závislosti na pojezdové rychlosti postřikovače. U postřikovačů s pohonem čerpadla od kola musí být pro plnění nádrže vřazeno ještě pomocné čerpadlo.

Membránové čerpadlo má vyšší spolehlivost a životnosti díky oddělení pohyblivých mechanických částí membránou od jíchy, která má často korozivní a abrazivní účinek (FRÍD).



Obrázek 8 – Hydrostatické (membránové) čerpadlo: 1 - membrána, 2 - sací hrdlo, 3 - výtokový žlab, 4 - sací ventil, 5 - výtlačný ventil (Elektronická učebnice).

### 2.1.6 Trysky

Trysky (viz obrázek 9) jsou jedny z nejdůležitějších částí postřikovače. Díky jejich kvalitní funkci může být dosaženo nejúčinnější ochrany rostlin.

Základní rozdělení rozptylu trysek:

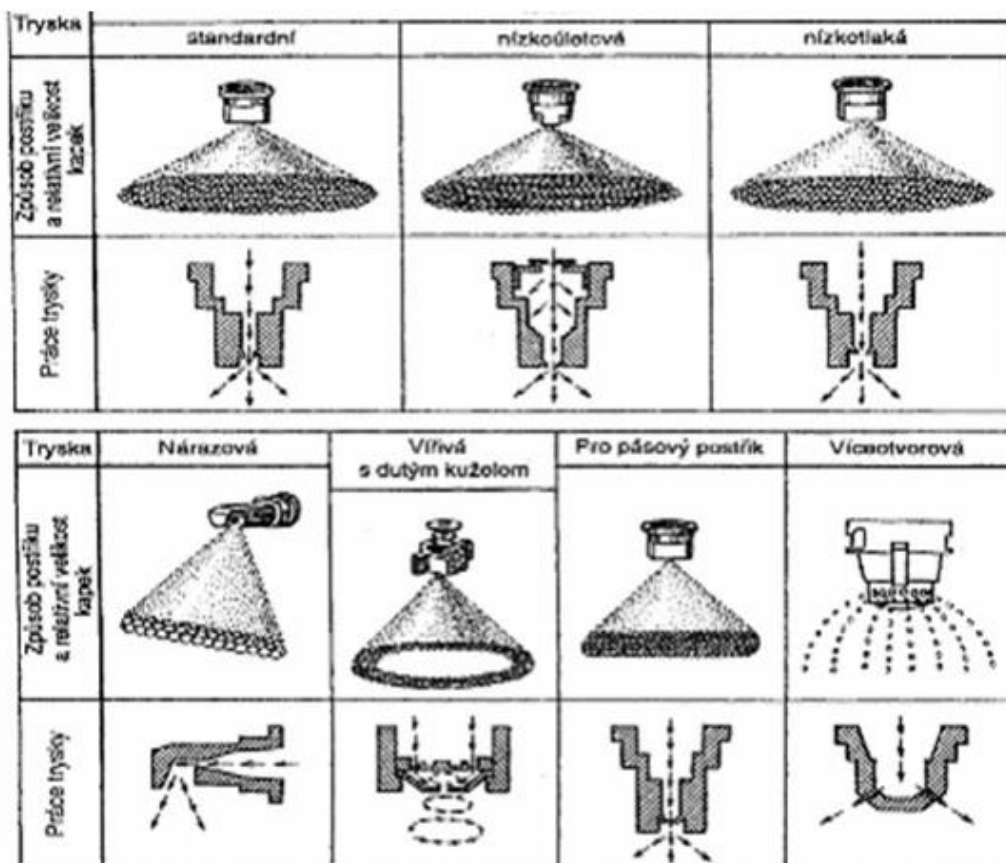
- hydraulicky,
- pneumaticky,
- mechanicky,
- termicky,
- kombinovaně (kombinací výše uvedenými způsoby).

Podle tlaku:

- nízkotlaké (do 0,6 MPa),
- vysokotlaké (nad 0,6 MPa).

Podle způsobu rozptylu:

- hydraulické (štěrbinové, nárazové, víceotvorové, vířivé),
- mechanické,
- pneumatické,
- termické,
- kombinované (FRÍD).



Obrázek 9 – Princip činnosti hydraulických trysek a tvar rozptylového obrazce (KOVÁŘÍČEK, 1997).

### 2.1.7 Rozvod postřikové jíchy

Rozvod postřikové jíchy se skládá z:

- spojovacích hadic,
- potrubí,
- armatur,
- držáků trysek,
- bezpečnostního přetlakového ventilu,
- ovládání ventilů.

Propojuje jednotlivé funkční části postřikovače a umožňuje obsluhu spouštět pomocí ovládacích ventilů jednotlivé funkční okruhy postřikovače – plnění nádrže vodou, přípravku postřikové jíchy (tzn. přimísení chemických přípravků a jejich homogenizaci v nádrži), postřik, popřípadě i vyplachování potrubí a nádrže před ukončením práce nebo při změně přípravku.

Napájení trysek u plošných postřikovačů je členěno minimálně na dvě části – sekce – o shodné šířce. Trysky v jedné sekci jsou běžně napájeny společným průchozím potrubím s dostatečnou světlostí, aby i největší používané trysky pracovali se stejným tlakem.

Držáky trysek se montují na tuhou trubku, nejčastěji z nerezové oceli. Od jejich jednotlivého uchycení přímo na postřikový rám a propojení hadicí se ustupuje, protože toto řešení neumožňuje otočení o 90° pro montáž nárazových trysek (KOVARŤÍČEK, 1997).

### **2.1.8 Doplnkové vybavení postřikovače**

Mezi doplňkové vybavení postřikovače patří:

- míchací zařízení chemických prostředků,
- přídatná nádrž na čistou vodu,
- dálkově ovládané ventily,
- monitorovací zařízení,
- zařízení pro značení pracovního záběru,
- zařízení pro snižování úletu.

### **2.1.9 Postřiková ramena**

Na ramenech (postřikovém rámu) postřikovače je umístěn rozvod postřikové jíchý s tryskami. Šířka ramen je dána násobku modulu strojů pro setí, sázení a ošetřování plodin (3 m). Nejběžněji se používá 12, 18, 24 m.

Ramena musí umožňovat tyto funkce:

- skládání z pracovní do přepravní polohy a zpět,
- výškové nastavení trysek do pracovní polohy,
- u pracovních záběrů nad 6 m jištění proti poškození při nárazu na překážku (po minutí se automaticky vrátí do původní polohy,
- u záběrů nad 12 m stabilizování rovnoběžně s povrchem pozemku, dnes nejčastěji řešeno pomocí výkyvného zavěšení.

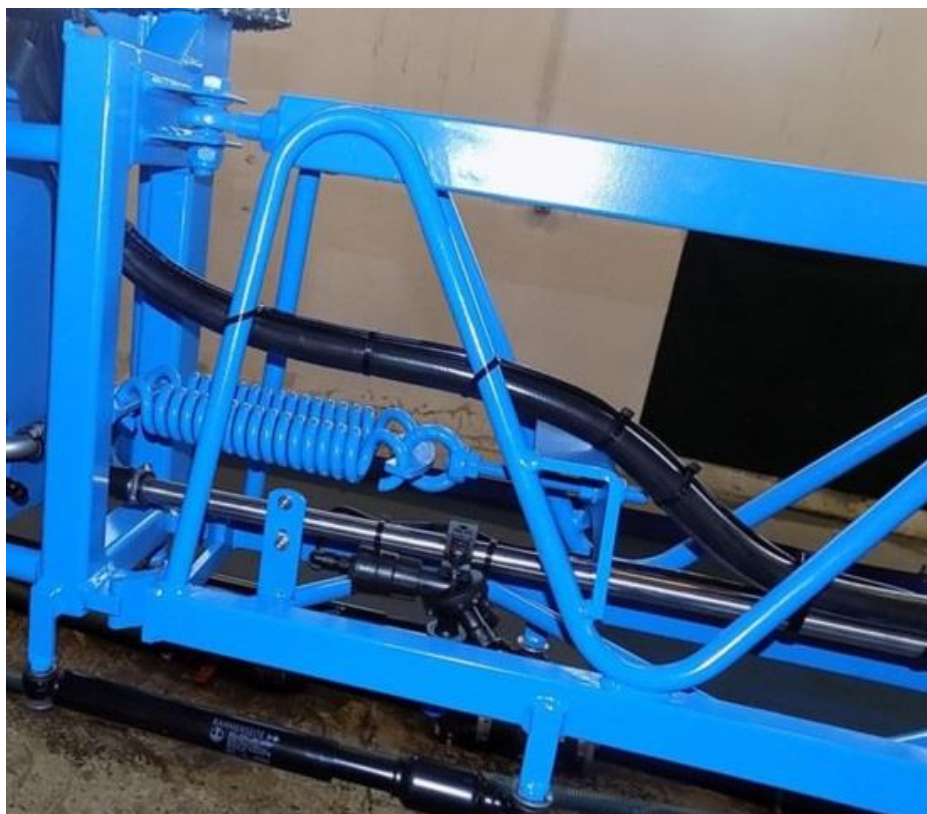
Ramena postřikovače patří mezi části, které jsou na postřikovači nejvíce namáhána. K jejich výrobě se používají nejčastěji lehké příhradové konstrukce z uzavřených ocelových nebo hliníkových profilů, popřípadě kompozitu (FRÍD).

#### **2.1.9.1 Ramena z oceli**

Tato ramena jsou nejčastěji z uzavřených ocelových profilů (jekl), nebo ocelových trubek (viz obrázek 10).

Další možností je použití tzv. profilovaného designu, který používá např. Amazone (viz obrázek 11). Firma používá k výrobě ramen tenkých ale i tlustých plechů. Ohýbání těchto plechů do profilu C je dosaženo velké tuhosti a nízké hmotnosti. Pro ještě větší úsporu hmotnosti je dosaženo děrováním těchto profilů. (Amazone Ltd).





Obrázek 10 – Ramena z uzavřených profilů (Agrio Mzs s.r.o.)



Obrázek 11 – Ramena z profilovaného designu - AMAZONE (AGROTEC závěsná technika)

### 2.1.9.2 Ramena z kompozitního materiálu

Kromě kovových ramen postřikovače se dnes používají i ramena z kompozitního materiálu.

Základním nosným materiálem je uhlíkové vlákno (případně klasický sklolaminát). Výhody těchto ramen jsou – nízká hmotnost, vysoká odolnost vůči agresivním chemikáliím a nepodléhají vlivům únavy materiálu ani korozi (AKP spol. s.r.o.).

### 2.1.9.3 Ramena z hliníku

Hliník jako materiál s  $2,7 \times$  nižší hustotou než klasická ocel má perfektní předpoklady pro takové konstrukce (viz obrázek č. 12). Při využití dvojnásobného množství materiálu jsou ramena stále lehčí než porovnatelné konstrukce ze železa. Například firma KUHN v současné době nabízí ramena vyrobená pouze z hliníku a to od 18 do 50 metrů záběru.

Důležitou vlastností hliníku, kterou ocení farmáři až po několika letech provozu, je absolutní odolnost vůči korozi. Naproti tomu ocel při dlouhodobé běžné práci, ale také při kontaktech s překážkami a po drobných opravách vyžaduje opravu lakováním, aby se předešlo korozi. U hliníku žádné takové nebezpečí nehrozí a ramena jsou po celou dobu životnosti přirozeně proti těmto nežádoucím efektům chráněna (Mechanizace zemědělství).



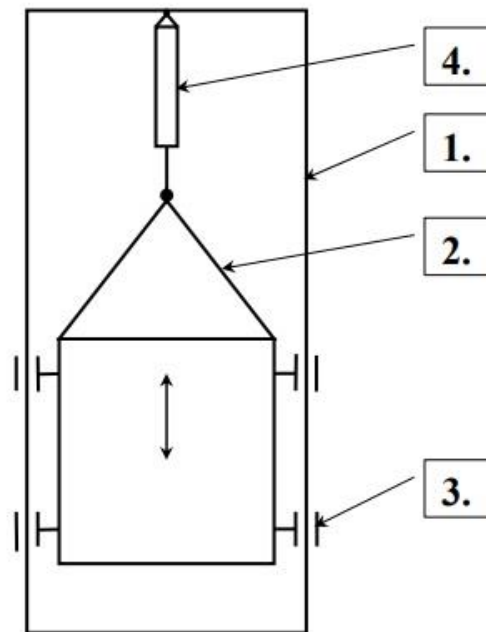
Obrázek 12 – Hliníková ramena postřikovače (Mechanizace zemědělství).

### 2.1.9.4 Skládání postřikových ramen

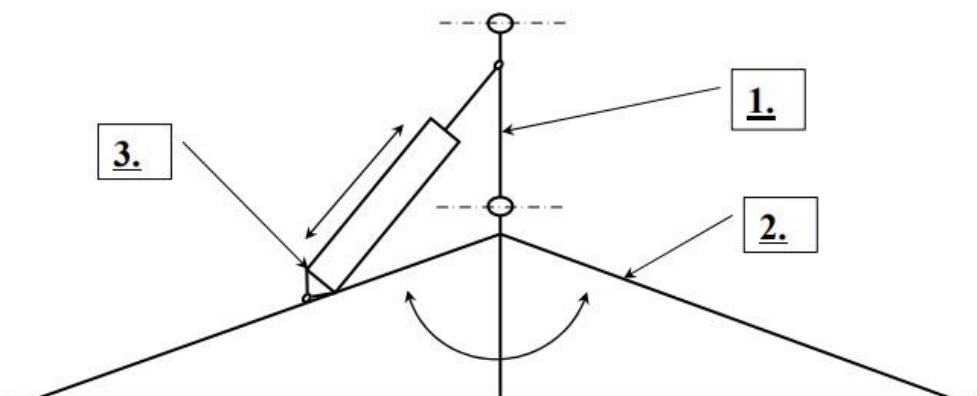
Skládání ramen, z pracovní do přepravní polohy je u většiny postřikovačů ovládáno hydraulicky, nebo pneumaticky. U menších strojů (do pracovního záběru 12 m) i ručně (ČERVINKA, 2010).

