



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**NÁVRH POSTŘIKOVACÍ JEDNOTKY PRO
SEKAČKU S ELEKTROPOHONEM**

DESIGN OF A SPRAYING UNIT FOR A MOWER WITH AN ELECTRIC DRIVE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JIŘÍ FRÜHBAUER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Bc. Jiří Frühbauer
Studijní program:	Automobilní a dopravní inženýrství
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Miroslav Škopán, C.Sc.
Akademický rok:	2021/22

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

Návrh postřikovací jednotky pro sekačku s elektropohonem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh postřikovací jednotky se stálým a přerušovaným selektivním postřikem pro sekačku s elektropohonem SPIDER E-CROSS X-LINER. Stroj bude určen pro použití na veřejné plochy v nízkoemisních zónách i mimo ně.

Základní parametry:

- jezdová rychlost stroje 0 – 6 km/h,
 - obrysové rozměry sekačky určené pro nastavbu:
délka 1110 mm,
šířka 980 mm,
výška 600 mm.
- Kapalina pro postřik – herbicidy, fungicidy, hnojiva i voda pro zavlažování.

Cíle diplomové práce:

Technická zpráva obsahující:

- kritickou rešerši postřikovačů a obdobně užívaných zařízení,
 - analýza legislativy vztahující se k postřikovačům,
 - zdůvodněný konstrukční návrh vlastní koncepce,
 - základní funkční a rozměrové výpočty,
 - pevnostní kontrola a případné další potřebné výpočty.
- 3D model.
Celková sestava zařízení.
Podsestavy a výrobní výkresy vybraných konstrukčních uzlů.

Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

ŠKOPÁN, Miroslav. Hydraulické pohony strojů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2009. [cit. 1. 10. 2020]. Dostupné z <https://www.vutbr.cz/studis/student.phtml>.

KUMHÁLA, František. Zemědělská technika: stroje a technologie pro rostlinnou výrobu. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je návrh prototypu postřikovací jednotky. Návrh kapalinového okruhu a konstrukce je v souladu s platnými legislativními požadavky pro daný typ profesionálního zařízení. V práci je popsána teorie a stroje pro postřikování s návrhem a výpočtem kapalinového okruhu. Dále je popsáno řešení konstrukce, návrh kinematiky a kontrola otočného rámu zařízení pomocí metody konečných prvků. Součástí práce je také výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

sekačka, postřikovač, MKP, kinematika, kapalinový okruh

ABSTRACT

The aim of this diploma thesis is to design a prototype spray unit. The design of the sprayer fluid circuit and construction is in accordance with the applicable legislative requirements for the given type of professional equipment. The work describes the theory and machines for spraying with the design and calculation of the sprayer fluid circuit. Furthermore, the design solution, kinematics design and inspection of the rotating frame of the device using the finite element method are described. Part of the work is also drawing documentation.

KEYWORDS

mower, sprayer, FEA, kinematics, sprayer fluid circuit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRÜHBAUER, Jiří. *Návrh postřikovací jednotky pro sekačku s elektropohonem* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139361>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Miroslav Škopán.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána CSc. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 20. května 2022

.....

Bc. Jiří Frühbauer

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za cenné rady, odbornou pomoc a příkladné vedení. Dále bych rád poděkoval firmě Spider za poskytnutí příležitosti zpracovávat tuto práci a Ing. Václavovi Zápotočnému za pomoc a rady při zpracování této práce. Poděkování patří také mé rodině, mým přátelům a mé přítelkyni za podporu a motivaci během celého studia.

OBSAH

Úvod	12
1 Tvorba a distribuce aplikační kapaliny	13
1.1 Princip tvorby a typy aplikačních kapalin	13
1.1.1 Rozptylování kapaliny	13
1.1.2 Kapkové spektrum	13
1.1.3 Úlet při aplikaci kapalin	15
1.1.4 Dělení aplikačních přípravků	16
1.2 Kapalinový okruh a jeho části	18
1.2.1 Kapalinový okruh postřikovače	18
1.2.2 Kapalinový okruh rosiče	19
2 Rozdělení strojů pro aplikaci přípravků	20
2.1 Zemědělské stroje pro aplikaci přípravků	20
2.1.1 Zemědělské postřikovače	20
2.1.2 Rosiče	22
2.1.3 Zmlžovače	24
2.2 Stroje pro aplikaci přípravků mimo zemědělství	25
2.2.1 Postřikovače pro komunální plochy	25
2.2.2 Postřikovače pro travní plochy	25
2.2.3 Postřikovače pro lesnictví	27
2.2.4 Postřikovače pro železnice	28
2.2.5 Soupis parametrů strojů pro aplikaci přípravků mimo zemědělství	28
3 Systémy pro snížení rizik a nákladů při aplikaci přípravků	29
3.1 Kompenzace dávky při zatáčení stroje	29
3.1.1 Kompenzace dávky změnou trysky	30
3.1.2 Kompenzace dávky modifikací PWM signálu	30
3.2 Detekce nežádoucích plodin	32
3.3 GPS podpora pro rovnoměrnou aplikaci přípravků	33
3.4 Kompenzace vychylování aplikačního rámu	34
3.5 Technologie pro snižování úletu kapek	35
3.5.1 Systém podpory vzduchu	35
3.5.2 Software pro vyhodnocení rizika úletu	36
3.5.3 Speciální protiúletové trysky	36
4 Legislativní požadavky a jejich analýza	37
4.1 Vyhláška č. 207/2012 Sb.	37
4.2 Norma ČSN EN ISO 16119-2	38
4.3 Další legislativní dokumenty	38
5 Analýza stroje a požadavky výrobce	39
5.1 Základní technické údaje	39
5.2 Jízdní vlastnosti stroje	39
5.3 Rozbor míst vhodných pro ukotvení aplikačního zařízení	40
5.4 Požadavky výrobce	41

6	Návrh kapalinového okruhu postřikovače	42
6.1	Trysky.....	43
6.1.1	Výpočty pro volbu trysek.....	43
6.2	Čerpadlo	45
6.2.1	Charakteristika a výpočet čerpadla	45
6.2.2	Návrh metody řízení čerpadla	46
6.3	Kapalinový akumulátor	50
6.3.1	Výpočet kapalinového akumulátoru	51
6.4	Rotační kapalinový převodník.....	52
6.5	Ovládací a pojistné prvky.....	53
6.5.1	Ovládací prvky	53
6.5.2	Pojistné prvky	55
6.6	Potrubní prvky	57
6.6.1	Prvky pro vedení kapaliny	57
6.6.2	Prvky pro čištění kapaliny.....	57
6.7	Nádrž	59
6.7.1	Prvky zabudované v nádrži	60
6.8	Měřicí a řídicí prvky okruhu	61
6.8.1	Měřicí prvky okruhu	61
6.8.2	Řídicí prvky okruhu	63
6.9	Režimy kapalinového okruhu.....	64
6.9.1	Míchací.....	64
6.9.2	Stálý	64
6.9.3	Selektivní	64
6.9.4	Nízko průtokový	65
6.9.5	Vyplachovací	65
6.10	Charakteristika tlakové ztráty v potrubí a tlak čerpadla	65
6.10.1	Tlaková ztráta vedením kapaliny	65
6.10.2	Tlaková ztráta elektromagnetického ventilu	67
6.10.3	Tlaková ztráta rotačního kapalinového převodníku.....	69
6.10.4	Požadovaný tlak čerpadla.....	69
6.10.5	Požadovaný tlak kapalinového akumulátoru	70
7	Konstrukční řešení vybrané varianty	72
7.1	Otočný rám.....	73
7.1.1	Postřikovací rám	74
7.1.2	Rám s detekčními snímači	76
7.1.3	Uložení přídatných rámu na otočný rám	77
7.2	Rotační převodník	78
7.3	Převodové ústrojí.....	79
7.3.1	Spojení hlavních celků k převodovce	81
7.4	Nosná deska.....	82
7.4.1	Uchycení ke stroji	83
8	Koncepční a návrhové výpočty	84
8.1	Návrh kinematiky otočného rámu	84
8.1.1	Poloměr zatáčení stroje	84
8.1.2	Úhly natočení přídatných rámu.....	86
8.2	Návrh pohonů otočeného rámu	92

8.2.1	Pohon otočného rámu	92
8.2.2	Pohon přídavných rámů	94
8.3	Návrh pohonu čerpadla	98
8.3.1	Návrh metody řízení motoru čerpadla	99
9	MKP analýza otočného rámu	104
9.1	Příprava modelu	104
9.2	Náhrady a okrajové podmínky	107
9.2.1	Náhrada čepu otočného rámu	107
9.2.2	Náhrada čepu lineárního aktuátoru	108
9.2.3	Náhrada přídavných rámů	109
9.2.4	Náhrada připojení otočného rámu a převodovky	109
9.3	Zátěžný stav	110
9.4	Vyhodnocení výsledků	112
	Závěr	116
	Použité informační zdroje	117
	Seznam použitých zkratk a symbolů	123
	Seznam příloh	126
	Seznam samostatných příloh	126
	Seznam výkresové dokumentace	126

ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem prototypu postřikovací jednotky pro svahovou sekačku Spider eCROSS Xliner firmy Spider. Navržený prototyp by měl rozšířit použitelnost sekaček firmy Spider. Výrobce požaduje návrh zařízení, který bude schopný adaptace pro široké množství přípravků podle jejich měrné dávky i vlastností.

V práci je proto proveden rozbor teorie tvorby aplikační kapaliny a distribuce na cílovou plochu spolu s moderními systémy snižování rizik. Tyto systémy jsou ukázány k možnému použití pro prototyp postřikovací jednotky. Pro možnost uvedení na trh je dále proveden rozbor platné legislativy týkající se konkrétního typu postřikovače.

Výsledné postřikovací zařízení musí podléhat platné legislativě a musí být vhodně připojeno k sekačce. Dále se musí přizpůsobit kinematice stroje a všem jeho pracovním pohybům v terénu.

1 TVORBA A DISTRIBUCE APLIKAČNÍ KAPALINY

Pro správný návrh aplikačního zařízení je třeba popsat důležité jevy při tvorbě kapaliny a jak se aplikované kapaliny dělí. Poté jsou popsány nejdůležitější část aplikační techniky, což je kapalinový okruh, který distribuuje kapalinu na požadovanou plochu či prostor.

1.1 PRINCIP TVORBY A TYPY APLIKAČNÍCH KAPALIN

Pro správnou funkci vybrané aplikační kapaliny je třeba kapalinu rozptýlit na soubor kapek o potřebné velikosti, kterému se říká kapkové spektrum. Při aplikaci kapalin se musí dodržet i předepsané meteorologické podmínky.

1.1.1 ROZPTYLOVÁNÍ KAPALINY

Způsoby rozptylu kapaliny lze rozdělit do několika kategorií [1]:

- hydraulický rozptyl = rozptyl pomocí tlakové energie kapaliny
- pneumatický rozptyl = rozptyl pomocí proudu vzduchu či jiných plynů
- mechanický rozptyl = rozptyl pomocí odstředivé síly, kdy je kapalina přivedena na rotující disk a na jeho okraji se vlivem vzduchu kapalina roztříští
- termický rozptyl = rozptyl pomocí odpaření a následnou kondenzací aplikační kapaliny (zmlžování)
- kombinovaný rozptyl = kombinace 2 a více zmíněných způsobů rozptylu kapaliny. Ve většině případů se užívá hydropneumatický (postřikovače s podporou vzduchu, rosiče) a termomechanický rozptyl (kapalina se mechanicky tříští a termicky odpařuje v proudu spalin a při kondenzaci vytvoří mlžnou clonu)

1.1.2 KAPKOVÉ SPEKTRUM

Velikost kapkového spektra je parametr důležitý pro správnou funkci aplikačního přípravku, jelikož určuje velikost kapek v souboru. Kapkové spektrum je závislé na vlastnostech kapaliny, použitého rozptylovače a pracovním tlaku. Při nízkém pracovním tlaku je kapkové spektrum hrubší a při vyšším pracovním tlaku se kapkové spektrum zjemňuje [4].

Tab. 1 Velikost kapek a rozsah dávkování pro různé aplikace [3]

Technologie	Velikost kapek [μm]	Používaný rozsah dávkování [l.ha ⁻¹] pro		
		polní plodiny	sady a vinice	lesní porosty
Postřik	nad 150	200–800	600–2500	600
Jemný postřik	50–250	25–300	100–800	200
Rosení	25–125	6–50	100–500	30–100
Zmlžování	do 50	3–10	3–25	3–10

Pokud používáme přípravky, které působí kontaktně, je třeba aby kapky ulpívaly na listu a nestékaly, proto je vhodné použít jemnější kapkové spektrum (např. fungicidy). Pokud je potřeba přípravky aplikovat systémově, je nutné dostat přípravky ke kořenovému systému, proto je lepší použít hrubší kapkové spektrum (např. herbicidy) [2].

Spray Quality*	Size of Droplets	VMD Range (Microns ³)	Color Code	Retention on Difficult to Wet Leaves	Drift Potential
Extremely Fine	Small	<60	Purple	Excellent	High
Very Fine		61-105	Red	Excellent	
Fine		106-235	Orange	Very Good	
Medium		236-340	Yellow	Good	
Coarse		341-403	Blue	Moderate	
Very Coarse		404-502	Green	Poor	
Extremely Coarse		503-665	White	Very Poor	
Ultra Coarse	Large	>665	Black	Very Poor	Low

Obr. 1 Závislost proměnlivé velikosti kapkového spektra na ulpívání na listech a na úlet kapek [13]

Velikost kapkového spektra je možné popsat statistickými metodami pomocí NMD (number median diameter) a VMD (volume median diameter).

NMD

Jedná se o aritmetický průměr celého souboru kapek. Lze ho vypočítat dle vzorce [5]:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

VMD

Jedná se o střední objemový průměr a je více používaný oproti NMD. Definuje se jako průměr kapek, u kterého bylo 50 % objemu kapaliny rozptýleno jako kapky s menším průměrem než daná hodnota a zbylých 50 % objemu kapaliny rozptýleno jako kapky s větším průměrem než daná hodnota [1]. Lze ho vypočítat dle vzorce [5]:

$$w_n(D) = \frac{1}{\int_0^{\infty} \frac{w_v(x)}{x^3} \cdot dx} \cdot \frac{w_v(D)}{D^3} \quad (2)$$

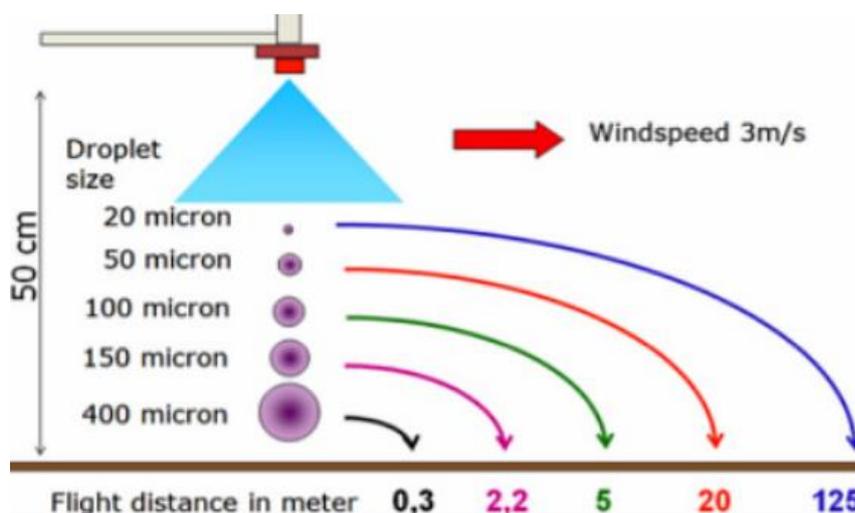
1.1.3 ÚLET PŘI APLIKACI KAPALIN

Výstřikový obrazec je během aplikace ovlivňován jak meteorologickými podmínkami, tak i mechanickými vlastnostmi. Mezi meteorologické podmínky patří teplota, relativní vlhkost a rychlost větru. Při aplikaci by teplota neměla být vyšší než 25 °C a relativní vlhkost menší než 60 %, jinak hrozí rychlejší odpaření aplikované kapaliny a snižuje se účinnost aplikace [6]. Pro vítr jsou důležité údaje o jeho směru a rychlosti, která by neměla přesáhnout 3 m/s, pokud se nepoužívají systémy pro snižování úletu kapaliny [6]. Pro přibližné určení rychlosti větru slouží Beaufortova stupnice na *Obr. 2*.

Stupeň	Rychlost větru		Slovy	Znaky na souši
	m/s	km/h		
0	0–0,2	0–1	bezvětří	Kouř stoupá svisle vzhůru.
1	0,3–1,5	1–5	vánek	Kouř už nestoupá úplně svisle ale korouhev nereaguje.
2	1,6–3,3	6–11	větrík	Vítr je cítit ve tváři, listí šelestí, korouhev se pohybuje.
3	3,4–5,4	12–19	slabý vítr	Listy a větvičky v pohybu, vítr napíná prapory.
4	5,5–7,9	20–28	mírný vítr	Vítr zvedá prach a papíry, pohybuje větvičkami a slabšími větvemi.
5	8,0–10,7	29–38	čerstvý vítr	Hýbe listnatými keři, malé stromky se ohybají.
6	10,8–13,8	39–49	silný vítr	Pohybuje silnějšími větvemi, telegrafní dráty sviští, používání deštníku se stává obtížným.
7	13,9–17,1	50–61	mírný víchř	Pohybuje celými stromy, chůze proti větru obtížná.
8	17,2–20,7	62–74	čerstvý víchř	Láme větve, vzpřímená chůze proti větru je již nemožná.
9	20,8–24,4	75–88	silný víchř	Vítr působí menší škody na stavbách (strhává komíny, tašky ze střechy).
10	24,5–28,4	89–102	plný víchř	Vítr vyvrací stromy a ničí domy.
11	28,5–32,6	103–117	vichřice	Rozsáhlé zrušení zasažené oblasti.
12	32,7 a více	118 a více	orkán	Ničivé účinky. Vítr odnáší domy a pohybuje těžkými hmotami.

Obr. 2 Beaufortova stupnice rychlosti větru [7]

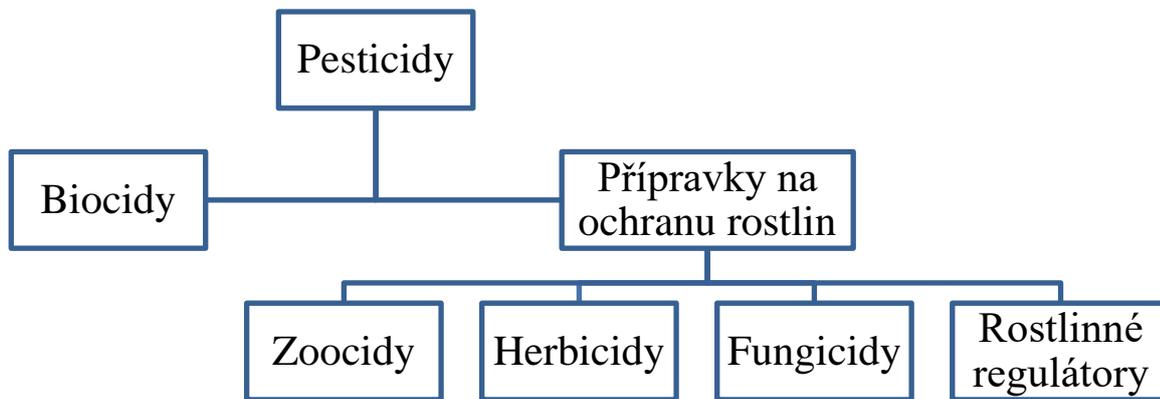
Mezi mechanické vlastnosti lze řadit rychlost pojezdu stroje, velikost kapkového spektra a nastavení výšky aplikačního rámu nad plodinami. Pokud se rychlost pojezdu stroje a výška aplikačního rámu zvyšuje, zvyšuje se také riziko úletu kapaliny [8]. Při zjemňování kapkového spektra se zvyšuje riziko úletu [1].



Obr. 3 Graf úletu kapky v závislosti na její velikosti při konstantní výšce 50 cm a rychlosti větru 3 m/s [9]

1.1.4 DĚLENÍ APLIKAČNÍCH PŘÍPRAVKŮ

Dalším důležitým parametrem při aplikaci přípravků je obsah přípravku ve směsi s vodou a hektarová dávka, která je proměnlivá pro různé přípravky a plodiny. Přípravky působí kontaktně (dotykem) a systémově (uvnitř rostliny či škůdce) [5]. Do této kategorie lze zařadit pesticidy, aditiva a kapalná hnojiva. Dělí se do několika kategorií podle použití:



Obr. 4 Rozdělení pesticidů s vybranými zástupci [10]

ZOOCIDY

Skupina přípravků, které jsou určené proti živočišným škůdcům. Podle funkce se dělí na [1][5]:

- insekticidy = proti hmyzu
- aficidy = proti mšicím
- akaricidy = proti svluškám a roztočům
- moluskocidy = proti plžům
- rodenticidy = proti hlodavcům
- nematocidy = proti háďátkům a hlísticím
- repelenty = odpuzování určité skupiny živočichů

FUNGICIDY

Skupina přípravků, která působí proti plísním a houbovým chorobám [10].

HERBICIDY

Skupina přípravků, které působí proti nežádoucím rostlinám. Lze je rozdělit podle selektivity [10]:

- selektivní = proti určité skupině rostlin
- totální = proti všem skupinám rostlin

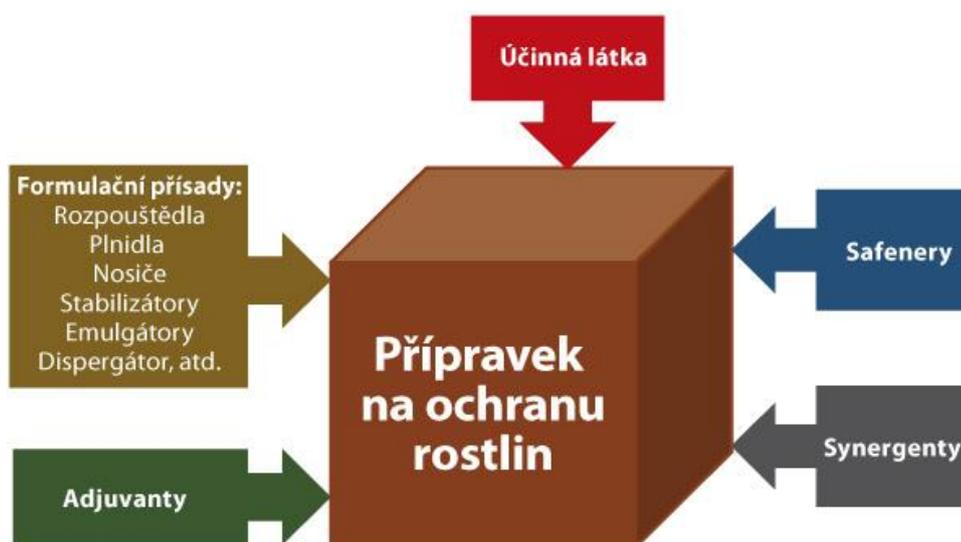
REGULÁTORY RŮSTU

Skupina přírodních nebo syntetických přípravků, které ovlivňují vývoj a růst rostlin [11]. Dále se dělí na [12]:

- fytohormony = regulace vývoje
- stimulatory = povzbuzení růstu (kapalná hnojiva)
- inhibitory = zabraňuje průběhu vývojových reakcí (klíčení, růst, kvetení)
- retardanty = zpomalení růstu

POMOCNÉ PŘÍPRAVKY

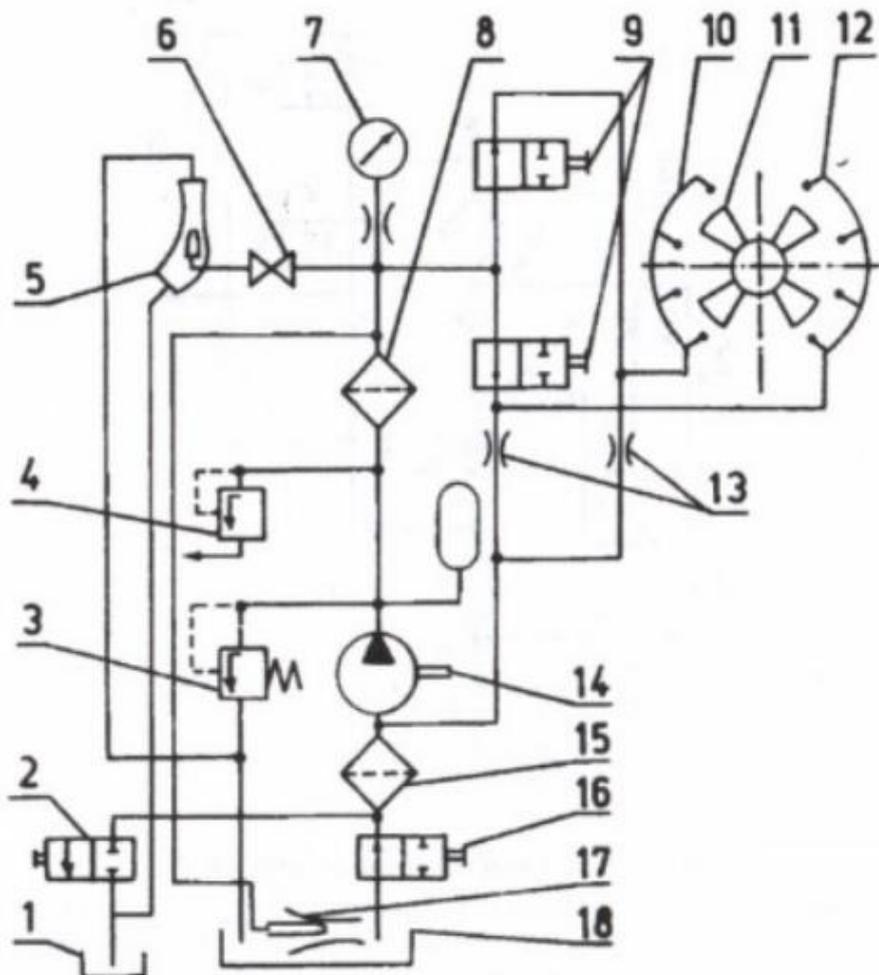
Zlepšují aplikovatelnost, bezpečnost a pesticidní aktivitu celé postřikové směsi [10].



Obr. 5 Složení aplikačního přípravku s účinnou látkou a aditivy [10]

1.2.2 KAPALINOVÝ OKRUH ROSIČE

Kapalinový okruh rosiče je podobný s kapalinovým okruhem postřikovače, avšak pracuje při tlacích okolo 10 bar a více [4] a používá jiné koncové rozptylovače. Čerpadlo dopravuje kapalinu z nádrže k rozptylovačům, kde je kapalina unášena proudem vzduchu. Kapalina při dopravě protéká přes čistící, měřicí a ovládací prvky.



Obr. 7 Kapalinový okruh rosiče [14], 1-zdroj vody, 2-výpusť z nádrže, 3-přepouštěcí ventil, 4-tlaková pojistka, 5-injektor, 6-uzávěr, 7-tlakoměr, 8-čistič, 9-rozváděče, 10,12-rámy s rozptylovači, 11-ventilátor, 13-škrťící ventily, 14-čerpadlo, 15-čistič, 16-uzávěr, 17-míchadlo, 18-nádrž

2 ROZDĚLENÍ STROJŮ PRO APLIKACI PŘÍPRAVKŮ

Tato část se bude zabývat pouze pojízdnými stroji, jelikož se jimi zabývá celá závěrečná práce. Stroje pro aplikaci kapalných pesticidů slouží k přesnému dávkování přípravku a jeho rovnoměrné nanesení na cílovou plochu. Stroje se dělí do několika kategorií podle velikosti nádrže, a to na nesené, tažené a samojízdné [5]. Podle použití je lze dále rozdělit na zemědělské a nezemědělské. Aplikační kapaliny lze aplikovat pozemně i letecky.

2.1 ZEMĚDĚLSKÉ STROJE PRO APLIKACI PŘÍPRAVKŮ

Zemědělské stroje pro použití aplikačních kapalin pracují převážně na polích, vinicích, chmelnicích a sadech. Podle aplikace přípravků je lze rozdělit na plošné a prostorové. Mezi plošné aplikátory patří postřikovače a mezi prostorové aplikátory patří rosiče a zmlžovače.

2.1.1 ZEMĚDĚLSKÉ POSTŘIKOVAČE

Typy strojů sloužící pro aplikaci přípravků plošně. Aplikace probíhá skrze různé typy trysek, které jsou připevněné na aplikačních rámech. Využívají principu hydraulického rozptylu kapaliny, v některých případech principu hydropneumatického rozptylu (postřikovače s podporou vzduchu).

Podle velikosti nádrže a aplikačních rámců se dělí na nesené, tažené a samojízdné. U polních postřikovačů se užívají kolové a pasové podvozky, a dále také podvozky s ocelovými koly do V, které se užívají pro pojezd v rýžových polích [15].



Obr. 8 Samojízdný postřikovač AG TRK RS260 firmy Sutter Buttes Manufacturing na podvozku s ocelovými koly [15]

NESENÉ POSTŘIKOVAČE

Postřikovač je připevněný na zadní nebo přední části traktoru. Velikost nádrží je od 200 do 1000 litrů [1], u některých i 2000 litrů s použitím druhé nádrže, jak lze vidět na *Obr. 9*. Pohon postřikovače je realizován přes vývodový hřídel traktoru (PTO). Jízdní vlastnosti a manévrovatelnost jsou závislé na použitém traktoru.



Obr. 9 Nesený postřikovač Amazone UF s přední přídavnou nádrží o celkové kapacitě 2000 litrů v přepravní (vpravo) a v pracovní poloze (vlevo) [16]

TAŽENÉ POSTŘIKOVAČE

Postřikovač není pevně připojen k traktoru. Oproti nesenému postřikovači je jeho připojení k traktoru snadnější. Velikost nádrží se pohybuje od 1000 do 8000 litrů [1] a je závislá na počtu náprav návěsného postřikovače. Tažený postřikovač je stejně jako nesený postřikovač poháněn vývodovým hřídelem traktoru (PTO). Jízdní vlastnosti a manévrovatelnost návěsného postřikovače jsou závislé na rozmístění náprav postřikovače a jízdních vlastnostech traktoru.



Obr. 10 Tažený jednonápravový postřikovač AGRIO MAMUT XL s celkovou kapacitou 8000 litrů v pracovní (vpravo) a v přepravní poloze (vlevo) [17]

SAMOJÍZDNÉ POSTŘIKOVAČE

Tento typ postřikovače má vlastní rámovou konstrukci, na které je posazena nádrž s celým kapalinovým okruhem, samostatným hydraulickým pohonem a kabinou operátora. Velikost nádrží se pohybuje od 1000 do 8000 litrů [1], v některých případech i více. Samochodné postřikovače mohou mít až 3 režimy chodu stroje, a to režim řízení 2 kol přední nápravy, režim řízení všech kol pro menší poloměr zatažení a řízení všech kol směřujících v šikmém směru po přímce (krabí chod). Jízdní vlastnosti a manévrovatelnost je závislá na použitém režimu chodu stroje a na použitém variabilním rozchodu kol obou náprav.



Obr. 11 Samojízdný postřikovač John Deere R4150i s rameny z uhlíkových vláken v přepravní (vlevo) a pracovní (vpravo) poloze [18]

2.1.2 ROSIČE

Typy strojů sloužící pro aplikaci přípravku prostorově. K tomu pomáhají speciální trysky, které jsou podpořeny ventilátorem (hydropneumatický rozptyl). Výhoda rosičů je lepší účinnost a menší spotřeba kapaliny [14]. Podle velikosti nádrže a aplikačních rámců se dělí na nesené, tažené a samojízdné.

NESENÉ ROSIČE

Nesený rosič je připevněn na zadní část traktoru. Velikost nádrží je od 300 do 1000 litrů [14]. Pohon neseného rosiče je realizován přes vývodový hřídel traktoru (PTO). Jízdní vlastnosti a manévrovatelnost jsou závislé na použitém traktoru.



Obr. 12 Nesený rosič Agromehanika AGP 200 [19]

TAŽENÉ ROSIČE

Velikost nádrží tažených traktorových rosičů se pohybuje od 500 do 2000 litrů [1]. Tažený traktorový rosič je stejně jako nesený rosič poháněn vývodovým hřídelem traktoru (PTO). Jízdní vlastnosti a manévrovatelnost návěšného postřikovače jsou závislé na jízdních vlastnostech traktoru.



Obr. 13 Tažený rosič SLEZA BS 1500 [20]

SAMOJÍZDNÉ ROSIČE

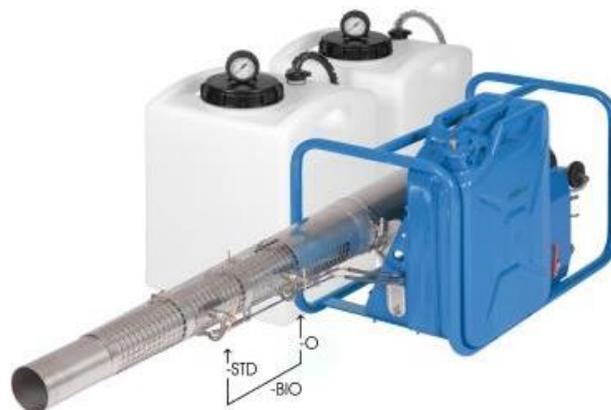
Tento typ rosiče má podobně jako samojízdný postřikovač vlastní rámovou konstrukci, na které je posazena nádrž s celým kapalinovým okruhem, samostatným hydraulickým pohonem a kabinou operátora. Velikost nádrží se pohybuje od 2000 do 3000 litrů [1], v některých případech i více. Samochodné postřikovače mohou mít až 3 režimy chodu stroje, a to režim řízení 2 kol přední nápravy, režim řízení všech kol pro menší poloměr zatáčení a řízení všech kol směřujících v šikmém směru po přímce (krabí chod). Jízdní vlastnosti a manévrovatelnost je závislá na použitém režimu chodu.



Obr. 14 Samojízdný rosič Tifone COBRA 2000 se zobrazením prostorové aplikace kapaliny [21]

2.1.3 ZMLŽOVAČE

Zmlžovače mají nádrže do 100 litrů a nejsou samojízdné. Využívají se pro desinfekce skladů a v zahradnictví [14]. Mají kapalinové okruhy podobné rosičům a velmi nízké hektarové dávky (lehké mlhy 1-10 litru na hektar, těžké mlhy 5-30 litru na hektar) [14].



Obr. 15 Zmlžovač PULSFOG K30-20-BIO [22]

2.2 STROJE PRO APLIKACI PŘÍPRAVKŮ MIMO ZEMĚDĚLSTVÍ

Nezemědělské stroje pro aplikaci pesticidních kapalin pracují převážně na komunálních plochách, travních plochách, lesních plochách a železničních tratích. Tato část postřikovačů bude popsána podrobněji, jelikož je relevantnější k následujícím částem závěrečné práce.

2.2.1 POSTŘIKOVAČE PRO KOMUNÁLNÍ PLOCHY

Pro postřikování zpevněných komunálních ploch (parkoviště, chodníky, vozovky a cyklostezky). Používají se jako nesené nástavby. Pro ukázkou je vybráno nesené postřikovací zařízení CITYSEEKER firmy PRODAG.



Obr. 16 Nesený postřikovač CITYSEEKER firmy PRODAG na multicararu HAKO CITYMASTER 1200 se systémem selektivního postřiku [23][24]

2.2.2 POSTŘIKOVAČE PRO TRAVNÍ PLOCHY

Postřikovače menších rozměrů oproti zemědělským, které se používají pro postřikování golfových hřišť, okrasných trávníků, sportovních hřišť, zahrad a sadů. Využívají se nesené, tažené a samojízdné typy. Jako příklad je uvedeno několik postřikovacích zařízení podle typu konstrukce.

Jako příklad nesené varianty je zvolen postřikovač SelectSpray300 od firmy John Deere.



Obr. 17 Nesený postřikovač SelectSpray300 na užitkovém vozidle ProGator 2030A, oba stroje firmy John Deere [25]

Jako příklad tažené varianty je zvolen postřikovač Agri-fab 95 l firmy AGRIFAB.



Obr. 18 Tažený postřikovač Agri-fab 95 l firmy AGRIFAB [26]

Jako příklad samojízdné varianty je zvolen postřikovač Turf Storm firmy SCAG.



Obr. 19 Samojízdný postřikovač Turf Storm firmy SCAG [27]

2.2.3 POSTŘIKOVAČE PRO LESNICTVÍ

Postřikovače určené pro postřik lesních ploch selektivními herbicidy pro podporu růstu sazenic stromů v lesních školkách [28]. Aplikační kapaliny jsou aplikovány letecky nebo pozemně.



Obr. 20 Pozemní aplikace selektivního herbicidu na mýtinu se sazenicemi [29]

Do této kategorie lze také zařadit speciální postřikovač české výroby, který aplikuje insekticid s feromony na kmeny stromů [30]. Tento postřik vábí a likviduje kůrovce.



Obr. 21 Postřikovač Stromolez [30]

2.2.4 POSTŘIKOVAČE PRO ŽELEZNICE

Postřikovače pro údržbu nádraží a železničních tratí. Montují se jako nesené nástavby na dvoucestná vozidla a na motorové univerzální vozíky (MUV) [31] [32].



Obr. 22 Dvoucestné vozidlo UniRoller 4x4 s postřikovací nástavbou [31]

2.2.5 SOUPIS PARAMETRŮ STROJŮ PRO APLIKACI PŘÍPRAVKŮ MIMO ZEMĚDĚLSTVÍ

Pro soupis důležitých parametrů jsou vybrány postřikovače pro travní a komunální plochy, jelikož jsou zbylé postřikovače pro mnohem vyšší rozměrové a hmotnostní typy strojů. Sledovanými parametry jsou objem nádrže pro postřikovou kapalinu, šířka záběru postřikového rámu, maximální průtok čerpadla a pojezdová rychlost.

Tab. 2 Sledované parametry vybraných postřikových zařízení

		CITYSEEKER	SelectSpray	Agrifab 95 l	Turf Storm
Objem nádrže	[l]	500	1136	95	227
Šířka záběru	[m]	1,2	4,6-6,4	2	0,6-3
Max. průtok	[l/min]	-	367	6,8	19
Pojezdová rychlost	[km/h]	podle stroje	0-30,7	podle stroje	13,7

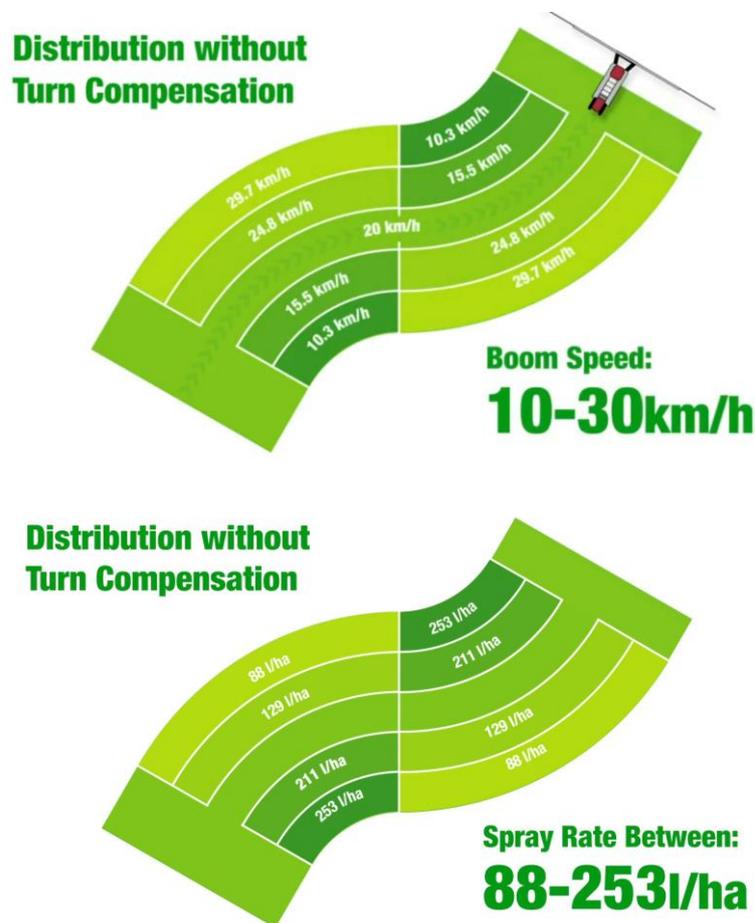
Tyto parametry slouží pro přibližný výběr a konstrukci hlavních komponent jako například čerpadla, nádrže, postřikového rámu a rámu se snímači.

3 SYSTÉMY PRO SNÍŽENÍ RIZIK A NÁKLADŮ PŘI APLIKACI PŘÍPRAVKŮ

V dnešní době se u postřikovačů používají moderní technologie, které snižují ekologická rizika a materiální škody, a zároveň šetří náklady i životní prostředí snižováním aplikovaného postřiku. U většiny těchto systémů je třeba mít aplikační rám rozdělen na sekce po jedné trysce nebo sekce o více tryskách pro maximální účinnost.

3.1 KOMPENZACE DÁVKY PŘI ZATÁČENÍ STROJE

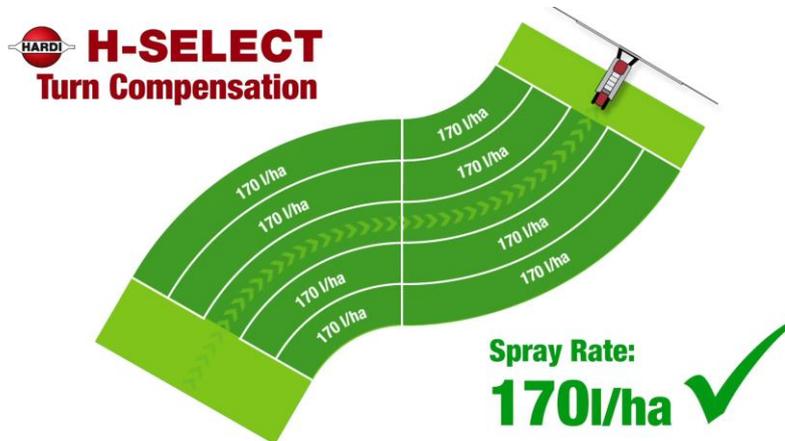
Rovnoměrná aplikace dávky platí za podmínek konstantní pojezdové rychlosti a tlaku v potrubním systému. To však přestává platit při zatočení stroje, jelikož se obvodová rychlost v poloze trysky zvyšuje s narůstající vzdáleností od středu zatáčení.



Obr. 23 Rozložení obvodové rychlosti a nerovnoměrnosti aplikační dávky ramen postřikovače při zatáčení stroje [33]

3.1.1 KOMPENZACE DÁVKY ZMĚNOU TRYSKY

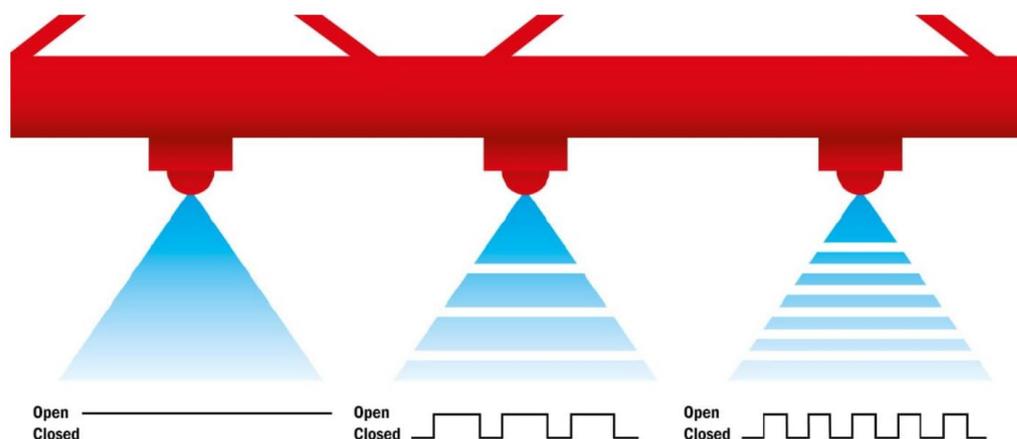
Řešení, které v závislosti na obvodové rychlosti přepne na vyhovující trysku na nosiči s více typy trysek a tím tak docílí přesnější dávky na plochu. Tímto způsobem lze docílit pokrytí až 90 % a více a snížení aplikační kapaliny o 5 až 7 % [33].



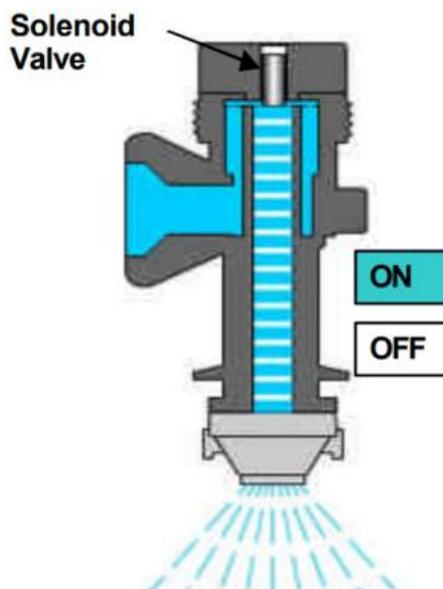
Obr. 24 Rozložení aplikační dávky se systémem H-SELECT firmy HARDI [33]

3.1.2 KOMPENZACE DÁVKY MODIFIKACÍ PWM SIGNÁLU

Využívá napojení PWM signálu na elektromagnetický ventil, který ovládá jednotlivé trysky. Průtok ventilem je regulován frekvencí otevírání a zavírání pomocí změny šířky pulzu vstupního signálu. Na Obr. 25 lze vidět snižování dávky změnou PWM signálu od kraje aplikačního rámu (vlevo) směrem ke středu zatáčení stroje (vpravo).

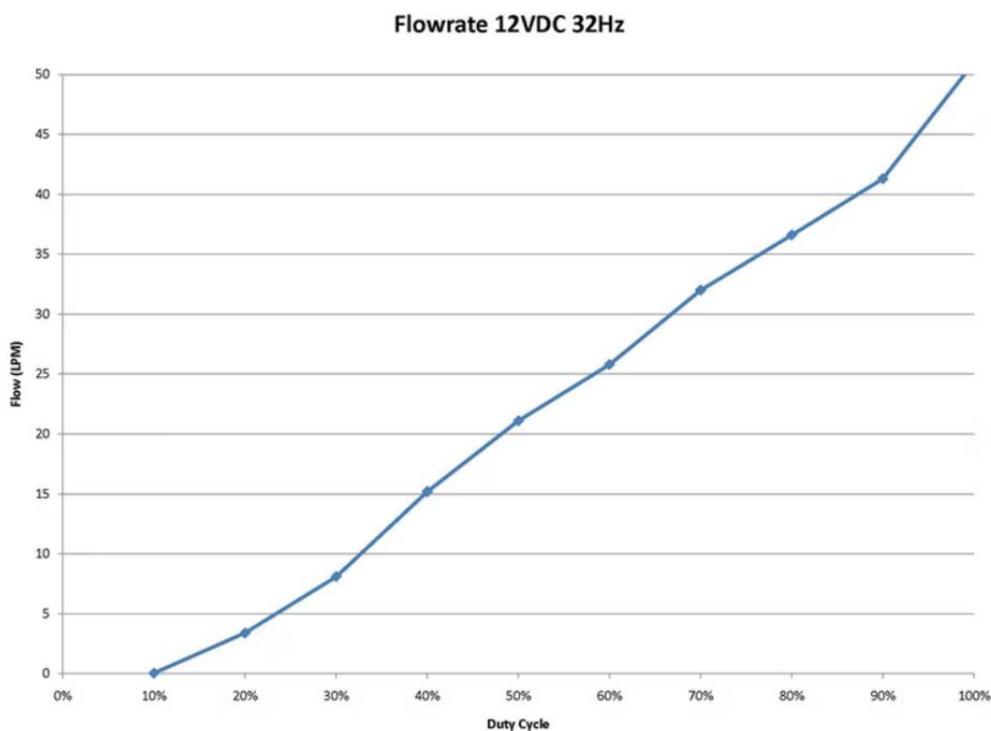


Obr. 25 Výstřikový obrazec kapaliny v závislosti na průběhu PWM signálu pro systém StrictSprayPlus firmy AGRIFAC [34]



Obr. 26 Detail konstrukce elektromagnetického ventilu řízeného PWM signálem se zobrazením režimů zapnuto/vypnuto [35]

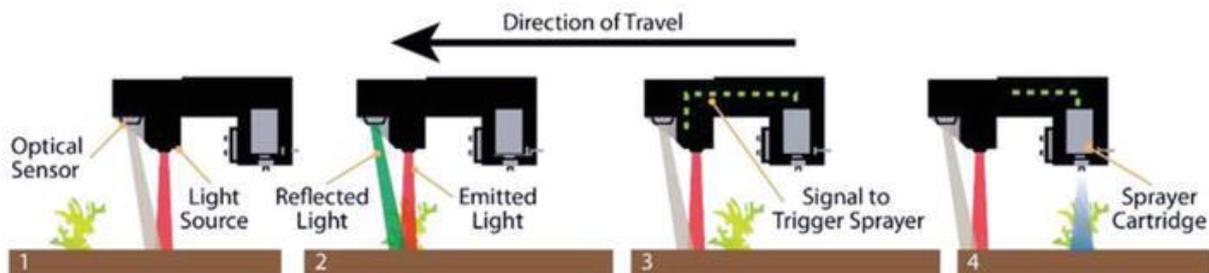
Tento způsob je oproti výměně trysky přesnější, jelikož se průtok tryskou dá přesně regulovat šířkou pulzu PWM signálu, což lze vidět na Obr. 27.



Obr. 27 Průběh průtoku v závislosti na délce cyklu PWM signálu [36]

3.2 DETEKCE NEŽÁDOUCÍCH PLODIN

Využívá se převážně při aplikaci herbicidů na poli i na zpevněných komunálních plochách. Systém lze vidět na *Obr. 28* a funguje na principu vysílání (krok 1) a následného odrazu infračerveného záření od listů rostlin na optický senzor (krok 2). Poté, co byla zaznamenána nežádoucí plodina, řídicí jednotka vyšle signál (krok 3), který pomocí pulzu PWM signálu otevře elektromagnetický ventil a aplikuje herbicidní kapalinu (krok 4) [37].



Obr. 28 Princip funkce senzoru citlivého na infračervené záření odražené od listů rostlin [37]

Tímto způsobem je tento systém schopný významně omezit rozlohu ošetřené plochy a ušetřit až 90 % postřikové kapaliny [23].



Obr. 29 Ukázka selektivního postřiku vozovky pomocí systému WeedSeeker [23]

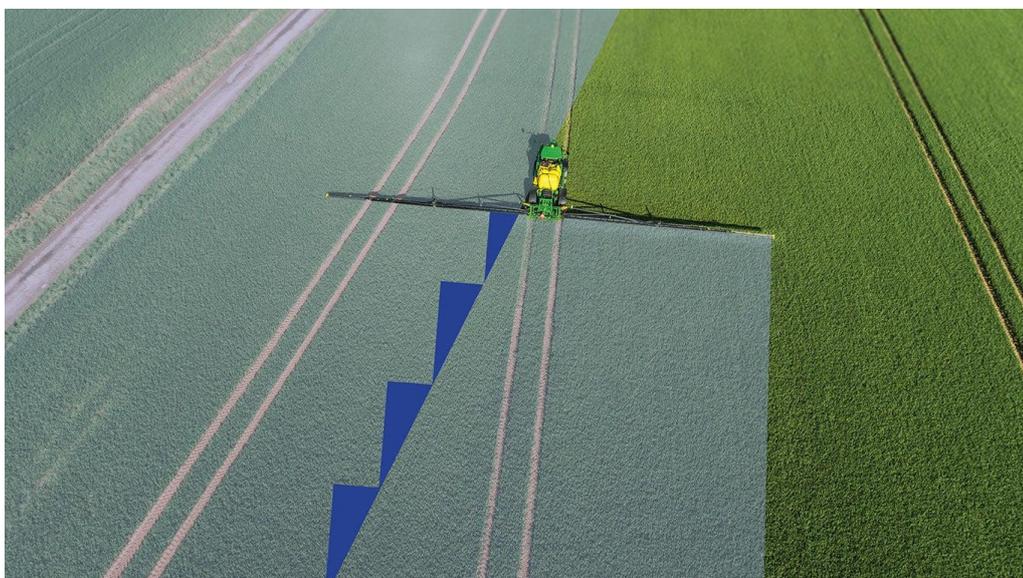
3.3 GPS PODPORA PRO ROVNOMĚRNOU APLIKACI PŘÍPRAVKŮ

Mapovací systém GPS je velmi výhodný, jelikož se pro nezmapované plochy obtížně určuje překryvnost ošetřených ploch. Pomocí podpory GPS lze provést označení plochy pro aplikaci. Díky tomu lze označit místa, která již byla ošetřena a tím se zabrání navýšení hektarové dávky na ošetřené ploše a je možné navádět stroj po trasách, které určila GPS, což napomáhá autonomii stroje.



Obr. 30 Nesený postřikovač SelectSpray na užitkovém vozidle ProGator 2030A se systémem GPS (na střeše), vše od firmy John Deere [25]

Na *Obr. 31* je zobrazeno pole s ošetřenou plochou (bílá) a plochou, kde dochází k překrytí (modrá). Překrytá plocha (modrá) bude menší, pokud se počet jednotlivě ovládaných sekcí zvýší.



Obr. 31 Zobrazení funkce systému proti překrytí Precision Ag firmy John Deere [38]

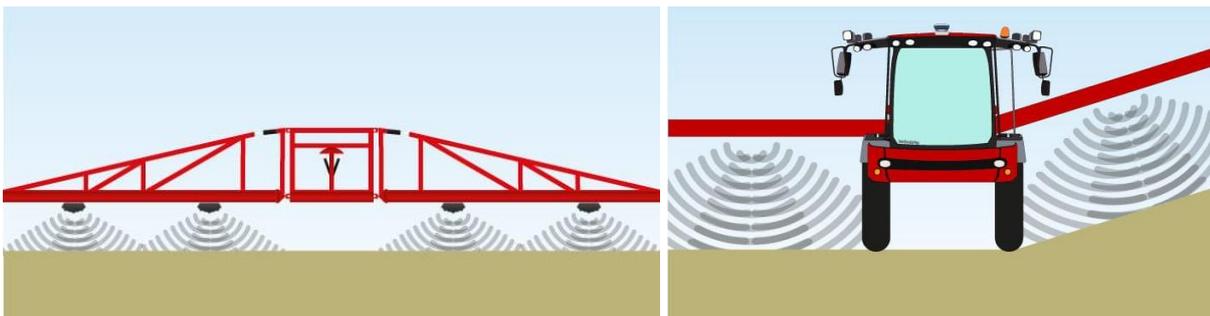
3.4 KOMPENZACE VYCHYLOVÁNÍ APLIKAČNÍHO RÁMU

Jelikož jsou aplikační rámy tvořené příhradovou konstrukcí o značné délce, jsou náchylné na výkyvy ve směru kolmém k zemi (náklon) a ve směru jízdy stroje (stáčení).



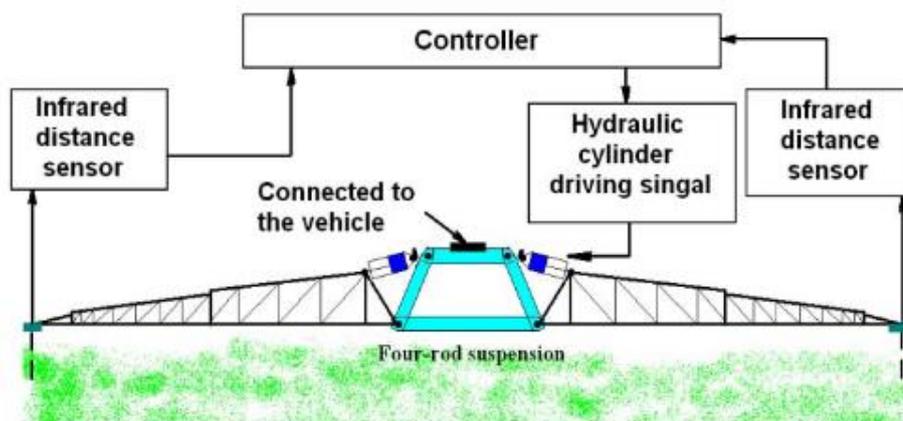
Obr. 32 Kývavé pohyby aplikačního rámu postřikovače, vlevo náklon (roll) a vpravo stáčení (yaw) [39]

Kmity ve směru kolmém k zemi mohou způsobovat změnu dávkování či vyšší riziko úletu, jelikož se tryska přibližuje či oddaluje od země. Proti tomuto jevu pomáhá několik ultrazvukových senzorů či senzorů infračerveného záření, které snímají výšku aplikačního rámu od země [40].



Obr. 33 Rozmístění ultrazvukových senzorů na aplikačním rámu s ukázkou náklonu aplikačního rámu ve svahu, systém StrictHeightPlus firmy Agrifac [40]

Zjednodušená konstrukce je ukázána na Obr. 34, kde je upnutí aplikačního rámu realizováno skrze čtyřkloubový mechanismus s hydromotory regulujícími náklon.



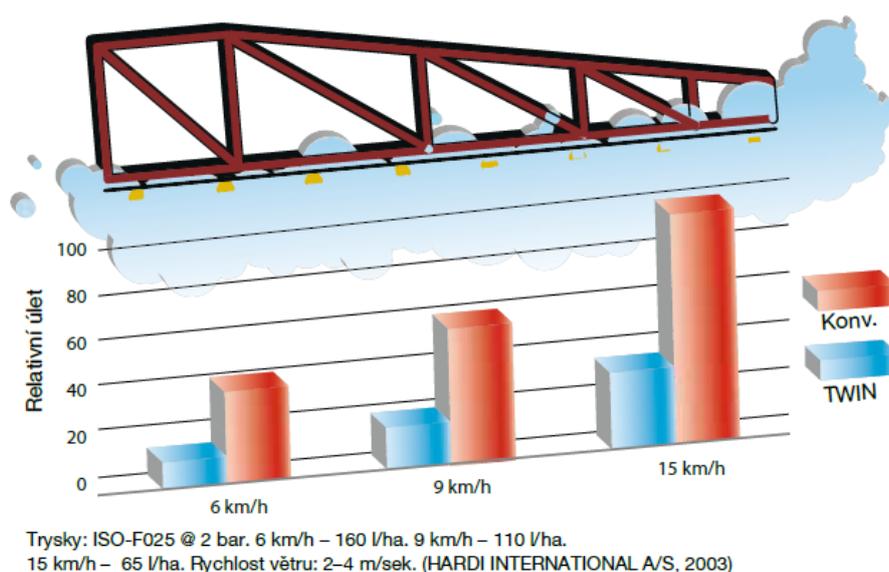
Obr. 34 Mechanicky zjednodušený model systému pro výškovou kompenzaci aplikačního rámu [41]

3.5 TECHNOLOGIE PRO SNÍŽOVÁNÍ ÚLETU KAPEK

Jak bylo zmíněno v kapitole 1.1.3, úlet je při aplikaci nežádoucí, jelikož může způsobit zasažení necílové plochy či kontaminaci vodních zdrojů postřikovou kapalinou.

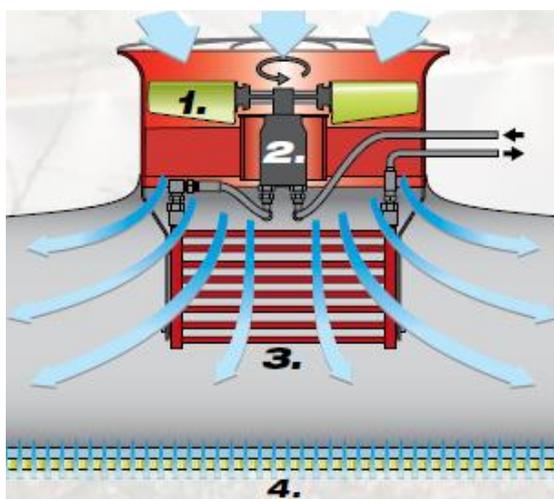
3.5.1 SYSTÉM PODPORY VZDUCHU

Pomáhá k lepšímu usměrnění kapek pomocí regulovatelného proudu vzduchu. Proud vzduchu dokáže urychlovat kapky, čímž snižuje úlet, zvyšuje pronikání kapek do porostu a umožňuje aplikaci postřikové kapaliny při vyšších jezdových rychlostech stroje.



Obr. 35 Závislost relativního úletu na jezdové rychlosti stroje pro konvenční ramena a ramena HARDI TWIN FORCE [42]

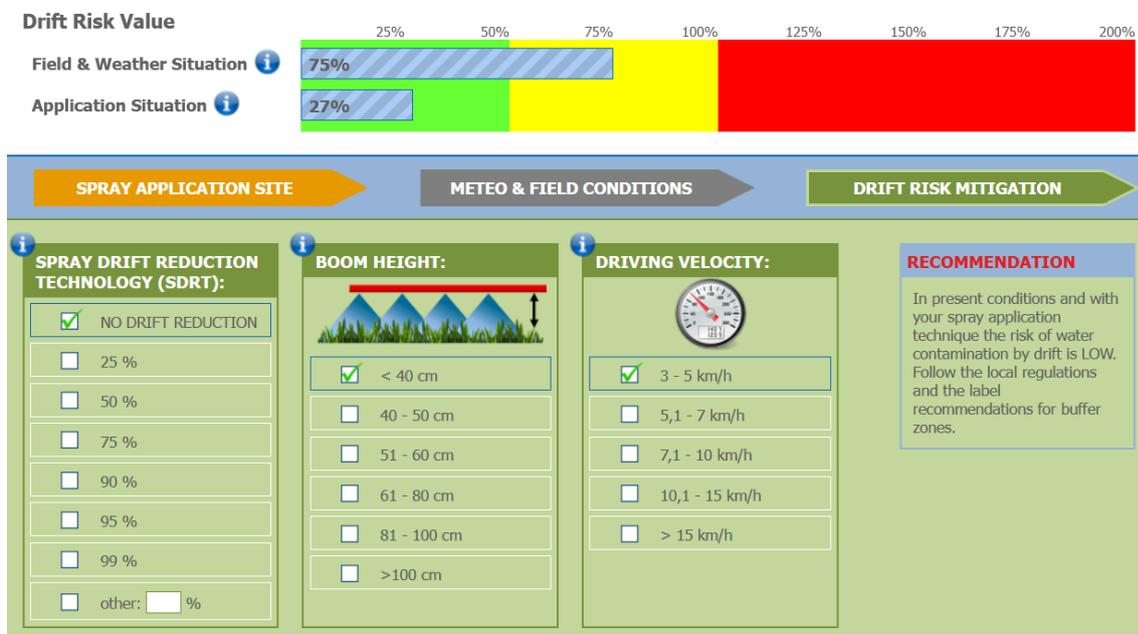
Tato technologie je schopna zvýšit úsporu postřikové kapaliny až o 30 % [42]. Proud vzduchu je možné regulovat lopatkovým ventilátorem, kterým také chladit hydraulický olej.



Obr. 36 Konstrukce ventilátoru pro ramena HARDI TWIN FORCE, 1-ventilátor, 2-hydromotor, 3-chladič oleje, 4-výstup proudu vzduchu [42]

3.5.2 SOFTWARE PRO VYHODNOCENÍ RIZIKA ÚLETU

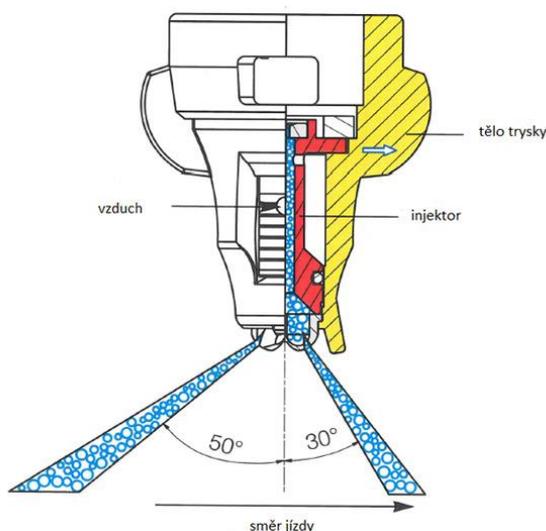
Evropská asociace ochrany rostlin pracuje na projektu TOPPS Water Protection, který má za cíl snížení koncentrace pesticidů ve vodních zdrojích. Jedním z výstupů tohoto projektu je interaktivní aplikace, která simuluje riziko úletů kapek v závislosti na klimatických podmínkách, okolním prostředí a protiúletové ochraně nainstalované na postřikovači.



Obr. 37 Ukázka práce v softwaru TOPPS Drift Evaluation Tool s vyhodnocením rizika úletu [8]

3.5.3 SPECIÁLNÍ PROTIÚLETOVÉ TRYSKY

Trysky používají injektorové přísávání vzduchu, který promíchávají s postřikovou kapalinou, čímž vytváří větší kapky. Trysky jsou zařazovány do tříd omezení úletu, kde se označují hodnotou omezení úletu v rozsahu od 50 % až 99 % [43].



Obr. 38 Schéma nízkúletové dvoušterbinové trysky [43]

4 LEGISLATIVNÍ POŽADAVKY A JEJICH ANALÝZA

Před uvedením výrobku na trh je důležité, aby byly splněny legislativní požadavky, které jsou v této kapitole analyzovány.

4.1 VYHLÁŠKA Č. 207/2012 SB.

Vyhláška o profesionálních zařízeních pro aplikaci přípravků, o technických zařízeních, označování dřevěného obalového materiálu a o mechanizačních prostředcích na ochranu rostlin. Vyhláška zpracovává příslušné předpisy Evropské unie jako například směrnici Evropského parlamentu a Rady 2009/128/ES (stanovuje rámec pro činnost Společenství za účelem dosažení udržitelného používání pesticidů) [6]. V sedmi přílohách této vyhlášky jsou detailněji popsány požadavky strojů pro aplikaci přípravků. Tyto přílohy jsou pro svůj rozsah shrnuty pouze na důležité informace.

Pro návrh postřikovacího zařízení je z této vyhlášky zdůrazněna příloha č. 2 a příloha č. 5. Příloha č. 2 se zabývá omezujícími podmínkami zařízení při aplikaci přípravků bez protiúletových komponent [6]:

- rychlost větru do 3 m/s
- teplota vzduchu do 25 °C
- relativní vlhkost vzduchu nad 60 %
- optimální výška nad porostem (podle trysek)
- pracovní pojezdová rychlost do 8 km/h
- dávka postřikové kapaliny 200 l/ha a více

Příloha č. 5 se zabývá technologickými požadavky na funkční způsobilost zařízení pro aplikaci přípravků, které jsou dále děleny podle použití [6]:

- zvláštní požadavky na zařízení pro postřik polních plodin
- zvláštní požadavky na zařízení pro postřik a rosení prostorových kultur
- zvláštní požadavky na zařízení pro moření osiv
- zvláštní požadavky na letecká zařízení pro aplikaci přípravků
- zvláštní požadavky na zařízení pro aplikaci přípravků pro železnice
- zvláštní požadavky na ostatní zařízení pro aplikaci přípravků postřikem (zejména ručně ovládané zařízení, postřikovací zařízení umístěné na zařízeních pro výsev a výsadbu a další profesionálního zařízení pro aplikaci přípravků) - speciální zařízení

Další části této vyhlášky se zabývají údržbou a čištěním zařízení, přípravou kapaliny, omezením úletu a vybavením zkušební provozovny.

4.2 NORMA ČSN EN ISO 16119-2

Tato norma se zabývá environmentálními požadavky a ochrannými opatřeními pro zařízení s pásovou aplikací přípravků. Některé body této normy jsou obdobné vyhlášce č. 207/2012 Sb. V kapitole č. 5 této normy jsou uvedeny konstrukční a technologické požadavky pro komponenty a konstrukci pásových postřikovačů. V dalších kapitolách jsou popsány metody a postupy při ověřování požadavků zmíněných v kapitole č. 5 [44].

4.3 DALŠÍ LEGISLATIVNÍ DOKUMENTY

Na aplikační zařízení se dále vztahují další legislativní dokumenty jako například norma ČSN EN 15695-1 a ČSN EN 15695-2, která se zabývá návrhem kabiny, a dále norma ČSN EN ISO 16231-1 a ČSN EN 16231-2, která uvádí výpočet a postupy pro posouzení statické stability. Norma ČSN EN 15695-1 a ČSN EN 15695-2 není uvažována, jelikož je stroj dálkově řízený. Norma ČSN EN ISO 16232-1 a ČSN EN ISO 16231-2 není prozatím uvažována, jelikož nejsou pevně dány polohy těžiště stroje a přídatného postřikovacího zařízení.

Legislativa se také dále vztahuje na použité přípravky a vhodné pracovní oděvy při používání přípravků. Na použité přípravky se vztahuje zákon č. 254/2001 Sb., který limituje použité přípravky v závislosti na ochranných pásmech povrchových a podzemních vod.

5 ANALÝZA STROJE A POŽADAVKY VÝROBCE

Pro použití zařízení je vybrána svahová sekačka eCROSS XLINER firmy Spider s plně elektrickým pohonem. Důvodem je bezemisní provoz a malé rozměry stroje.



Obr. 39 Svahová sekačka eCROSS XLINER firmy Spider

5.1 ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

Pro vhodný výběr konstrukce je třeba znát hmotnost, rozměry a pojzdovou rychlost stroje. Nejdůležitějším parametrem je rychlost stroje, která při nastavené hektarové dávce a šířce záběru postřikového rámu udává požadovaný průtok tryskami a čerpadlem.

Tab. 3 Technické údaje o stroji udávající jeho rozměry a rychlost pojezdu

D_s	\check{S}_s	V_s	v_s
[m]	[m]	[m]	[km/h]
1,11	0,98	0,6	0-5

5.2 JÍZDNÍ VLASTNOSTI STROJE

Sekačka má 2 režimy zatáčení stroje, první režim je smykové zatáčení (zeroturn) a druhý režim je patentovaný pohon 4x4 s otáčením portálů o celých 360 stupňů (neomezený krabí chod). Díky nízko položenému těžišti je možné docílit svahové dostupnosti až 35 stupňů. Dále má stroj 2 plovoucí podvozky, které kopírují členitost terénu.