### 2.1.9.5 Zavěšení a naklápění postřikových ramen

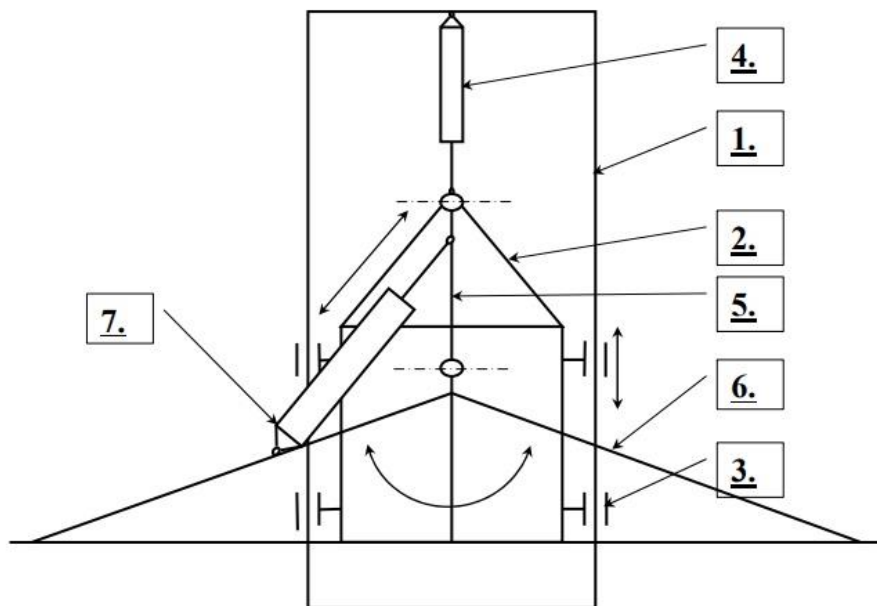
U postřikovače je kladen důraz, aby ramena minimálně reagovala na naklánění podvozku. Z tohoto důvodu se používá výkyvné zavěšení postřikových ramen. Při přejezdu nerovností se rám stabilizuje svou setrvačnou hmotností, princip můžeme vidět na obrázku 16. Na svazích je využíváno dvojnásobného výkyvného zavěšení. Princip zavěšení ramen s automatickým vyrovnáváním ramen do rovnoběžné polohy vůči půdě můžeme vidět na obrázcích 13 až 15.



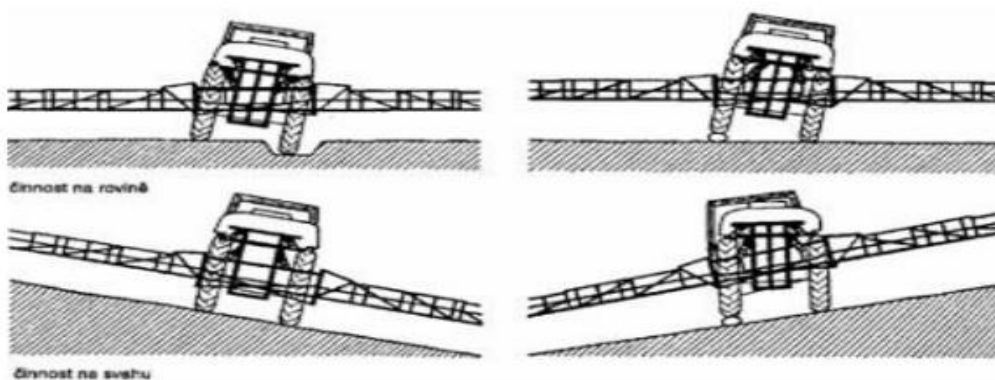
Obrázek 13 – Zvedání rámu postřikovače: 1 – hlavní rám postřikovače, 2 – pomocný rám, 3 – pomocné kladky, 4 – přímočarý hydromotor (FRÍD)



Obrázek 14 – Zařízení pro vyrovnání vlivu svahu: 1 – závěs, 2 – plošný rám, 3 – regulační vzpěra (přímočarý hydromotor, regulační šroub, elektrický servomotor), (FRÍD)



Obrázek 15 – Zavěšení ramen postřikovače: 1 – hlavní rám postřikovače, 2 – pomocný rám, 3 – vodící kladky, 4 – přímočarý hydromotor, 5 – závěs, 6 – plošný rám, 7 – regulační vzpěra (přímocharý hydromotor, regulační šroub, elektrický servomotor), (FRÍD)



Obrázek 16 – Příčná pasivní stabilizace postřikového rámu (výkyvné zavěšení postřikových ramen), (KOVARŤÍČEK, 1997)

## Boom Control - HORSCH

Tento systém využívá firma HORSCH a je chráněný patentem. Využívá se zde uchycení ramen jen na jediném kloubu (viz obrázek 17). Ramena jsou tedy prakticky oddělena od podvozku. Díky tomu mohou účinněji kopírovat tvar pozemku, jak horizontálně, tak i vertikálně, přičemž pohyby podvozku se vůbec nepřenášejí do ramen. Systém obsahuje řídicí okruhy, cíleně působící na ramena silami, které mění polohu ramen podle tvaru cílové plochy. V místě uložení ramen se nachází dva hydraulické písty, které při potřebě korekce působí po definované dráze na elastomerový člen, kterým se ramena v reálném čase pootočí. Krátce před dosažením požadované polohy se pohyb ramen zabrzdí druhým silovým prvkem.

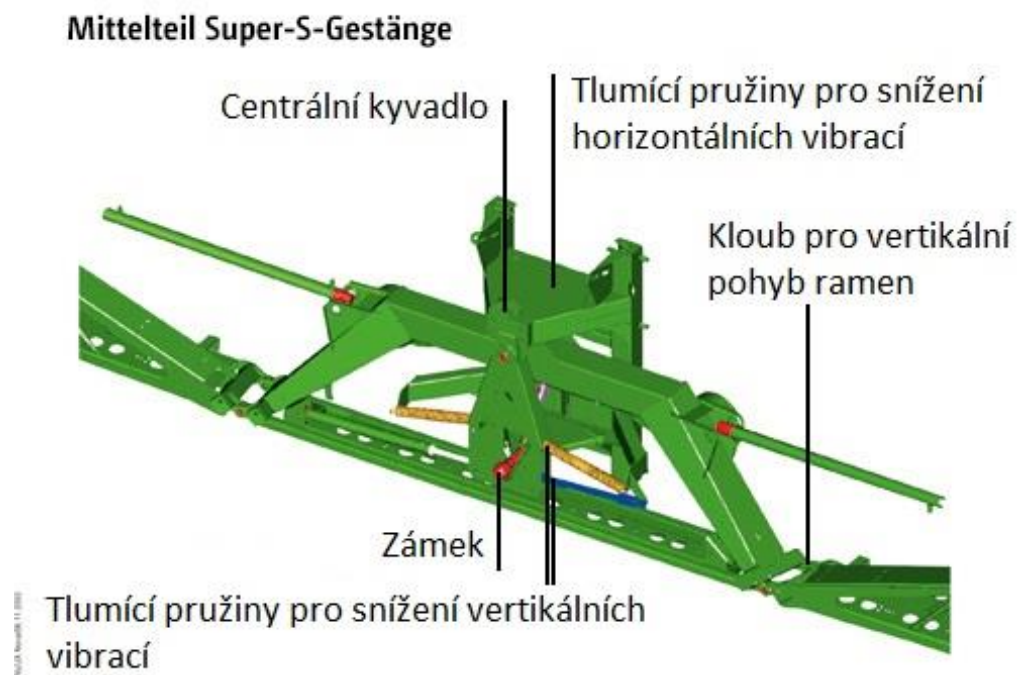
Případné výkyvy podvozku se ihned kompenzují tak, že je neustále snímána poloha ovládacích pístů. Je to možné díky použití velmi rychlých proporcionálních hydraulických ventilů a řídicího softwaru, využívajícího gyroskopické senzory. Díky tomuto systému je umožněna pracovní rychlost na poli 30 km/h a pracovní výšky ramen 30 cm (HORSCH Maschinen GmbH).



Obrázek 17 – Boom control – HORSCH (Landwirt Maschinen HORSCH)

## Super S – Amazone

Tento systém využívá firma Amazone. Představila ho roku 1994. Systém (viz obrázek 18) využívá hydraulické válce, přímo na kloubech, které skládají jednotlivé segmenty. Díky svislému sklopení do zadní části postřikovače má výložník přepravní šířku pouze 2,4 m. Toto je velmi důležité kritérium bezpečnosti silničního provozu. Současně mírný sklon ramena směrem k přední straně zlepšuje těžiště. Tento systém (viz obrázek č.) se skládá se jednak z napínacích pružin, které přebírají vertikální nárazové zatížení celého výložníku ramena, jednak z pružných tlumících prvků s kuličkovým odpružením, které zajišťují absorpenci jakéhokoliv zatáčení ramen (Amazone Ltd).



Obrázek 18 – Super S – AMAZONE (Amazone Ltd)

### 2.1.9.6 Stabilizace postřikových ramen

Základní stabilizaci postřikových ramen můžeme rozdělit na horizontální a vertikální. Dále pak rozdělujeme tyto stabilizace na aktivní a pasivní.

#### Vertikální stabilizace

Vertikální stabilizace slouží k udržování postřikovacích ramen v optimální vzdálenosti od terénu. Pohyb, ve vertikální rovině, výrazně ovlivňuje měrnou dávku  $Q$ . Při menší výšce, dochází k nedostatečnému překrytí rozptylových obrazců trysek. Při zvětšení výšky se naopak zvýší nebezpečí úletu vlivem teploty nebo prouděním větru.

Nejjednodušší systém, který používá dotyková čidla – tykadla (viz obrázek 19), která umožňují automatické vyrovnávání ramen bez počítače.

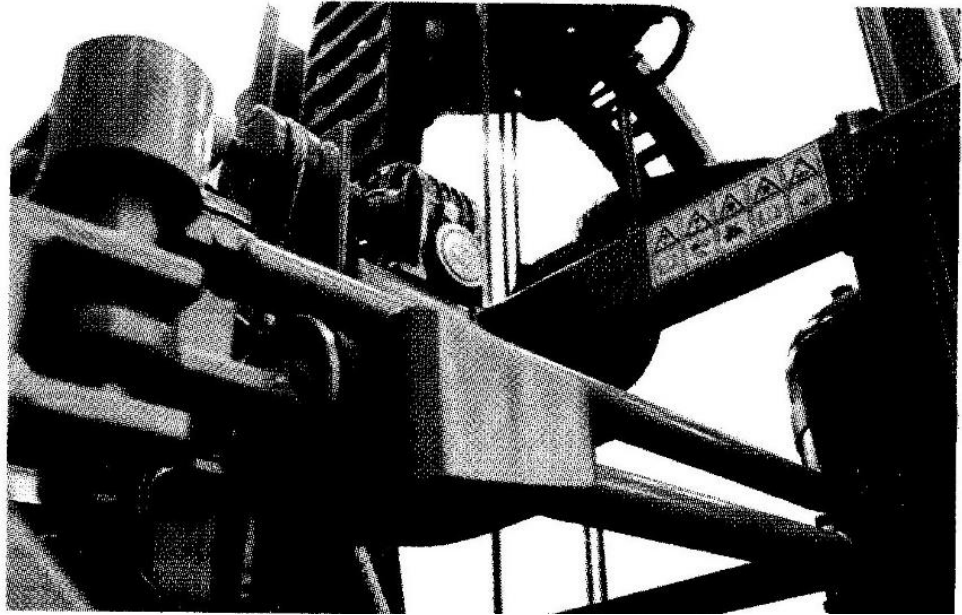
Aktivní vertikální stabilizace se skládá z ultrazvukových čidel (viz obrázek 20), které se nacházejí na obou ramenech. Čidla vysílají signál a přijímají odraz od země (porostu). Informaci zpracovává palubní počítač, který ovládá hydraulický systém s hydromotorem, pomocí kterého je udržována požadovaná výška ramen nad terénem. Na ramenech může být instalováno i více čidel. Pokud je terén velmi nerovný, jsou instalována 2 čidla, díky kterým je snímána vzdálenost z více míst, přizpůsobení výšky je tedy přesnější. Při použití 3 čidel jsou ramena schopna udržovat požadovanou výšku v celé své délce (používá se jen u velkých záběrů ramen), (FRÍD).



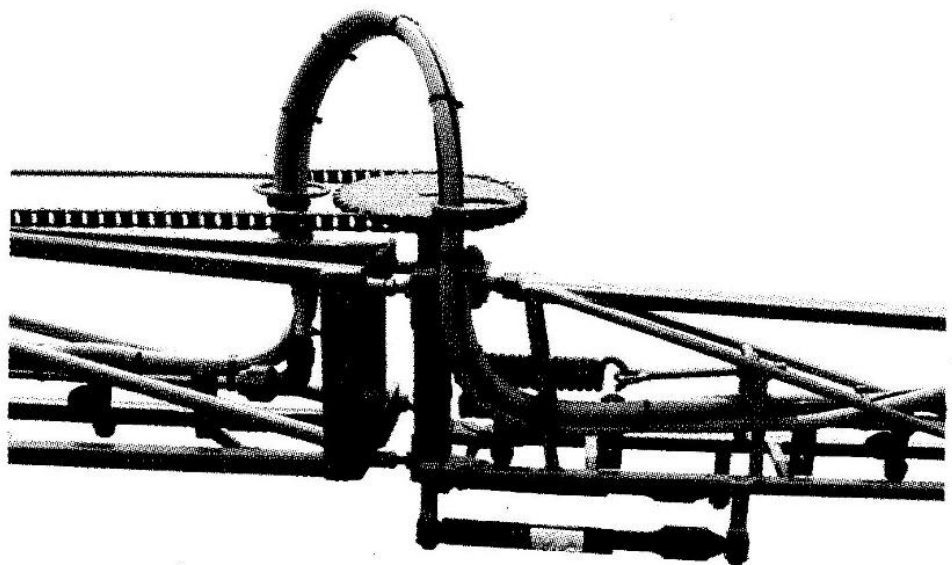
Obrázek 19 – Ultrazvukové čidlo (FRÍD)

## Horizontální stabilizace

Horizontální stabilizace slouží k tlumení kmitů postřikových ramen vpřed a vzad. Toto kmitání má obrovský vliv na přesnost a účinnost aplikace. S rostoucím pracovním záběrem postřikovačů může kmitání na koncích ramen způsobit odchylku od požadované dávky až několik desítek procent. Nejlevnější stroje většinou žádný systém stabilizace nemají a všechny síly se přenášejí na podvozek postřikovače. K základní horizontální stabilizaci se nejčastěji používají systémy pružin nebo silentbloků (viz obrázek č. 20), které kmitání částečně potlačují. Dokonalejší způsob je použití olejových tlumičů (viz obrázek 21), které dokáží utlumit kmity v obou směrech (AGRIMA Žatec s.r.o.).