Obr. 40 Ukázka patentovaného pojezdu firmy Spider

5.3 ROZBOR MÍST VHODNÝCH PRO UKOTVENÍ APLIKAČNÍHO ZAŘÍZENÍ

Jelikož má sekačka na většině míst kapotáž, je třeba zanalyzovat a vhodně určit přípojná místa pro uložení aplikačního zařízení. Jako kotevní místa pro podélnou stabilitu lze použít madlo na zvedání stroje do servisní polohy a madlo na změnu výšky sečení.



Obr. 41 Vybraná kotevní místa pro podélnou stabilitu (červeně)

Toto kotvení však není dostačující, jelikož není dostatečně stabilní v příčném směru. Pro kotvení v příčném směru budou použity osy naklápění plovoucího podvozku, jelikož jsou duté a naklápějí se pouze nepatrně.



Obr. 42 První vybraný kotvicí bod konzoly v duté ose plovoucího podvozku

Do osy otáčení podvozků bude uchycen první bod konzoly a další body konzoly budou připevněny šrouby, které drží kladky pro vedení výškového nastavení.



Obr. 43 Druhý vybraný kotvicí bod konzoly, třetí kotvicí bod zakrytý servomotorem

5.4 POŽADAVKY VÝROBCE

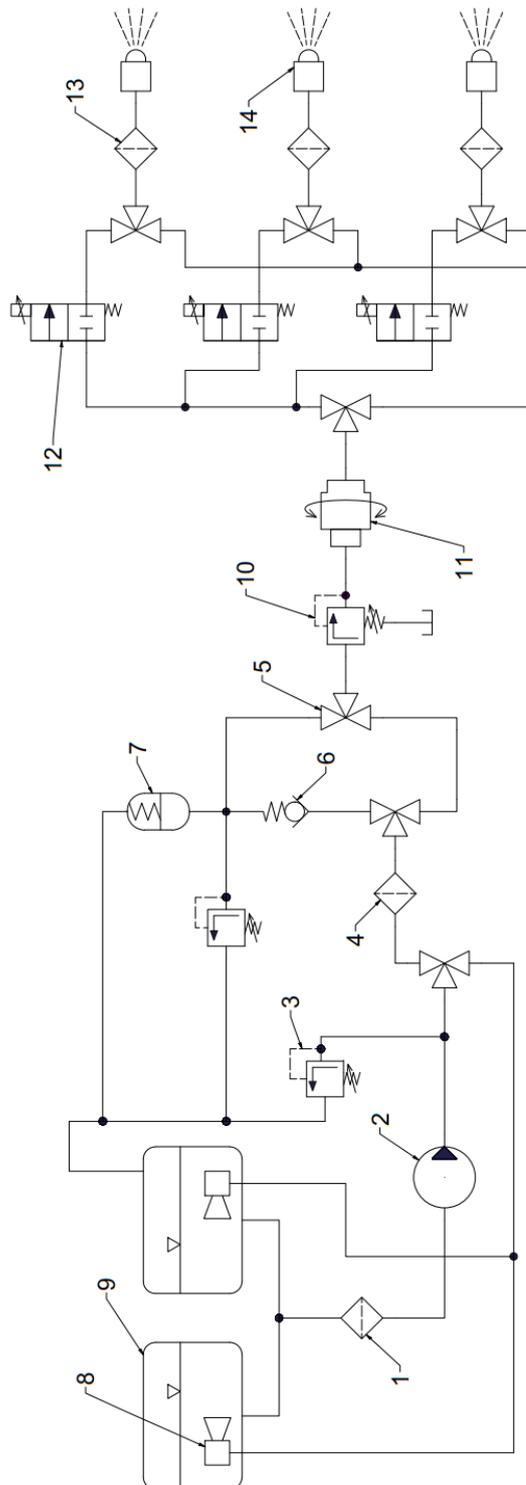
Firma Spider požaduje vytvoření postřikovacího zařízení, které dokáže aplikovat různé druhy pesticidů, kapalných hnojiv a případně i vodu pro zavlažování.

Vytvořené postřikovací zařízení by mělo být vhodné pro postřik komunálních a travních ploch. Po zhodnocení tohoto rozsahu použití je pro návrh postřikovacího zařízení volena sedmá sekce technologických požadavků z přílohy č. 5 vyhlášky č. 207/2012 Sb. [6].

Výrobce přímo nespecifikoval použité výrobky nebo měrné dávky, proto je třeba udělat návrh zařízení co nejvíce variabilní.

6 NÁVRH KAPALINOVÉHO OKRUHU POSTŘIKOVAČE

V této části je detailně popsán navržený kapalinový okruh pro postřikovací zařízení.



Obr. 44 Schéma kapalinového okruhu, 1-sací filtr, 2-čerpadlo, 3-pojistný ventil, 4-okruhový filtr, 5-třícestný dvoupolohový kulový ventil, 6-jednosměrný ventil, 7-akumulátorová jednotka, 8-míchací tryska, 9-nádrž, 10-přepouštěcí ventil pro řízení tlaku, 11-rotační kapalinová spojka, 12-dvoucestný dvoupolohový elektromagnetický ventil, 13-filtr trysky, 14-postřiková tryska

6.1 TRYSKY

Nejdůležitější část celého okruhu, která zajišťuje rovnoměrnou distribuci přípravků. V dnešní době je používána velmi široká škála trysek z různých typů materiálů a výstřikových obrazců.



Colour	ISO Code	##	Pressure (bar)	80°	110°	l/mn	Liters / hectare - Nozzle spacing: 50 cm								
							8 km/h	9 km/h	10 km/h	12 km/h	14 km/h	16 km/h	18 km/h	22 km/h	24 km/h
GREEN	AXI 110015 80015	100 Mesh	1,5	F	F	0,42	63	56	50	42	36	32	28	23	21
			2	F	F	0,49	74	65	59	49	42	37	33	27	25
			2,5	F	F	0,54	81	72	65	54	46	41	36	30	28
			3	F	F	0,60	90	80	72	60	51	45	40	33	30
			3,5	F	F	0,64	96	85	77	64	55	48	43	35	33
			4	VF	VF	0,69	104	92	83	69	59	52	46	38	35

Obr. 45 Tryska AXI 110 green od firmy ALBUZ a její charakteristické parametry [4]

6.1.1 VÝPOČTY PRO VOLBU TRYSK

Kvůli velkému počtu typů trysek a možnostem úpravy šířky a výšky rámu je výpočet uveden obecně. Hlavními parametry pro volbu trysek je požadovaný průtok a velikost kapkového spektra, které se odvíjí od použitého přípravku, pojezdové rychlosti stroje a počtu trysek. Rovnice pro průtok tryskou:

$$Q_{tr} = \frac{M_{pp} \cdot v_s \cdot L_{zpr}}{100 \cdot 3,6 \cdot i_{tr}} \quad (3)$$

Rovnice (3), kde:

M_{pp}	měrná dávka na ošetřovanou plochu [l/ha], podle přípravku
$v_s=0-5$ km/h	pojezdová rychlost stroje [km/h], z Tab. 2
L_{zpr}	šířka záběru postřikového rámu [m], voleno operátorem
i_{tr}	počet trysek [-]

Z průtoku tryskou se poté dopočítá požadovaný tlak trysky podle rovnice z katalogu ALBUZ [4]:

$$p_{tr} = \left(\frac{Q_{tr}}{Q_{trk}} \right)^2 \cdot p_{trk} \quad (4)$$

Rovnice (4), kde:

Q_{tr}	průtok tryskou [l/min], z rovnice (3)
Q_{trk}	nejbližší katalogový průtok tryskou [l/min] [4]
p_{trk}	nejbližší katalogový tlak trysky [bar] [4]

Mezi vedlejší parametry při volbě trysek se řadí geometrické parametry jako výška trysky nad ošetřovanou plochou, rozstříkový úhel a rozteč trysek. Tyto parametry poté udávají záběr šířky jedné trysky a rozteč u více trysek.

Rovnice pro šířku záběru trysek:

$$L_{ptr} = 2 \cdot \tan\left(\frac{\alpha_{ptr}}{2}\right) \cdot h_{trpr} \quad (5)$$

Rovnice (5), kde:

α_{ptr}	úhel výstřikového obrazce trysky [°], podle typu trysky
h_{trpr}	výška trysky nad ošetřovanou plochou [m], podle typu trysky

Rovnice pro rozteč trysek:

$$L_{rtr} = \frac{L_{zpr} - L_{ptr}}{i_{tr} - 1} \quad (6)$$

Rovnice (6), kde:

L_{zpr}	šířka záběru postřikového rámu [m], voleno operátorem
L_{ptr}	šířka záběru jedné trysky [m], podle trysek a nastavení výšky postřikového rámu
i_{tr}	počet trysek [-]

6.2 ČERPADLO

Pro pohon kapalinového okruhu bylo vybráno čtyřválečkové čerpadlo HYPRO 4101 od firmy PENTAIR HYPRO. Toto čerpadlo je vhodné pro aplikace postřiků různými přípravky a při správné kombinaci materiálů je vhodné i pro herbicidní přípravky s glyfosátem (např. ROUNDUP) [13].



Obr. 46 Válečkové čerpadlo HYPRO 4101 [13]

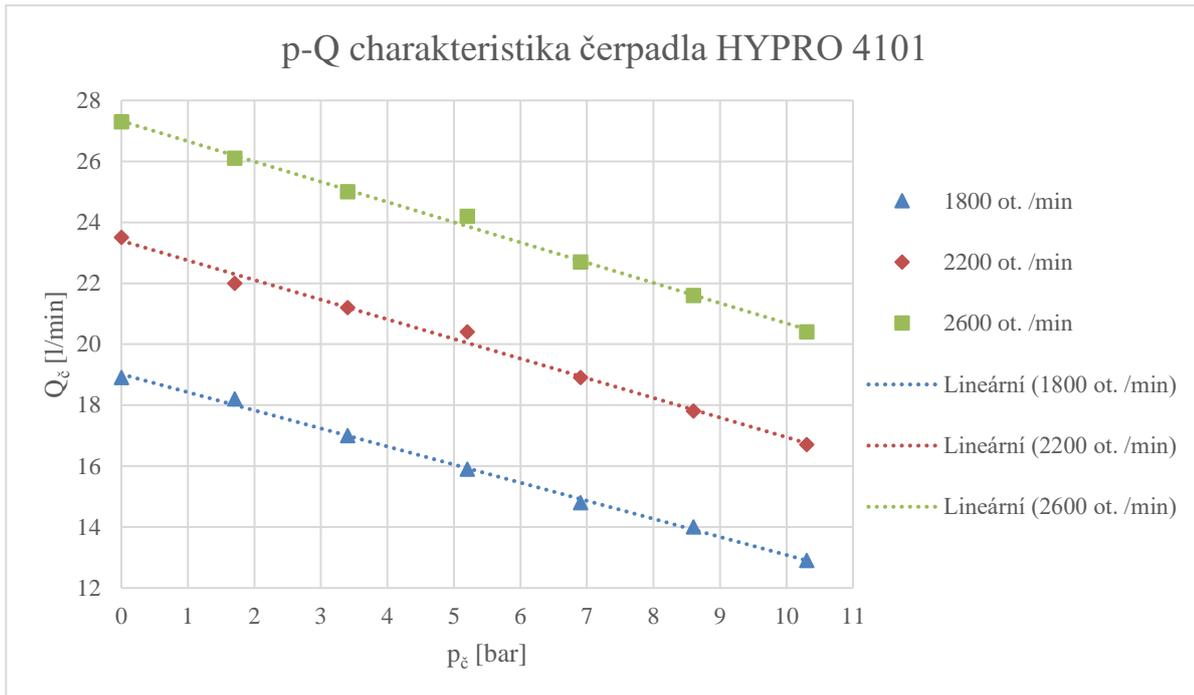
6.2.1 CHARAKTERISTIKA A VÝPOČET ČERPADLA

Jediné dostupné údaje o čerpadle jsou pouze data pro p-Q charakteristiku a P-p charakteristiku, proto nebylo možné přesně získat parametry čerpadla, jako například geometrický objem, průtokovou či tlakovou účinnost a úplnou charakteristiku.

Tab. 4 Data pro p-Q charakteristiku čerpadla HYPRO 4101 (PŘÍLOHA 1)

p	Q		
[bar]	[l/min]		
0	18,9	23,5	27,3
1,7	18,2	22	26,1
3,4	17	21,2	25
5,2	15,9	20,4	24,2
6,9	14,8	18,9	22,7
8,6	14	17,8	21,6
10,3	12,9	16,7	20,4
	n _s		
	[ot. /min]		
	1800	2200	2600

Z Tab. 4 je vytvořen graf s ukázkou závislosti průtoku na pracovním tlaku při daných otáčkách. Jednotlivé hodnoty otáček jsou poté proloženy regresní přímkou, která aproximuje závislost průtoku (osa y) na pracovním tlaku (osa x).



Obr. 47 Neúplná p-Q charakteristika udávaná výrobcem, hodnoty otáček proloženy regresními přímkami

6.2.2 NÁVRH METODY ŘÍZENÍ ČERPADLA

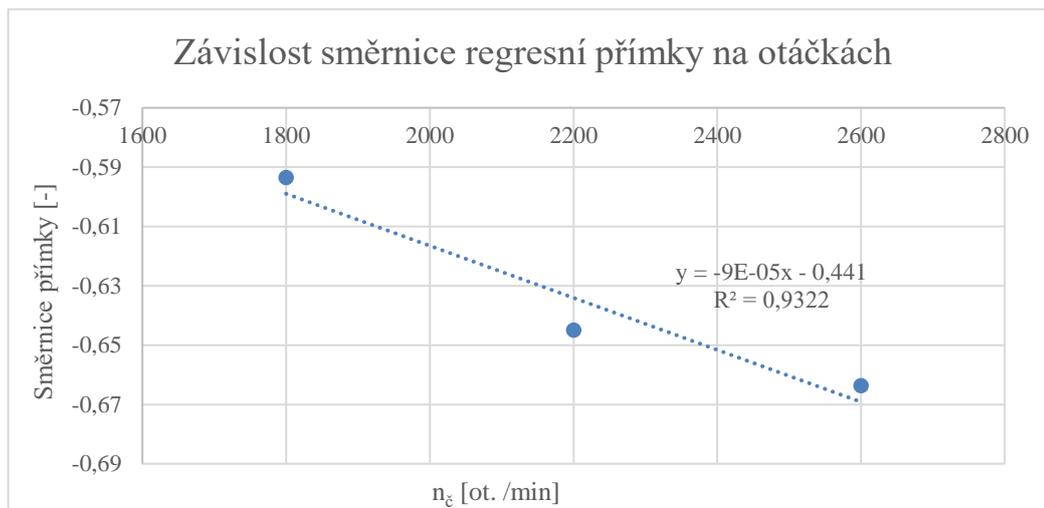
Data pro p-Q charakteristiku čerpadla nejsou kompletní, jelikož jsou výrobcem uvedena pouze pro tři hodnoty otáček. Proto zde bude uveden postup metody, kterým by se dalo čerpadlo lépe ovládat a tím zvýšit variabilitu použití. K návrhu metody řízení čerpadla je použita p-Q charakteristika na Obr. 47, kde lze pozorovat vysokou podobnost regresních přímek s hodnotami tlaku a průtoku při daných otáčkách skrze vysoký koeficient determinace. Tato lineární podobnost naznačuje, že vnitřní svodový odpor je takřka konstantní [45], proto je uvažována podobnost mezi regresními přímkami.

Tab. 5 Parametry regresních přímek průtoku v závislosti na otáčkách čerpadla

n_{ξ}	směrnice	Q_{p0}	R^2
[ot. /min]	[-]	[l/min]	[%]
1800	-0,5935	19,018	99,75
2200	-0,645	23,398	99,32
2600	-0,6637	27,373	99,64

PODOBNOST SMĚRNICE REGRESNÍCH PŘÍMEK PRŮTOKU

Směrnice regresních přímek průtoku jsou závislé na otáčkách, vnitřních odporech a pracovním tlaku. Pokud se použijí hodnoty směrnic z Tab. 5, vznikne graf na Obr. 48, kde lze vidět závislost směrnic regresních přímek na otáčkách.



Obr. 48 Zobrazení závislosti směrnic regresních přímek průtoku na otáčkách čerpadla

Proložením souboru dat regresní přímkou se získá rovnice s koeficientem determinace $R^2=93,22\%$. Tato rovnice je ve tvaru:

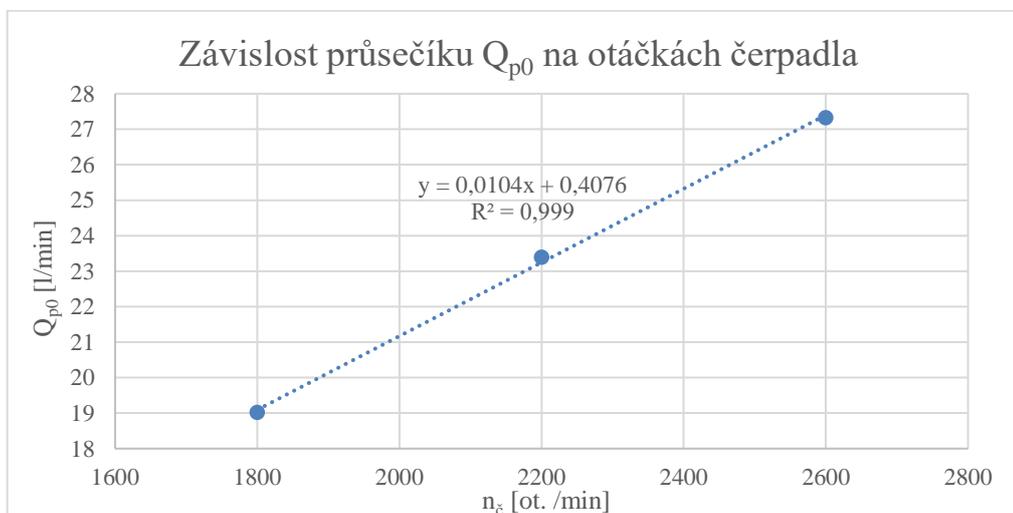
$$y_{\text{srpQ}} = -9 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\xi} - 0,441 \quad (7)$$

Rovnice (7), kde:

$$n_{\xi} = 0-2600 \text{ ot./min} \quad \text{otáčky čerpadla [ot./min]}$$

PODOBNOST PRŮSEČÍKŮ S OSOU PRŮTOKU

Pro metodu řízení není dostačující pouze získaná směrnice, ale je nutné získat i hodnotu průsečíku Q_{p0} s osou průtoku, a to při nulovém pracovním tlaku. Pokud se použijí hodnoty průsečíků z Tab. 5, vznikne graf na Obr. 49, kde lze vidět závislost průsečíků regresních přímek na otáčkách.



Obr. 49 Zobrazení závislosti průsečíků průtoku při nulovém tlaku na otáčkách čerpadla

Pokud se proloží soubor dat regresní přímkou, získá se rovnice s koeficientem determinace $R^2=99,9\%$. Tato rovnice je ve tvaru:

$$y_{Qp0} = 0,0104 \cdot n_{\xi} + 0,4076 \quad (8)$$

Rovnice (8), kde:

$$n_{\xi}=0-2600 \text{ ot./min} \quad \text{otáčky čerpadla [ot./min]}$$

VÝSLEDNÁ CHARAKTERISTICKÁ ROVNICE PRŮTOKU

Kombinací rovnice (7) a (8) se získá výsledná charakteristická rovnice průtoku ve tvaru:

$$Q_{\xi} = 0,0104 \cdot n_{\xi} + 0,4076 + (-9 \cdot 10^{-5} \cdot n_{\xi} - 0,441) \cdot p_{\xi} \quad (9)$$

Rovnice (9), kde:

$$n_{\xi}=0-2600 \text{ ot./min} \quad \text{otáčky čerpadla [ot./min], z přílohy 1}$$

$$p_{\xi}=0-10,3 \text{ bar} \quad \text{pracovní tlak čerpadla [bar], z přílohy 1}$$

Pokud se do charakteristické rovnice (9) dosadí hodnoty pracovních tlaků a otáček z *Tab. 4*, získá se tabulka hodnot průtoků:

Tab. 6 Hodnoty průtoků získané z charakteristické rovnice průtoku

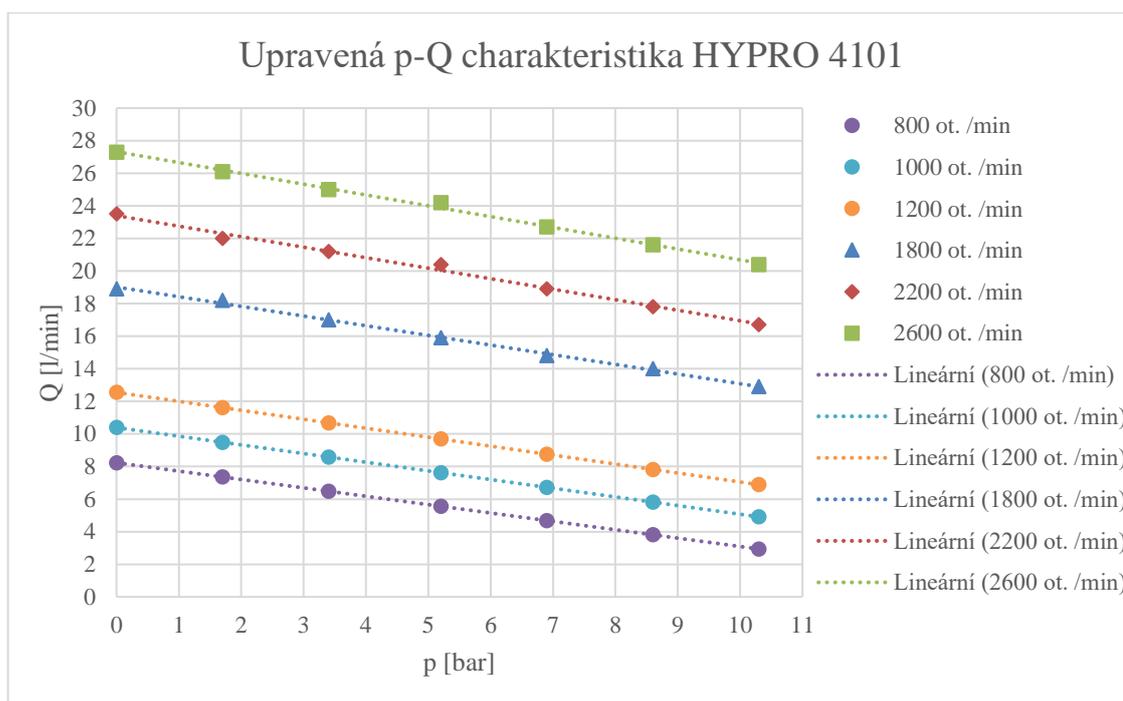
p [bar]	Q		
	[l/min]		
0	19,127	23,288	27,448
1,7	18,102	22,201	26,300
3,4	17,077	21,115	25,153
5,2	15,99	19,965	23,938
6,9	14,967	18,879	22,790
8,6	13,941	17,792	21,643
10,3	12,917	16,706	20,495
	n		
	[ot./min]		
	1800	2200	2600

Tyto výsledné hodnoty jsou porovnány s hodnotami dat z *Tab. 4*, kde jsou výsledné hodnoty poděleny zadanými hodnotami při stejném pracovním tlaku a otáčkách:

Tab. 7 Porovnání hodnot získaných z charakteristické rovnice průtoku ku zadaným hodnotám

p [bar]	Q [l/min]		
	0	1,012	0,991
1,7	0,995	1,009	1,008
3,4	1,005	0,996	1,006
5,2	1,006	0,979	0,989
6,9	1,011	0,999	1,004
8,6	0,996	1,000	1,002
10,3	1,001	1,000	1,005
	n [ot./min]		
	1800	2200	2600

V Tab. 7 lze vidět nejmenší získaný poměr 0,979 (sytě červená) a největší získaný poměr 1,012 (sytě zelená), což znamená největší odchylku pouze -2,1 % a +1,2 % od hodnot daných výrobcem. V praxi je zapotřebí funkčnost metody ověřit na experimentálním modelu čerpadla.



Obr. 50 Upravená p-Q charakteristika, hodnoty otáček proloženy regresními přímkami

Výsledný požadovaný průtok čerpadlem je závislý na počtu použitých trysek nebo měrné dávce a velikosti ošetřované plochy. Kvůli velkému počtu typů trysek je uvedena pouze obecná rovnice:

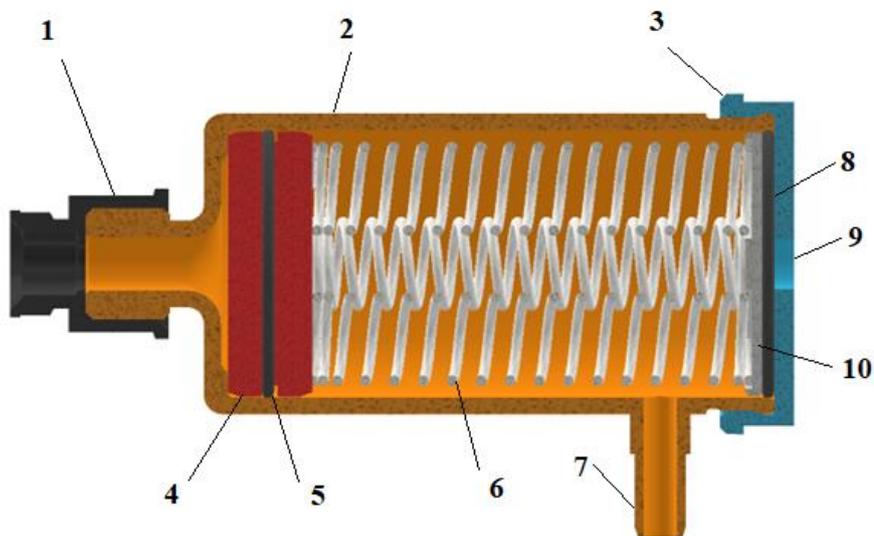
$$Q_{\check{c}} = \frac{M_{pp} \cdot v_s \cdot L_{zpr}}{100 \cdot 3,6} \quad (10)$$

Rovnice (10), kde:

M_{pp}	měrná dávka na ošetřovanou plochu [l/ha], podle přípravku
$v_s=0-5$ km/h	pojezdová rychlost stroje [km/h], z Tab. 3
L_{zpr}	šířka záběru postřikového rámu [m], voleno operátorem

6.3 KAPALINOVÝ AKUMULÁTOR

Většina aplikačních přípravků má dáno rozmezí měrné dávky od minimální do maximální hodnoty, což se projeví na rozdílu tlaků pro trysky, jak je ukázáno v kapitole 6.1.1. Tento rozdíl umožňuje uchování určitého užitého objemu v akumulátoru, čímž je vhodný pro přerušovaný i stálý nízko průtokový postřik.



Obr. 51 Řez kapalinovým akumulátorem s ukázkou jeho konstrukce, 1-připojovací hrdlo (polypropylen), 2-akumulační nádoba (nerezová ocel), 3-zajišťovací víko (nerezová ocel), 4-píst akumulátoru (polypropylen), 5-těsnicí pístní o-kroužek (FKM), 6-sada pružin akumulátoru (nerezová ocel), 7-odtokový otvor s hrdlem, 8-těsnicí podložka, 9-montážní otvor, 10-lůžko pro uložení pružin akumulátoru

6.3.1 VÝPOČET KAPALINOVÉHO AKUMULÁTORU

Akumulátor je volen jako pružinový, což lze vidět na *Obr. 51*. Pro výpočet pružin je použit tlakový rozdíl maximálního a minimálního průtoku trysky z rovnice (3):

$$p_{\text{raku}} = \left(\frac{Q_{\text{trmax}}}{Q_{\text{trk1}}} \right)^2 \cdot p_{\text{trk1}} - \left(\frac{Q_{\text{trmin}}}{Q_{\text{trk2}}} \right)^2 \cdot p_{\text{trk2}} \quad (11)$$

Rovnice (11), kde:

Q_{trmax}	maximální průtok tryskou [l/min], z rovnice (3)
Q_{trk1}	nejbližší katalogový průtok tryskou pro horní hranici měrné dávky [l/min] [4]
p_{trk1}	nejbližší katalogový tlak trysky pro horní hranici měrné dávky [bar] [4]
Q_{trmin}	minimální průtok tryskou [l/min], z rovnice (3)
Q_{trk2}	nejbližší katalogový průtok tryskou pro spodní hranici měrné dávky [l/min] [4]
p_{trk2}	nejbližší katalogový tlak trysky pro spodní hranici měrné dávky [-] [4]

Pokud je jako vstupní parametr volena tuhost a délka pružiny, lze dostat užitečný objem jako rozdíl mezi minimálním a maximálním stlačením pružiny podle rovnice:

$$V_{\text{uaku}} = \frac{p_{\text{raku}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{naku}}^2}{4}}{10 \cdot k_{\text{cpaku}}} \cdot \frac{\pi \cdot D_{\text{naku}}^2}{4} \cdot \frac{1}{10^6} \quad (12)$$

Rovnice (12), kde:

p_{raku}	tlakový rozdíl v kapalinovém akumulátoru [bar], z rovnice (11)
$D_{\text{naku}}=80 \text{ mm}$	průměr akumulární nádoby [mm]
k_{cpaku}	celková tuhost pružin akumulátoru [N/mm]

Následně se dá získat i minimální doba za kterou se uchovaný užitiný objem spotřebuje při stálém spuštění trysek:

$$t_{sVaku} = \frac{i_{naku} \cdot V_{uaku}}{i_{tr} \cdot Q_{trmax}} \quad (13)$$

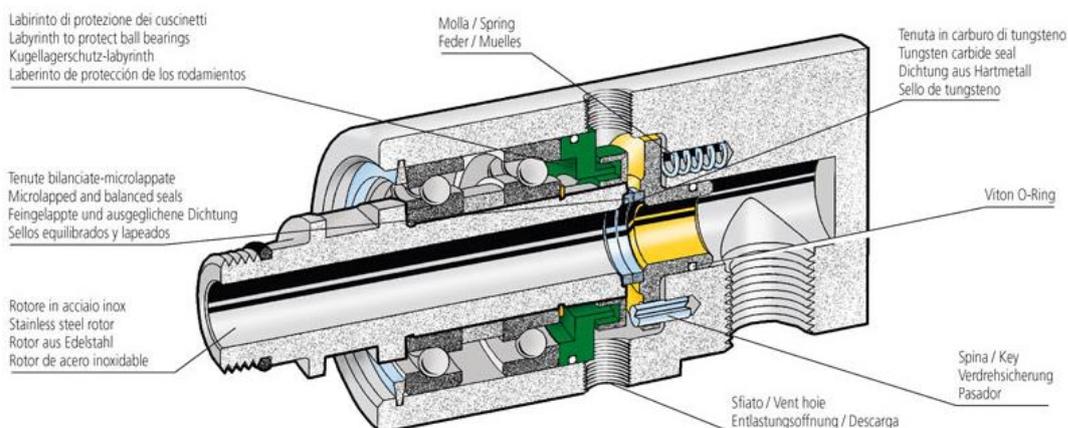
Rovnice (13), kde:

i_{naku}	počet zapojených kapalinových akumulátorů [-]
V_{uaku}	užitný objem akumulátoru [l], z rovnice (12)
i_{tr}	počet trysek [-]
Q_{trmax}	maximální průtok tryskou [l/min], z rovnice (3)

V rovnici (13) je uvažováno s maximálním průtokem tryskou, aby se zjistila přibližná minimální doba spotřeby. Skutečná doba pro spotřebu užitého objemu je však vyšší, jelikož z rovnice (4) je zřejmé, že průtok je proměnlivý v závislosti na pracovním tlaku podle kvadratické funkce. Proměnlivost pracovního tlaku je u akumulátoru závislá na spotřebovaném užitém objemu, jelikož klesá zatížení pružin akumulátoru a tím klesá i pracovní tlak. Celkový užitiný objem se dá navýšit zapojením více akumulátorů do obvodu.

6.4 ROTAČNÍ KAPALINOVÝ PŘEVODNÍK

Kvůli samotné otočné konstrukci zařízení je potřeba zajistit přenos kapaliny ze spodní nepohyblivé části okruhu na pohyblivou horní část okruhu. K tomuto účelu poslouží rotační kapalinová spojka (rotary swivel joint, rotary union), která je rozdělena na dvě části. Obě části jsou mezi sebou propojeny ložisky a příslušným těsněním, jak lze vidět na *Obr. 52*.



Obr. 52 Ukázka konstrukce dvoudílné rotační kapalinové spojky [46]

Pro potřeby navrženého kapalinového okruhu byla vybrána rotační kapalinová spojka DGF model 35.603 od firmy MOSMATIC s velikostí průtokového otvoru NW9 (PŘÍLOHA 2). Spojka je vyrobena z nerezové oceli a má těsnění z FKM nebo EPDM.



Obr. 53 Rotační kapalinová spojka DGF od firmy MOSMATIC (PŘÍLOHA 2)

6.5 OVLÁDACÍ A POJISTNÉ PRVKY

Celý kapalinový okruh je nutné chránit proti poškození a zároveň zajistit jeho správnou funkčnost.

6.5.1 OVLÁDACÍ PRVKY

Aby byla zajištěna správná funkčnost kapalinového okruhu, je třeba zvolit vhodné regulační a ovládací prvky, které mohou regulovat tlak a určovat směr toku postřikové kapaliny.

PŘEPOUŠTĚCÍ VENTIL PRO ŘÍZENÍ TLAKU

Tento ventil je neustále v provozu a udržuje v obvodu přednastavený tlak nezávisle na velikosti průtoku. Chrání trysky před zvýšením tlaku a tím i překročení maximální doporučené dávky. Pro použití v kapalinovém okruhu je volen přepouštěcí ventil 475533 od firmy ARAG s manuálním ovládáním. Toto ovládání je voleno pro výrobu prototypu a při ověření bude místo něj použit regulovatelný elektronický přepouštěcí ventil, který zajistí proměnlivé řízení tlaku při chodu kapalinového okruhu.



Obr. 54 Přepouštěcí ventil pro řízení tlaku řady 475 od firmy ARAG [47]

TŘÍCESTNÝ DVOUPOLOHOVÝ KULOVÝ VENTIL

Prvek zde slouží jako rozdělovač pro přepínání a kombinování různých režimů kapalinového okruhu. Pro kapalinový okruh je zvolen třícestný dvoupolohový kulový ventil řady 350 od firmy Specialty mfg. Tento ventil je vyroben z polypropylenu a má velké množství kombinací pro následné připojení (vnitřní a vnější závit, hadicová koncovka apod.).



Obr. 55 Třícestný dvoupolohový kulový ventil řady 350 od firmy Specialty mfg [48]

JEDNOSMĚRNÝ VENTIL

Tento ventil umožňuje průtok postřikové kapaliny pouze v jednom směru a tím zabrání zpětnému toku natlakované kapaliny z kapalinových akumulátorů. Pro kapalinový okruh je zvolen jednosměrný destičkový ventil s pružinou FPCHK427-8B8B-F, který je vyroben z polypropylenu. Pružina je z nerezové oceli a těsnění je z FKM.