Obrázek 20 – Stabilizátory ke snížení kmitu ramen v horizontální rovině



Obrázek 21 – Olejové tlumiče zpomalují pohyby ramen v obou směrech



## 2.2 Vlastnosti ocelí

Dobrá znalost vlastností ocelí je předpokladem pro správný výběr materiálu, návrh vhodné konstrukce, statického výpočtu a v neposlední řadě úspěšné funkce.

### 2.2.1 Fyzikální vlastnosti

Mezi fyzikální vlastnosti konstrukčních ocelí např. patří:

- modul pružnosti v tahu či tlaku  $E = 210\,000$  MPa,
- modul pružnosti ve smyku  $G = 81\,000$  MPa,
- součinitel příčného přetvoření (Poissonův součinitel)  $\nu = 0,3$ ,
- teplotní součinitel délkové roztažnosti  $\alpha = 0,000\,012$  K<sup>-1</sup>,
- měrná hmotnost  $\rho = 7\,850$  kg.m<sup>-3</sup>

Tyto hodnoty jsou pouze orientační a závisí na hmotnostní procentuální koncentrace uhlíku (PECHAR a kol, 1984).

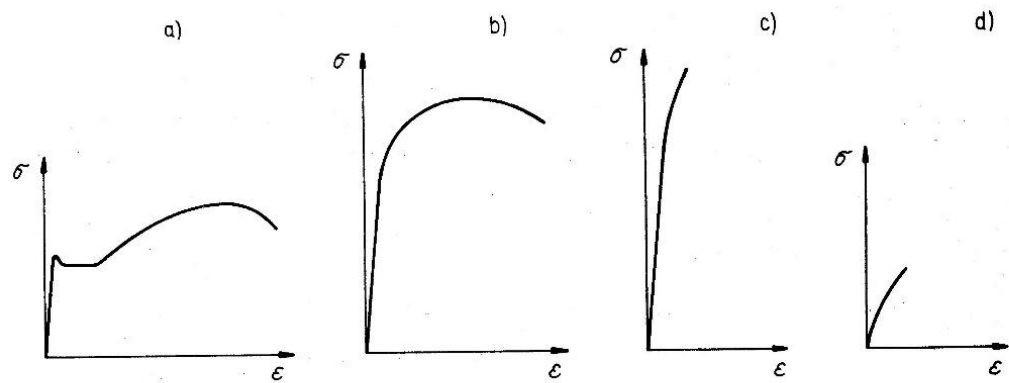
### 2.2.2 Mechanické vlastnosti

Mezi základní mechanické vlastnosti patří pružnost, pevnost, tvárnost, houževnatost.

#### 2.2.2.1 Pracovní diagram oceli

Zkouška klidným tahem je základním pevnostním a deformačním ukazatelem vlastnosti oceli. Tato zkouška je prováděna za pokojové teploty. Zkušebním tělesem je tyč kruhového nebo obdélníkového průřezu. Při zkoušce je sledována velikost tahové síly  $F$  a prodloužení měrné délky  $\Delta l$ . Ze závislosti mezi oběma veličinami dostaneme výsledný diagram zatížení. Skutečné napětí by bylo obtížné zjistit, protože průřez tyče se během zkoušky zmenšuje. Proto bylo zavedeno konvenční napětí  $\sigma = F / A_0$ ,  $A_0$  nazýváme smluvní jmenovité napětí.

Typické křivky jsou znázorněny na obrázku č. 22. Měkká ocel má výraznou mez kluzu a značnou tažnost, ocel vyšší pevnosti má méně zřetelnou mez kluzu, tvrdá kalená ocel je křehká, nemá výraznou mez kluzu, její tažnost je nízká, smluvní mez kluzu leží přibližně v 0,6 meze pevnosti. Šedá, či bílá litina má menší modul pružnosti a nemá vždy striktně lineární průběh, tedy jasnou mez úměrnosti – pak nelze užít Hookův zákon (PECHAR a kol, 1984).



Pracovní diagram slitin železa  
a) měkká ocel, b) ocel vyšší pevnosti, c) kalená ocel, d) litina

Obrázek 22 – Pracovní diagram slitin železa (PECHAR a kol, 1984)

### 2.2.2.2 Základní pojmy při stanovení některých vlastností ocelí

**Pružnost** je vlastnost materiálu, nabývat po odlehčení zátěže původní tvar. Nejvyšší napětí, při němž ještě nevznikají trvalé deformace, je tzv. mez pružnosti.

**Mez kluzu** je napětí, při kterém dochází k deformaci, i když se zatížení sníží (PECHAR a kol, 1984).

### 2.2.2.3 Pevnost oceli

Pevnost je schopnost materiálu odolávat působícím silám, aniž dojde v některém místě k jeho porušení. Není-li způsob namáhání z hlediska dynamiky blíže uveden, rozumíme pevností oceli statickou pevnost při klidném, pomalu vzrůstajícím zatížení (PECHAR a kol, 1984).

### 2.2.2.4 Tvárnost

Tvárnost je schopnost kovu trvale se přetvořit, aniž se jeho soudržnost poruší. Tuto vlastnost ovlivňuje podstatně i teplota (PECHAR a kol, 1984).

### 2.2.2.5 Houževnatost

Houževnatost vyjadřuje jinou vlastnost materiálu než pevnost. Je podmíněna dostatečnou schopností materiálu plasticky se i opakovaně deformovat. Jejím opakem je křehkost (PECHAR a kol, 1984).

### 2.2.2.6 Tvrdost

Tvrdost se zjišťuje nejčastěji pomocí zkušebního tělíska (Brinellův, Vickersův, Rockwellův test atp.), které je vtiskováno do povrchu zkoušeného materiálu. Z naměřených hodnot se pak stanovuje míra tvrdosti (PECHAR a kol, 1984).

### 2.2.2.7 Vliv teploty a času

Mechanické vlastnosti se v rozmezích běžných teplot u obvyklých ocelí mění jen málo. Pevnost však nad teplotou 300 °C u těchto materiálů prudce klesá. V oblastech nízkých teplot pevnost oceli a mez kluzu zpravidla vzrůstá, současně i s jeho křehkostí (PECHAR a kol, 1984).

### 2.2.3 Technologické vlastnosti

Technologické vlastnosti vyjadřují vhodnost materiálu pro určitý způsob zpracování. Tuto vlastnost nelze vyjádřit fyzikálními veličinami, ale vychází z praktických technologických zkoušek. K nejdůležitějším vlastnostem patří svařitelnost, kujnost (za tepla, za studena), tažnost, obrobitelnost, kalitelnost atp. (PTÁČEK a kol., 2003).

#### 2.2.3.1 Svařitelnost

Svařitelnost vyjadřuje schopnost oceli vytvořit svarový spoj předepsané jakosti.

Svařitelnost rozdělujeme na:

- **technologická**, závislá na technologii a parametrech svařování (předehřev atp.),
- **metalurgická**, závislá na složení, struktuře svařovaného materiálu a dilatacích a pnutích vzniklých v procesu svařování,
- **konstrukční**, která závisí na tvarovém vyřešení svarového spoje. (PTÁČEK a kol., 2003).

Míru svařitelnosti ovlivňuje:

- chemické složení základního kovu - s rostoucím obsahem uhlíku, legujících prvků a nečistot se svařitelnost zhoršuje,
- tloušťka materiálu – čím je tloušťka materiálu vyšší, tím je hůře svařitelný,
- tepelné zpracování oceli – příznivě působí žíhání, díky kterému se zmenšuje vnitřní pnutí a zvyšuje houževnatost,
- teplota svařovaných částí – při předehřevu materiálu se svařitelnost zlepšuje,
- technologie svařování – postup a zvolená metoda.

V materiálových listech a normách se svařitelnost označuje slovně: zaručená, zaručeně podmíněně, dobrá, obtížná (PTÁČEK a kol., 2003).

Jelikož obsah uhlíku a legujících prvků má na svařitelnost podstatný vliv, můžeme ho vyjádřit jako uhlíkový ekvivalent:

$$C_{\text{ekv}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} = \frac{Ni+Cu}{15}$$

(PTÁČEK a kol., 2003).

U ocelí s obsahem uhlíku menším 0,25 % C není nutné zajišťovat zvláštní podmínky pro svařování. V případě svařování uhlíkové oceli s  $C > 0,25 \%$ , je ocel podmíněně svařitelná a je nutné zajistit např. předehřev (HLAVATÝ, 2001).

#### **2.2.4 Kontrola svarů (defektoskopie)**

Samotné zkoušení svarových spojů se dělí na zkoušky nedestruktivní (bez porušení materiálu) a zkoušky destruktivní (s porušením materiálu).

##### **2.2.4.1 Destrukční metody**

Mezi tyto metody testování svarů patří rozlomení, roztržení, makrovýbrusy. Tyto zkoušky jsou vhodné při velkých sériích výrobků, protože je možné statisticky, z určitého množství destrukční kontrolou zničených dílů, určit průběžnou jakost výroby a postupným snižováním kontrol vlastně výrobu zkvalitnit a zlevnit (Svarinfo).

##### **2.2.4.2 Nedestrukční metody**

Patří mezi ně rentgen, ultrazvuk, vířivé proudy, magnetická metoda, kapilární metoda, luminiscenční metoda atp. Tyto zkoušky jsou často nákladné na pořízení přístrojů, na zaškolení obsluhy, na provoz, servis a kalibraci těchto zařízení.

Existuje však jedna metoda na zjišťování jakosti svárů, která je finančně nenáročná a ve svém důsledku pro výrobní firmu (zodpovídající za vyrobené svařence) velmi žádoucí. Tato metoda se nazývá „Vizuální kontrola svarů“, (Svarinfo).

##### **2.2.4.3 Vizuální kontrola svarů**

Vizuální kontrola svarů se v současné době stává stále populárnější nedestruktivní kontrolou svarových spojů. Kromě toho, že při správném provedení má opravdu velmi vypovídající charakter o kvalitě svarového spoje, je také velmi levná (oproti rentgenu či ultrazvuku).

Vizuální kontrola svárů je obecně popsána v normě ČSN EN 970. Vyhodnocení vad a stupně jejich přípustnosti či nepřípustnosti se provádí podle ČSN EN ISO 5817 (viz obrázek 23), (ocel, nikl, titan), ČSN EN 30042 (hliník a jeho slitiny) a dalších norem třeba pro odlitky a další výrobky. Tyto normy poměrně podrobně stanoví, jak se má taková kontrola provádět, aby měla odpovídající vypovídací hodnotu. Katalog přípustných a nepřípustných vad obsažený v normě ČSN EN ISO 6520-1 je skutečně obsáhlý a usnadňuje správné vyhodnocování (Svarinfo).

**ANB**

**ZNAČKY**  
 a - jmenovitá velikost koutového svaru  
 b - šířka převýšení svaru  
 h - výška nebo šířka vady  
 t - tloušťka plechu

**ČSN EN ISO 5817**  
**URČOVÁNÍ STUPŇŮ JAKOSTI**  
 mezní hodnoty vybraných typů vad koutových svarů pro stupně jakosti B, C, D

**Červené hodnoty**  
 $t \geq 0,5$  až  $3$  mm  
**Černé hodnoty**  
 $t > 3$  mm

**503 Nadměrné převýšení koutového svaru**  
 $h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$ , max. 3 mm  
 $h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$ , max. 4 mm  
 $h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$ , max. 5 mm

**512 Nadměrná asymetrie koutového svaru**  
 $h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 a$   
 $h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 a$   
 $h \leq 2 \text{ mm} + 0,2 a$

**5214 Překročení velikosti koutového svaru**  
 $h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$ , max. 3 mm  
 $h \leq 1 \text{ mm} + 0,20 a$ , max. 4 mm  
 Neomezeno

**5213 Podkročení velikosti koutového svaru**  
 B Nepřipustné  
 C Krátké vady  $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$ , max. 1 mm  
 D Krátké vady  $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$ , max. 2 mm

**617 Špatné sestavení koutových svarů**  
 B  $h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 a$ , max. 2 mm  
 C  $h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,2 a$ , max. 3 mm  
 D  $h \leq 1 \text{ mm} + 0,3 a$ , max. 4 mm

**ESAB**

**ZEROS**

Obrázek 23 - Papírové pravítko - pomůcka pro vyhodnocování vad podle normy ČSN EN ISO 5817 (Svarinfo).

### **3. Metodika**

Zvolená metodika postupu vychází ze stanoveného cíle práce.

#### **Shromažďování vstupních informací**

K práci bude nejprve vyhledána dostupná literatura. Tyto knihy i internetové zdroje budou prostudovány a následně budou sepsány poznatky z nastudovaných textů. Z nastudovaných informací pak bude možno sestavit literární rešerši na dané téma. V této části budou sepsány informace o konstrukci postřikovačů a vlastnostech i namáhání použitých materiálů.

#### **Metodika postupu v praktické části práce**

Praktická část práce bude zaměřena na analýzu problémů vybraných součástí z hlediska volby vhodného typu materiálu a vhodné konstrukce s ohledem na funkční požadavky postřikovače. Poté bude vymodelována a sestavena daná konstrukční skupina dílů (sestava) v programu solidworks a poté provedena simulace namáhání v programu Autodesk Inventor. Dále bude provedena, úprava stávající konstrukce i nová volba dosud užitého materiálu, který bude mít vhodnější užitné vlastnosti pro toto konstrukční řešení. V poslední části bude snaha navrhnout nové konstrukční řešení uvedené části postřikovače.

#### **Metodika vytváření 3D modelů (dílů) v programu SolidWorks**

SolidWorks je CAD systém (3D modelář), který umožňuje tvorbu objemových či plošných dílů. Díly lze zpracovávat v režimech díl, sestava, a výkres. Systém SolidWorks umožňuje načítat celou škálu přenosových formátů, také umožňuje načítat přímo vnitřní formáty jiných CAD systémů. Tento CAD systém použiji z důvodu volného přístupu k tomuto programu a z důvodu, že jsem prošel výukovou instruktáží práce v tomto prostředí.

#### **Metodika vytváření zátěžových modelů v programu Inventor**

Autodesk Inventor je program pro 3D navrhování, tvorbu výkresové dokumentace, prezentace a fotorealistické vizualizace, animace, i správu dokumentů a konstrukčních dat. Funkce původní české aplikace Mechsoft Profi nyní tvoří základ pro Inventorem podporované modelování řízené fyzikálními vlastnostmi konstruovaného výrobku - tzv. "funkční navrhování".

Základ konstruování v Inventoru tvoří součásti (parts, IPT), jejichž geometrie může být odvozena od parametrických 2D náčrtů (sketch). Tyto součásti pak mohou být kombinovány a vázány různými typy vazeb do sestav (assembly, IAM). Při změně kóty, parametru, nebo geometrie je automaticky (asociativně) přegenerována a aktualizována celá 3D sestava, včetně její výkresové dokumentace (pohledy, řezy, detaily, kusovníky). Vedle standardních nástrojů pro tvorbu objemových a povrchových 3D modelů obsahuje Inventor rovněž funkce pro modelování plechových součástí, svařence, ocelové konstrukce. Modul Inventor Studio nabízí pokročilý rendering a animace. Vestavěná SQL databáze "Obsahové centrum" obsahuje statisíce normalizovaných součástí (knihoven v normách ISO, DIN, ANSI atd.) pro použití v sestavách.

Pro tvorbu výkresové dokumentace nabízí Inventor 2D funkce podobné programu AutoCAD a výkresy zpracovává ve formátu DWG (nebo IDW). Pracuje i s datovými CAD formáty řady dalších 3D aplikací. Publikuje rovněž výkresy a modely do formátu DWF, DWFx (2D/3D) a PDF (2D/3D).

### **Metodika pevnostní analýzy v programu ANSYS, integrovaném v Inventoru**

Deformačně-napjatostní analýza umožňuje analyzovat vlastnosti a chování navržené konstrukce již v prvotní fázi vývojového procesu. Je tím možné minimalizovat množství užitého materiálu a tím i hmotnost jednotlivých komponentů (nedochází k předimenzování navržených součástí).

Deformačně-napjatostní analýza v programu Autodesk Inventor Professional byla vyvinuta firmou ANSYS.

### **Metodika nastavení vstupních parametrů pro analýzu v ANSYS**

Parametry na vstupu:

- geometrie, mesh,
- materiálové charakteristiky,
- okrajové podmínky dostačující pro přesnou specifikaci úlohy,
- zatížení.

Parametry na výstupu:

- ekvivalentní napětí,
- deformace,
- koeficient bezpečnosti,
- reakční síly v podporách.

### **Metodika interpretace výsledků zátěžové analýzy**

Příkazem pro tvorbu výpočtové zprávy lze vytvořit dokument obsahující všechna důležitá data. Obsahuje informace o geometrii, síti, materiálu, zatížení a vazbách. Dále také výsledky včetně reakčních sil ve všech vazbách. Celá zpráva je v .htm formátu.

## 4. Praktická část

### 4.1 Popis konstrukce

Konstrukce, kterou se praktická část diplomové práce zabývá, je zobrazena na obrázku 24, je to část postřikovače, která slouží pro upevnění, rozkládání a skládání ramen postřikovače.

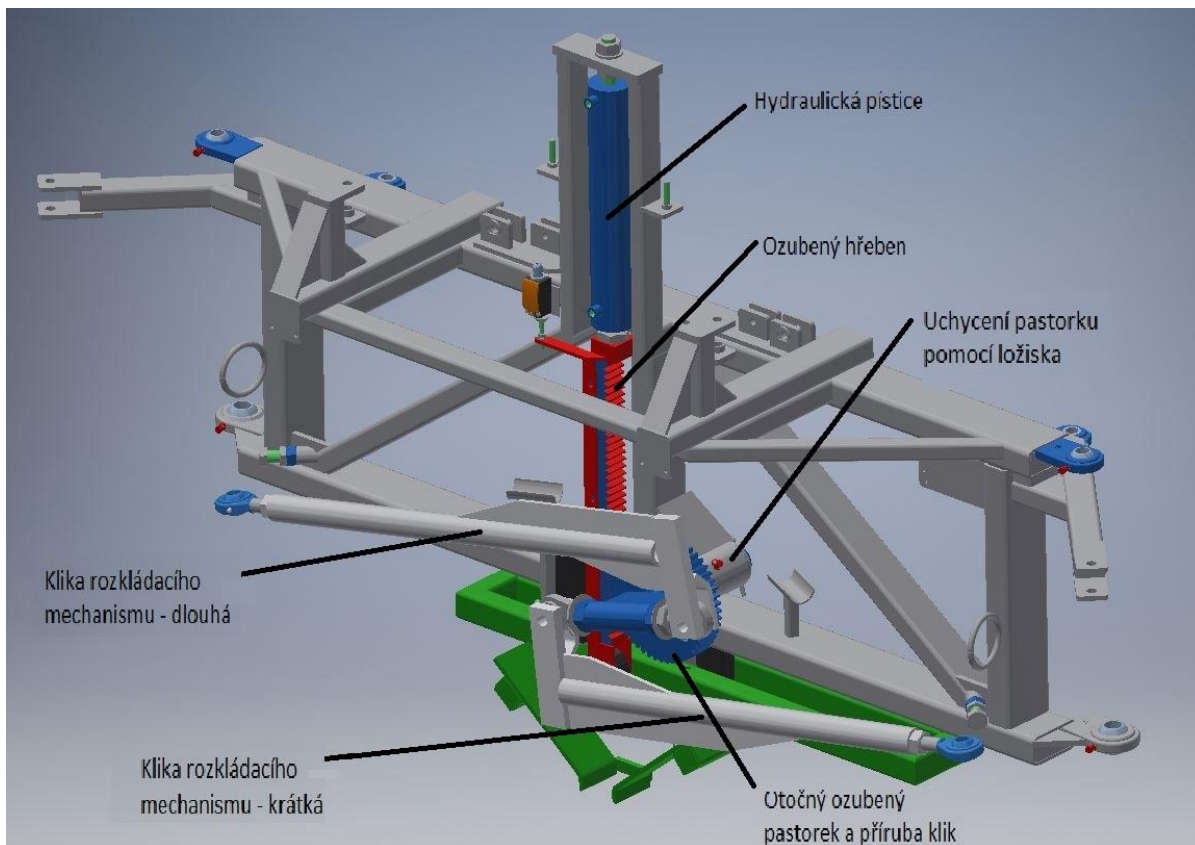
Konkrétní část - klika rozkládání (viz obrázek 26.). Na postřikovači jsou umístěny dvě kliky. Kliky spojují aplikační ramena postřikovače s ozubeným hřebenem s pastorkem, který pomocí hydraulického pístu umožňuje jejich horizontální pohyb.

Na obrázku 25 můžeme vidět detailnější pohled na ozubený hřeben s pastorkem. Ozubený pastorek je připevněn ke konstrukci houpačky v ložisku a umožňuje pohyb jen kolem své osy. Na pastorku je umístěn držák, ke kterému jsou upevněny vidlice klik. Ozubený hřeben je připevněn na hydraulickou pístnici, která s hřebenem pohybuje ve vertikální ose. Díky tomuto pohybu se pastorek otáčí kolem své osy a je dosaženo složení, či rozložení aplikačních ramen.

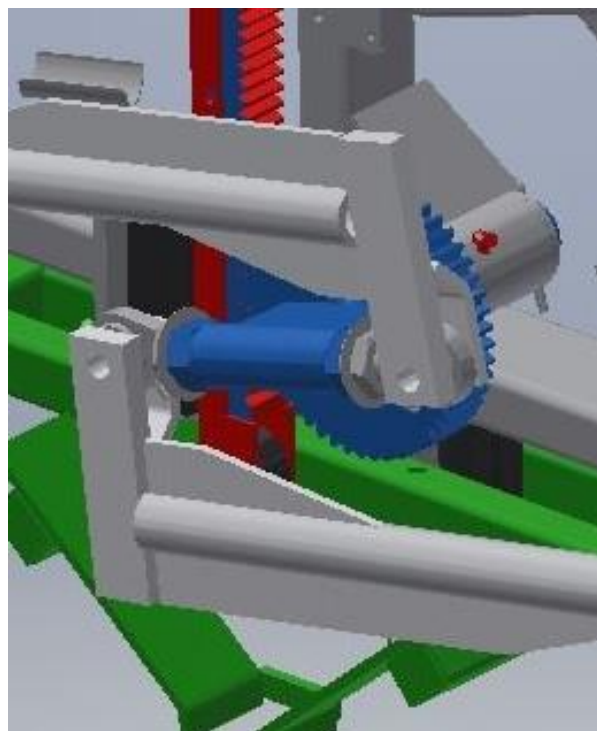
Kliky rozkládání nejsou z důvodu jiné vzdálenosti upevnění stejné, tedy klika, která směřuje k levé straně postřikovače je z tohoto důvodu delší.

Požadované vlastnosti klik je odolnost konstrukce při dynamickém namáhání sil – tah, tlak. Klika by měla mít i určitou pružnost, z důvodu tlumení rázů. Příliš velká pružnost by měla za následek velké kmitání aplikačních ramen postřikovače a tím i nerovnoměrnost postřiku.

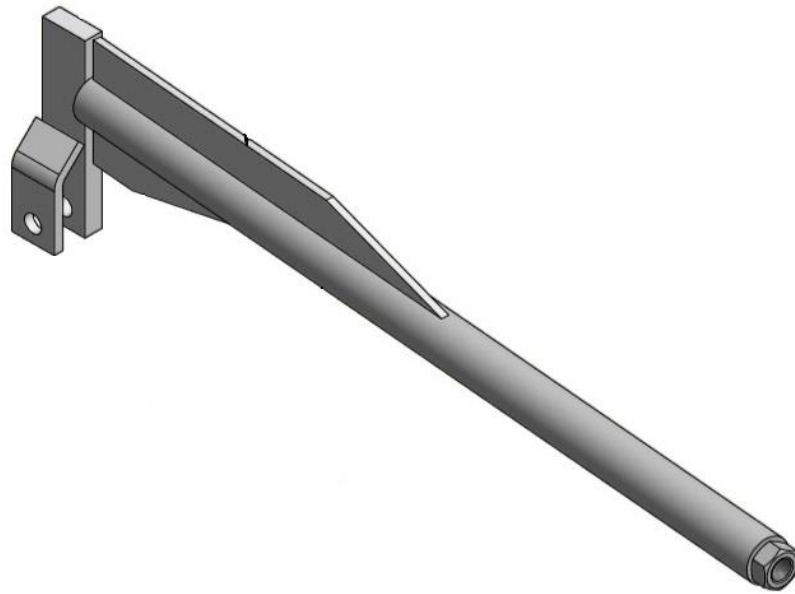




Obrázek 24 - Houpačka postřikovače



Obrázek 25 - Detailní pohled pastorku

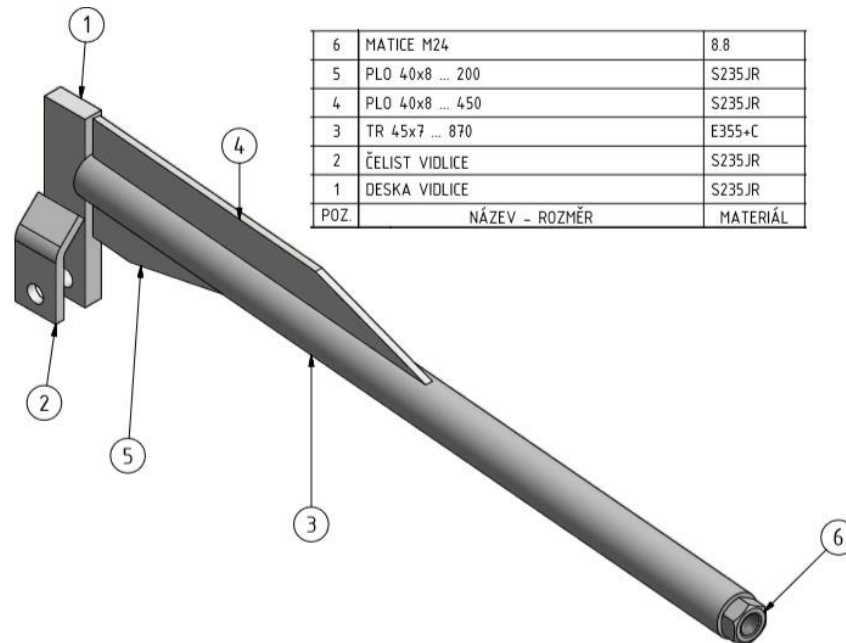


Obrázek 26 - Klika rozkládacího mechanismu

## 4.2 Materiálová analýza

Při konstrukci kliky jsou použity různé typy ocelí, jak je znázorněno na obrázku 27:

- ocel S235JR/ČSN 11375 (čelist vidlice, deska vidlice, výztuhy),
- ocel E355+C/ČSN 11600 (trubka).