Obr. 56 Jednosměrný destičkový ventil řady 427 od firmy Specialty mfg [49]

DVOUCESTNÝ DVOUPOLOHOVÝ ELEKTROMAGNETICKÝ VENTIL

Přímo ovládaný ventil se zapojením normálně zavřeno, což znamená, že bez přivedeného napětí zůstane ventil uzavřený. Ventil se otevře poté, co řídicí jednotka obdrží signál z detekčního snímače o tom, který z ventilů má být otevřen a po jak dlouhou dobu. Pro kapalinový okruh je zvolen elektromagnetický ventil ST-SA012B105E-012DC od firmy JP Fluid, který má pracovní rozsah od 0 až do 10 bar, což je také maximální pracovní tlak čerpadla. Ventil je vyroben z mosazi a má těsnění z EPDM. Pokud se prokáže fungování selektivního okruhu u prototypu, lze tyto ventily nahradit speciálními ventily zmíněných v kapitole 3.1.2.



Obr. 57 Dvoucestný dvoupolohový elektromagnetický ventil řady ST-SA od firmy JP FLUID CONTROL (PŘÍLOHA 3)

6.5.2 POJISTNÉ PRVKY

Tyto prvky zabraňují vzniku nebezpečných stavů, jako například poškození vlivem vysokého tlaku v potrubí a ohrožení operátora nebo okolního prostředí vlivem úletu kapaliny při překročení dovolené rychlosti větru.

POJISTNÝ VENTIL

Ochraňuje důležité prvky kapalinového okruhu před nebezpečným nárůstem tlaku, který by tyto prvky poškodil. První pojistný ventil je umístěn za čerpadlem a druhý pojistný ventil je umístěn ve větvi s kapalinovými akumulátory. Pro použití v kapalinovém okruhu jsou voleny pojistné ventily 23120 od firmy TeeJet, které jsou nastavitelné do tlaku 10,3 bar.



Obr. 58 Pojistný ventil 23120 od firmy TeeJet [50]

ANEMOMETR

Tento prvek není aktivním prvkem kapalinového okruhu, ale chrání okolní prostředí proti nežádanému úletu kapek, jelikož při překročení limitní rychlosti větru upozorní operátora výstražným bzučákem, aby zvážil přerušení aplikace přípravků v blízkosti ochranného pásma.



Obr. 59 Miskový anemometr C552 [51]

6.6 POTRUBNÍ PRVKY

V okruhu se nachází mnoho prvků, u kterých je jejich hlavní funkcí vedení či čištění kapaliny.

6.6.1 PRVKY PRO VEDENÍ KAPALINY

Tyto prvky slouží k propojení jednotlivých komponent, případně zkrácení vzdálenosti mezi nimi pomocí tvarovaných přípojek.

PŘÍPOJKY

Většina přípojek je volena s koncovkami na hadice o vnitřním průměru 13 mm a jsou vyrobené z polypropylenu. Tlakové ztráty fitinků nejsou výrobcem udávány, proto jsou pro následující výpočty vynechány.



Obr. 60 Ukázka použitých typů fitinků od firmy ARAG [52]

VEDENÍ KAPALINY

Pro vedení kapaliny jsou voleny hadice o vnitřním průměru 13 mm, které jsou vyrobeny z PVC [53] a při použití chemicky agresivnějších kapalin je možné použít i hadice z EPDM [53]. Hadice jsou pro výrobu prototypu voleny místo ocelového či plastového potrubí z důvodu menší pracnosti při zapojení do okruhu a jednoduchosti při zkrácení do požadované délky.



Obr. 61 Hadice na zemědělské postřiky AGRITEC ECO BLUE 20 [53]

6.6.2 PRVKY PRO ČIŠTĚNÍ KAPALINY

Vlivem výskytu nežádoucích částic může dojít k poškození důležitých komponent. Například u trysek dochází vlivem abraze k narušení výstřikového obrazce a tím i nerovnoměrnosti postřiku.

SACÍ FILTR

Tento filtr je zde umístěn, aby zabránil vniknutí větších nečistot do čerpadla a tím se předešlo jeho předčasnému poškození. Použití tohoto filtru vyžaduje i vyhláška č.207/2012 Sb. [6]. Pro použití v kapalinovém okruhu je zvolen sací filtr 309952 od firmy ARAG. Tlakové ztráty nejsou udávány, avšak při porovnání s ostatními sacími filtry jsou tlakové ztráty tohoto ventilu zanedbány [54]. U filtru je použita vložka INOX 32 mesh.



Obr. 62 Sací filtr 309952 od firmy ARAG [54]

OKRUHOVÝ FILTR

Použití tohoto filtru je také vyžadováno vyhláškou č.207/2012 Sb. [6], a to použitím minimálně jednoho tohoto filtru. Pro kapalinový okruh jsou použity dva filtry, první je umístěn mezi čerpadlo a třístenný dvoupolohový kulový ventil na spodní části okruhu a druhý je umístěn mezi rotační kapalinový převodník a třístenný dvoupolohový kulový ventil na horní části okruhu. Jako první filtr je zvolen 3240023 a jako druhý filtr je zvolen 32400235, oba od firmy ARAG. Filtry se odlišují použitou vložkou, kde u prvního filtru je použita vložka INOX 50 mesh a u druhého INOX 80 mesh.



Obr. 63 Okruhový tlakový filtr řady 324 od firmy ARAG [55]

FILTR TRYSEK

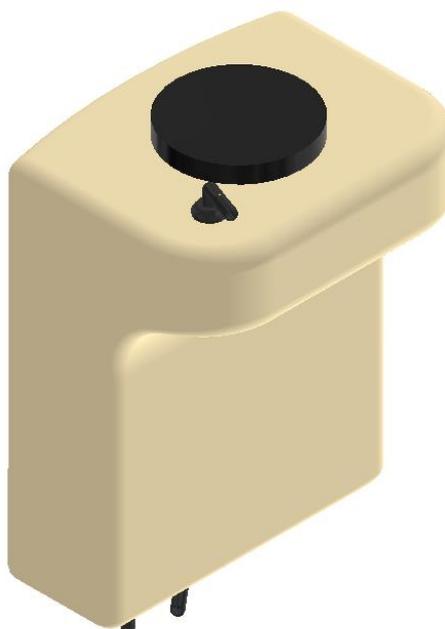
Tento filtr plní funkci jako poslední stupeň čištění před trysku. Lze ho nainstalovat do všech typů držáků trysek a koncovek s dostatečnou hloubkou otvoru. Vložka filtru (INOX mesh) je volena podle typu a velikosti trysky, jak lze vidět na *Obr. 45*. Podle vyhlášky č.207/2012 Sb. není tento filtr považován jako okruhový [6].



Obr. 64 Válcový a miskový filtr trysek od firmy ARAG [56]

6.7 NÁDRŽ

Slouží pro plnění a uchování aplikační kapaliny. Pro kapalinový okruh není vybrána konkrétní nádrž, jelikož je tvar nádrže omezen vhodností tvaru pro usazení na nosnou desku. Je však volena teoretická konstrukce podle vyhlášky č.207/2012 Sb. [6], která ukazuje přibližný tvar nádrže a rozmístění jednotlivých prvků nádrže. Nádrž je osazena plnicím hrdlem se sítí na vršku nádrže, míchacími tryskami a hladinoměrem na dně nádrže a dále je osazena vhodnými hadicovými přípojkami. Nádrž má 25 litrů a je volena z polypropylenu. Hladina kapaliny je vždy nad čerpadlem, aby bylo čerpadlo stále zaplavené kapalinou.



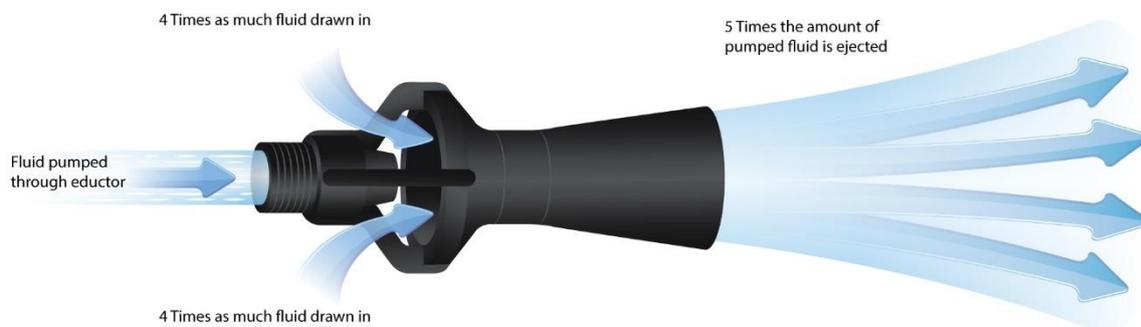
Obr. 65 Ukázka teoretické konstrukce nádrže pro kapalinový okruh

6.7.1 PRVKY ZABUDOVANÉ V NÁDRŽI

Nádrž je vybavena míchacími tryskami, aby se docílilo lepšího promíchání postřikové kapaliny. Dále je vybavena stavoznakem a elektronickým hladinoměrem.

MÍCHACÍ TRYSKY

Tryska pomáhá k lepšímu promíchání směsi a rozrušuje sediment utvořený na dně nádrže. Využívá principu eduktoru, který funguje na principu Venturiho efektu. V tomto případě skrze malý otvor proudí kapalina od čerpadla, čímž se zvýší rychlost a klesne tlak. Poté proud kapaliny začne nasávat okolní kapalinu v nádrži a tím zvýší několikanásobně průtok, což také navýší míchací účinnost [57].



Obr. 66 Princip funkce eduktoru [57]

Pro účely míchání je vybrána míchací tryska 6290-SC od firmy TeeJet, která je použitelná pro kapacitu nádrže do 190 l (PŘÍLOHA 4).



Obr. 67 Míchací tryska 6290-SC od firmy TeeJet (PŘÍLOHA 4)

HLADINOMĚR

K měření stavu hladiny je použit jak stavoznak, tak i elektronický plovákový hladinoměr, který při poklesu hladiny rozezne kontakt s plovákem a upozorní operátora na nízký stav hladiny v nádrži. Z tohoto důvodu je umístěn nad dno nádrže. Vybraný elektronický plovákový hladinoměr je vyroben z polypropylenu.



Obr. 68 Plovákový hladinoměr [58]

6.8 MĚŘÍCÍ A ŘÍDÍCÍ PRVKY OKRUHU

Tyto prvky jsou použity pro určení vstupních a výstupních hodnot kapalinového okruhu.

6.8.1 MĚŘÍCÍ PRVKY OKRUHU

Získávají hodnoty průtoku a tlaku, které jsou poté použity pro zpětnou vazbu řízení a regulaci čerpadla kapalinového okruhu.

PRŮTOKOMĚR

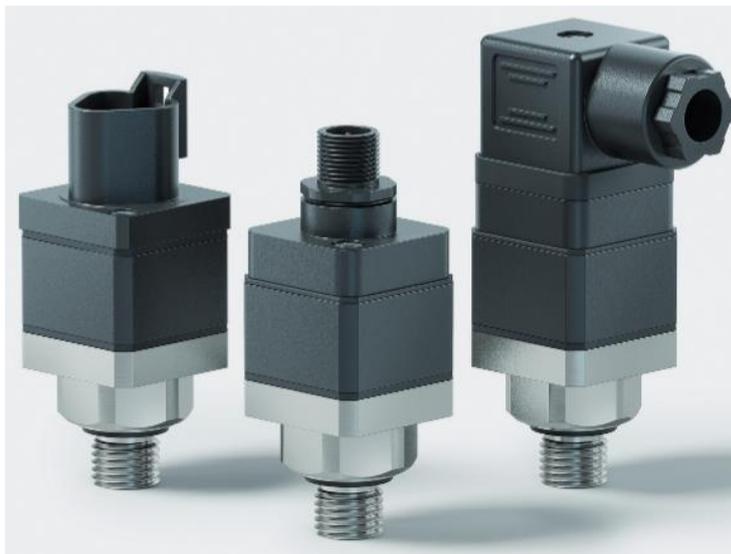
Slouží pro určení okamžitého průtoku v kapalinovém okruhu, čímž dává zpětnou vazbu pro řízení otáček čerpadla. Vybraný průtokoměr měří v rozsahu od 1 do 30 litrů za minutu, což je o 3 litry za minutu více než dosahuje zvolené válečkové čerpadlo při maximálním průtoku. Průtokoměr je vyroben z polypropylenu. Průtokoměr je umístěn před a za přepouštěcí ventil, aby bylo možné sledovat diferenci průtoku a tím upravit parametry čerpadla.



Obr. 69 Elektronický průtokoměr [59]

SNÍMAČ TLAKU V POTRUBÍ

Slouží pro určení okamžitého tlaku v kapalinovém okruhu, čímž dává zpětnou vazbu pro řízení tlaku čerpadla. Pro kapalinový okruh jsou místo těchto tlakoměrů zvoleny elektronické tlakové snímače 810 010 od firmy Layher. Vybrané snímače tlaku jsou s výstupním napěťovým signálem a měří v rozmezí tlaku 0 až 10 bar, což je i maximální pracovní tlak čerpadla. Snímač tlaku je umístěn za čerpadlem, dále mezi přepouštěcím ventilem a rotačním kapalinovým převodníkem a také v obou větvích horní části kapalinového okruhu. Jsou vyrobeny z nerezové oceli či mosazi a má těsnění z EPDM či FKM.



Obr. 70 Snímač tlaku řady 810 od firmy Layher (PŘÍLOHA 5)

6.8.2 ŘÍDÍCÍ PRVKY OKRUHU

Udávají vstupní signály pro ovládací prvky kapalinového okruhu. Některé níže uvedené prvky jsou nepřímo napojeny na kapalinový okruh, avšak předávají důležitá data z vnějšího prostředí.

TLAKOVÝ SPÍNAČ

Umístěním tohoto prvku ke kapalinovému akumulátoru se zajistí opakované plnění akumulátorového okruhu při poklesu tlaku na minimální žádané hodnoty na maximální žádané hodnoty tlaku. Pro použití ve větvi s kapalinovými akumulátory je zvolen přepínací tlakový spínač 420 010 od firmy Layher. Zvolený tlakový spínač lze nastavit v rozmezí 1 až 10 bar, což je i maximální hodnota pracovního tlaku čerpadla a také mu lze nastavit spínací minimální pracovní tlak a rozepínací maximální požadovaný tlak. Je vyroben z nerezové oceli či mosazi a má membránu z EPDM či FKM.



Obr. 71 Přepínací tlakový spínač řady 420 od firmy Layher (PŘÍLOHA 10)

DETEKČNÍ SNÍMAČ

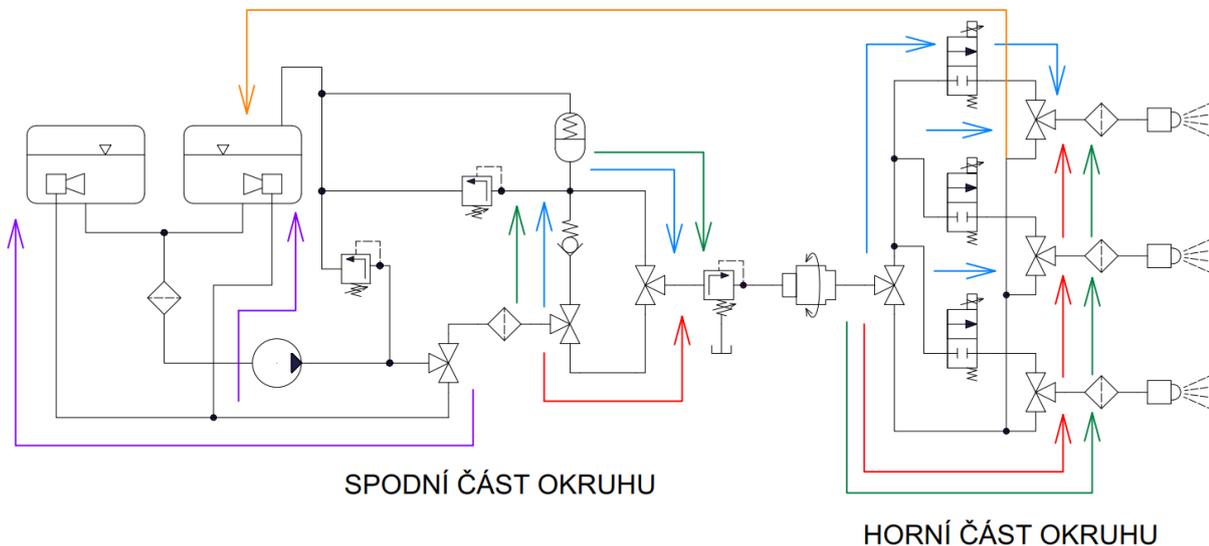
Funkce a princip tohoto snímače je popsán v kapitole 3.2. Pro konkrétní použití není vybrán konkrétní typ snímače, jelikož každý výrobce volí vlastní konstrukci snímače. Po konzultacích s výrobcem bude vybrán konkrétní typ snímače a jeho řídicí systém. Někteří výrobci uvádějí, že díky tomuto systému je možné ušetřit až 90 % postřikové kapaliny [23].

SNÍMAČ OTÁČEK KOL

Důležitý řídicí prvek pro kapalinový okruh, jelikož po přepočtu udává hodnotu pojízdové rychlosti. Tímto upravuje hodnotu průtoku tryskami a parametry čerpadla, aby byla dodržena konstantní měrná dávka na ošetřovanou plochu.

6.9 REŽIMY KAPALINOVÉHO OKRUHU

Kapalinový okruh je možné provozovat v několika režimech, které jsou popsány níže. Jednotlivé kapalinové režimy se dají z postřikovacího zařízení odebrat či přidat, čímž ho činí modulární. Jednotlivé režimy jsou pro lepší znázornění zobrazeny barevně.



Obr. 72 Režimy kapalinového okruhu s barevným zobrazením, míchací okruh (fialová), stálý okruh (červená), selektivní okruh (modrá), nízko průtokový okruh (zelená), vyplachovací okruh (oranžová)

6.9.1 MÍCHACÍ

Režim sloužící k pomocnému promíchání postřikové směsi, která se po nalití do nádrže přes síto důkladně nepromíchala. Čerpadlo naplní míchací větev kapalinou, která je pod určitým tlakem vháněna do míchací trysky.

6.9.2 STÁLÝ

Režim vhodný pro plošný nepřerušovaný postřik. Čerpadlo naplní horní i spodní větev pro stálý postřik kapalinou, která po průchodu přepouštěcím ventilem pro řízení tlaku pokračuje přímo k tryskám.

6.9.3 SELEKTIVNÍ

Režim vhodný pro přerušovaný postřik. Čerpadlo naplní horní i spodní větev s kapalinovými akumulátory na požadovaný tlak a jednosměrný ventil zabráni zpětnému odtoku, poté je čerpadlo vypnuto. Po průchodu přepouštěcím ventilem pro řízení tlaku je kapalina dopravena k elektromagnetickým ventilům, které se otevírají po přijmutí signálů. Signál pro ventily je vyslán z řídicí jednotky, která obdrží vstupní informace z detekčního snímače, který určí, jaký z ventilů má být spuštěn a na jak dlouhou dobu. Po otevření elektromagnetického ventilu pokračuje kapalina přímo k tryskám.

6.9.4 NÍZKO PRŮTOKOVÝ

Režim vhodný pro stálý postřik při velmi nízkém průtoku, například při použití postřikové pistole s nízkým počtem trysek. Čerpadlo naplní spodní větev s kapalinovými akumulátory na požadovaný tlak. Kapalina poté proudí do horní větve pro stálý postřik přímo k tryskám.

6.9.5 VYPLACHOVACÍ

Režim sloužící pro vypláchnutí a vyčištění kapalinového okruhu. Postup vyplachování je závislý na počtu nainstalovaných režimů na kapalinovém okruhu. Pokud jsou nainstalovány všechny režimy, je postup vyplachování rozdělen do několika kroků. První krok je vypláchnutí míchacího okruhu a promíchání sedimentu na dně nádrže. Druhý krok je vypláchnutí okruhu pro stálý postřik, kde jsou třicestné dvupolohové ventily trysek uzavřeny, aby kapalina proudila zpět do nádrže skrze přidanou hadici. Poslední krok je vypláchnutí okruhu s kapalinovými akumulátory a následně kapalina opouští kapalinový okruh skrze postřikové trysky.

6.10 CHARAKTERISTIKA TLAKOVÉ ZTRÁTY V POTRUBÍ A TLAK ČERPADLA

Pro určení požadovaného tlaku čerpadla je třeba znát i tlakové ztráty v potrubí. Tyto ztráty jsou řešeny pouze pro komponenty, u kterých výrobce uvedl údaje o tlakových ztrátách a v některých případech jsou zanedbány.

6.10.1 TLAKOVÁ ZTRÁTA VEDENÍM KAPALINY

U potrubí se vyskytuje délková tlaková ztráta vlivem tření kapaliny při obtékání ploch [45]. Pro tento výpočet je postřiková kapalina uvažována jako voda, jelikož přípravky v ní rozpuštěné jsou v nízkých koncentracích. Nejprve je použita rovnice pro Reynoldsovo číslo s převodním faktorem průtoku, aby se určilo, zda je proudění v kapalinovém okruhu laminární či turbulentní:

$$\text{Re}_p = \frac{1,66 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot Q_{\check{c}} \cdot d_p}{\pi \cdot d_p^2 \cdot \nu_v} \quad (14)$$

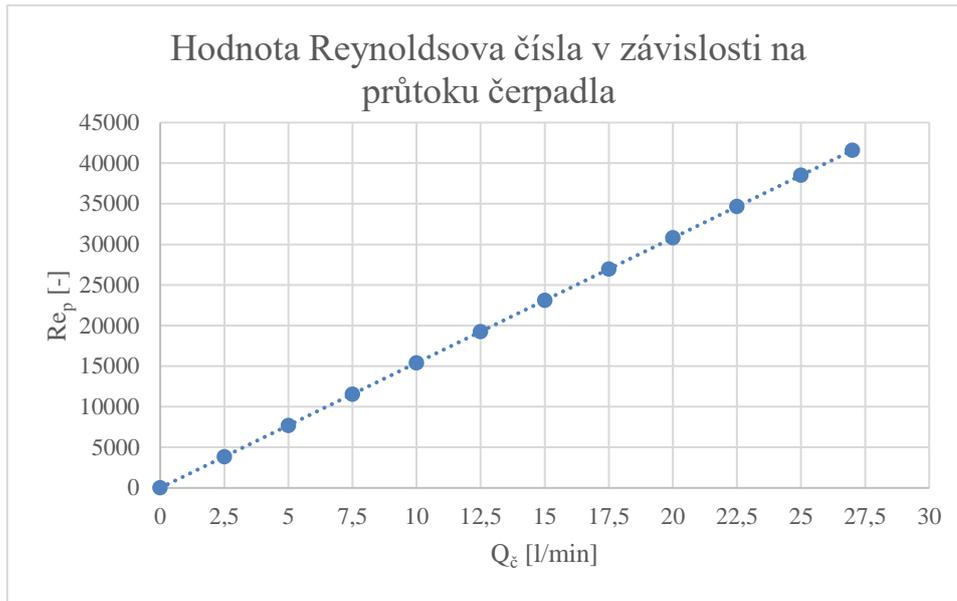
Rovnice (14), kde:

$Q_{\check{c}}=0-27$ l/min průtok čerpadla [l/min], z rovnice (10)

$d_p=0,013$ m vnitřní průměr potrubí [m]

$\nu_v=1,06 \cdot 10^{-6}$ m²/s kinematická viskozita vody při 18 °C [m²/s] [60]

Z rovnice (14) lze sestavit graf závislosti Reynoldsova čísla pro celý rozsah průtoku:



Obr. 73 Zobrazení závislosti Reynoldsova čísla na průtoku čerpadla, data proložena regresní přímkou pro zobrazení lineární závislosti dat

Z grafu na Obr. 73 vyplývá, že laminární proudění nastává pouze při velmi nízkých průtocích ($Re > 2320$), proto bude u výpočtu délkové tlakové ztráty uvažováno turbulentní proudění. Pro výpočet délkové tlakové ztráty je použita rovnice pro tlakovou ztrátu na jeden metr potrubí, jelikož se délka hadic bude při výrobě prototypu měnit. Tato rovnice je ve tvaru [45]:

$$p_{zdp} = \frac{0,3164}{Re_p^{0,25}} \cdot \frac{1}{d_p} \cdot \rho_v \cdot \frac{\left(\frac{1,66 \cdot 10^{-5} \cdot 4 \cdot Q_{\check{c}}}{\pi \cdot d_p^2} \right)^2}{2} \cdot 10^{-5} \quad (15)$$

Rovnice (15), kde:

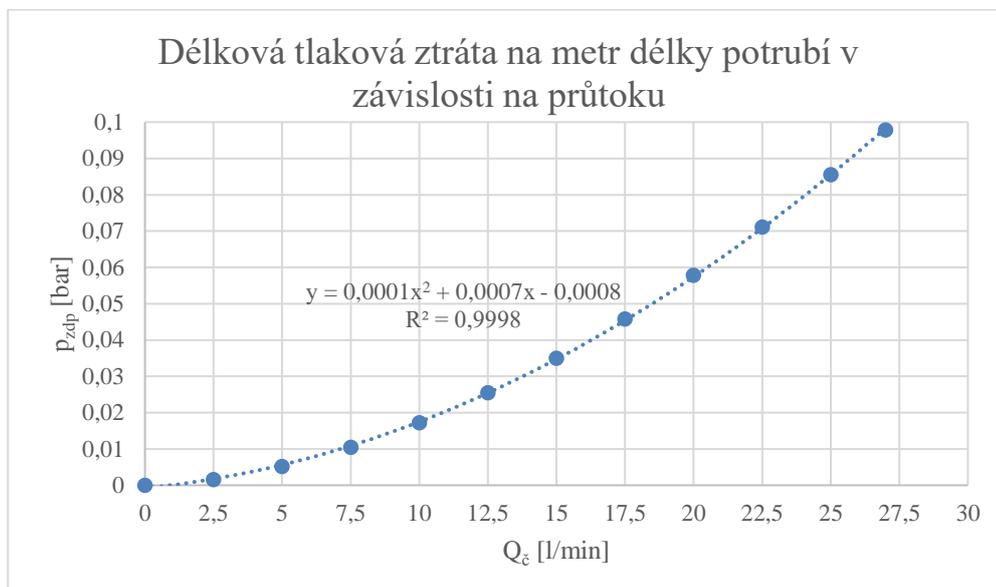
$Re_p=0-41578$ Reynoldsovo číslo pro potrubí [-], z rovnice (14)

$d_p=0,013$ m vnitřní průměr potrubí [m]

$Q_{\check{c}}=0-27$ l/min průtok čerpadla [l/min], z rovnice (10)

$\rho_v=998,5$ kg/m³ hustota vody při 18 °C [kg/m³] [61]

Pokud se do rovnice (14) a (15) dosadí celý rozsah průtoku čerpadla, lze získat graf závislosti délkové tlakové ztráty na průtoku čerpadla:



Obr. 74 Zobrazení závislosti délkové tlakové ztráty potrubí na průtoku čerpadla

Z grafu na Obr. 74 lze získat regresní rovnici délkové tlakové ztráty na metr potrubí proložením dat regresním polynomem 2. stupně. Takto získaná rovnice slouží pro rychlejší přepočítání parametrů čerpadla na překonání této tlakové ztráty. Proložením dat regresním polynomem se získá rovnice délkové tlakové ztráty na metr potrubí s koeficientem determinace $R^2=99,98\%$. Tato rovnice je ve tvaru:

$$p_{zdpr} = 0,0001 \cdot Q_{\check{c}}^2 + 0,0007 \cdot Q_{\check{c}} - 0,0008 \quad (16)$$

Rovnice (16), kde:

$$Q_{\check{c}}=0-27 \text{ l/min} \quad \text{průtok čerpadla [l/min], z rovnice (10)}$$

6.10.2 TLAKOVÁ ZTRÁTA ELEKTROMAGNETICKÉHO VENTILU

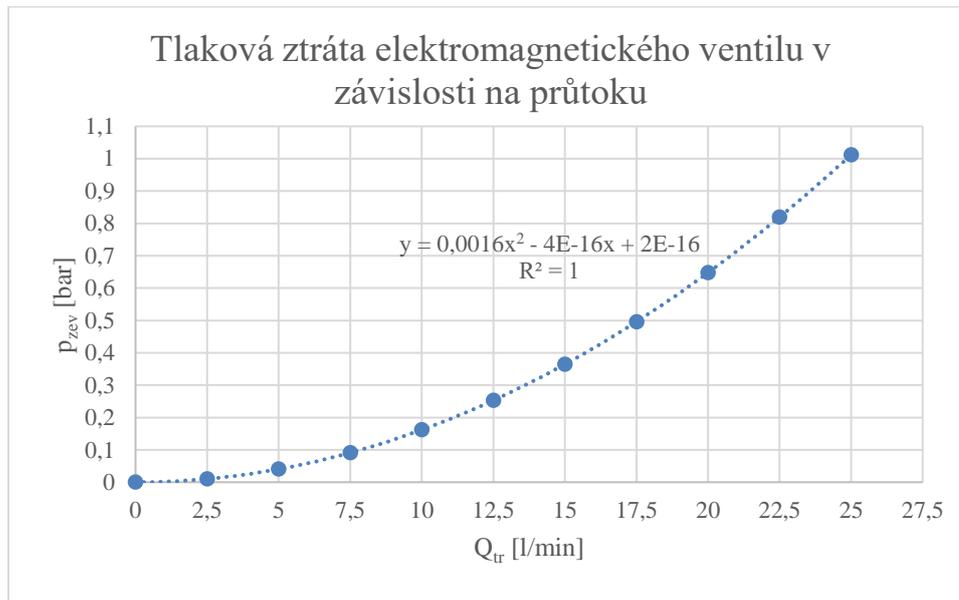
U elektromagnetického ventilu je pro vzniklou místní ztrátu uveden součinitel K_v o hodnotě 1,49 metrů krychlových za hodinu, což znamená tlakovou ztrátu 1 bar při průtoku 25 litrů za minutu. Pomocí tohoto součinitele lze získat rovnici místní tlakové ztráty ve tvaru [62]:

$$p_{zev} = 0,1 \cdot \rho_v \cdot \left(\frac{Q_{tr}}{16,667 \cdot K_v} \right)^2 \cdot 0,01 \quad (17)$$

Rovnice (17), kde:

Q_{tr}	průtok tryskou [l/min], z rovnice (3)
$\rho_v=998,5 \text{ kg/m}^3$	hustota vody při 18 °C [kg/m ³] [61]
$K_v=1,49$	průtokový součinitel elektromagnetického ventilu [m ³ /h], z přílohy 3

Pokud se do rovnice (17) dosadí hodnoty průtoku od 0 do 25 litrů za minutu, lze získat charakteristiku tlakové ztráty elektromagnetického ventilu do hodnoty tlaku 1 bar:



Obr. 75 Zobrazení závislosti tlakové ztráty elektromagnetického ventilu na průtoku tryskou

Proložení dat regresním polynomem se získá rovnice tlakové ztráty elektromagnetického ventilu s koeficient determinace $R^2=100 \%$. Tato rovnice je ve tvaru:

$$p_{zevr} = 0,0016 \cdot Q_{tr}^2 \quad (18)$$

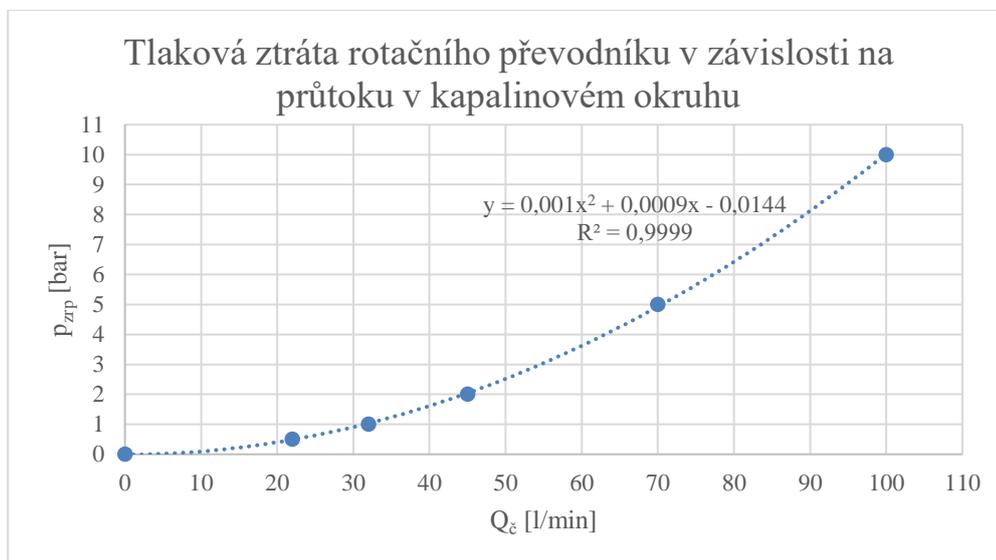
Rovnice (18), kde:

Q_{tr}	průtok tryskou [l/min], z rovnice (3)
----------	---------------------------------------

U rovnice (18) je uvažována pouze mocninná část této rovnice, jelikož zbylé části jsou zanedbatelné kvůli řádově velmi nízkým hodnotám.

6.10.3 TLAKOVÁ ZTRÁTA ROTAČNÍHO KAPALINOVÉHO PŘEVODNÍKU

U vybraného rotačního převodníku je uveden graf tlakového ztráty, který je pro potřeby výpočtů převeden na rozsah průtoku od 0 do 100 litrů za minutu. Pomocí tohoto vyššího rozsahu je možné docílit přesnější rovnice tlakové ztráty pro menší rozsah průtoku, která se získá proložením dat regresním polynomem 2. stupně.



Obr. 76 Zobrazení závislosti tlakové ztráty rotačního převodníku na průtoku v kapalinovém okruhu, data proložena regresním polynomem 2. stupně

Proložením dat regresním polynomem se získá rovnice tlakové ztráty kapalinového převodníku s koeficient determinace $R^2=99,99\%$. Tato rovnice je ve tvaru:

$$p_{zrpr} = 0,001 \cdot Q_{\check{c}}^2 + 0,0009 \cdot Q_{\check{c}} - 0,0144 \quad (19)$$

Rovnice (19), kde:

$$Q_{\check{c}}=0-27 \text{ l/min} \quad \text{průtok čerpadla [l/min], z rovnice (10)}$$

6.10.4 POŽADOVANÝ TLAK ČERPADLA

Ze schématu na Obr. 44 lze určit, na jaký pracovní tlak má být nastaveno čerpadlo. Jsou uvažovány pouze ty prvky, u kterých je známa tlaková ztráta. Jedná se o rotační kapalinový převodník a potrubí. Před každou tryskou se průtok rozdělí, přičemž jedna část průtoku proudí k trysce a druhá část průtoku pokračuje ke zbylým tryskám. S každým rozdělením průtoku k trysce také postupně klesá i tlaková ztráta, proto je počítáno s tlakovou ztrátou k první trysce, kde je ztráta největší.

Výsledný požadovaný tlak čerpadla je poté ve tvaru:

$$p_{\check{c}p} = p_{tr} + p_{zdpr} \cdot l_{ho} + p_{zrpr} + p_{zmz} + \frac{h_{tr} \cdot \rho_v \cdot g}{10^5} \quad (20)$$

Rovnice (20), kde:

p_{tr}	požadovaný tlak trysky [bar], z rovnice (4)
p_{zdpr}	regresní délková tlaková ztráta vedením kapaliny na metr potrubí [bar/m], z rovnice (16)
l_{ho}	délka hadic okruhu [m]
p_{zrpr}	regresní tlaková ztráta rotačního kapalinového převodníku [bar], z rovnice (19)
p_{zmz}	součet místních tlakových ztrát neuvažovaných prvků [bar]
h_{trpr}	výška trysky nad ošetřovanou plochou [m], podle trysky
$\rho_v=998,5 \text{ kg/m}^3$	hustota vody při 18 °C [kg/m ³] [61]
$g=9,81 \text{ m/s}^2$	tíhové zrychlení [m/s ²]

Po zjištění požadovaného pracovního tlaku a průtoku lze nastavit parametry čerpadla podle kapitoly 6.2.2.

6.10.5 POŽADOVANÝ TLAK KAPALINOVÉHO AKUMULÁTORU

Ze schématu na *Obr. 44* lze také určit, na jaký pracovní tlak má být naplněn kapalinový akumulátor. Opět jsou uvažovány pouze ty prvky, u kterých je známa tlaková ztráta. Zde se jedná o rotační kapalinový převodník, elektromagnetický ventil a potrubí. Před každým elektromagnetickým ventilem se průtok rozdělí, přičemž jedna část průtoku proudí k trysce a druhá část průtoku pokračuje ke zbylým tryskám. S každým rozdělením průtoku k trysce také postupně klesá i tlaková ztráta, proto je počítáno s tlakovou ztrátou k první trysce, kde je ztráta největší.

Výsledný požadovaný tlak akumulátoru je poté ve tvaru:

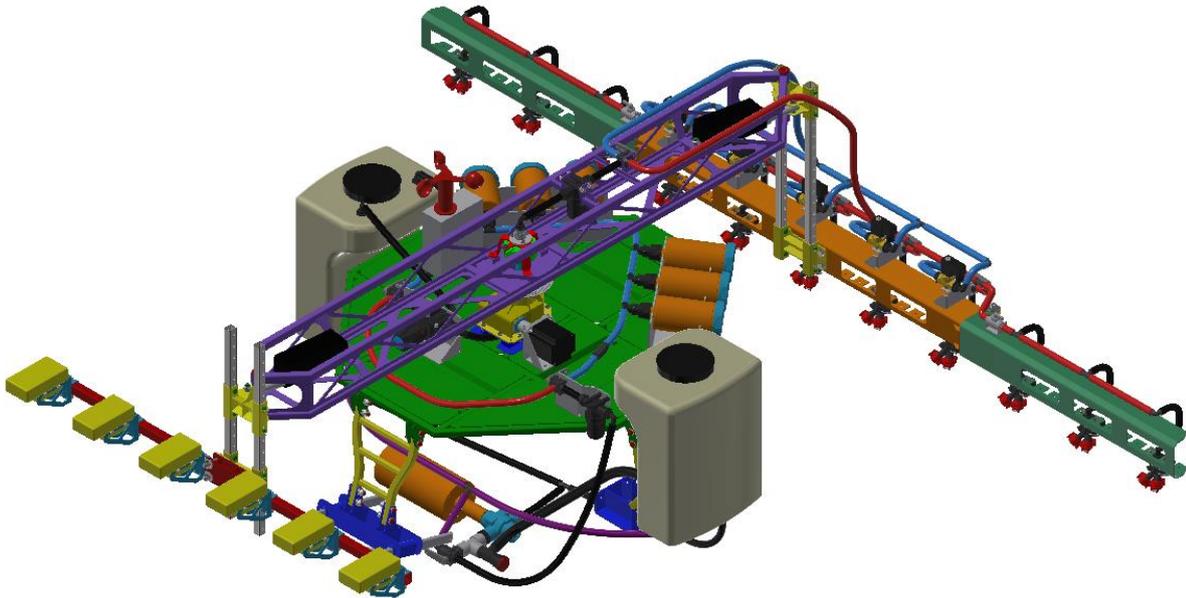
$$p_{akup} = p_{tr} + p_{zdpr} \cdot l_{ho} + p_{zrpr} + p_{zevr} + p_{zmz} + \frac{h_{tr} \cdot \rho_v \cdot g}{10^5} \quad (21)$$

Rovnice (21), kde:

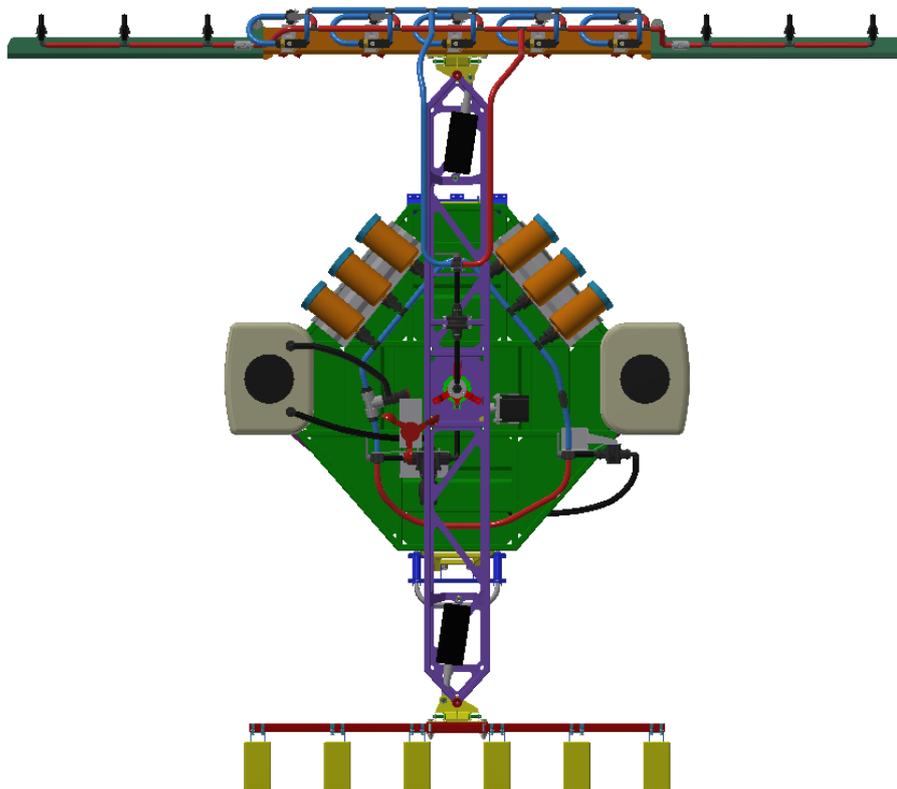
p_{tr}	požadovaný tlak trysky [bar], z rovnice (4)
p_{zdpr}	regresní délková tlaková ztráta vedením kapaliny na metr potrubí [bar/m], z rovnice (16)
l_{ho}	délka hadic okruhu [m]
p_{zrpr}	regresní tlaková ztráta rotačního kapalinového převodníku [bar], z rovnice (19)
p_{zevr}	regresní místní tlaková ztráta elektromagnetického ventilu [bar], z rovnice (18)
p_{zmz}	součet místních tlakových ztrát neuvažovaných prvků [bar]
h_{trpr}	výška trysky nad ošetřovanou plochou [m], podle trysky
$\rho_v=998,5 \text{ kg/m}^3$	hustota vody při 18 °C [kg/m ³] [61]
$g=9,81 \text{ m/s}^2$	tíhové zrychlení [m/s ²]

7 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ VYBRANÉ VARIANTY

Po rozboru konstrukčních řešení výše zmíněných strojů a samotné kinematiky stroje je volena nesená varianta postřikovacího zařízení. V této části bude podrobněji popsáno konstrukční řešení jednotlivých hlavních celků.



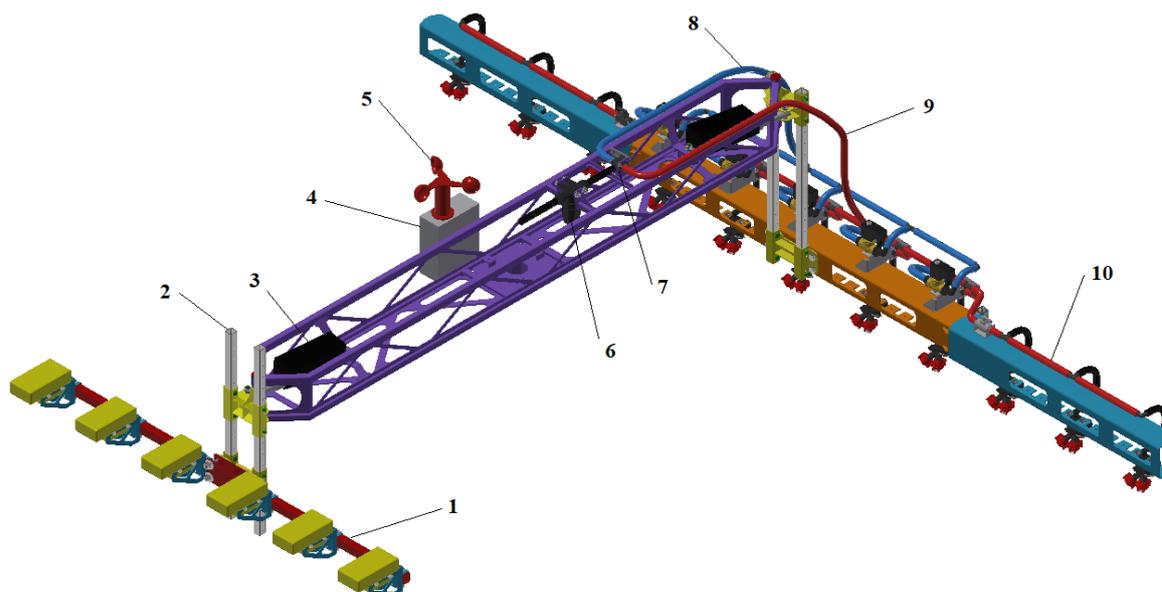
Obr. 77 Nesené postřikovací zařízení



Obr. 78 Půdorysný pohled na postřikovacího zařízení

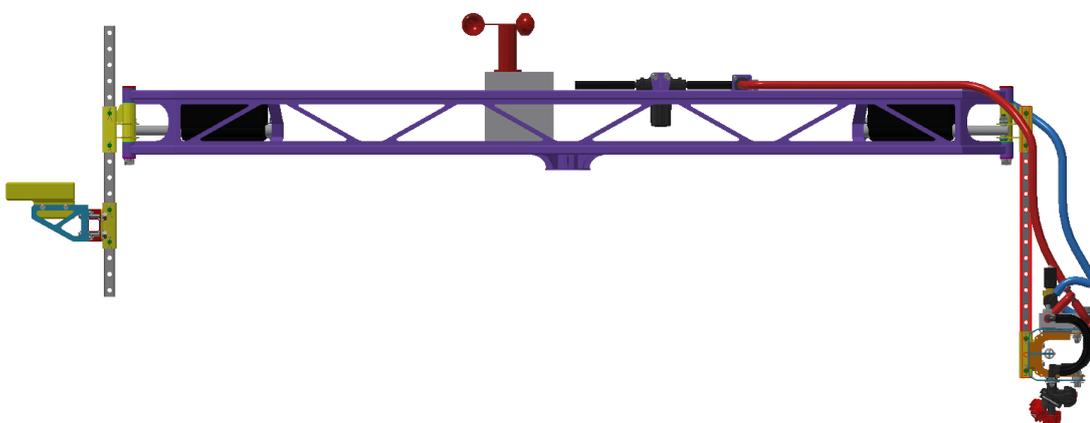
7.1 OTOČNÝ RÁM

Rám se skládá z profilů o velikosti 20x20x2 a je propojen plechy s tloušťkou 2 a 3 mm, kde některé plechy mají výřezy, aby tvořili příhradovou výztuž. Pro výškové nastavení rámu slouží profily, které se dají posouvat oběma vertikálními směry, čímž se zvětší rozsah výšky přidavných rámu v rozmezí od 0,3 metru do 0,8 metru nad zemí. Tímto lze docílit dodržení optimální výšky nad porostem. Pro uložení jsou voleny dva posuvné profily, aby byla zajištěna dostatečná boční tuhost a stabilita při natáčení přidavných rámu.



Obr. 79 Sestava otočného rámu s ukázkou zapojení horní části kapalinového okruhu, 1-rám s detekčními snímači, 2-profil výškového nastavení, 3-lineární aktuátor, 4-řídící jednotka, 5-miskový anemometr, 6-okruhový filtr horní části okruhu, 7-třícestný dvoupolohový kulový ventil, 8-potrubi selektivního okruhu (modrá), 9-potrubi stálého okruhu (červená), 10-postříkovací rám

Na Obr. 79 lze vidět předpokládané umístění řídicí jednotky a anemometru, který je umístěn na nejvyšší bod postříkovacího zařízení.



Obr. 80 Boční pohled na sestavu otočného rámu s ukázkou výškového polohování

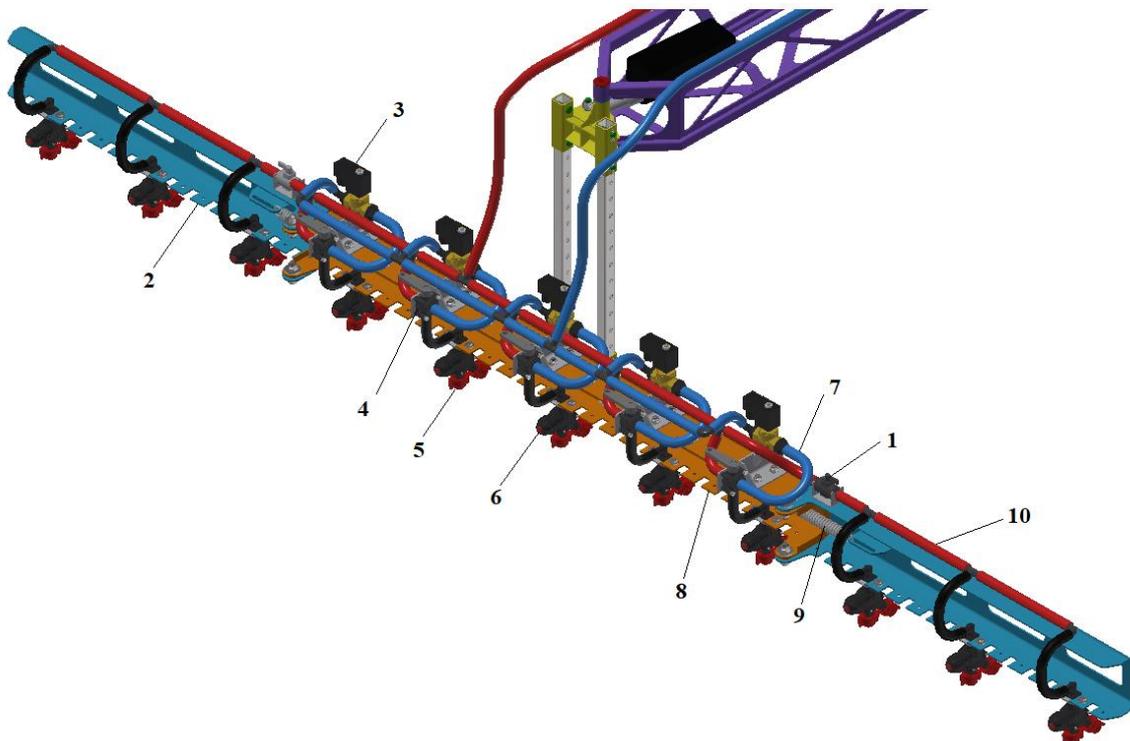
Oba přidavné rámy jsou poháněny lineárním aktuátorem LA287 s 12 V elektromotorem od firmy LINAK.



Obr. 81 Lineární aktuátor řady LA28 od firmy LINAK (PŘÍLOHA 6)

7.1.1 POSTŘIKOVACÍ RÁM

Postřikovací rám je složen ze základní krátké části, kterou je možné prodloužit pomocí přídatných sklopných rámu. Každý typ rámu je opatřen drážkami o rozteči 50 milimetrů, což zajistí použití různých typů trysek a tím ho činí více variabilním.



Obr. 82 Postřikovací rám s krátkou verzí (oranžová) s kombinovaným okruhem a prodlouženou verzí (tyrkysová) se stálým okruhem, 1-dvoucestný dvoupolohový kulový ventil, 2-prodloužení postřikového rámu se stálým okruhem, 3-dvoucestný dvoupolohový elektromagnetický ventil, 4-třícestný dvoupolohový kulový ventil, 5-bajonetový držák trysky, 6-držák trysek s protiúkapovým ventilem, 7-potrubí selektivního okruhu (modrá), 8-krátký postřikovací rám se selektivním i stálým okruhem, 9-pružina pro zajištění polohy rámu, 10-potrubí stálého okruhu (červená)

DRŽÁK TRYSEK

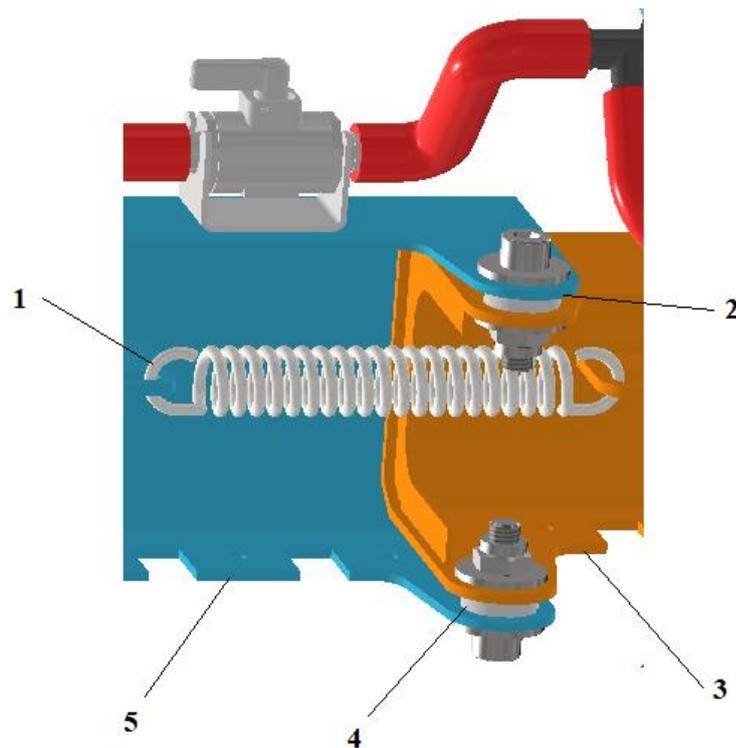
Zvolený držák trysek 4133212 od firmy ARAG má vhodný připojovací mechanismus pomocí zajištěné podložky a lze na něj připojit až tři různé trysky. Držák je také opatřen protiúkapovým ventilem, který zabrání samovolnému ukapávání kapaliny z trysek při vypnutém čerpadle nebo vypuštěných akumulátorech.



Obr. 83 Držák trysek s protiúkapovým ventilem řady 413 od firmy ARAG [63], 1-připojení k hadici, 2-uchycení k rámu, 3-protiúkapový ventil, 4-držák bajonetu

PROPOJENÍ POSTŘIKOVACÍCH RÁMŮ

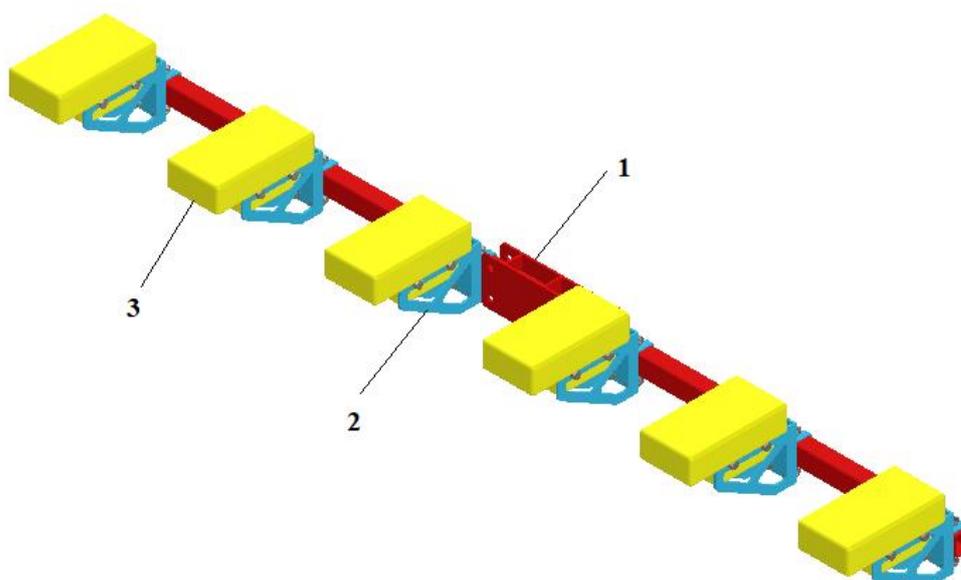
Oba typy postřikovacích rámu jsou propojeny pomocí dvou čepů, které neprocházejí skrze celou výšku plechových profilů, aby byl ponechán prostor pro volný pohyb zajišťovací tažné pružiny. Tato konfigurace slouží pro částečné sklopení bočních rámu při kontaktu s překážkou. Předepjatá pružina zde zajišťuje vratný pohyb bočního rámu zpět do své původní polohy po kontaktu s překážkou. Pokud osa tažné pružiny přejde přes osu čepů, může se boční rám volně sklopit ke středovému rámu a tím se ustaví do převozní polohy bez použití velkých manipulačních sil.



Obr. 84 Detail propojení postřikovacích ráků, 1-tažná pružina, 2-horní čepové uložení, 3-krátký postřikovací rám, 4-spodní čepové uložení, 5-prodloužení postřikového ráku

7.1.2 RÁM S DETEKČNÍMI SNÍMAČI

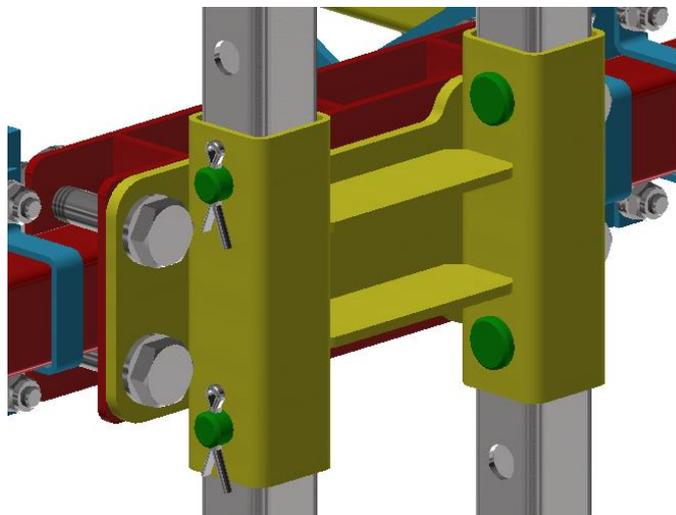
Rám s detekčními snímači je tvořen normalizovaným profilem, na kterém je přivařena přípojovací konzola k profilům nastavení výšky rámu. Na profil rámu jsou nasazeny přitahovací konzoly pro uchycení snímačů, které se dají podle potřeby posouvat po většině délky profilu.



Obr. 85 Rám s detekčními snímači, 1-rám, 2-konzola pro úchyt snímače, 3-detekční snímač

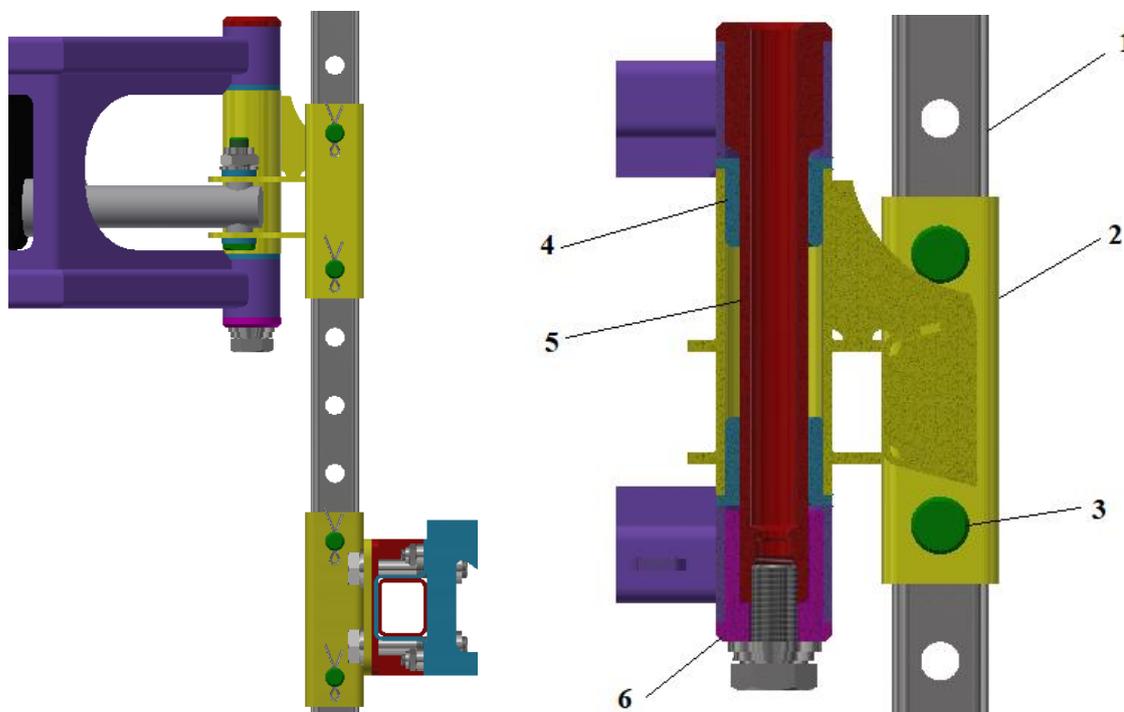
7.1.3 ULOŽENÍ PŘÍDAVNÝCH RÁMŮ NA OTOČNÝ RÁM

Přídavné rámy jsou přimontovány šroubovým spojem ke spodní konzole, která je nasazena na profily výškového nastavení rámu. Ty jsou zajištěny čepy a závlačkou pro snadnější demontáž a přenastavení požadované výšky rámu.



Obr. 86 Uložení přídavného rámu na spodní konzolu

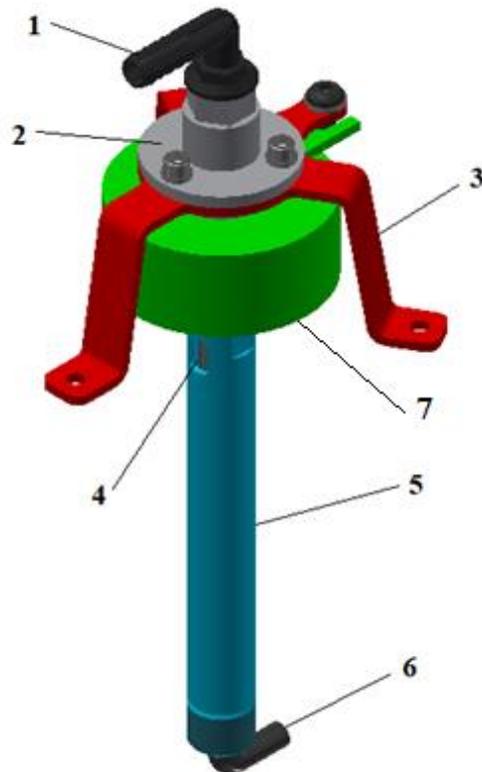
Horní konzola je uložena na kluzná pouzdra dutého čepu s přesahem a dále je připojena k lineárnímu aktuátoru. Dutý čep je uložen s přesahem a je zajištěn protikusem. Na horní konzole je umístěn prstenec pro snímání úhlové polohy obou přídavných rámu.



Obr. 87 Detail uložení horního a dolního uložení přídavných rámu, detail horního uložení zobrazen v řezu, 1-profil výškového nastavení, 2-horní otočná konzola, 3-čep se závlačkou, 4-kluzné pouzdro, 5-dutý čep, 6-protikus dutého čepu

7.2 ROTAČNÍ PŘEVODNÍK

Pomáhá k přenosu kapaliny a elektrické energie ze statického pohybu na pohyb rotační. Kapalinový převodník je popsán v kapitole 6.4. Kroužkový sběrač funguje na principu stálého kontaktu rotoru a statoru a dokáže přenášet jak proud, tak i signály. Z důvodu samostatného fungování otočného rámu je použit kroužkový sběrač pouze na přenos proudu z baterie.



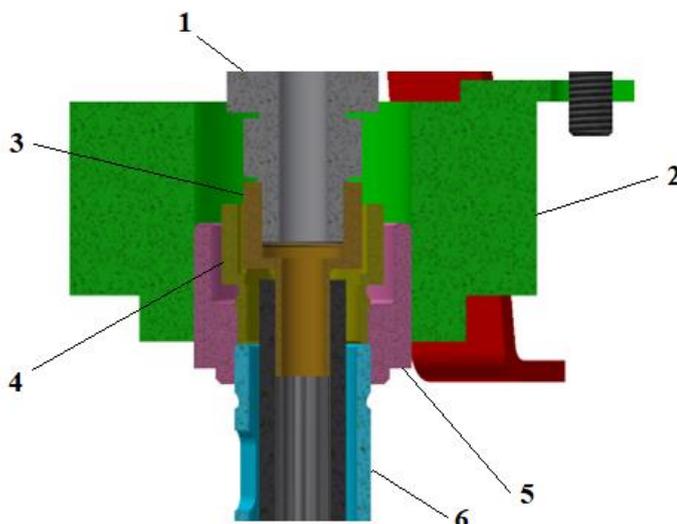
Obr. 88 Sestava rotačního převodníku, 1-koleno pro připojení k potrubí otočnému rámu, 2-rotační kapalinový převodník, 3-konzola pro úchyt rotačního kapalinového převodníku, 4-drážka pro vývod kabeláže, 5-trubkový chránič, 6-koleno pro připojení k potrubí nosné desky, 7-kroužkový sběrač

Pro rotační převodník je použit kroužkový sběrač řady H4086 od firmy SENRING (PŘÍLOHA 7). Tato řada sběračů je schopna přenést proud o maximální hodnotě 240 ampér.



Obr. 89 Kroužkový sběrač řady H4086 firmy SENRING (PŘÍLOHA 7)

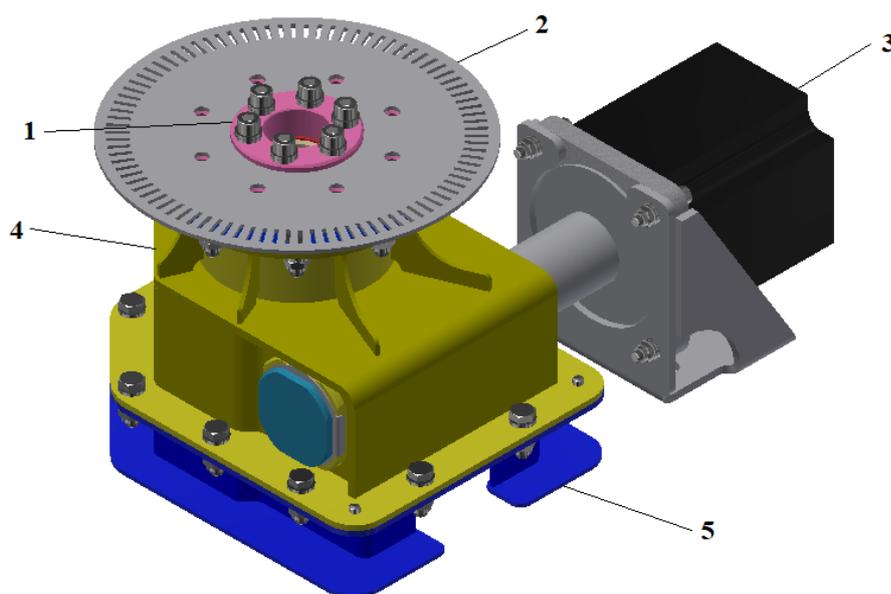
Na Obr. 90 lze vidět detail uložení rotačního kapalinového převodníku a kroužkového sběrače. Kroužkový sběrač je s vnitřním otvorem a je umístěn na matici namontované na trubkovém chrániči. K matici kroužkového sběrače je namontována kontramatice, která slouží také jako zajištění jedné z částí kapalinového převodníku proti rotaci.



Obr. 90 Detail společného uložení rotačního kapalinového převodníku a kroužkového sběrače, 1-rotací kapalinový převodník, 2-kroužkový sběrač, 3-hadicový fitink, 4-kontramatice pro uložení kapalinového rotačního převodníku, 5-matice pro uchycení kroužkového sběrače, 6-trubkový chránič

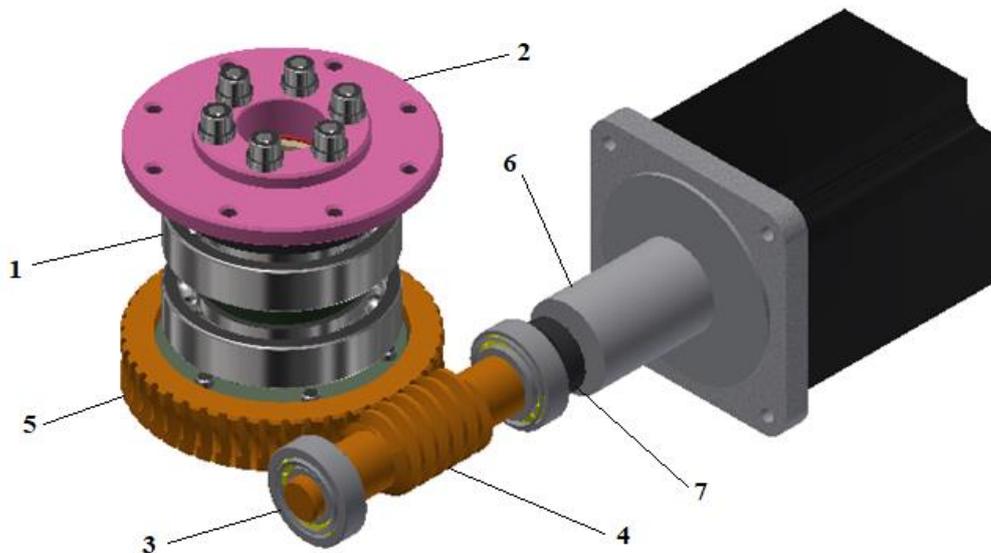
7.3 PŘEVODOVÉ ÚSTROJÍ

Konstrukce převodového ústrojí pro otočný rám využívá šnekového převodu, který je vhodný kvůli svému vysokému převodovému poměru a samosvornosti. Převodovka má šnekové soukolí TEATECHNIK 2/2/B s převodovým poměrem 23,5 (PŘÍLOHA 8).