Obrázek 27 - Materiálová analýza kliky

## 4.2.1 Ocel S235JR

### 4.2.1.1 Chemické složení

| Chemické složení<br>v % hmot.<br>(Rozbor tavby) | C max. pro tloušťku v mm |        |      | Mn<br>max | Si<br>max | P<br>max | S<br>max | N<br>max |
|---|--------------------------|--------|------|-----------|-----------|----------|----------|----------|
|   | ≤16                      | >16≤40 | >40  |           |           |          |          |          |
|   |                          | 0,17   | 0,17 | 0,20      | 1,40      | -        | 0,035    | 0,035    |

### 4.2.1.2 Svařitelnost

Ocel je vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování

## 4.2.2 Ocel E355+C (ČSN 11600)

Neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti s vyšším obsahem uhlíku. Vhodná na strojní součásti namáhané staticky i dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost. Součásti, které jsou vystavené velkému měrnému tlaku. Patří mezi ně například hřídele, osy, ozubená kola, řetězová kola, páky, čepy, pístnice, kolíky, podpěry, držátka, objímky, šrouby a matice, klíny, pera, kluzné kameny, ozubené hřebeny, kladky, spojky, segmenty a vložky axiálních ložisek, distanční kroužky, různé upínací elementy, tělesa fréz apod. Pásky a pruhy ke tvarování ohybem.

### 4.2.2.1 Chemické složení

| Chemické složení v % hmot.<br>(Rozbor tavby) | C    | Mn  | Si   | P     | S     |
|--|------|-----|------|-------|-------|
|  | Max  | max | max  | max   | max   |
|  | 0,22 | 1,6 | 0,55 | 0,045 | 0,045 |

### 4.2.2.2 Svařitelnost

Svařitelnost nevyžadována

## 4.3 Analýza

### 4.3.1 Analýza působení sil

Klika rozkládacího mechanismu je namáhána silami na tah a na tlak. Co se týče charakteristiky sil, tak na část působí nejvíce rázové síly.

Rázové síly způsobuje:

- překonávání překážek,
- kmitání ramen z důvodu akcelerace a decelerace.

Dle vyjádření pana Havla z firmy Agrio jsou nejkritičtější síly, které působí na kliku při deceleraci, tedy při velmi prudkém brždění soupravy traktoru s postřikovačem.

Naměřené hodnoty sil z absolvování postřikovače na polygonu, které byly dodány firmou Agrio, je patrné v tabulkách 1 a 2. Tyto hodnoty byly použity k vytvoření simulace v programu Autodesk Inventor. Byla použita nejvyšší naměřená hodnota působící síly – 20 156 N.

Tabulka 1 - Dynamické měření sil na polygonu (2 km.hod<sup>-1</sup>)

| 2 km.hod <sup>-1</sup>  |   |   |   |
|---|---|---|---|
|   | Začátek polygonu -<br>obě překážky -<br>postřikovač jde<br>nahoru | překážka na pravé<br>kolo                               | Začátek polygonu<br>- obě překážky -<br>postřikovač jde<br>dolu |
| Dynamické -<br>polygon<br>2 km.hod <sup>-1</sup> -<br>statické zatížení | Dynamické -<br>polygon 2 km.hod <sup>-1</sup><br>Max. F           | Dynamické -<br>polygon 2 km.hod <sup>-1</sup><br>Max. F | Dynamické -<br>polygon<br>2 km.hod <sup>-1</sup> Max. F         |
| F (N)   | F (N)   | F(N)  | F (N)   |
| -9242   | -12465  | -14740  | -8008   |
| Poznámka: + snímač namáhán na tlak, - snímač namáhán na tah             |   |   |   |

Tabulka 2 - Dynamické měření sil na polygonu (4 km.hod<sup>-1</sup>)

| 4 km.hod <sup>-1</sup>  |   |   |   |
|---|---|---|---|
|   | Začátek polygonu -<br>obě překážky -<br>postříkovač jde<br>nahoru | překážka na pravé<br>kolo                               | Začátek polygonu -<br>obě překážky -<br>postříkovač jde<br>dolu |
| Dynamické -<br>polygon<br>4 km.hod <sup>-1</sup> -<br>statické zatížení | Dynamické -<br>polygon 4 km.hod <sup>-1</sup><br>Max. F           | Dynamické -<br>polygon 4 km.hod <sup>-1</sup><br>Max. F | Dynamické -<br>polygon 4 km.hod <sup>-1</sup><br>Max. F         |
| F (N)   | F (N)   | F(N)  | F (N)   |
| -8748   | -20156  | -   | -5080   |
| Poznámka: + snímač namáhán na tlak, - snímač namáhán na tah             |   |   |   |

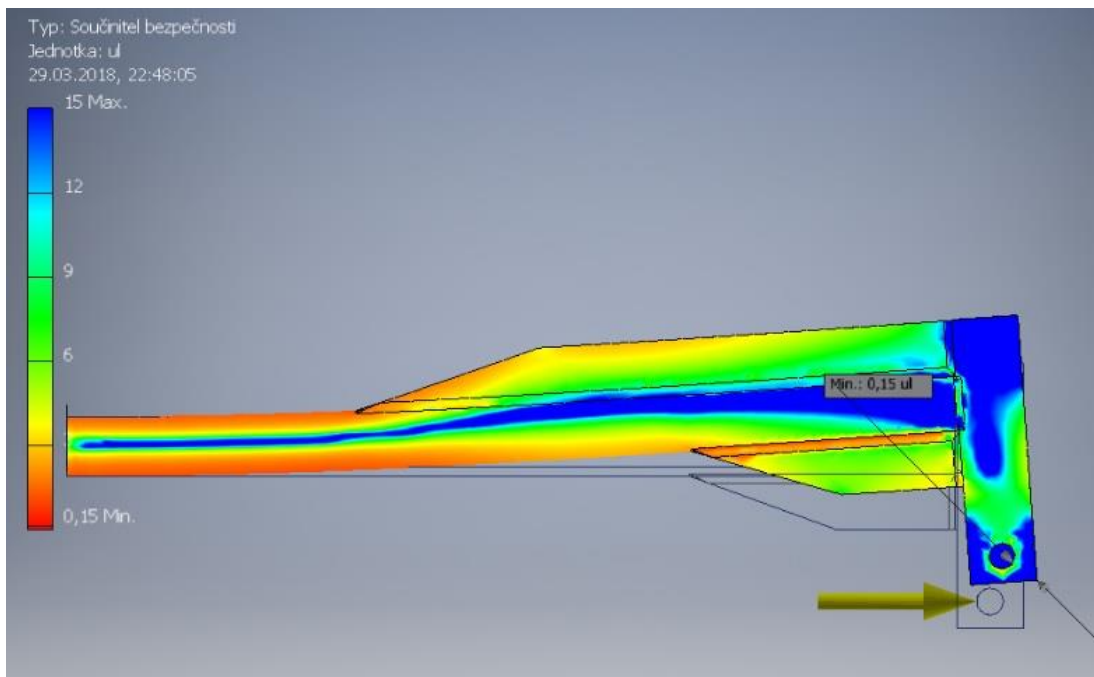
#### 4.3.2 Analýza působení sil v programu Autodesk Inventor

Analýza a simulace působení sil byla provedena v programu Autodesk Inventor 2018 professional. Tento program byl zvolen z důvodu lepšího uživatelského prostředí v porovnání například s programem Solidworks.

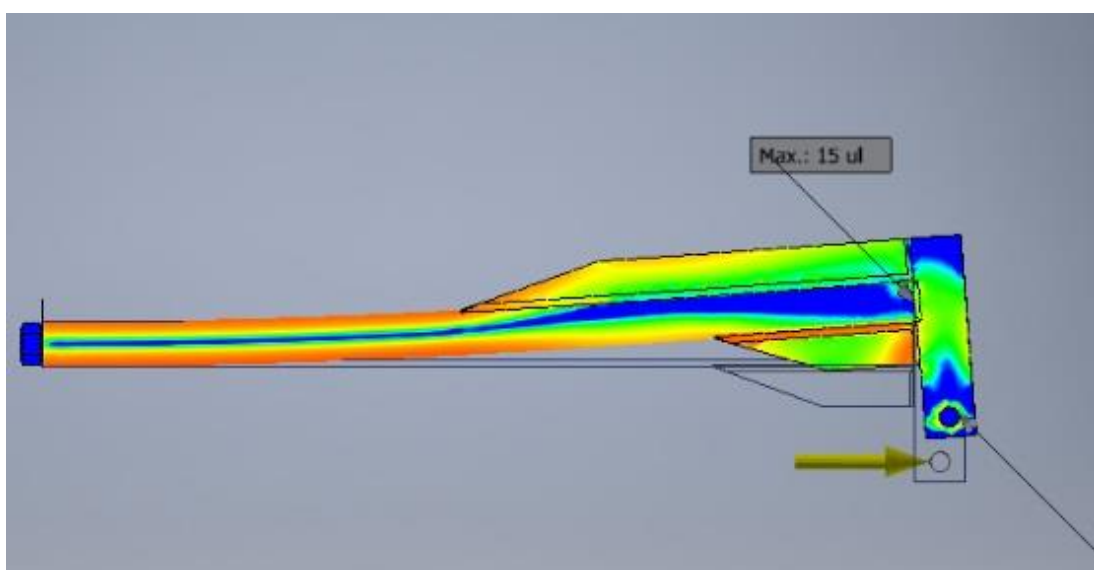
Zvolený postup:

- namalování komponent dle reálných rozměrů kliky a dodané výkresové dokumentace,
- z komponentů byla vytvořena sestava,
- do sestavy byly vloženy svarové housenky dle výkresové dokumentace,
- ke všem částem byl přiřazen materiál dle výkresové dokumentace,
- byly určeny vazby a působící síly,
- spuštění simulace a vytvoření protokolu.

Dle obrázku 28 a 29 - zobrazení součinitele bezpečnosti, lze usoudit, že konstrukce obsahuje mnoho vrubů, kde se koncentruje velké napětí. Velká koncentrace napětí se nachází v přechodu mezi krátkou výztuhou a vidlicí kliky.



Obrázek 28 - Součinitel bezpečnosti - krátká klika



Obrázek 29 – Součinitel bezpečnosti - dlouhá klika

Tabulka 3 - Výsledky simulace krátká klika

| Název                             | Minimální              | Maximální       |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------|
| Objem                             | 968648 mm <sup>3</sup> |                 |
| Hmotnost                          | 7,604 kg               |                 |
| Napětí von Mises                  | 0,027493 MPa           | 1414,57 MPa     |
| První hlavní napětí               | -222,741 MPa           | 1106,8 MPa      |
| Třetí hlavní napětí               | -1283,26 MPa           | 215,481 MPa     |
| Posunutí                          | 0 mm                   | 11,7688 mm      |
| Součinitel bezpečnosti            | 0,146334 ul            | 15 ul           |
| Napětí XX                         | -510,693 MPa           | 371,233 MPa     |
| Napětí XY                         | -350,387 MPa           | 382,526 MPa     |
| Napětí XZ                         | -265,352 MPa           | 238,887 MPa     |
| Napětí YY                         | -986,118 MPa           | 967,194 MPa     |
| Napětí YZ                         | -612,649 MPa           | 629,78 MPa      |
| Napětí ZZ                         | -858,995 MPa           | 919,028 MPa     |
| Posunutí X                        | -0,24465 mm            | 0,00427068 mm   |
| Posunutí Y                        | -3,28209 mm            | 1,27674 mm      |
| Posunutí Z                        | -0,00101212 mm         | 11,3029 mm      |
| První hlavní přetvoření (vnitřní) | 0,0000000487969 ul     | 0,00530089 ul   |
| Třetí hlavní přetvoření (vnitřní) | -0,00571205 ul         | 0,0000381566 ul |
| Přetvoření XX (vnitřní)           | -0,00212348 ul         | 0,000531287 ul  |
| Přetvoření XY (vnitřní)           | -0,00226 ul            | 0,0024673 ul    |
| Přetvoření XZ (vnitřní)           | -0,00171152 ul         | 0,00147882 ul   |
| Přetvoření YY (vnitřní)           | -0,00419616 ul         | 0,00390626 ul   |
| Přetvoření YZ (vnitřní)           | -0,00379259 ul         | 0,00405744 ul   |
| Přetvoření ZZ (vnitřní)           | -0,00391988 ul         | 0,00416352 ul   |
| Stykový tlak                      | 0 MPa                  | 1006,75 MPa     |
| Stykový tlak X                    | -188,46 MPa            | 334,07 MPa      |
| Stykový tlak Y                    | -787,937 MPa           | 638,369 MPa     |
| Styková tlak Z                    | -895,551 MPa           | 784,217 MPa     |



Tabulka 4 - Výsledky simulace dlouhá klika

| Název                             | Minimální               | Maximální       |
|-----------------------------------|-------------------------|-----------------|
| Objem                             | 1141450 mm <sup>3</sup> |                 |
| Hmotnost                          | 8,96038 kg              |                 |
| Napětí von Mises                  | 0 MPa                   | 2691,25 MPa     |
| První hlavní napětí               | -297,855 MPa            | 2417,65 MPa     |
| Třetí hlavní napětí               | -2581,99 MPa            | 363,829 MPa     |
| Posunutí                          | 0 mm                    | 20,9568 mm      |
| Součinitel bezpečnosti            | 0,0769159 ul            | 15 ul           |
| Napětí XX                         | -726,72 MPa             | 789,023 MPa     |
| Napětí XY                         | -512,787 MPa            | 553,14 MPa      |
| Napětí XZ                         | -411,014 MPa            | 396,517 MPa     |
| Napětí YY                         | -1898,64 MPa            | 1432,55 MPa     |
| Napětí YZ                         | -1122,08MPa             | 1136,51 MPa     |
| Napětí ZZ                         | -2523,23 MPa            | 1748,77 MPa     |
| Posunutí X                        | -1,58754mm              | 0,00372321 mm   |
| Posunutí Y                        | -4,90605 mm             | 1,95072 mm      |
| Posunutí Z                        | -0,00100698 mm          | 20,3244 mm      |
| První hlavní přetvoření (vnitřní) | -0,0000425277 ul        | 0,0103007 ul    |
| Třetí hlavní přetvoření (vnitřní) | -0,0120703 ul           | 0,0000466587 ul |
| Přetvoření XX (vnitřní)           | -0,00198409 ul          | 0,00125755 ul   |
| Přetvoření XY (vnitřní)           | -0,00330748 ul          | 0,00356775 ul   |
| Přetvoření XZ (vnitřní)           | -0,00265104 ul          | 0,00245463 ul   |
| Přetvoření YY (vnitřní)           | -0,00845019 ul          | 0,00660322 ul   |
| Přetvoření YZ (vnitřní)           | -0,00694623 ul          | 0,00703554 ul   |
| Přetvoření ZZ (vnitřní)           | -0,0117066 ul           | 0,00811552 ul   |
| Stykový tlak                      | 0 MPa                   | 1498,39 MPa     |
| Stykový tlak X                    | -379,297 MPa            | 435,708 MPa     |
| Stykový tlak Y                    | -1095,07 MPa            | 1421,3 MPa      |
| Styková tlak Z                    | -1320,99 MPa            | 1248,31 MPa     |