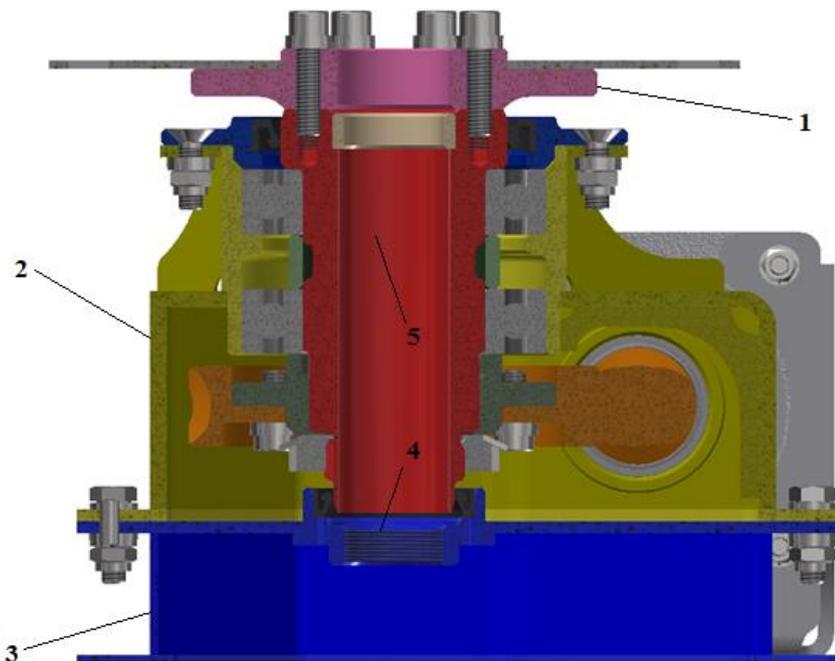
Obr. 91 Sestava převodového ústrojí, 1-napojovací prsteneček převodovky, 2-snímačový prsteneček, 3-krokový motor HN 200 3438, 4-horní část skříně převodovky, 5-spodní část skříně převodovky

Celá převodovka je přichycena na nosnou desku pomocí šroubového spoje na spodní části skříně převodovky. Obě části skříně a hřídel jsou utěsněny proti úniku maziva a vniku nečistot.



Obr. 92 Vnitřní konstrukce převodovky, 1-kuličkové ložisko 6009, 2-napojovací prstenec převodovky, 3-kuželíkové ložisko 30212, 4-dvouchodá šneková hřídel, 5-šnekové kolo, 6-Oldhamova spojka OX33G (PŘÍLOHA 11), 7-gufero

Na Obr. 91, Obr. 92 a Obr. 93 lze vidět vnitřní řešení konstrukce převodovky od krokového motoru až po napojovací prstenec převodovky. Krokový motor je propojen se šnekovou hřídelí pomocí Oldhamovy spojky, která vyrovnává axiální posuv, radiální a úhlovou nesouosost. Šneková hřídel je uložena ve dvou kuželíkových ložiscích 30212 uložených do konfigurace X.

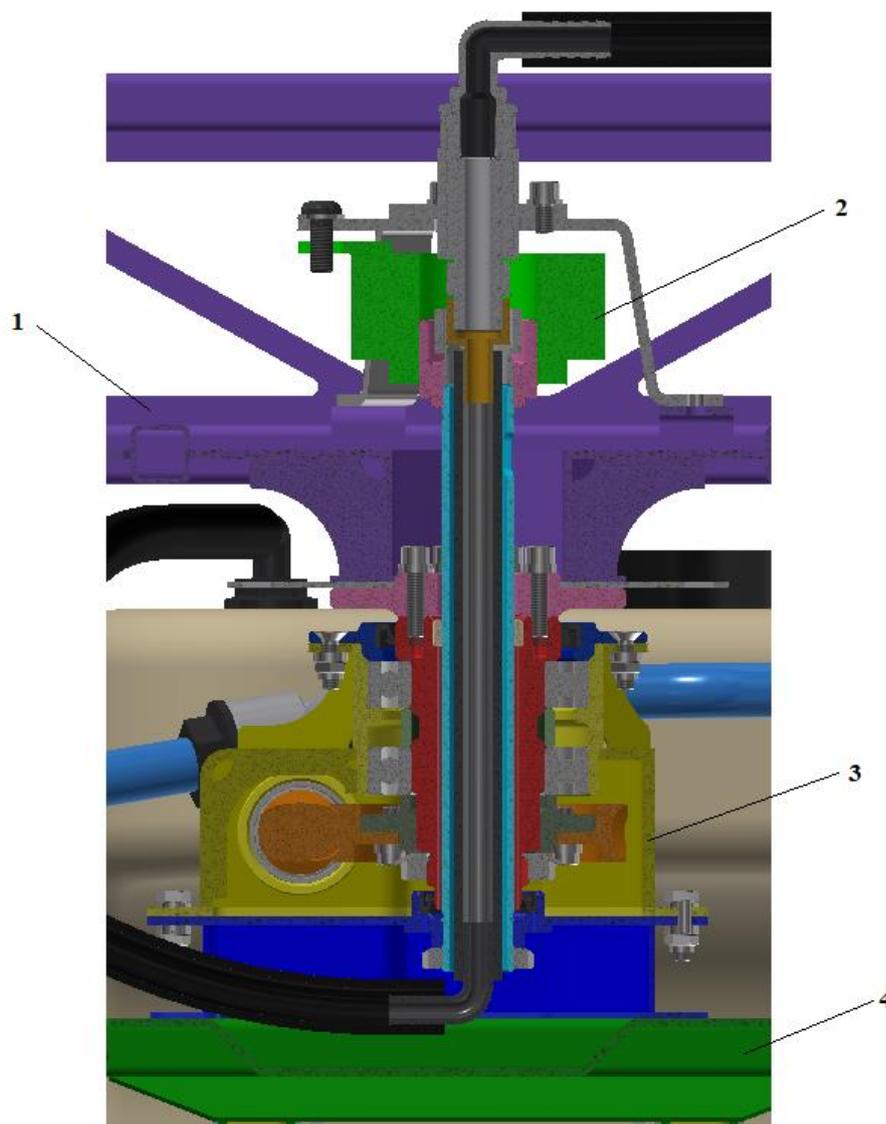


Obr. 93 Řez skrze vnitřní konstrukci převodovky, 1- napojovací prstenec převodovky, 2- horní část skříně převodovky, 3- spodní část skříně převodovky, 4- úchyt pro rotační převodník, 5- dutá hřídel

Kuželíková ložiska jsou předepnuta pomocí vík, která jsou utažena závitem a zajištěna podložkou s jazýčkem. Šnekové kolo je připevněno k výstupní duté hřídeli šroubovým spojem přes náboj s rovnobokým drážkováním. Výstupní dutá hřídel je uložena ve dvou kuličkových ložiscích 6009, kde horní ložisko je uloženo nepohyblivě a spodní ložisko je pohyblivé. Důvodem je zachycení axiálních sil od šnekového převodu a otočného rámu horním ložiskem, které oproti spodnímu přenáší menší radiální zatížení. Obě části skříně jsou utěsněny

7.3.1 SPOJENÍ HLAVNÍCH CELKŮ K PŘEVODOVCE

Převodovka a její skříň jsou důležitým prvkem celé sestavy postřikovací jednotky, jelikož jsou k ní napojeny všechny zmíněné hlavní celky. Mezi výstupní hřídel převodovky a otočný rám je dán snímačový prsteneц, který snímá úhlovou polohu rámu vůči nosné desce a poté je upevněn šroubovým spojem. Do spodní části skříně převodovky je zašroubován rotační převodník zajištěný kontramaticí, který je vyveden skrze výstupní dutou hřídel.

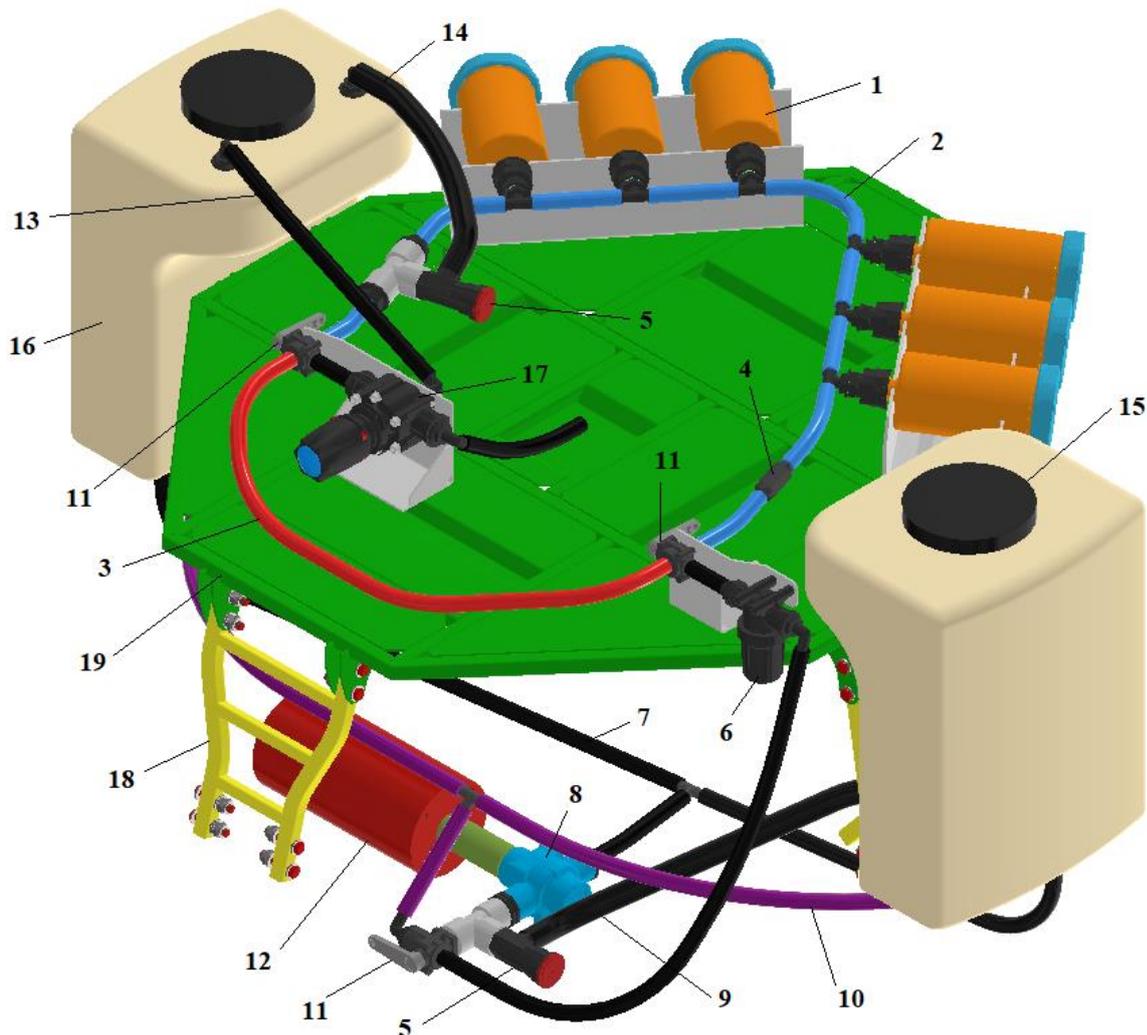


Obr. 94 Detail konstrukčního řešení spojení hlavních celků, 1-otočný rám, 2-rotační převodník, 3-převodovka, 4-nosná deska

V duté hřídeli je vloženo kluzné pouzdro, aby nedošlo ke kontaktu mezi otáčející se hřídelí a stabilním trubkovým chráničem kabeláže a hadic. Po montáži trubkového chrániče je nasazen kroužkový sběrač a poté je přimontován rotační kapalinový převodník k otočnému rámu.

7.4 NOSNÁ DESKA

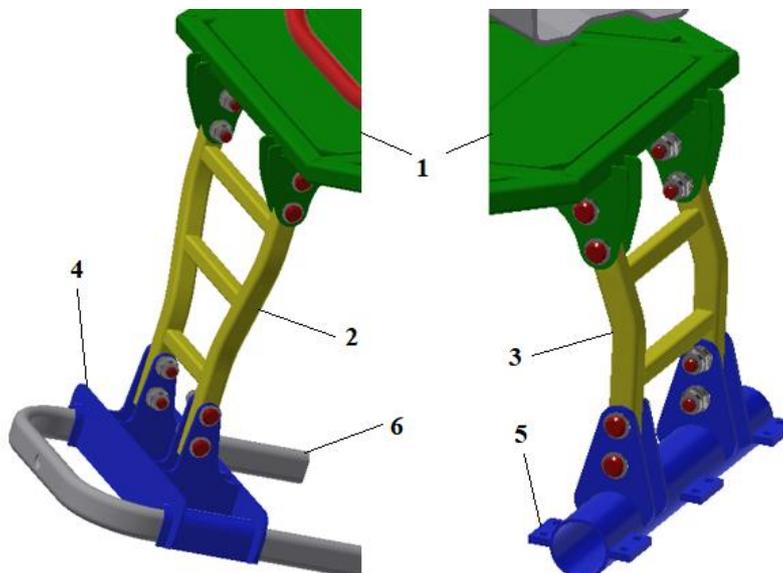
Nosná deska se skládá z normalizovaných profilů o velikosti 20x20x2, které jsou propojeny plechy s tloušťkou 3 mm. Pro zajištění stabilizace je nosná deska propojena s úchyty pro příčnou a podélnou stabilizaci. Tyto úchyty jsou z normalizovaného profilu 20x20x2 a jsou zajištěny pomocí čepů s pojistnou maticí. Na úchyty příčné stabilizace jsou umístěny dvě nádrže kapalinového okruhu.



Obr. 95 Sestava nosné desky s ukázkou zapojení spodní části kapalinového okruhu, 1-série kapalinových akumulátorů, 2-potrubí selektivního okruhu (modrá), 3-potrubí stálého okruhu (červená), 4-jednosměrný ventil, 5-pojistný ventil, 6-okruhový filtr spodní části okruhu, 7-přívodní potrubí čerpadla, 8-čerpadlo, 9-zpětné potrubí pojistného ventilu čerpadla, 10-potrubí míchacího okruhu (fialová), 11-třicestný dvoupolohový kulový ventil, 12-pohon čerpadla, 13-zpětné potrubí přepouštěcího ventilu, 14-zpětná hadice pojistného ventilu selektivního okruhu, 15-plnicí hrdlo, 16-nádrž, 17-přepouštěcí ventil, 18-přední úchyt nosné desky, 19-nosná deska

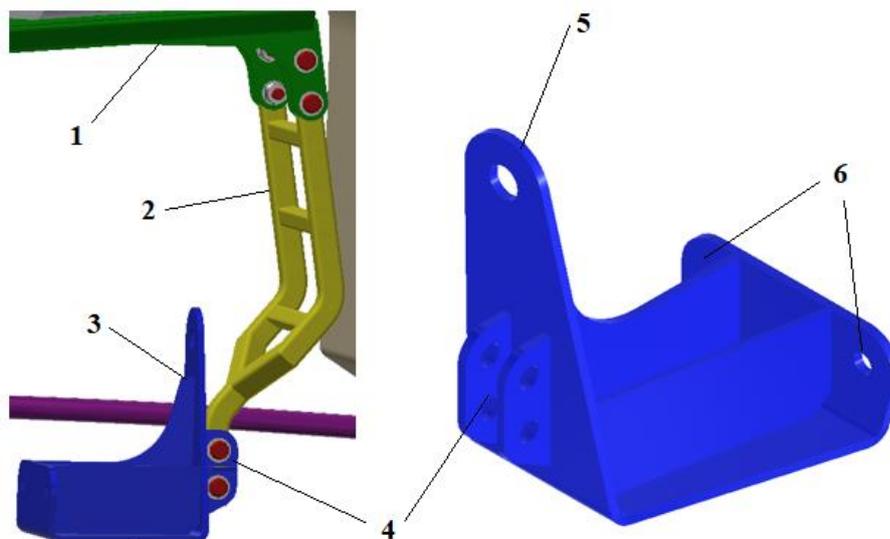
7.4.1 UCHYCENÍ KE STROJI

Pro řešení uchycení ke stroji jsou použity kotevní body v kapitole 5.3. Na *Obr. 96* lze vidět řešení podélné stabilizace nosné desky. Přední a zadní úchyt pro podélnou stabilizaci je spojen s konzolou pomocí čepů s pojistnou maticí.



Obr. 96 Detail předního a zadního úchytu ke stroji pro podélnou stabilizaci, 1-nosná deska, 2-přední úchyt nosné desky, 3-zadní úchyt nosné desky, 4-konzola předního úchytu, 5-konzola zadního úchytu

Podobně je řešena příčná stabilizace z *Obr. 97*, kde je přidána konzola pro optimálnější uchycení nosné desky ke stroji. Konzolou v horním oku povede čep, který je v duté ose podvozku a spodní otvory slouží pro kotvení šrouby v místě kladek pro vedení výškového nastavení stroje. Úchyty pro příčnou stabilizaci jsou spojeny s konzolami pomocí čepů s pojistnou maticí.



Obr. 97 Detail uchycení bočního úchytu ke stroji pro příčnou stabilizaci, 1-nosná deska, 2-boční úchyt nosné desky, 3-konzola bočního úchytu, 4-kotevní bod bočního úchytu, 5-bod pro kotvení v duté ose podvozku, 6-kotevní body u šroubů kladek

8 KONCEPČNÍ A NÁVRHOVÉ VÝPOČTY

V této kapitole jsou uvedeny výpočty pro návrh kinematiky a dynamiky otočného rámu, pohonů otočného rámu, ložisek převodovky a pohonu čerpadla.

8.1 NÁVRH KINEMATIKY OTOČNÉHO RÁMU

Kinematika otočného rámu je nezanedbatelná pro správnou funkci postřikovacího zařízení a rovnoměrnost postřiku. V této části je popsán postup výpočtu poloměru zatáčení stroje a k němu potřebné úhly natočení přidavných rámu v různých režimech.

8.1.1 POLOMĚR ZATÁČENÍ STROJE

Pokud je pro poloměr zatáčení uvažována maximální konstantní rychlost pojezdu a maximální úhlová rychlost otočného rámu, bude poloměr zatáčení také konstantní. Pro výpočet poloměru zatáčení je použit výpočet přes dráhu pojezdu a úhlovou dráhu otáčení v čase jedné sekundy.

Maximální uražená dráha pojezdu v čase jedné sekundy:

$$s_p = \frac{v_{smax}}{3,6} \cdot t_1 \quad (22)$$

$$s_p = \frac{5}{3,6} \cdot 1$$

$$s_p = 1,389 \text{ m}$$

Rovnice (22), kde:

$$v_{smax}=5 \text{ km/h} \quad \text{maximální rychlost pojezdu stroje [km/h], z Tab. 3}$$

$$t_1=1 \text{ s} \quad \text{doba pro výpočet poloměru zatáčení}$$

Maximální uražená úhlová dráha v čase jedné sekundy:

$$\varphi_o = 2\pi \cdot \frac{\varphi_{km} \cdot f_{km1000}}{360 \cdot i_p} \cdot t_1 \quad (23)$$

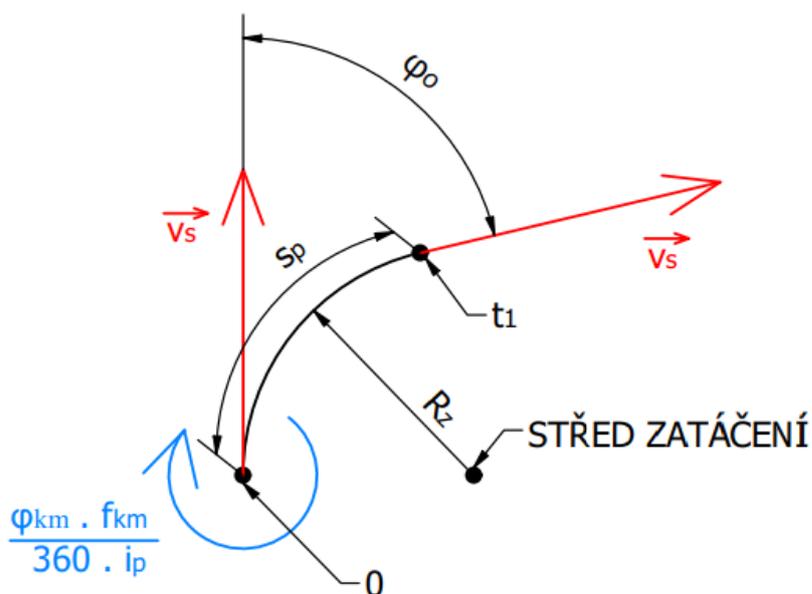
$$\varphi_o = 2\pi \cdot \frac{1,8 \cdot 1000}{360 \cdot 23,5} \cdot 1$$

$$\varphi_o = 1,337 \text{ rad}$$

Rovnice (23), kde:

$\varphi_{km}=1,8^\circ$	velikost natočení krokového motoru na jeden pulz [$^\circ$], z přílohy 9
$f_{km1000}=1000$ Hz	Maximální použitá frekvence pulzů krokového motoru [Hz], z přílohy 9
$i_p=23,5$	převodový poměr převodovky [-], z přílohy 8
$t_1=1$ s	doba pro výpočet poloměru zatáčení

Po získání hodnot z rovnice (22) a (23) je vytvořeno kinematické schéma, kde se uražená dráha přenesse na délku oblouku s_p v čase t_1 a uražená úhlová dráha se přenesse na úhel mezi tečnami oblouku φ_o v čase t_1 :



Obr. 98 Kinematické schéma pro výpočet poloměru zatáčení stroje

Pomocí kinematických rovnic je získána rovnice nejmenšího poloměru zatáčení:

$$R_z = \frac{s_p}{\varphi_o} \quad (24)$$

$$R_z = \frac{1,389}{1,337}$$

$$R_z = 1,039 \text{ m}$$

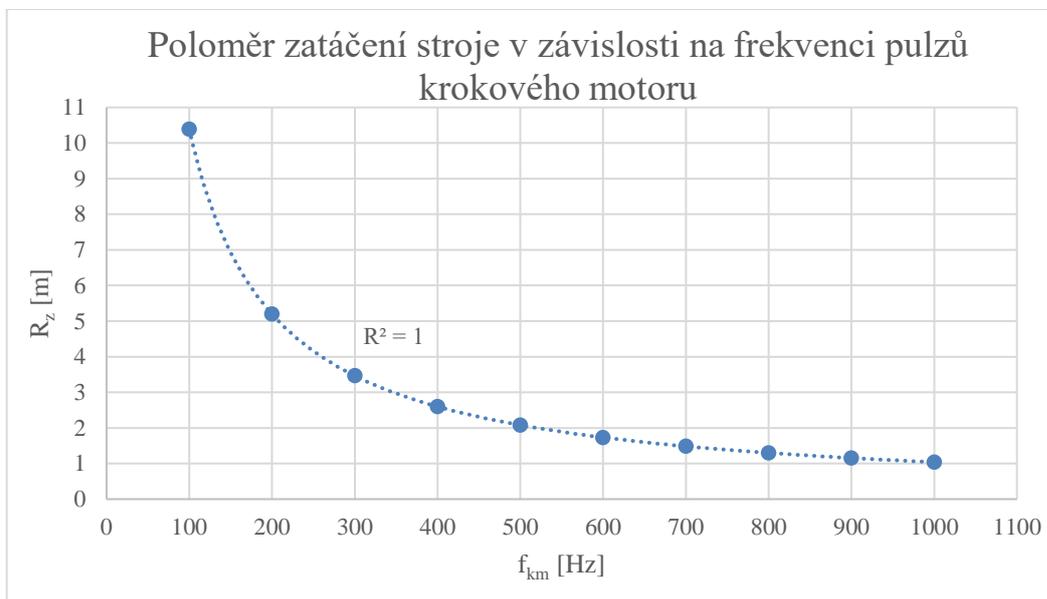
Rovnice (24), kde:

$s_p=1,389$ m maximální uražená dráha pojezdu [m], z rovnice (22)

$\varphi_o=1,337$ rad maximální uražená úhlová dráha [rad], z rovnice (23)

Z rovnice (24) vyplývá, že nejmenší použitelný poloměr zatáčení je přibližně jeden metr. Této hodnotě také musí odpovídat šířka záběru postřiků na každou stranu, která by neměla být větší než poloměr zatáčení.

Pokud se do výpočtu poloměru zatáčení stroje dosadí hodnoty frekvence pulzů krokového motoru HN 200 3451 od firmy AMETEK (PŘÍLOHA 9) a bude uvažována konstantní rychlost pojezdu, lze docílit proměnlivého poloměru zatáčení.



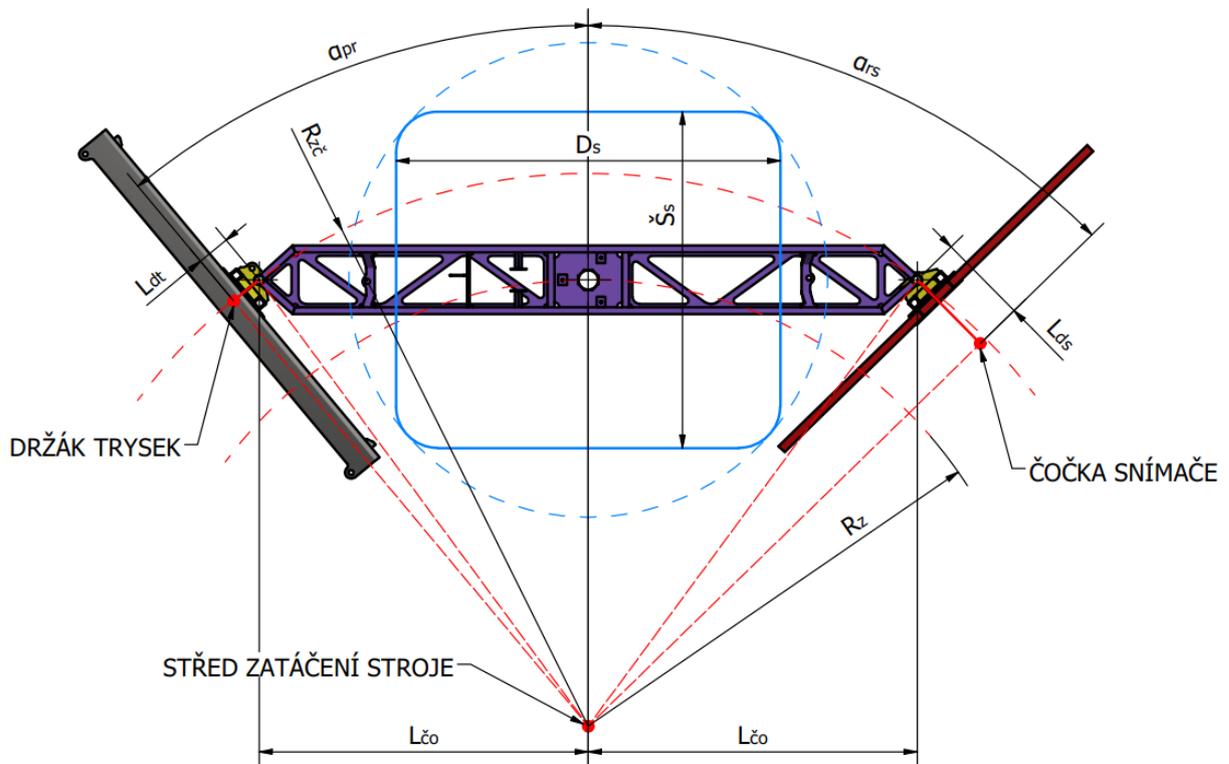
Obr. 99 Zobrazení změny poloměru zatáčení v závislosti na použitém rozsahu frekvence pulzů krokového motoru převodovky pomocí regresního polynomu 2. stupně, $R^2=100\%$

8.1.2 ÚHLY NATOČENÍ PŘÍDAVNÝCH RÁMŮ

Samotné otáčení otočného rámu není dostačující, jelikož by přídatné rámy poté nekopírovaly dráhu stroje. Proto je potřeba přídatné rámy natáčet, aby lépe kopírovaly dráhu stroje. Natáčení přídatných rámu pracuje ve dvou režimech. První režim natáčení je spolu s rámem osazeným detekčními snímači a druhý režim natáčení je pouze se samotným postřikovacím rámem.

ÚHLY NATOČENÍ PRVNÍHO REŽIMU NATÁČENÍ

První režim bude používán pro přerušovaný postřik, jelikož využívá předního i zadního přídatného rámu, jak lze vidět na *Obr. 100*. Kinematické schéma se skládá ze čtyř pravoúhlých trojúhelníků.



Obr. 100 Kinematické schéma prvního režimu s poloměry zatáčení (červeně) a naznačeným strojem (modře)

Z kinematického schématu na *Obr. 100* lze pomocí trigonometrie sestavit rovnici poloměru zatáčení čepů otočného rámu z prvního trojúhelníku:

$$R_{zč} = \sqrt{R_z^2 + L_{čo}^2} \quad (25)$$

$$R_{zč} = \sqrt{1,039^2 + 0,95^2}$$

$$R_{zč} = 1,407 \text{ m}$$

Rovnice (25), kde:

$R_z=1,039 \text{ m}$ nejmenší poloměr zatáčení [m], z rovnice (24)

$L_{čo}=0,95 \text{ m}$ vzdálenost čepů od středu otočného rámu [m]

Dále lze sestavit rovnici pro celkový úhel natočení postřikového rámu, který se skládá z úhlu natočení prvního trojúhelníku a z úhlu natočení druhého trojúhelníku. Tento úhel je uvažován pro nejmenší poloměr zatačení:

$$\alpha_{pr} = \operatorname{atan}\left(\frac{L_{\check{c}o}}{R_z}\right) + \operatorname{asin}\left(\frac{L_{dt}}{R_{z\check{c}}}\right) \quad (26)$$

$$\alpha_{pr} = \operatorname{atan}\left(\frac{0,95}{1,039}\right) + \operatorname{asin}\left(\frac{0,096}{1,407}\right)$$

$$\alpha_{pr} = 46,35^\circ$$

Rovnice (26), kde:

$L_{\check{c}o}=0,95$ m vzdálenost čepů od středu otočného rámu [m]

$R_z=1,039$ m nejmenší poloměr zatačení [m], z rovnice (24)

$L_{dt}=0,096$ m vzdálenost držáků trysek od čepu otočného rámu [m]

$R_{z\check{c}}=1,407$ m poloměr zatačení čepu [m], z rovnice (25)

Podobným způsobem jako v rovnicích (25) a (25) je sestavena rovnice pro celkový úhel natočení rámu se snímači:

$$\alpha_{rs} = \operatorname{atan}\left(\frac{L_{\check{c}o}}{R_z}\right) + \operatorname{asin}\left(\frac{L_{ds}}{R_{z\check{c}}}\right) \quad (27)$$

$$\alpha_{rs} = \operatorname{atan}\left(\frac{0,95}{1,039}\right) + \operatorname{asin}\left(\frac{0,26}{1,407}\right)$$

$$\alpha_{rs} = 53,09^\circ$$

Rovnice (27), kde:

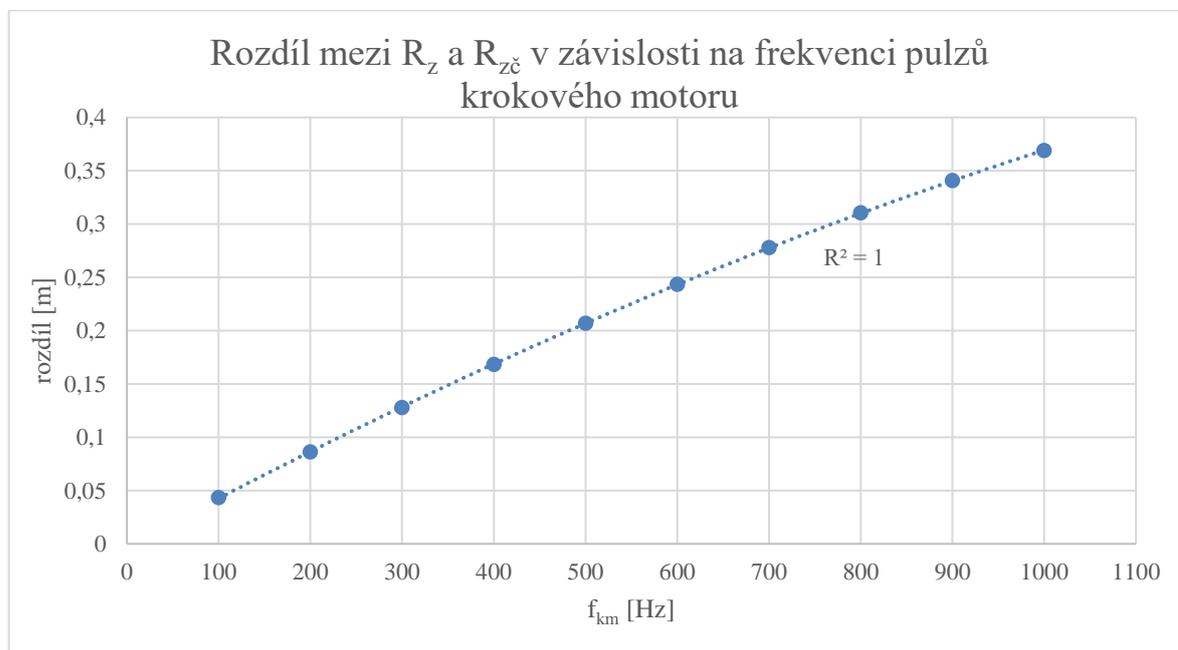
$L_{\check{c}o}=0,95$ m vzdálenost čepů od středu otočného rámu [m]

$R_z=1,039$ m nejmenší poloměr zatačení [m], z rovnice (24)

$L_{ds}=0,2$ m vzdálenost čočky snímače od čepu otočného rámu [m]

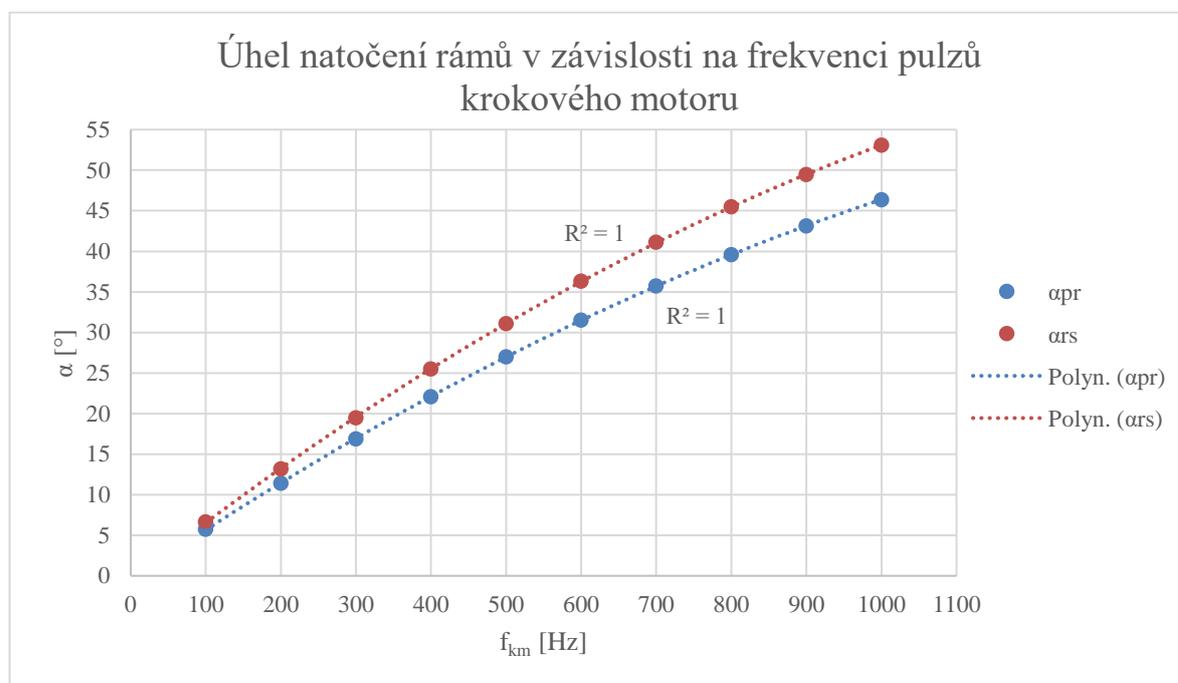
$R_{z\check{c}}=1,407$ m poloměr zatačení čepu [m], z rovnice (25)

U prvního režimu lze pozorovat značné rozdíly mezi poloměrem zatačení stroje a poloměrem zatačení čepu otočného rámu. Tento rozdíl se snižuje s narůstajícím poloměrem zatačení stroje, což lze vidět na *Obr. 101*.



Obr. 101 Zobrazení závislosti rozdílu mezi poloměrem zatačení stroje a poloměrem zatačení čepů v závislosti na použitém rozsahu frekvence pulzů krokového motoru převodovky pomocí regresního polynomu 2. stupně, $R^2=100\%$

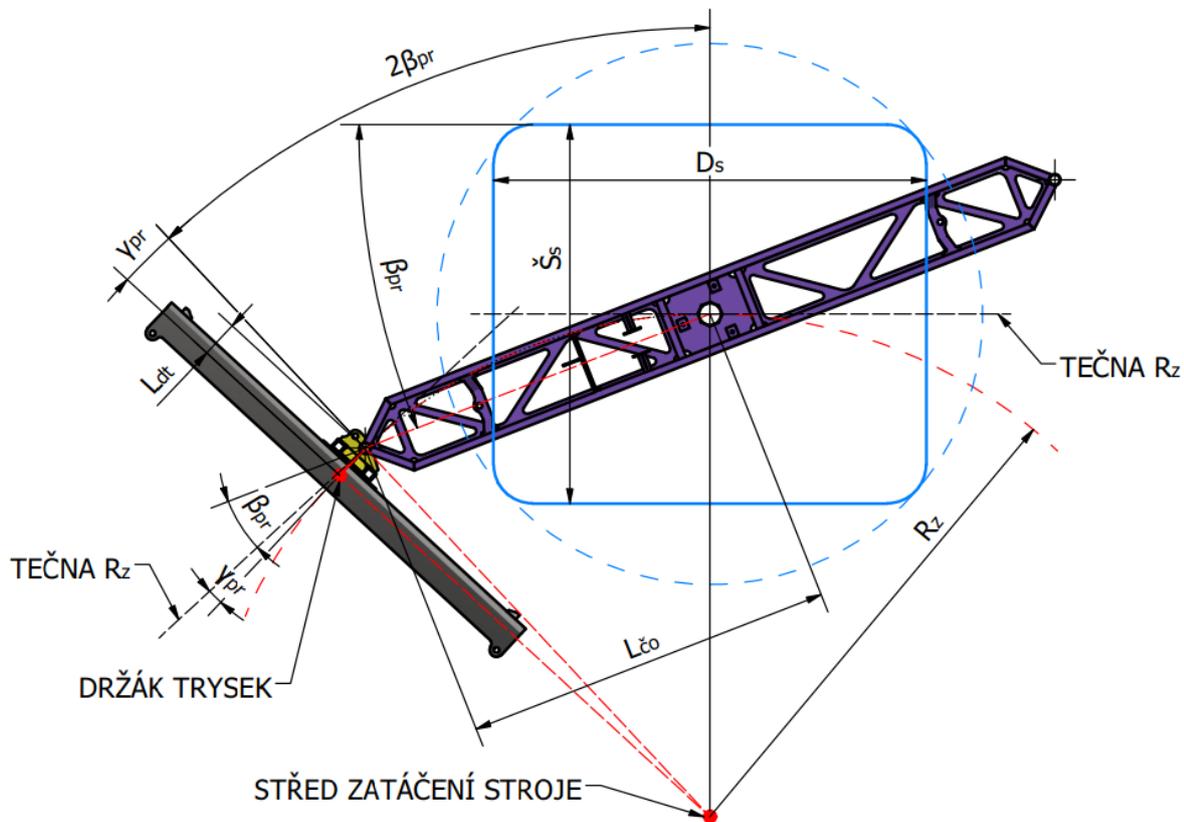
Na *Obr. 102* lze také vidět proměnlivost natočení obou rámu.



Obr. 102 Zobrazení úhlu natočení přídatných rámu v závislosti na použitém rozsahu frekvence pulzů krokového motoru převodovky pomocí regresního polynomu 2. stupně, $R^2=100\%$

ÚHEL NATOČENÍ SAMOSTATNÉHO POSTŘIKOVÉHO RÁMU (DRUHÝ REŽIM NATÁČENÍ)

Druhý režim nejvíce vyhovuje používání pro stálý postřik, jelikož skvěle kopíruje dráhu stroje při zatačení, jak lze vidět na *Obr. 103*. Kinematické schéma se skládá z rovnoramenného trojúhelníků s délkou ramen o velikosti poloměru zatačení a pravoúhlého trojúhelníku.



Obr. 103 Kinematické schéma druhého režimu s poloměrem zatačení (červeně) a naznačeným strojem (modře)

Z kinematického schématu na *Obr. 103* lze pomocí trigonometrických rovnic dostat rovnici pro úhel natočení otočného rámu z prvního rovnoramenného trojúhelníku:

$$\beta_{or} = \text{asin} \left(\frac{L_{\check{c}o}}{2 \cdot R_z} \right) \quad (28)$$

$$\beta_{or} = \text{asin} \left(\frac{0,95}{2 \cdot 1,039} \right)$$

$$\beta_{or} = 27,2^\circ$$

Rovnice (28), kde:

$L_{\check{c}o}=0,95$ m vzdálenost čepů od středu otočného rámu [m]

$R_z=1,039$ m nejmenší poloměr zatačení [m], z rovnice (24)

Dále lze sestavit rovnici pro úhel natočení postřikového rámu, který se skládá z úhlu natočení otočného rámu, který se přenáší po kružnici přes tečnu poloměru zatáčení a úhlu získaného z druhého trojúhelníku:

$$\gamma_{pr} = \beta_{or} + \text{asin}\left(\frac{L_{dt}}{R_z}\right) \quad (29)$$

$$\gamma_{pr} = 27,2 + \text{asin}\left(\frac{0,096}{1,039}\right)$$

$$\gamma_{pr} = 32,5^\circ$$

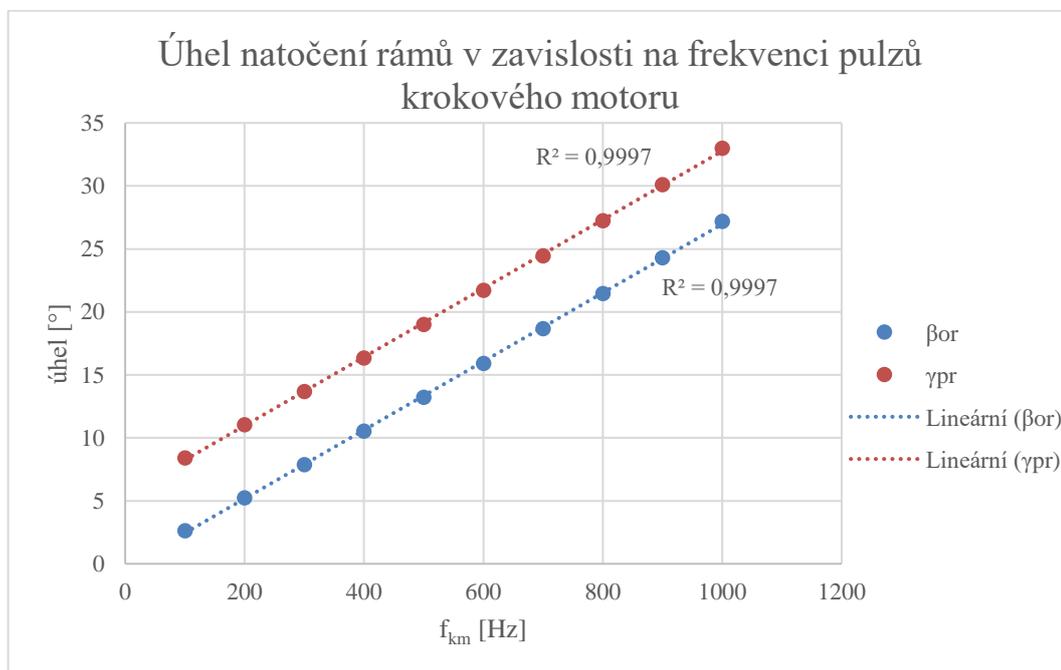
Rovnice (29), kde:

$\beta_{or}=27,2^\circ$ úhel natočení otočného rámu [°], z rovnice (28)

$L_{dt}=0,096$ m vzdálenost držáků trysek od čepu otočného rámu [m]

$R_z=1,039$ m nejmenší poloměr zatáčení [m], z rovnice (24)

Na Obr. 104 lze závislost natočení obou rámu vůči frekvenci krokového motoru.



Obr. 104 Zobrazení úhlu natočení otočného a postřikového rámu v závislosti na použitém rozsahu frekvence pulzů krokového motoru převodovky pomocí regresní přímky, $R^2=99,97\%$

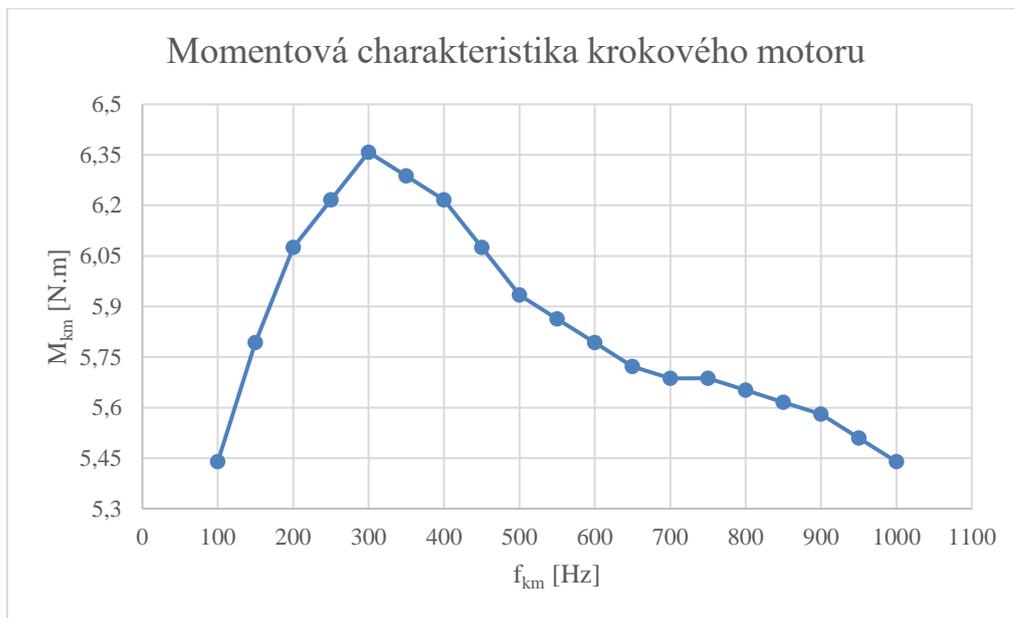
Tento režim je možné využít i při postřikování bez průjezdu stroje přes ošetřovanou oblast díky upnutí okrajů postřikového rámu k otočnému rámu.

8.2 NÁVRH POHONŮ OTOČENÉHO RÁMU

Návrh pohonů vychází z návrhu kinematiky otočného rámu, kdy se do výpočtu zahrnují setrvačné účinky součástí.

8.2.1 POHON OTOČNÉHO RÁMU

Pro návrh pohonu celého otočného rámu jsou do výpočtu zahrnuty setrvačné účinky otočného rámu a obou přidavných rámu. Výsledný moment setrvačnosti k ose rotace je značně závislý na proměnlivé šířce záběru přidavných rámu. Setrvačné účinky hřídele otočného rámu, šnekového hřídele a rotoru krokového motoru jsou zanedbány. Pro výpočet pohonu otočného rámu je použita převzatá momentová křivka na *Obr. 105* (PŘÍLOHA 9).



Obr. 105 Zobrazení průběhu krouticího momentu krokového motoru v závislosti na požitém rozsahu jeho frekvence pulzů

Výsledná rovnice úhlového zrychlení otočného rámu:

$$\varepsilon_{or} = \frac{M_{km1000} \cdot i_p \cdot \eta_p}{J_{orc}} \quad (30)$$

$$\varepsilon_{or} = \frac{5,44 \cdot 23,5 \cdot 0,606}{32,374}$$

$$\varepsilon_{or} = 2,393 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Rovnice (30), kde:

$M_{km1000}=5,43 \text{ N.m}$	kroticí moment krokového motoru při frekvenci pulzů 1000 Hz [N.m], z <i>Obr. 105</i>
$i_p=23,5$	převodový poměr převodovky [-], z přílohy 8
$\eta_p=0,606$	účinnost převodovky [-], z programu Autodesk Inventor
$J_{orc}=32,374 \text{ kg.m}^2$	celkový moment setrvačnosti otočného rámu s přídatnými rámy [kg.m ²], z programu Autodesk Inventor

Výpočet doby zrychlení otočného rámu je uvažován pro maximální otáčky otočného rámu:

$$t_{zor} = 2\pi \cdot \frac{\varphi_{km} \cdot f_{km1000}}{360 \cdot i_p} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{or}} \quad (31)$$

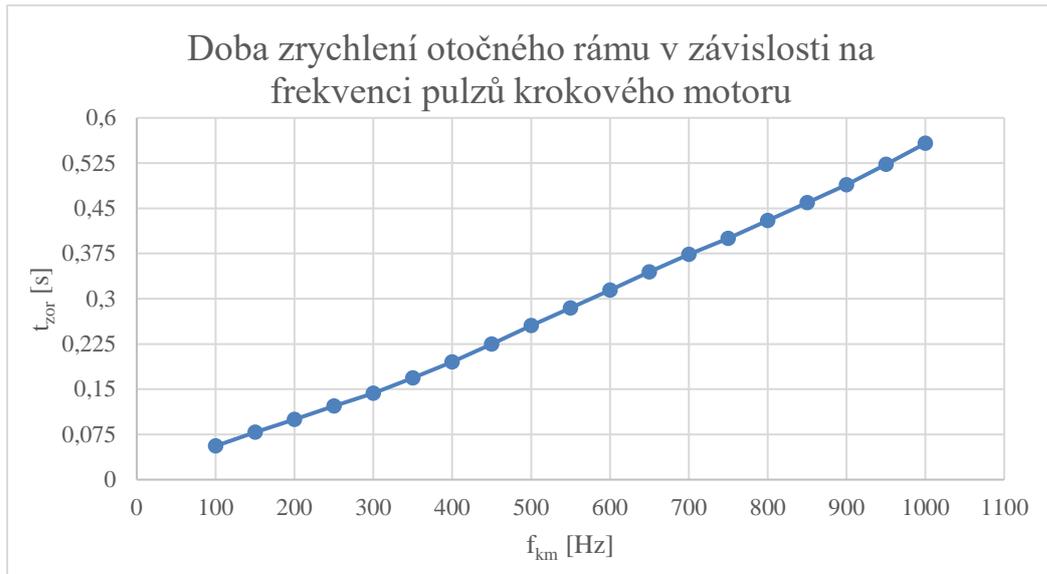
$$t_{zor} = 2\pi \cdot \frac{1,8 \cdot 1000}{360 \cdot 23,5} \cdot \frac{1}{2,393}$$

$$t_{zor} = 0,559 \text{ s}$$

Rovnice (31), kde:

$\varphi_{km}=1,8^\circ$	velikost natočení rotoru na jeden pulz [°], z přílohy 9
$f_{km1000}=1000 \text{ Hz}$	Maximální použitá frekvence pulzů [Hz], z přílohy 9
$i_p=23,5$	převodový poměr převodovky [-], z přílohy 8
$\varepsilon_{or}=2,393 \text{ rad/s}^2$	úhlové zrychlení otočného rámu [rad/s ²], z rovnice (30)

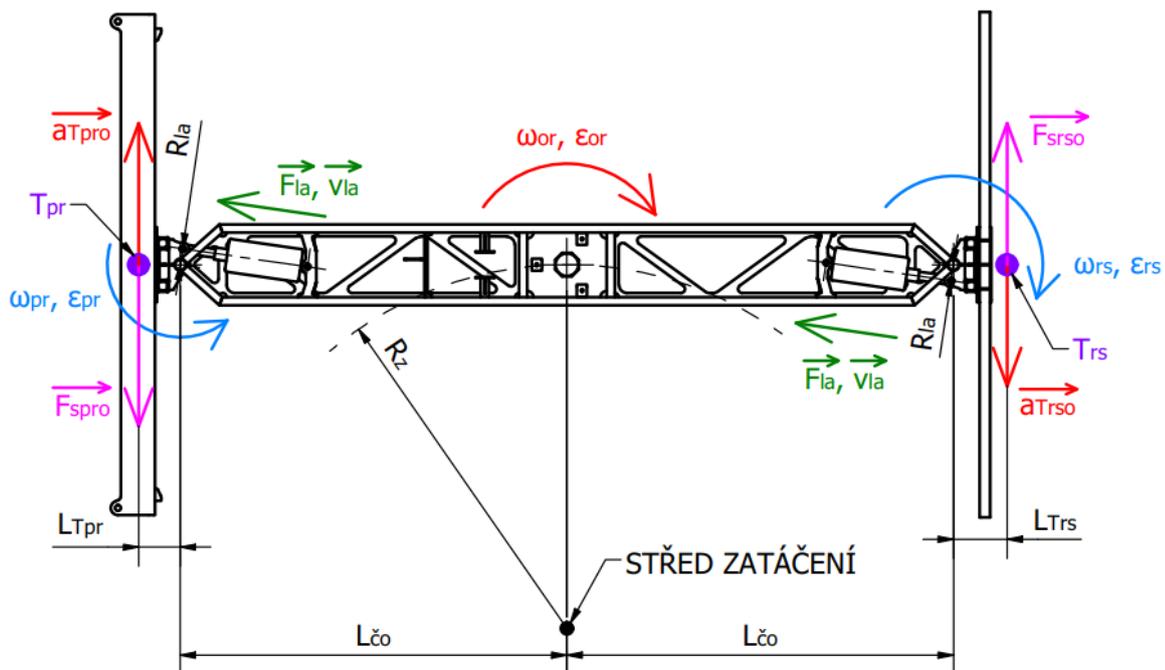
Pokud se do rovnice (30) a (31) dosadí hodnoty momentu z momentové charakteristiky z *Obr. 105*, lze dopočítat jednotlivé doby zrychlení při různých frekvencích pulzů.



Obr. 106 Zobrazení doby zrychlení otočného rámu v závislosti na použitém rozsahu frekvence pulzů krokového motoru převodovky

8.2.2 POHON PŘÍDAVNÝCH RÁMŮ

Pro návrh pohonu přídatných rámu jsou do výpočtu zahrnuty setrvačné účinky jednotlivých přídatných rámu. Do výpočtu je také připočítán setrvačný moment, který vzniká při rotaci otočného rámu. Pro výpočet pohonu přídatných rámu jsou použity hodnoty z katalogového listu lineárního aktuátoru (PŘÍLOHA 6) a dynamické schéma na Obr. 107.



Obr. 107 Dynamické schéma pro výpočet pohonů postřikového rámu a rámu s detekčními snímači

Rovnice setrvačné síly postřikového rámu od úhlového zrychlení otočného rámu:

$$F_{\text{spror}} = m_{\text{pr}} \cdot \varepsilon_{\text{or}} \cdot (L_{\text{čo}} + L_{\text{Tpr}}) \quad (32)$$

$$F_{\text{spror}} = 12 \cdot 2,393 \cdot (0,95 + 0,102)$$

$$F_{\text{spror}} = 30,21 \text{ N}$$

Rovnice (32), kde:

$m_{\text{pr}}=12 \text{ kg}$	hmotnost postřikového rámu [kg]
$\varepsilon_{\text{or}}=2,393 \text{ rad/s}^2$	úhlové zrychlení otočného rámu [rad/s ²], z rovnice (30)
$L_{\text{čo}}=0,95 \text{ m}$	vzdálenost čepů od středu otočného rámu [m]
$L_{\text{Tpr}}=0,102 \text{ m}$	vzdálenost těžiště postřikového rámu od čepu otočného rámu [m]

Rovnice setrvačné síly rámu s detekčními snímači od úhlového zrychlení otočného rámu:

$$F_{\text{srsor}} = m_{\text{rs}} \cdot \varepsilon_{\text{or}} \cdot (L_{\text{čo}} + L_{\text{Trs}}) \quad (33)$$

$$F_{\text{srsor}} = 7 \cdot 2,393 \cdot (0,95 + 0,13)$$

$$F_{\text{srsor}} = 18,09 \text{ N}$$

Rovnice (33), kde:

$m_{\text{rs}}=7 \text{ kg}$	hmotnost rámu s detekčními snímači [kg]
$\varepsilon_{\text{or}}=2,393 \text{ rad/s}^2$	úhlové zrychlení otočného rámu [rad/s ²], z rovnice (30)
$L_{\text{čo}}=0,95 \text{ m}$	vzdálenost čepů od středu otočného rámu [m]
$L_{\text{Trs}}=0,13 \text{ m}$	vzdálenost těžiště rámu s detekčními snímači od čepu otočného rámu [m]

V dynamickém schématu na *Obr. 107* vzniká Coriolisovo zrychlení mezi unášivou úhlovou rychlostí otočného rámu a relativní translační rychlostí lineárního aktuátoru:

$$a_{\text{CORor}} = 2 \cdot 2\pi \cdot \frac{\varphi_{\text{km}} \cdot f_{\text{km}1000}}{360 \cdot i_p} \cdot v_{\text{la}} \quad (34)$$

$$a_{\text{CORor}} = 2 \cdot 2\pi \cdot \frac{1,8 \cdot 1000}{360 \cdot 23,5} \cdot 0,03$$

$$a_{\text{CORor}} = 0,08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

Rovnice (34), kde:

$\varphi_{\text{km}}=1,8^\circ$ velikost natočení rotoru na jeden pulz [$^\circ$], z přílohy 9

$f_{\text{km}1000}=1000 \text{ Hz}$ Maximální použitá frekvence pulzů [Hz], z přílohy 9

$i_p=23,5$ převodový poměr převodovky [-], z přílohy 8

$v_{\text{la}}=0,03 \text{ m/s}$ rychlost vysunutí lineárního aktuátoru [m/s], z přílohy 6

Kvůli své malé maximální hodnotě je Coriolisovo zrychlení z rovnice (34) zanedbáno. Výsledná rovnice úhlového zrychlení postřikového rámu z *Obr. 107* bude ve tvaru:

$$\varepsilon_{\text{pr}} = \frac{F_{\text{la}} \cdot R_{\text{la}} - F_{\text{spror}} \cdot L_{\text{Tpr}}}{J_{\text{prčo}}} \quad (35)$$

$$\varepsilon_{\text{pr}} = \frac{800 \cdot 0,04 - 30,21 \cdot 0,102}{6,825}$$

$$\varepsilon_{\text{pr}} = 4,237 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Rovnice (2), kde:

$F_{\text{la}}=800 \text{ N}$ síla lineárního aktuátoru [N], z přílohy 6

$R_{\text{la}}=0,04 \text{ m}$ rozteč oka lineárního aktuátoru a čepu otočného rámu [m]

$F_{\text{spror}}=30,21 \text{ N}$ setrvačná síla postřikového rámu od úhlového zrychlení otočného rámu [N], z rovnice (32)

$L_{\text{Tpr}}=0,102 \text{ m}$ vzdálenost těžiště postřikového rámu od čepu otočného rámu [m]

$J_{\text{prčo}}=6,825 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ moment setrvačnosti postřikového rámu k čepu otočného rámu [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$], z programu Autodesk Inventor

Obdobným způsobem se získá rovnice úhlového zrychlení rámu s detekčními snímači:

$$\varepsilon_{rs} = \frac{F_{la} \cdot R_{la} + F_{srsor} \cdot L_{Trs}}{J_{rs\check{c}o}} \quad (36)$$

$$\varepsilon_{rs} = \frac{800 \cdot 0,04 + 18,09 \cdot 0,13}{3,694}$$

$$\varepsilon_{rs} = 9,297 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-2}$$

Rovnice (36), kde:

$F_{la}=800 \text{ N}$	síla lineárního aktuátoru [N], z přílohy 6
$R_{la}=0,04 \text{ m}$	rozteč oka lineárního aktuátoru a čepu otočného rámu [m]
$F_{srsor}=18,09 \text{ N}$	setrvačná síla rámu s detekčními snímači od úhlového zrychlení otočného rámu [N], z rovnice (33)
$L_{Trs}=0,13 \text{ m}$	vzdálenost těžiště rámu s detekčními snímači od čepu otočného rámu [m]
$J_{rs\check{c}o}=3,694 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$	moment setrvačnosti rámu s detekčními snímači k čepu otočného rámu [$\text{kg} \cdot \text{m}^2$], z programu Autodesk Inventor

Rovnice doby zrychlení postřikového rámu:

$$t_{zpr} = \frac{v_{la}}{R_{la}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{pr}} \quad (37)$$

$$t_{zpr} = \frac{0,03}{0,04} \cdot \frac{1}{4,237}$$

$$t_{zpr} = 0,177 \text{ s}$$

Rovnice (37), kde:

$v_{la}=0,03 \text{ m/s}$	rychlost vysunutí lineárního aktuátoru [m/s], z přílohy 6
$R_{la}=0,04 \text{ m}$	rozteč oka lineárního aktuátoru a čepu otočného rámu [m]
$\varepsilon_{pr}=4,237 \text{ rad/s}^2$	úhlové zrychlení postřikového rámu [rad/s^2], z rovnice (35)

Rovnice doby zrychlení rámu s detekčními snímači:

$$t_{zrs} = \frac{v_{la}}{R_{la}} \cdot \frac{1}{\varepsilon_{rs}} \quad (38)$$

$$t_{zrs} = \frac{0,03}{0,04} \cdot \frac{1}{9,297}$$

$$t_{zrs} = 0,081 \text{ s}$$

Rovnice (38), kde:

$v_{la}=0,03 \text{ m/s}$ rychlost vysunutí lineárního aktuátoru [m/s], z přílohy 6

$R_{la}=0,04 \text{ m}$ rozteč oka lineárního aktuátoru a čepu otočného rámu [m]

$\varepsilon_{rs}=9,297 \text{ rad/s}^2$ úhlové zrychlení rámu s detekčními snímači [rad/s²], z rovnice (36)

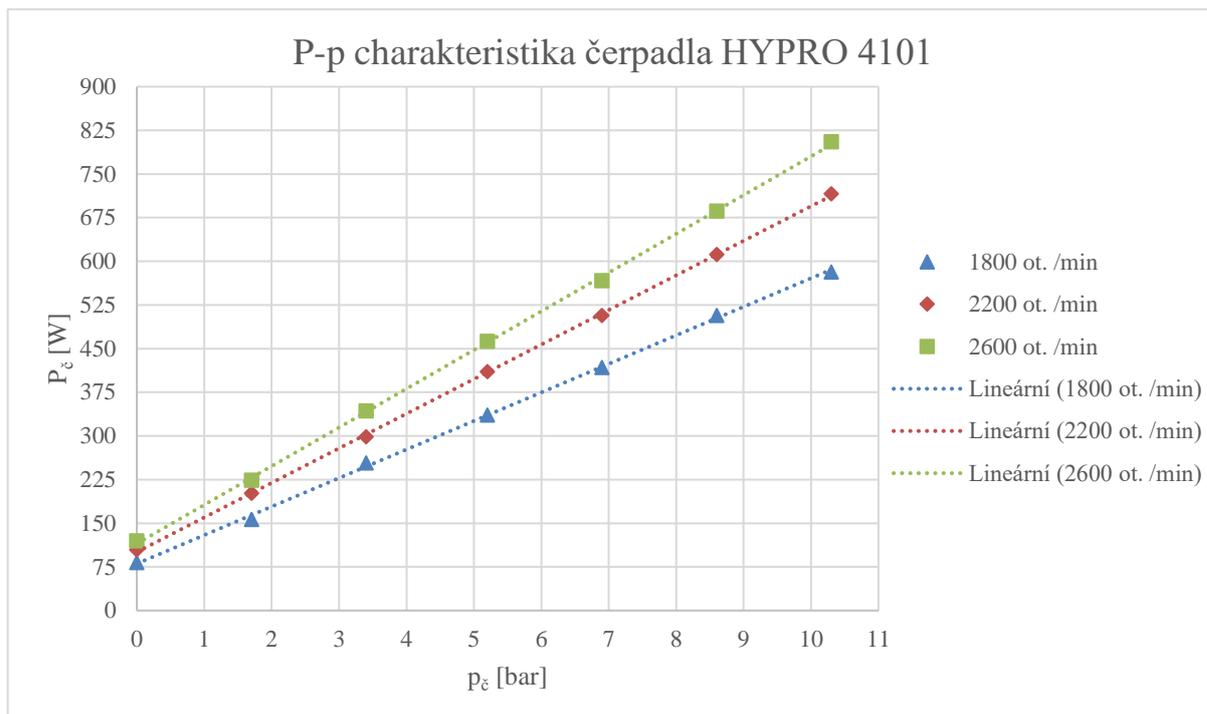
8.3 NÁVRH POHONU ČERPADLA

Podobně jako u kapitoly 6.2 jsou výrobcem dány data pro P-p charakteristiku, která není kompletní. Data jsou zadána v jednotce koňské síly a pro výpočet jsou převedena na jednotku Watt.

Tab. 8 Data pro P-p charakteristiku čerpadla HYPRO 4101 (PŘÍLOHA 1)

p [bar]	P [hp]			P [W]		
	0	0,11	0,14	0,16	82,03	104,40
1,7	0,21	0,27	0,30	156,60	201,34	223,71
3,4	0,34	0,40	0,46	253,54	298,28	343,02
5,2	0,45	0,55	0,62	335,57	410,14	462,33
6,9	0,56	0,68	0,76	417,59	507,08	566,73
8,6	0,68	0,82	0,92	507,08	611,47	686,04
10,3	0,78	0,96	1,08	581,65	715,87	805,36
	n [ot./min]			n [ot./min]		
	1800	2200	2600	1800	2200	2600

Z Tab. 8 je vytvořen graf s ukázkou závislosti výkonu na pracovním tlaku při daných otáčkách. Jednotlivé hodnoty otáček jsou poté proloženy regresní přímkou, která aproximuje závislost výkonu (osa y) na pracovním tlaku (osa x).



Obr. 108 Neúplná P-p charakteristika udávaná výrobcem, hodnoty otáček proloženy regresními přímkami

8.3.1 NÁVRH METODY ŘÍZENÍ MOTORU ČERPADLA

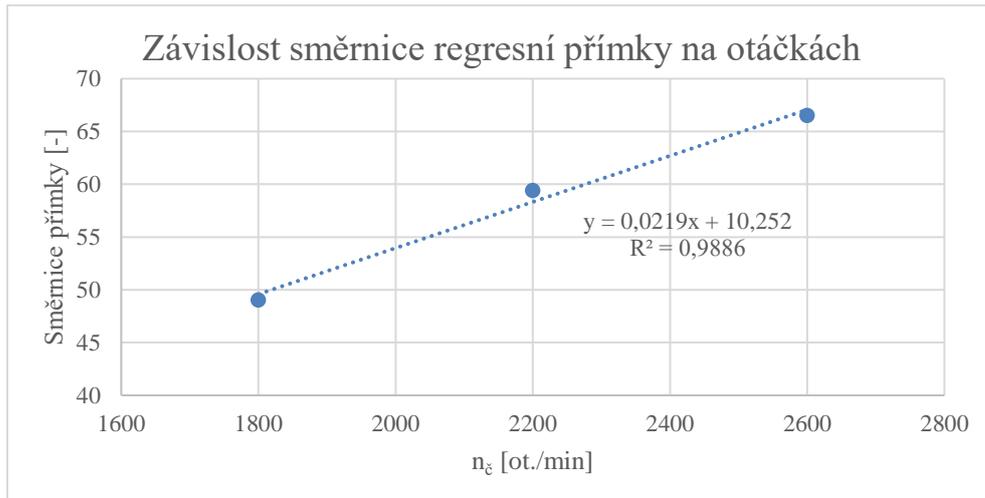
Data pro P-p charakteristiku čerpadla nejsou kompletní, jelikož jsou výrobcem opět uvedena pouze pro tři hodnoty otáček. Proto zde bude uveden pokračující postup metody jako v kapitole 6.2.2, kterým by se dalo čerpadlo lépe ovládat a tím zvýšit variabilitu použití. K návrhu metody řízení čerpadla je použita P-p charakteristika na Obr. 108, kde lze pozorovat velmi vysokou podobnost regresních přímek s hodnotami tlaku a výkonu při daných otáčkách skrze vysoký koeficient determinace.

Tab. 9 Parametry regresních přímek výkonu v závislosti na otáčkách čerpadla

n	směrnice	P_{p0}	R^2
[ot./min]	[-]	[W]	[%]
1800	49,042	80,52	99,93
2200	59,409	100,56	99,98
2600	66,523	115	99,97

PODOBNOST SMĚRNICE REGRESNÍCH PŘÍMEK VÝKONU

Směrnice regresních přímek výkonu jsou závislé na otáčkách a pracovním tlaku. Pokud se použijí hodnoty směrnic z Tab. 9, vznikne graf na Obr. 109, kde lze vidět závislost směrnic regresních přímek na otáčkách.



Obr. 109 Zobrazení závislosti směrnic regresních přímek výkonu na otáčkách čerpadla

Proložení souboru dat regresní přímkou se získá rovnice s koeficientem determinace $R^2=98,86\%$. Tato rovnice je ve tvaru:

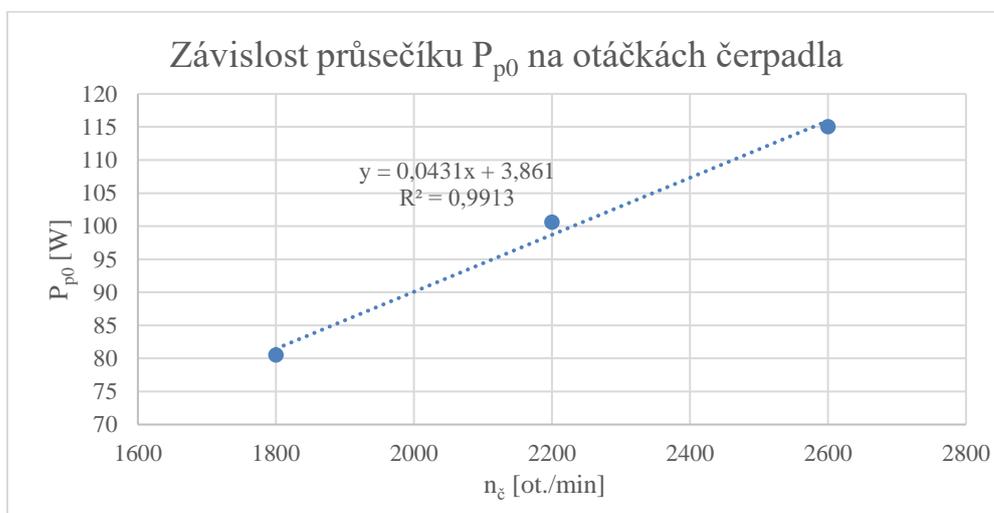
$$y_{srpP} = 0,0219 \cdot n_{\check{c}} + 10,252 \quad (39)$$

Rovnice (39), kde:

$n_{\check{c}}=0-2600$ ot./min otáčky čerpadla [ot./min], z přílohy 1

PODOBNOST PRŮSEČÍKU S OSOU VÝKONU

Pro metodu řízení není dostačující pouze získaná směrnice, ale je nutné získat i hodnotu průsečíku P_{p0} s osou výkonu, a to při nulovém pracovním tlaku. Pokud se použijí hodnoty průsečíků z Tab. 9, vznikne graf na Obr. 110, kde lze vidět závislost průsečíků regresních přímek na otáčkách.