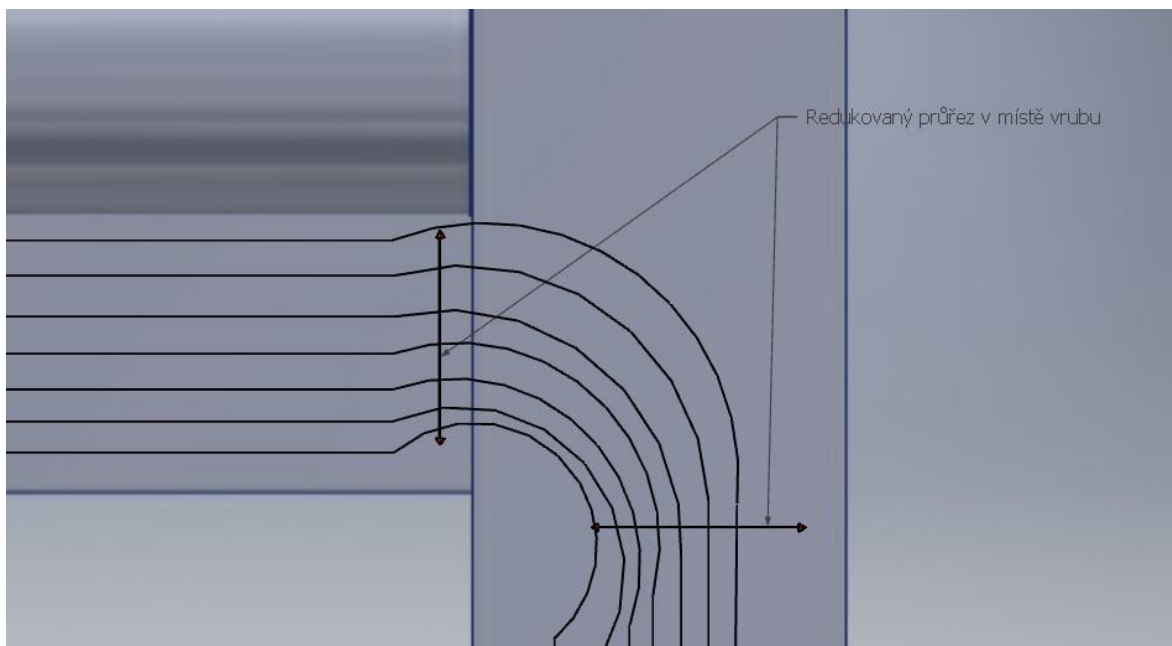
### 4.3.3 Analýza problému

Dle výsledků simulace v programu Autodesk Inventor lze usoudit, že největší problém je v tom, že konstrukce kliky obsahuje mnoho vrubů. Konstrukce je nejvíce zatížena v přechodu mezi krátkou výztuhou a vidlicí, kde dochází k přetěžování. Zde může vzniknout první lom vlivem kritického působení sil při brždění a tedy i k destrukci celého napojení.

Tento problém je způsoben nedostatečně plynulým přechodem v daném napojení. V tomto místě dochází k redukovanému průřezu napětí, jak je zobrazeno na obrázku 30. Zde je zakreslený průchod napětí, které vlivem ostrého přechodu částí nepůsobí v celé ploše materiálu, ale jen v určité části. Napětí se obrazně „snaží“ v tomto místě vyhnout danému vrubu.

Dle dodané fotografie 31 firmou Agrio, je z části vidět destrukční lom kliky. Bohužel lomová plocha je příliš malá a nekvalitně zobrazena. Nedá se tedy vyčíst plochy únavového lomu a náhlého lomu. Postup únavových striací (kresby na únavové části lomu) také nelze vyčíst

Lze ale alespoň usoudit, že v místě přechodu krátká výztuha – vidlice kliky došlo k prvnímu nevratnému poškození vlivem dynamického namáhání a poté již byl spoj oslaben natolik, že při působení rázové síly při prudkém brždění došlo k destrukci spoje.



Obrázek 30 - Redukovaný průřez napětí v místě vrubu



Obrázek 31 - Fotografie lomu svaru

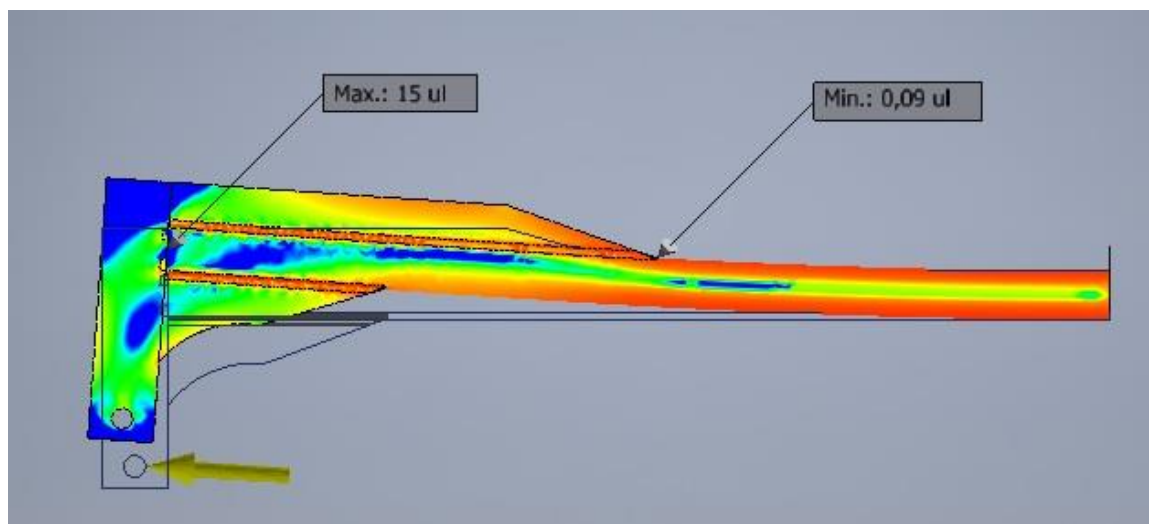
#### 4.4 Řešení stávajícího stavu

Řešením stávajícího stavu problematické části by bylo odstranění vrubů, které se nacházejí v konstrukci, tedy použití stejné tloušťky použitého materiálu u výztuh a vidlice. Tím by bylo docíleno plynulejšímu přechodu působícího napětí sil.

Další zlepšení by bylo docíleno plynulejším přechodem v místě napojení krátké výztuhy a vidlice kliky. Toto je ovšem problematické z důvodu otáčení vidlice kliky na pastorku při rozkládání a skládání aplikačních ramen postřikovače. Při složení ramen postřikovače by případná výztuha překážela otočnému čepu na pastorku. Řešením by mohlo být prodloužení vidlice a tím i možnost použití plynulejšího přechodu u výztuhy.

Vidlice kliky byla prodloužena o 40 mm a rozšířena o 10 mm. Její tloušťka byla zeslabena na 15 mm. U krátké výztuhy byla změněna tloušťka na 15 mm (z dosavadních 8 mm). A vytvořen plynulejší náběh.

Z výsledku simulace (viz obrázek 32) lze usoudit, že se situace u napojení krátké výztuhy a vidlice viditelně zlepšila. Plynulejší přechod a stejná tloušťka komponentů má za následek lepší průběh napětí v daném místě. Spoj není tak namáhán a napětí je rozneseno do větší plochy kliky.



Obrázek 32 - Simulace kliky se zesílenou výztuhou

#### 4.4.1 Použitý materiál

Řešením stávajícího materiálového stavu problematické části by bylo použití jiného materiálu použitého u trubky 45x7. Stávající materiál zvolený pro trubku je problematický, co se týká požadované svařitelnosti.

Po konzultaci s panem Josefem Velíškem (hlavní technolog svařování v JE Temelín) a panem Nebáznivým (hlavní instruktor ve svařecí škole EGE) byla doporučena ocel **S 355J2G3 (11 523)**.

##### 4.4.1.1 Ocel S355J2

Nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel, která je vhodná ke svařování. Ocel je vhodná pro mostní a jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Využívá se také pro součásti tepelných energetických zařízení a součásti tlakových nádob vyrobených z tyčí.

### Chemické složení

| Chemické složení<br>v % hmot.<br>(Rozbor tavby) | C max. pro tloušťku v mm |        |      | Mn   | Si   | P     | S     |
|---|--------------------------|--------|------|------|------|-------|-------|
|   | ≤16                      | >16≤40 | >40  | max  | max  | max   | max   |
|   | 0,20                     | 0,20   | 0,22 | 1,60 | 0,55 | 0,025 | 0,025 |

### Svařitelnost

Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti svaru. Tato ocel má však svařitelnost zaručenou 1A.

## 4.5 Návrh konstrukčního řešení

Při návrhu nového konstrukčního řešení se vycházelo z těchto požadavků:

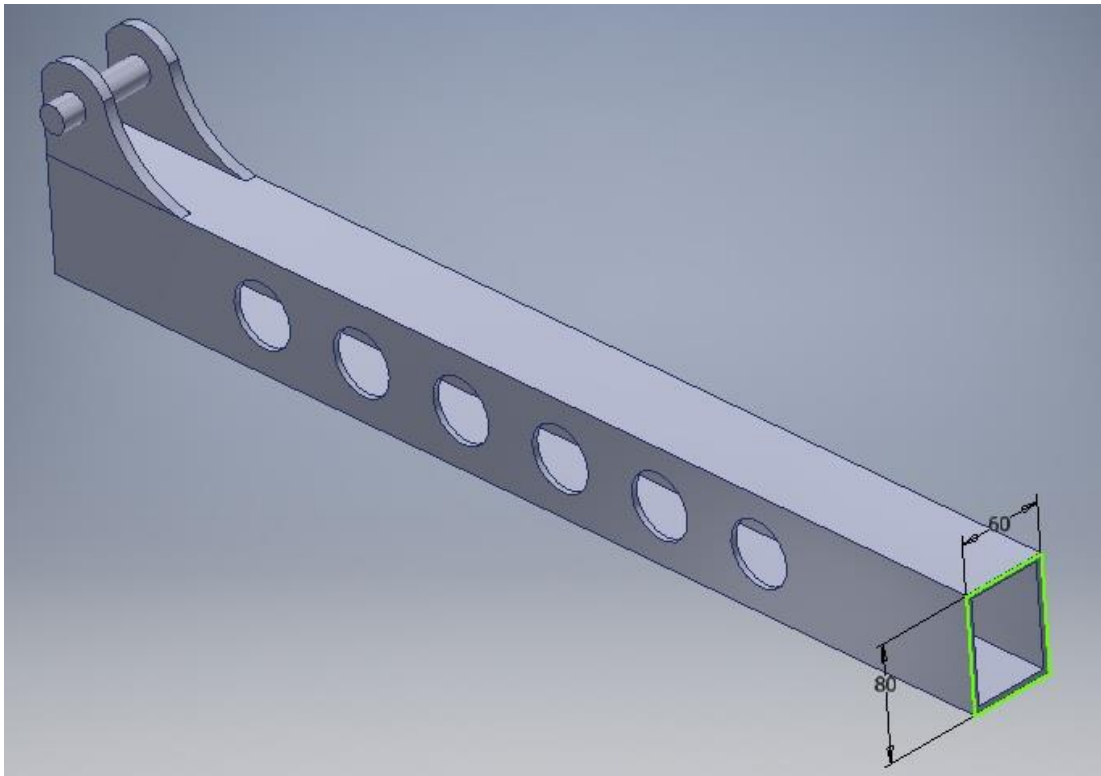
- konstrukce obsahující minimální množství vrubů,
- konstrukce, která by tlumila rázy působících sil,
- rychlá výroba,
- co nejekonomičtější řešení konstrukce.

### 4.5.1 Konstrukce

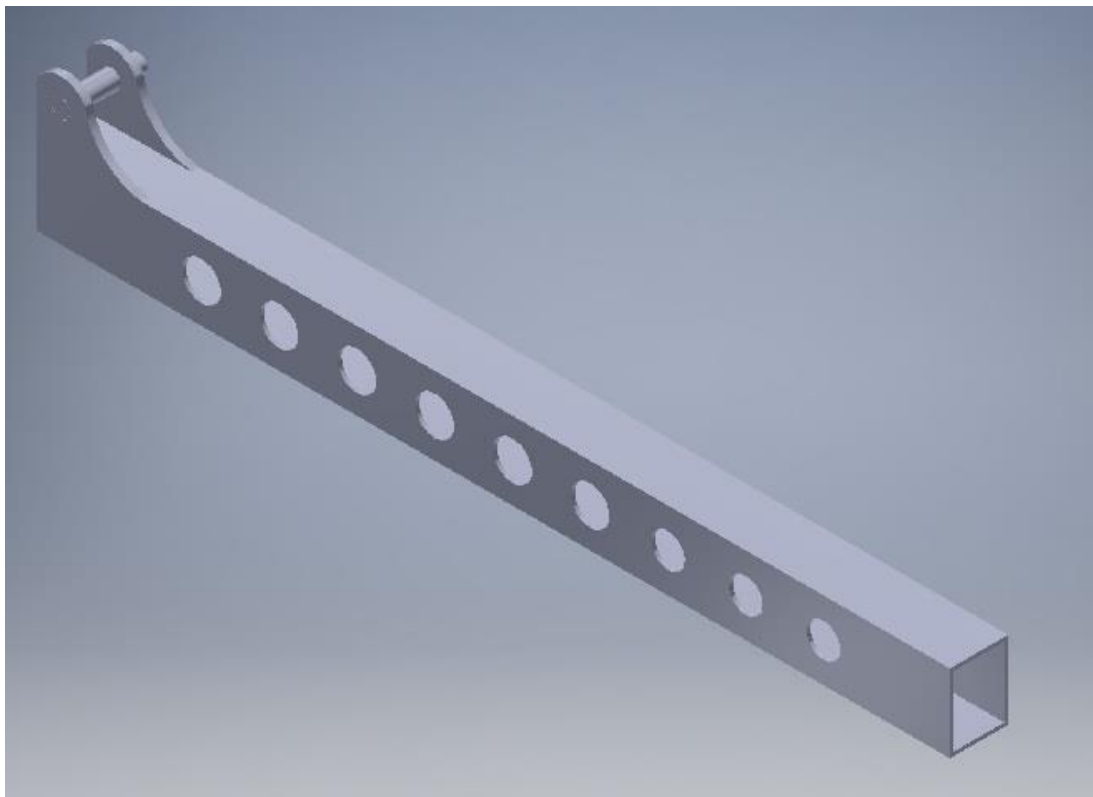
Navrhovaná konstrukce (viz obrázek 33 a 34) se skládá z uzavřeného obdélníkového silnostěnného profilu o rozměrech 80×60×4 mm. V tomto uzavřeném profilu se nacházejí otvory. Tyto otvory daného průměru slouží k pohlčení ostrých rázů a k zlepšení pružných vlastností. K profilu jsou přivařeny příruby k uchycení na otočný pastorek. Část k připevnění na aplikační ramena by musela být řešena individuálně, tedy přivařením příruby nebo přišroubováním šrouby.

Na navrhované klice se nachází minimum ostrých přechodů a vrubů. Na obrázku 35 a 36 lze vidět plynulý průběh zatížení v místě navařené příruby.

Velký problém je v různých délkách klik rozkládání. Rozdílná délka znamená i rozdílné namáhání kliky vzhledem k působícím silám. Delší klika je více ohnuta než kratší. Z tohoto důvodu by měly být kliky navrženy s ohledem na tuto vlastnost, tedy aby měly co nejpodobnější vlastnosti.



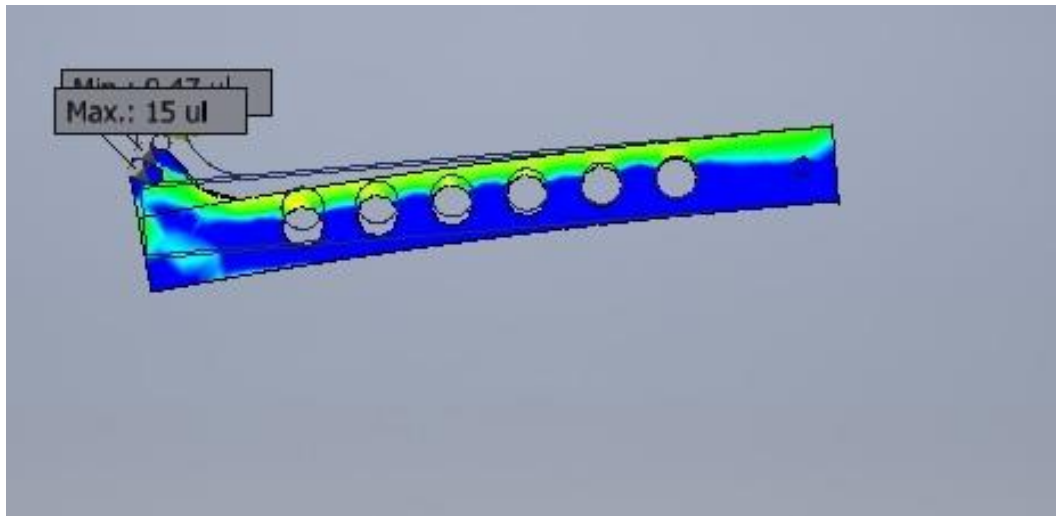
Obrázek 33 – Navrhovaná konstrukce krátké kliky



Obrázek 34 - Navrhovaná konstrukce dlouhé kliky

## 4.5.2 Analýza v programu Autodesk Inventor

### 4.5.2.1 Analýza – krátká klika



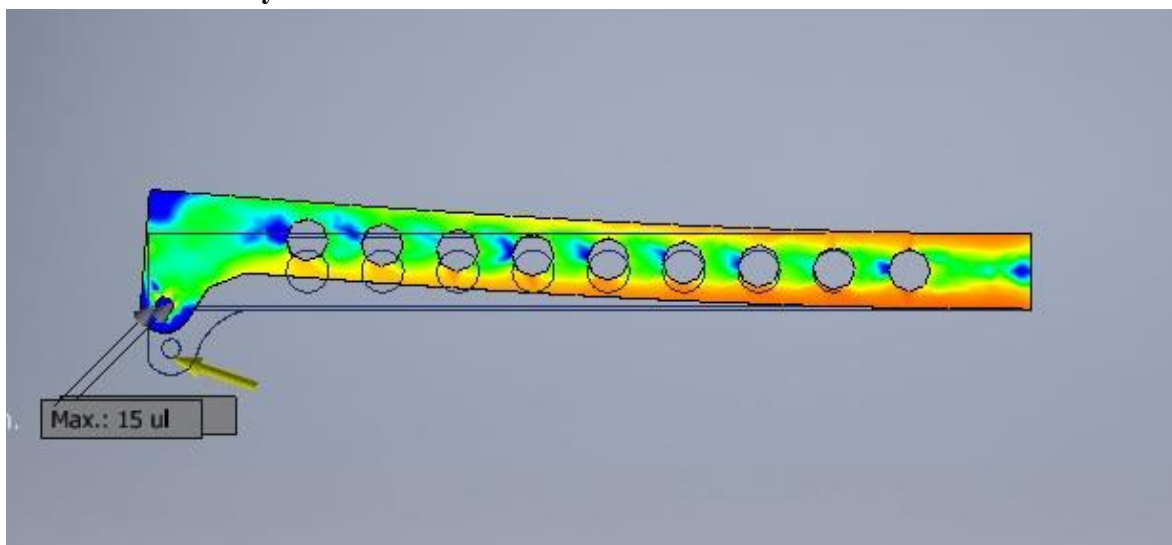
Obrázek 35 - Součinitel bezpečnosti návrhu krátké kliky



Tabulka 5 - Výsledky simulace návrh - dlouhá klika

| Název                             | Minimální              | Maximální          |
|-----------------------------------|------------------------|--------------------|
| Objem                             | 817018 mm <sup>3</sup> |                    |
| Hmotnost                          | 6,41359 kg             |                    |
| Napětí von Mises                  | 0,00323376 MPa         | 441,529 MPa        |
| První hlavní napětí               | -39,18 MPa             | 286,142 MPa        |
| Třetí hlavní napětí               | -276,839 MPa           | 47,0211 MPa        |
| Posunutí                          | 0 mm                   | 2,00281 mm         |
| Součinitel bezpečnosti            | 0,468826 ul            | 15 ul              |
| Napětí XX                         | -135,431 MPa           | 97,948 MPa         |
| Napětí XY                         | -82,976 MPa            | 59,1959 MPa        |
| Napětí XZ                         | -73,9655 MPa           | 67,326 MPa         |
| Napětí YY                         | -207 MPa               | 276,126 MPa        |
| Napětí YZ                         | -207,25 MPa            | 179,301 MPa        |
| Napětí ZZ                         | -223,803 MPa           | 218,796 MPa        |
| Posunutí X                        | -0,43648 mm            | 0,00202191 mm      |
| Posunutí Y                        | -1,90379 mm            | 0,000186343 mm     |
| Posunutí Z                        | -0,292581 mm           | 0,546555 mm        |
| První hlavní přetvoření (vnitřní) | 0,00000870928 ul       | 0,00153529 ul      |
| Třetí hlavní přetvoření (vnitřní) | -0,00162035 ul         | 0,0000000318586 ul |
| Přetvoření XX (vnitřní)           | -0,000387524 ul        | 0,000423031 ul     |
| Přetvoření XY (vnitřní)           | -0,000513561 ul        | 0,000366451 ul     |
| Přetvoření XZ (vnitřní)           | -0,000457882 ul        | 0,00041678 ul      |
| Přetvoření YY (vnitřní)           | -0,000883754 ul        | 0,00122104 ul      |
| Přetvoření YZ (vnitřní)           | -0,00128298 ul         | 0,00110996 ul      |
| Přetvoření ZZ (vnitřní)           | -0,00102911 ul         | 0,00101551 ul      |
| Stykový tlak                      | 0 MPa                  | 1006,75 MPa        |
| Stykový tlak X                    | -70,0388 MPa           | 73,1667 MPa        |
| Stykový tlak Y                    | -248,798 MPa           | 202,728 MPa        |
| Styková tlak Z                    | -139,159 MPa           | 150,589 MPa        |

### 1.1.1.1 Analýza – dlouhá klika



Obrázek 36 - Součinitel bezpečnosti návrhu dlouhé kliky

Tabulka 6 - Výsledky simulace návrh - dlouhá klika

| Název                             | Minimální              | Maximální       |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------|
| Objem                             | 965166 mm <sup>3</sup> |                 |
| Hmotnost                          | 7,57655 kg             |                 |
| Napětí von Mises                  | 0,733223 MPa           | 1200,31 MPa     |
| První hlavní napětí               | -295,599 MPa           | 1207,87 MPa     |
| Třetí hlavní napětí               | -1238,67 MPa           | 149,971 MPa     |
| Posunutí                          | 0 mm                   | 12,8311 mm      |
| Součinitel bezpečnosti            | 0,172456 ul            | 15 ul           |
| Napětí XX                         | -466,485 MPa           | 376,7 MPa       |
| Napětí XY                         | -146,513 MPa           | 193,105 MPa     |
| Napětí XZ                         | -151,269 MPa           | 190,332 MPa     |
| Napětí YY                         | -1018,51 MPa           | 1009,76 MPa     |
| Napětí YZ                         | -613,992 MPa           | 606,906 MPa     |
| Napětí ZZ                         | -1016,25 MPa           | 1057,97 MPa     |
| Posunutí X                        | -0,0125845 mm          | 0,968591 mm     |
| Posunutí Y                        | -12,6146 mm            | 0 mm            |
| Posunutí Z                        | -0,783161 mm           | 2,49822 mm      |
| První hlavní přetvoření (vnitřní) | 0,00000236059 ul       | 0,00521274 ul   |
| Třetí hlavní přetvoření (vnitřní) | -0,00550544 ul         | -00000034018 ul |
| Přetvoření XX (vnitřní)           | -0,000629314 ul        | 0,00045015 ul   |
| Přetvoření XY (vnitřní)           | -0,000906983 ul        | 0,00119541 ul   |
| Přetvoření XZ (vnitřní)           | -0,000936425 ul        | 0,00398638 ul   |
| Přetvoření YY (vnitřní)           | -0,00406732 ul         | 00,00398638 ul  |
| Přetvoření YZ (vnitřní)           | -0,0038009 ul          | 0,00375704 ul   |
| Přetvoření ZZ (vnitřní)           | -0,00429577 ul         | 0,00434364 ul   |
| Stykový tlak                      | 0 MPa                  | 880,778 MPa     |
| Stykový tlak X                    | -174,801 MPa           | 187,932 MPa     |
| Stykový tlak Y                    | -725,67 MPa            | 613,332 MPa     |
| Styková tlak Z                    | -877,427 MPa           | 743,48 MPa      |

### 4.5.3 Výsledek simulace

Z výsledku simulace lze usoudit, že průběh napětí v oblasti napojení příruby je výrazně lepší než u konstrukce aktuálně použité kliky. Lze také říci, že delší klika je více namáhána z důvodu větší celkové délky. Toto namáhání se projevuje větším ohybem kliky.

## 4.6 Návrh stabilizace ramen při prudké deceleraci

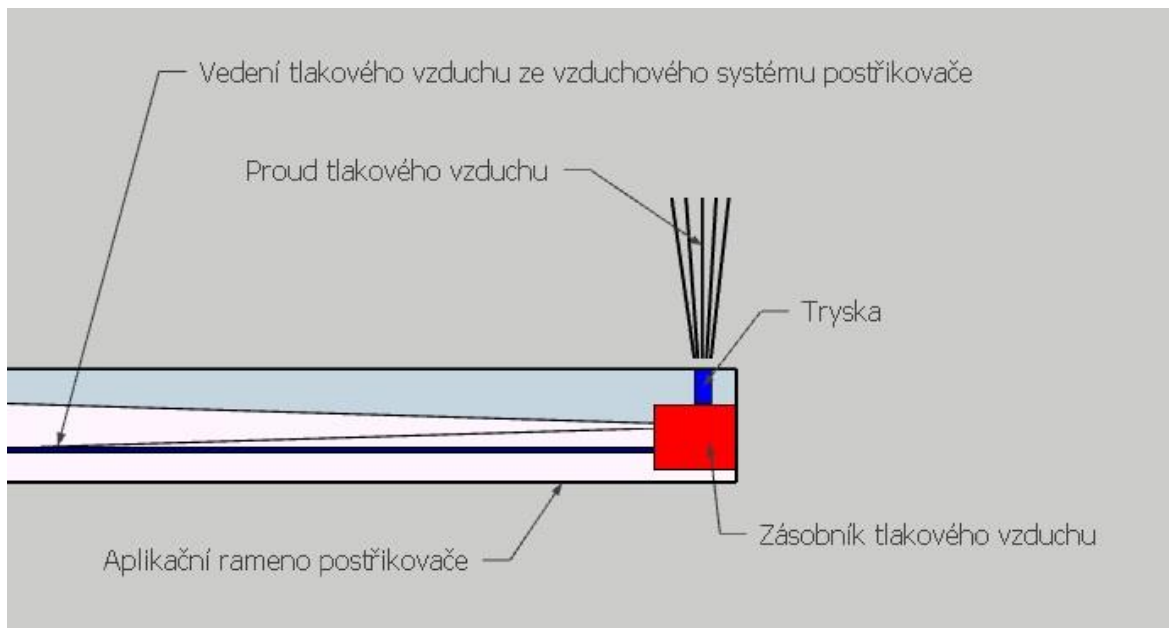
Kmitání ramen směrem vpřed a vzad je problémem, který vychází již ze samotné konstrukce postřikovačů. Velká délka aplikačních ramen a jejich hmotnost způsobuje výrazné silové namáhání na jejich zavěšení. Z důvodu co nejpřesnější aplikace postřikové jíchy je požadavek, aby ramena kmitala co nejméně. To má za následek nevhodnost použití pružných částí, které by zmírnily silové rázy, které na zavěšení působí.

Proto by bylo vhodné na postřikovač umístit pojistný systém, který by byl napojen na vzduchový systém.

Systém (viz obrázek 37) by obsahoval prvky:

- vedení tlakového vzduchu ze vzduchového systému postřikovače,
- akumulární zásobník tlakového vzduchu z lehkého materiálu (plast, kompozitní materiál),
- vzduchová tryska (nebo více trysek),
- řídicí jednotka, která by byla připojena na brzdový systém postřikovače.

Pojistný systém slouží k částečné kompenzaci působících sil, které působí na aplikační ramena a jejich uložení při prudkém brždění postřikovače. Velikost kompenzační síly závisí na tlaku vzduchu v systému postřikovače, velikosti akumulárního zásobníku vzduchu a na typu použité trysky. Systém by byl řízen pomocí řídicí jednotky, která by zpracovávala informace o velikosti brzdového účinku a při překročení určité meze by otevřela ventil pro průchod vzduchu do trysky.



Obrázek 37 - Pojistný systém postřikovače pro prudké brždění

Výhody systému:

- kompenzování sil, které mohou mít destrukční účinky na částech aplikačních ramen a jejich zavěšení,
- prodloužení životnosti částí postřikovače,
- systém nezasahuje do postřikovače, jako například použití vzpěry ramen, které by ale současně zvyšovaly i jejich hmotnost.

Nevýhody:

- relativní složitost systému,
- mírné navýšení ceny postřikovače,
- zatím praxí neověřená účinnost.

Tento systém, přes svoji složitější konstrukci by mohl být nabízen jako doplňková výbava postřikovače, kterou si může zákazník zvolit pro postřikovače s větším rozpětím ramen.

## 5. Závěr

V práci jsem se zaměřil na analýzu konstrukce rozkládacího mechanismu postřikovače, konkrétně na kliky rozkládání.

V teoretické části práce je popsána konstrukce postřikovače. V této části jsem se snažil popsat nejdůležitější části, zejména jsem se zaměřil na konstrukci aplikačních ramen postřikovače. Pozornost je soustředěna na různá konstrukční řešení, které používají různí výrobci. Navazující část se věnuje materiálům používaným při konstrukci. Zejména jejich vlastností, jejich zkoušení a jejich svařitelnosti.

Na začátku praktické části je seznámení a popis problematické části postřikovače. Dále jsem provedl analýzu dané konstrukce a vlastností materiálů použitých při výrobě. V další části byla provedena simulace v nadstavbě ANSYS integrované v programu Autodesk Inventor. Nejdříve jsem v programu Solidworks vymodeloval ve 3D danou součást, tedy kliku rozkládání. Při modelování jsem vycházel z dodané výkresové dokumentace a změřené kliky. Poté byla z nakreslených dílů vytvořena sestava. Tyto sestavy (krátká klika a dlouhá klika) byly importovány do programu Autodesk Inventor. Z dodané tabulky dynamického namáhání postřikovače na polygonu byla vyjmuta nejvyšší hodnota síly namáhání a tato síla byla použita pro samotnou simulaci. Z výsledků simulace byly vytvořeny tabulky a obrázky. Z těchto obrázků bylo patrné, že největší koncentrace napětí se nachází v přechodu mezi krátkou výztuhou a vidlicí. Navazující část práce se zabývá řešením této stávající konstrukce. Tedy na změnu použitého materiálu při výrobě. To bylo konzultováno s odborníky z praxe (Josef Velíšek, Petr Nebáznivý). V této části jsem se pokusil navrhnout i úpravu samotné konstrukce kliky. Díky této úpravě bylo docíleno plynulejšího přechodu působícího napětí v problémové části kliky. Posledním bodem praktické části bylo navrhnutí zcela nové konstrukce kliky rozkládání, s ohledem na požadavky, které jsou na tento díl kladeny. Zároveň je navrhnut pojistný systém, který slouží k částečné kompenzaci působících sil na aplikační ramena a jejich uložení při prudkém brždění postřikovače.

## 6. Doporučení pro konstrukční řešení kliky

U aktuálně používané kliky rozkládacího mechanismu, která obsahuje jako hlavní část trubku, doporučuji odstranění ostrých přechodů a vrubů. To má za následek lepší průběh vznikajících koncentrací napětí od působících akčních sil. Dále doporučuji volbu poněkud jiného materiálu, který je vhodnější z důvodu lepší svařitelnosti a to u všech částí kliky.

U ploché kliky, kterou tvoří uzavřený profil, doporučuji vhodnější tvar s ohledem na různou délku obou klik. Tento rozdíl má za následek rozdílný průběh napětí. Cílem tedy je, aby kliky i přes svou rozdílnou délku absorbovaly lépe rázy a působící síly a to přibližně stejným způsobem.

Horizontální kmitání ramen způsobuje samotná konstrukce postřikovačů. Tedy velká délka aplikačních ramen a jejich hmotnost. Tyto příčiny způsobují značné silové i rázové namáhání jejich závěsů. Z důvodu co nejpřesnější aplikace postřikové jíchy je nutné, aby ramena kmitala co nejméně. Je zde absolutně nevhodné použití pružných dílů, které by sice vhodně pohltily silové rázy, ale aplikační ramena by měla velký výkyv. Tento výkyv by měl za následek nepřesnou aplikaci postřiku.

Proto doporučuji na postřikovač umístit pojistný systém. Ten by částečně kompenzoval kritické síly a to především při brždění. Systém by fungoval na principu reakční síly proudu vzduchu z trysky. Tryska by byla umístěna na koncích aplikačních ramen postřikovače. Protože by při tomto řešení bylo potřebné vyfouknout rychle značné množství vzduchu, vyžadovala by tato konstrukce umístění co nejlehčího vzdušníku na konci aplikačních ramen.

## Seznam použité literatury

- AGRIMA Žatec s.r.o. Technologické přednosti postřikovačů Agrio [online]. ©2001-2018. [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.agrima.cz/blog/technologicke-prednosti-postrikovacu-agrio/>.
- Agrio Mzs s.r.o. Návěsný postřikovač Napa [online]. ©2005-2018. [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <http://www.agrio.cz/postrikovac/napa>.
- Agrio Mzs s.r.o. Nádrže [online]. ©2005-2018. [cit. 2017-11-06]. Dostupné z: <http://www.agrio.cz/nadrze/>.
- Agrio Pardubicko Samojízdný postřikovač Dino [online]. ©2005-2018. [cit. 2017-11-05]. Dostupné z: <http://www.agrio-pardubicko.cz/agrio/postrikovace/samojizdny-postrikovac-dino/>
- AGROTEC závěsná technika Tažené postřikovače Amazone UG[online]. ©2012-2018. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.zavesnatechnika.cz/tazene-postrikovace-amazone-ug/>.
- AKP spol. s.r.o. samojízdný postřikovač AKP Mazzotti [online]. ©2005-2018. [cit. 2017-12-09]. Dostupné z: <http://www.akp.cz/popis-postrikovace/>.
- Amazone Ltd 20 years Super-S [online]. ©1995-2018. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.amazone.co.uk/3552.asp/>.
- ČERVINKA J. (2010): *Technika a technologie rostlinné výroby: Návody do cvičení I*, Brno: Mendelova univerzita v Brně, 125 s, ISBN 978-80-7375-410-5.
- Elektronická učebnice Membránové čerpadlo [online]. ©2014-2018. [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1925/>.
- FRÍD, Milan a VÁVRA Václav., *výukový text: Stroje pro ochranu rostlin* [online]. [cit. 2017-12-15]. Dostupné z: [http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2013/11/ochrana\\_rostlin.pdf](http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2013/11/ochrana_rostlin.pdf).
- Hasiči a požární technika - Čerpadla všeobecně [online]. ©2012-2018. [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <http://www.pozarnitaktika.snadno.eu/Cerpadla.html>.
- HLAVATÝ I. (2001): *Svařitelnost uhlíkových ocelí, In Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Druhé upravené vydání*, Ostrava: ZERROS, 122 s, ISBN 80-85771-85-3.
- HORSCH Maschinen GmbH Revoluční konstrukce postřikových ramen [online]. ©1998-2018. [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.horsch.com/cz/news/news/detail-view/?tx\\_news\\_pi1%5Bnews%5D=1034&tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2775a5a224511f544bd23f29e88f66f5/](http://www.horsch.com/cz/news/news/detail-view/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=1034&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=2775a5a224511f544bd23f29e88f66f5/).
- KOVAŘÍČEK P. (1997): *Plošné postřikovače pro ochranu rostlin a hnojení kapalnými hnojivy*, 1. vyd. Nakladatelství Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 38 s. ISBN 80-7105-159-4.



KUMHÁLA, F., HEŘMÁNEK, P., MAŠEK, J., KVÍZ, Z., HONZÍK, I., 2007: *Zemědělská technika: Stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*, Nakladatelství Praha: Česká zemědělská univerzita, 426 s. ISBN 978-80-213-1701-7.

Landwirt Maschinen HORSCH - Gestängeführung BoomControl [online]. ©2001-2018. [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: [https://www.landwirt.com/berichtdiashow/Agritechnica\\_2013\\_SILBERMEDAILLEN,17,HORSCH---Gestaengefuehrung-BoomControl.html/](https://www.landwirt.com/berichtdiashow/Agritechnica_2013_SILBERMEDAILLEN,17,HORSCH---Gestaengefuehrung-BoomControl.html/).

Lukaservice s.r.o. TX 800-1000-1200 [online]. ©2009-2018. [cit. 2017-12-20]. Dostupné z: <http://lukaservice.cz/sortiment/nesene-postrikovace/tx-800-1000-1200/>.

Mechanizace zemědělství V hlavní roli hliníková ramena [online]. ©2013-2018. [cit. 2017-12-10]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/v-hlavni-rol-i-hlinikova-ramena/>

PECHAR J., BUREŠ J., STUDNIČKA J., ŠAFKA J. (1994): *Prvky kovových konstrukcí*, 1. vyd. Nakladatelství technické literatury, Bratislava, 496 s.

PTÁČEK L. a kol (2003): *Nauka o materiálu I.*, 1. vyd. Nakladatelství Akademické nakladatelství CERM, 516 s. ISBN 80-7204-193-2.

Svarinfo Vizuální kontrola svarů [online]. ©2005-2018. [cit. 2017-12-14]. Dostupné z: <https://svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008021901/>.

## Seznam obrázků

- Obrázek č. 1 - Nesený postřikovač TENCOMA TX 800
- Obrázek č. 2 - Návěsný postřikovač AGRIO NAPA
- Obrázek č. 3 - Samojízdný postřikovač AGRIO DINO
- Obrázek č. 4 – a) Polyetylenová nádrž, b) Sklolaminátová nádrž
- Obrázek č. 5 - Míchadla nádrží postřikovačů
- Obrázek č. 6 - Několikanásobný filtrační systém postřikovače
- Obrázek č. 7 - Hydrodynamické (odstředivé) čerpadlo
- Obrázek č. 8 - Hydrostatické (membránové) čerpadlo
- Obrázek č. 9 - Princip činnosti hydraulických trysek a tvar rozptylového
- Obrázek č. 10 - Ramena z uzavřených profilů
- Obrázek č. 11 - Ramena z profilovaného designu - AMAZONE
- Obrázek č. 12 – Hliníková ramena postřikovače
- Obrázek č. 13 - Zvedání rámu postřikovače
- Obrázek č. 14 - Zařízení pro vyrovnání vlivu svahu
- Obrázek č. 15 - Zavěšení ramen postřikovače
- Obrázek č. 16 - Příčná pasivní stabilizace postřikového rámu
- Obrázek č. 17 - Boom control - HORSCH
- Obrázek č. 18 - Super S - AMAZONE
- Obrázek č. 19 - Ultrazvukové čidlo
- Obrázek č. 20 - Stabilizátory ke snížení kmitu ramen v horizontální rovině
- Obrázek č. 21 - Olejové tlumiče zpomalují pohyby ramen v obou směrech
- Obrázek č. 22 - Pracovní diagram slitin železa
- Obrázek č. 23 - Papírové pravítko - pomůcka pro vyhodnocování vad podle normy ČSN EN ISO 58177
- Obrázek č. 38 - Houpačka postřikovače
- Obrázek č. 25 – Detailní pohled pastorku
- Obrázek č. 26 – Klika rozkládacího mechanismu
- Obrázek č. 27 – Materiálová analýza kliky
- Obrázek č. 28 – Součinitel bezpečnosti - krátká klika
- Obrázek č. 29 – Součinitel bezpečnosti - dlouhá klika
- Obrázek č. 30 – Redukovaný průřez napětí v místě vrubu

Obrázek č. 31 – Fotografie lomu svaru

Obrázek č. 32 – Simulace kliky se zesílenou výztuhou

Obrázek č. 33 – Navrhovaná konstrukce krátké kliky

Obrázek č. 34 – Navrhovaná konstrukce dlouhé kliky

Obrázek č. 35 – Součinitel bezpečnosti návrhu krátké kliky

Obrázek č. 36 – Součinitel bezpečnosti návrhu dlouhé kliky

Obrázek č. 37 - Pojistný systém postřikovače pro prudké brždění