Obr. 110 Zobrazení závislosti průsečíků výkonu při nulovém tlaku na otáčkách čerpadla

Pokud se proloží soubor dat regresní přímkou, získá se rovnice s koeficientem determinace $R^2=99,13\%$. Tato rovnice je ve tvaru:

$$y_{pp0} = 0,0431 \cdot n_{\zeta} + 3,861 \quad (40)$$

Rovnice (40), kde:

$$n_{\zeta}=0-2600 \text{ ot./min} \quad \text{otáčky čerpadla [ot./min], z přílohy 1}$$

VÝSLEDNÁ CHARAKTERISTICKÁ ROVNICE VÝKONU ČERPADLA

Kombinací rovnice (39) a (40) se získá výsledná charakteristická rovnice výkonu čerpadla ve tvaru:

$$P_{\zeta} = 0,0431 \cdot n_{\zeta} + 3,861 + (0,0219 \cdot n_{\zeta} + 10,252) \cdot p_{\zeta} \quad (41)$$

Rovnice (41), kde:

$$n_{\zeta}=0-2600 \text{ ot./min} \quad \text{otáčky čerpadla [ot./min], z přílohy 1}$$

$$p_{\zeta}=0-10,3 \text{ bar} \quad \text{pracovní tlak čerpadla [bar], z přílohy 1}$$

Pokud se do charakteristické rovnice (41) dosadí hodnoty pracovních tlaků a otáček z *Tab. 8*, získá se tabulka hodnot průtoků:

Tab. 10 Hodnoty výkonu získané z charakteristické rovnice výkonu čerpadla

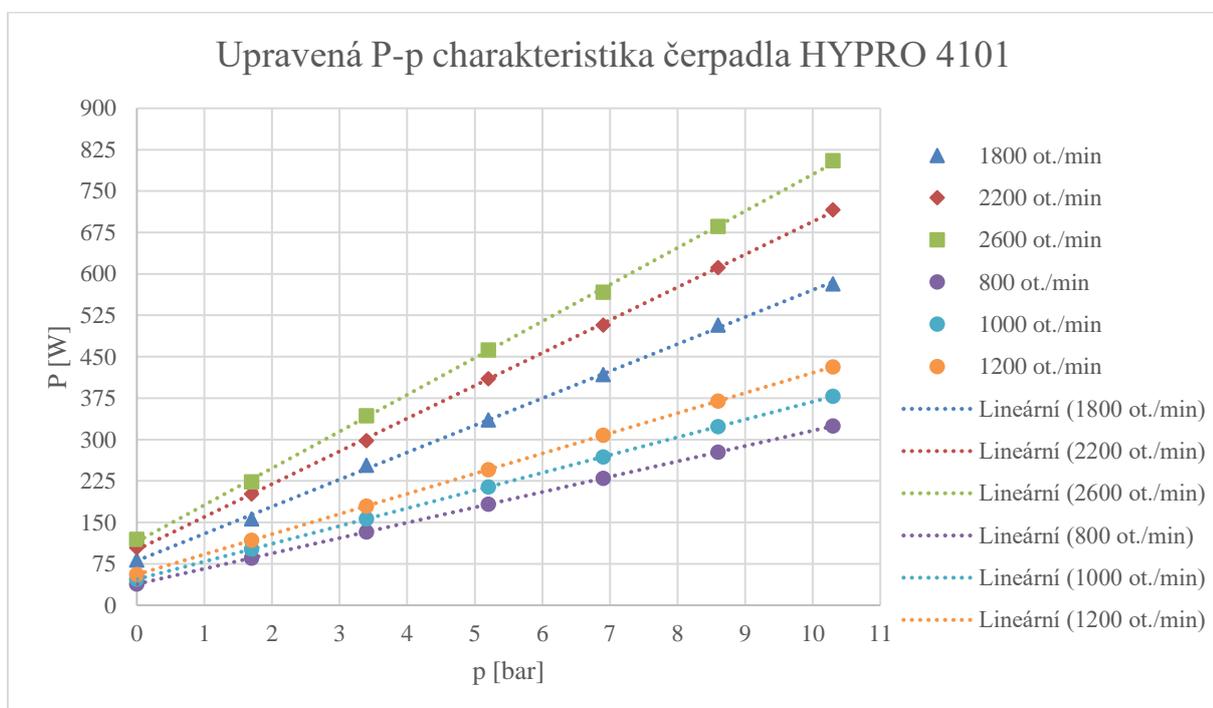
p	P		
[bar]	[W]		
0	81,441	98,681	115,921
1,7	165,883	198,015	230,147
3,4	250,326	297,350	344,374
5,2	339,735	402,527	465,319
6,9	424,178	501,862	579,546
8,6	508,620	601,196	693,772
10,3	593,063	700,531	807,999
	n		
	[ot./min]		
	1800	2200	2600

Tyto výsledné hodnoty jsou porovnány s hodnotami dat z *Tab. 8*, kde jsou výsledné hodnoty děleny zadanými hodnotami při stejném pracovním tlaku a otáčkách:

Tab. 11 Porovnání hodnot získaných z charakteristické rovnice výkonu čerpadla ku zadaným hodnotám

p	P		
[bar]	[W]		
0	0,993	0,945	0,972
1,7	1,059	0,983	1,029
3,4	0,987	0,997	1,004
5,2	1,012	0,981	1,006
6,9	1,016	0,990	1,023
8,6	1,003	0,983	1,011
10,3	1,020	0,979	1,003
	n		
	[ot./min]		
	1800	2200	2600

Z Tab. 11 lze vidět nejmenší získaný poměr 0,945 (sytě červená) a největší získaný poměr 1,059 (sytě zelená), což znamená největší odchylku -5,5 % a +5,9 % od hodnot daných výrobcem. Největší odchylky lze sledovat při nízkých hodnotách výkonu, jelikož zde vzniká vyšší citlivost výsledku z charakteristické rovnice kvůli jednotkám v řádech wattů oproti jednotkám v řádech stovek wattů při vyšším pracovním tlaku. Motor, který pohání čerpadlo musí mít dostatečný výkon pro používané rozmezí pracovního tlaku a otáček, proto je zde možnost použití výkonových řad. V praxi je zapotřebí funkčnost metody ověřit na experimentálním modelu motoru čerpadla.



Obr. 111 Upravená P-p charakteristika, hodnoty otáček proloženy regresními přímkami

Pokud se upraví rovnice (9), lze získat rovnici pro požadované hodnoty otáček při zadaném průtoku čerpadla ve tvaru:

$$n_{\check{c}} = \frac{Q_{\check{c}} + 0,441 \cdot p_{\check{c}} + 0,4076}{0,0104 - 9 \cdot 10^{-5} \cdot p_{\check{c}}} \quad (42)$$

Rovnice (42), kde:

$Q_{\check{c}}=0-27$ l/min průtok čerpadla [l/min], z rovnice (10)

$p_{\check{c}}=0-10,3$ bar pracovní tlak čerpadla [bar], z přílohy 1

Po dosazení rovnice (42) do rovnice (41) je možné dopočítat potřebný výkon a z něho potřebný točivý moment ve tvaru:

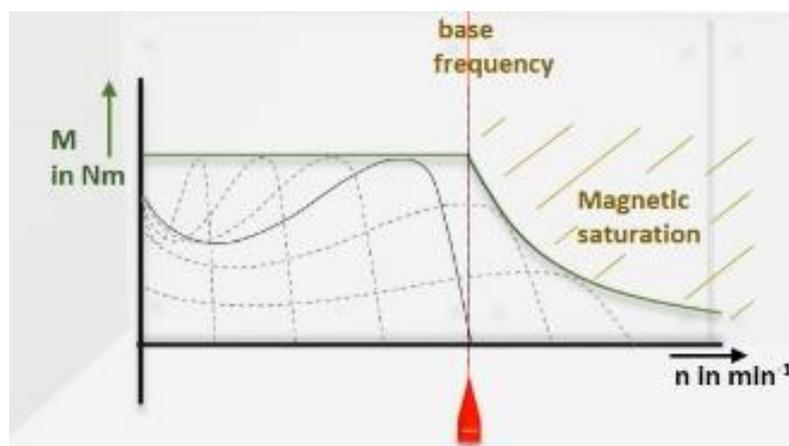
$$M_{t\check{c}} = \frac{P_{\check{c}}}{2\pi \cdot \frac{n_{\check{c}}}{60}} \quad (43)$$

Rovnice (43), kde:

$P_{\check{c}}=0-807$ W výkon čerpadla [W], z rovnice (41)

$n_{\check{c}}=0-2600$ ot./min otáčky čerpadla [ot./min]

Pro motor čerpadla je důležité proměnlivé řízení jeho otáček a točivého momentu. Toho lze docílit použitím měniče frekvence, který umožňuje použití všech pracovních bodů pod horní momentovou křivkou, což lze vidět na *Obr. 112* (zeleně).



Obr. 112 Ukázka principu měniče frekvence (VFD) a použití všech momentových křivek pod horní momentovou křivkou (zeleně) v závislosti na otáčkách [64]

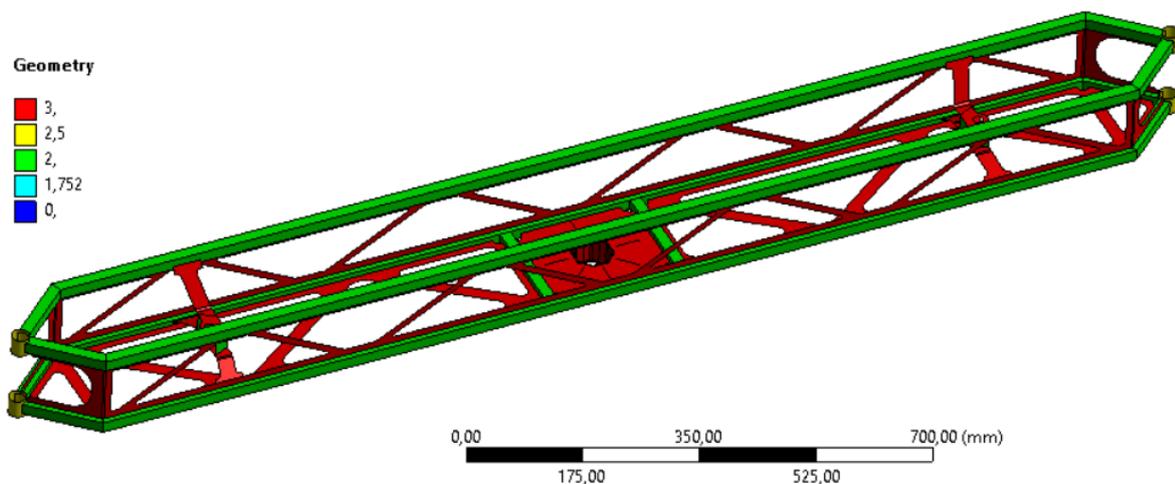
9 MKP ANALÝZA OTOČNÉHO RÁMU

Posledním úkolem v této diplomové práci je provedení pevnostní kontroly pomocí metody konečných prvků (MKP). Metoda je využívána pro kontrolu či optimalizaci návrhu a také při hledání slabých či kritických míst návrhu z hlediska pevnosti a deformací.

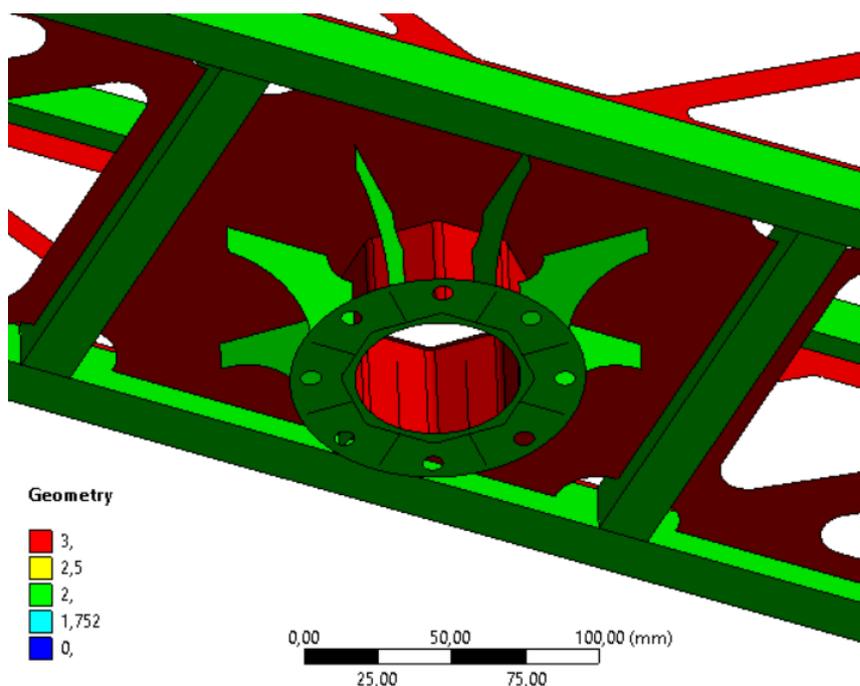
Pevnostní kontrola je provedena pouze pro otočný rám pomocí programu Ansys Workbench R21.1 Academic. Otočný rám je tvořen tenkostěnnými profily a plechovými díly, proto je objemový model převeden na skořepinový.

9.1 PŘÍPRAVA MODELU

Model otočného rámu je vytvořen v programu Autodesk Inventor Professional 2021. Ve výpočtovém modelu je zanedbána většina technologických a konstrukčních prvků (zaoblení profilů a zaoblení ohybů plechových dílů). Po konečné úpravě je výpočtový model následně importován do systémového prostředí Ansys Workbench, kde pomocí příkazu Midsurface dojde k převedení objemových součástí na skořepinové plochy. Tyto plochy jsou následně opraveny a poté napojeny k sobě tak, aby byla vytvořena spojitá konstrukce rámu. Převedený model lze vidět na *Obr. 113*. Poté je použita funkce Share topology, která při tvorbě konečnoprvkové sítě zajistí spojitě napojení součástí pomocí sdílených uzlů. Skořepinovým plochám vytvořených při převedení z objemových částí je dále přiřazena odpovídající tloušťka profilu a také materiál, kterým je ocel S235JR s minimální mezí kluzu 235 MPa [65].

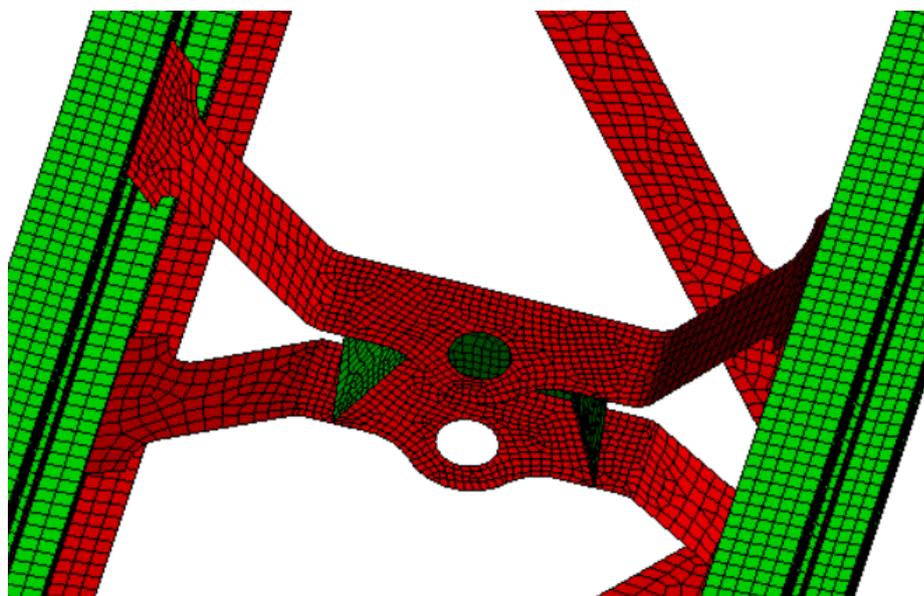


Obr. 113 Skořepinový model otočného rámu s rozdělením tloušťky stěn a plechů podle barevné škály

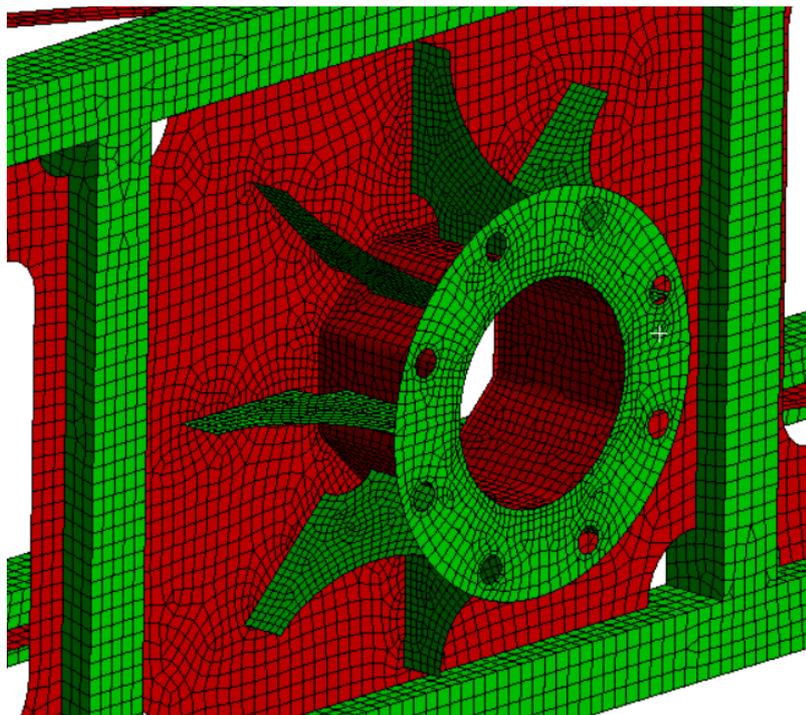


Obr. 114 Detail napojovací příruby k převodovce s rozdělením tloušťky stěn a plechů podle barevné škály

Po tvorbě modelu následuje vytvoření konečnoprvkové sítě (mesh). Při tvorbě této sítě je použit osmiuzlový prvek (Quad8) a v některých případech šestiuzlový prvek (Tri6). Základní velikost prvků sítě je zvolena na 4 mm. Velikost prvků by neměla být menší než polovina tloušťky stěny profilu či plechu. Síť obsahuje 72 862 osmiuzlových a 680 šestiuzlových prvků. Ve vybraných místech je síť zjemněna na velikost 2 mm, aby bylo dosaženo vyšší kvality výsledků.

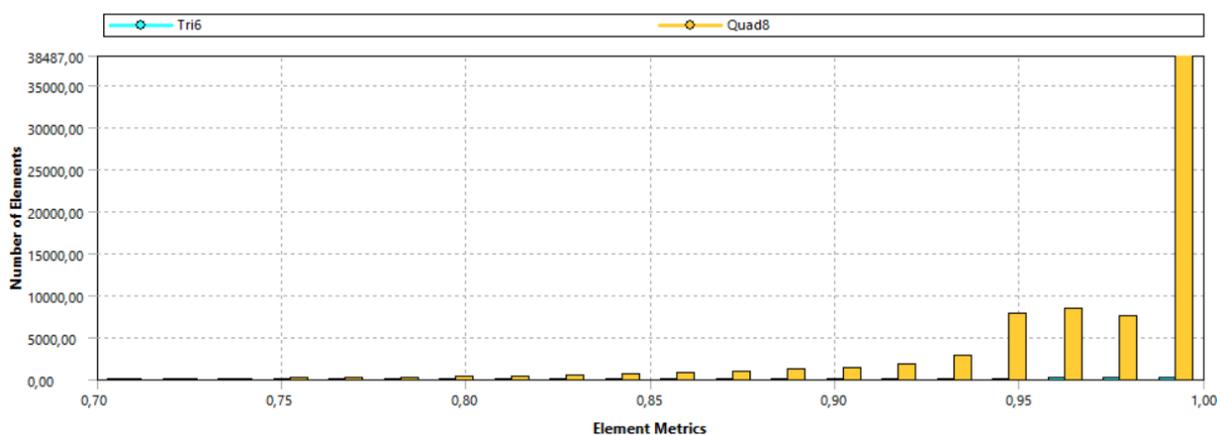


Obr. 115 Detail konečnoprvkové sítě konzoly lineárního aktuátoru se zobrazením zjemnění sítě



Obr. 116 Detail konečnoprvkové sítě napojovací příruby převodovky se zobrazením zjemnění sítě na žebrech

Na Obr. 117 lze vidět rozdělení počtu prvků v závislosti na jejich kvalitě v rozmezí od 0,7 do 1, kde hodnoty blízké jedné označují velmi kvalitní prvky. Kvalitu sítě tímto označit za vyhovující, jelikož se většina prvků pohybuje v kvalitě od 0,9 a vyšší a průměrná kvalita všech prvků se pohybuje okolo hodnoty 0,966. Prvky v kvalitě 0,7 a nižší jsou pouze v řádu desítek, proto nemají značný dopad na vyhodnocené výsledky.



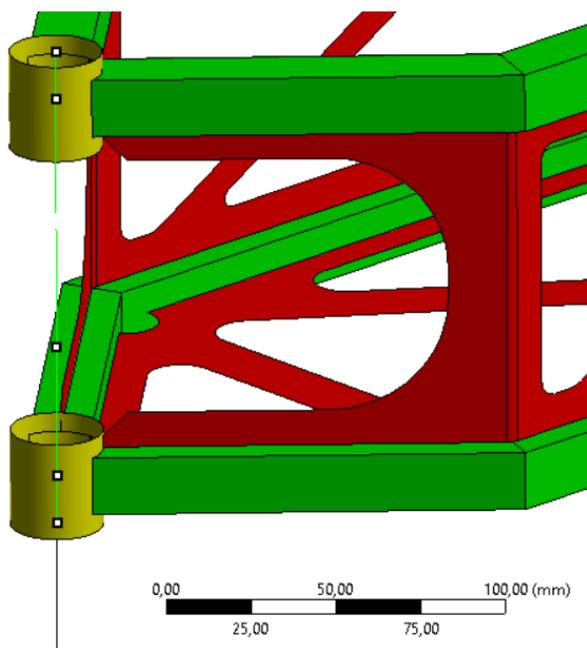
Obr. 117 Rozdělení počtu prvku Tri6 a Quad8 v závislosti na jejich kvalitě

9.2 NÁHRADY A OKRAJOVÉ PODMÍNKY

Pro zjednodušení výpočtového modelu jsou nahrazeny a propojeny níže uvedené prvky.

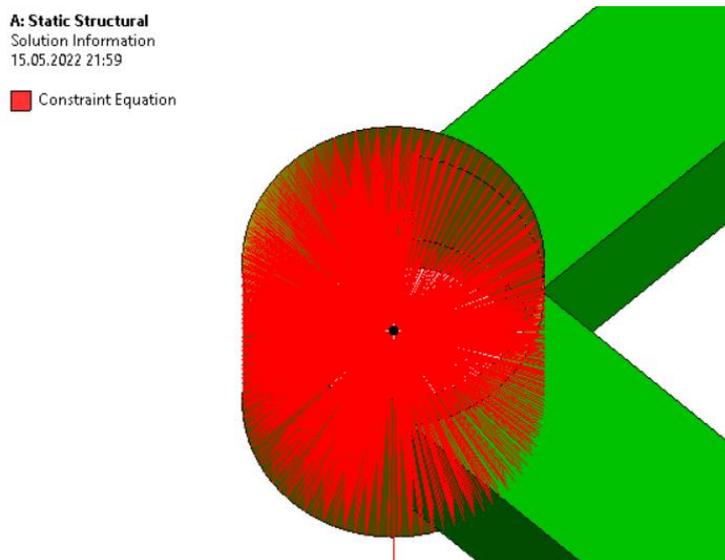
9.2.1 NÁHRADA ČEPU OTOČNÉHO RÁMU

Čep otočného rámu je nahrazen prvkem Beam. Tomu je dána vlastnost Stiff Beam a díky tomu se chová jako dokonale tuhý prut.



Obr. 118 Náhrada čepu otočného rámu prvkem Stiff Beam

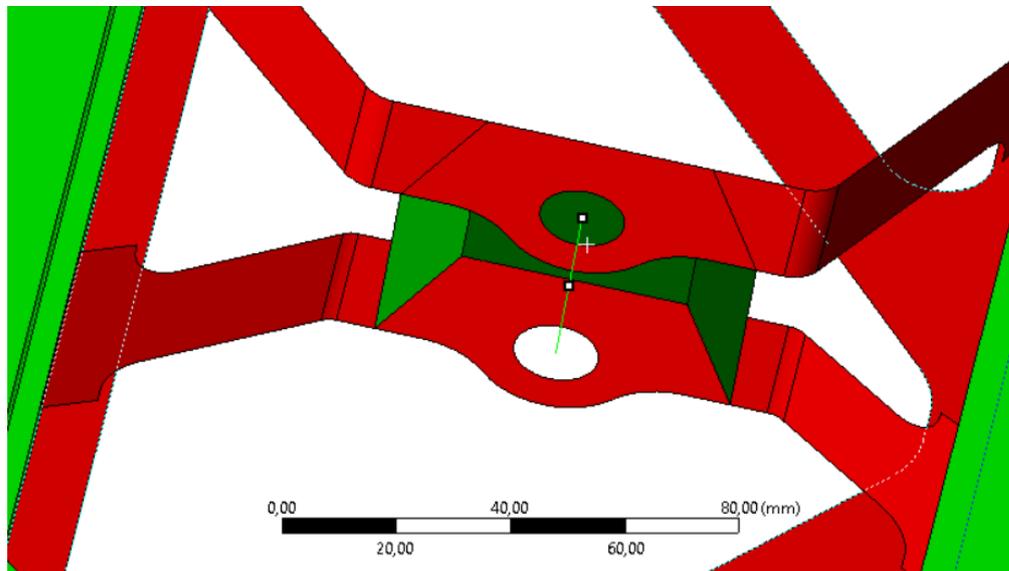
Čep otočného rámu je připojen k objímce rámu pomocí vazby vetknutí (Fixed) do jednoho bodu na prvku Beam. Důvodem je uložení čepu s přesahem.



Obr. 119 Připojení prvku Beam na objímku otočného rámu do jednoho bodu pomocí vazby Fixed

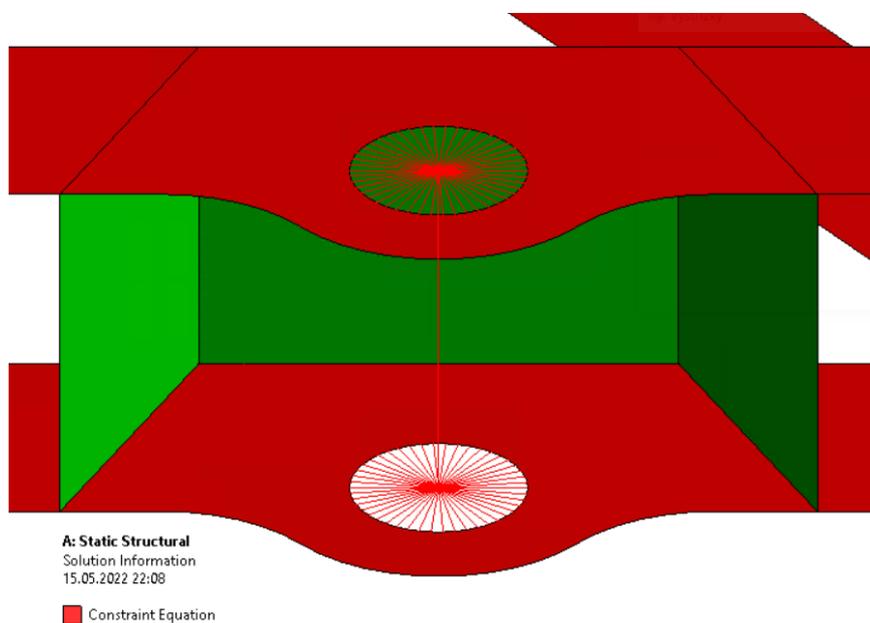
9.2.2 NÁHRADA ČEPU LINEÁRNÍHO AKTUÁTORU

Čep lineárního aktuátoru je nahrazen prvkem Beam. Tomu je dána vlastnost Stiff Beam a díky tomu se chová jako dokonale tuhý prut.



Obr. 120 Náhrada čepu lineárního aktuátoru prvkem Stiff Beam

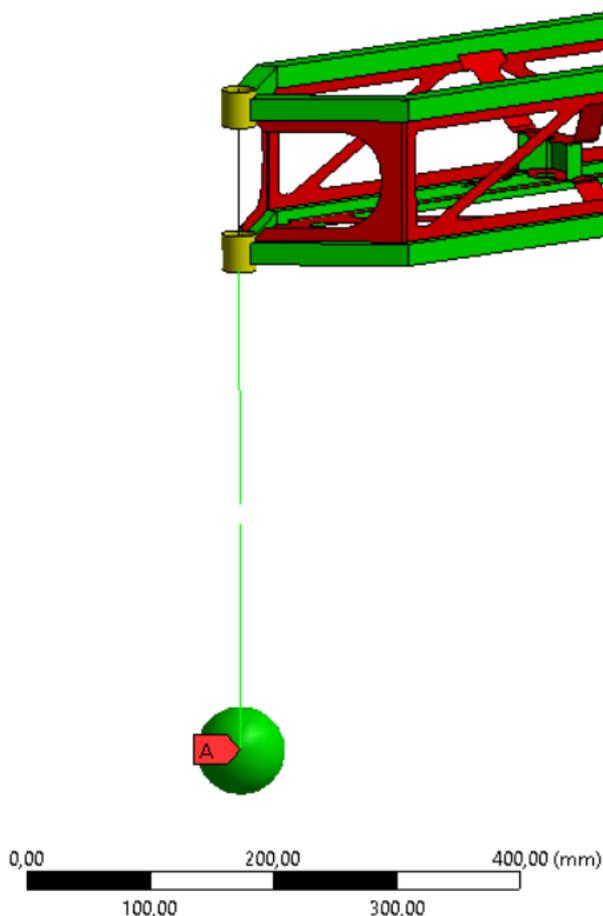
Čep lineárního aktuátoru je připojen ke konzole pomocí otočné vazby (Revolute) do jednoho bodu na koncích prvku Beam.



Obr. 121 Připojení prvku Beam na konzoli lineárního aktuátoru pomocí vazby Revolute dané na oba konce prvku Beam

9.2.3 NÁHRADA PŘÍDAVNÝCH RÁMŮ

Přídavné rámy jsou nahrazeny prvkem Mass Point, který reprezentuje zjednodušení připojovaného dílu či sestavy. Do každého Mass Pointu je přiřazena hmotnost a setrvačné vlastnosti příslušného přídavného rámu. Mass Point je poté propojen s náhradou čepu otoče pomocí prvku Stiff Beam a oba prvky Stiff Beam jsou propojeny vetknutím (Fixed). Důvodem použití prvku Stiff Beam místo prvku Remote Point je zanedbání momentu k ose čepu otočného rámu vzniklým vlivem úhlového zrychlení otočného rámu. Tím lze prvek Point Mass přenést do osy rotace čepu otočného rámu, avšak při zachování největší vzdálenosti vysunutí přídavných rámu ve vertikálním směru.



Obr. 122 Náhrada vysunutí přídavného rámu pomocí prvku Mass Point (A) a Stiff Beam

9.2.4 NÁHRADA PŘIHOJENÍ OTOČNÉHO RÁMU A PŘEVODOVKY

Na Obr. 94 lze vidět konstrukční řešení napojení otočného rámu k převodovce. Z důvodu šroubového propojení je převodovka nahrazena pevnou vazbou vetknutí (Body-to-ground Fixed), která je umístěna na spodní stranu příruby otočného rámu.

9.3 ZÁTĚŽNÝ STAV

Jako zátěžný stav jsou uvažovány účinky z kapitoly 8.2.2, kde jsou pro tento výpočet zanedbány síly F_{spror} a F_{srsor} vzniklé úhlovým zrychlením otočného rámu. Z Obr. 107 lze vidět směry jednotlivých zatížení v závislosti na kinematice pohybu. Podle směru otáčení otočného rámu se odvíjí směr pohybu lineárního aktuátoru, který se zasouvá či vysouvá podle potřeby. Pro zátěžný stav jsou vypočteny síly působící na čepy otočného rámu součtem síly lineárního aktuátoru a setrvačné síly vzniklé od zrychlení přídavného rámu způsobené lineárním aktuátorem.

Rovnice setrvačné síly postřikového rámu při zrychlení od lineárního aktuátoru:

$$F_{sprla} = m_{pr} \cdot \varepsilon_{pr} \cdot L_{Tpr} \quad (44)$$

$$F_{sprla} = 12 \cdot 4,237 \cdot 0,102$$

$$F_{sprla} = 5,186 \text{ N}$$

Rovnice (44), kde:

$m_{pr}=12 \text{ kg}$	hmotnost postřikového rámu [kg]
$\varepsilon_{pr}=4,237 \text{ rad/s}^2$	úhlové zrychlení postřikového rámu [rad/s^2], z rovnice (35)
$L_{Tpr}=0,102 \text{ m}$	vzdálenost těžiště postřikového rámu od čepu otočného rámu [m]

Rovnice setrvačné síly rámu se snímači při zrychlení od lineárního aktuátoru:

$$F_{srsla} = m_{rs} \cdot \varepsilon_{rs} \cdot L_{Trs} \quad (45)$$

$$F_{srsla} = 7 \cdot 9,297 \cdot 0,13$$

$$F_{srsla} = 8,46 \text{ N}$$

Rovnice (45), kde:

$m_{rs}=7 \text{ kg}$	hmotnost rámu s detekčními snímači [kg]
$\varepsilon_{rs}=9,297 \text{ rad/s}^2$	úhlové zrychlení rámu s detekčními snímači [rad/s^2], z rovnice (36)
$L_{Trs}=0,13 \text{ m}$	vzdálenost těžiště rámu s detekčními snímači od čepu otočného rámu [m]

Z rovnice (44) a (45) vychází setrvačné síly velmi nízké, proto budou zanedbány a výsledná síla působící na čep otočného rámu bude stejná a stejně orientovaná jako síla od lineárního aktuátoru, která činí 800 N.

Síla působící na konzolu lineárního aktuátoru je stejná opačně orientovaná oproti síle působící na čep otočného rámu, jelikož se lineární aktuátor zasouvá, což lze vidět na *Obr. 123*.

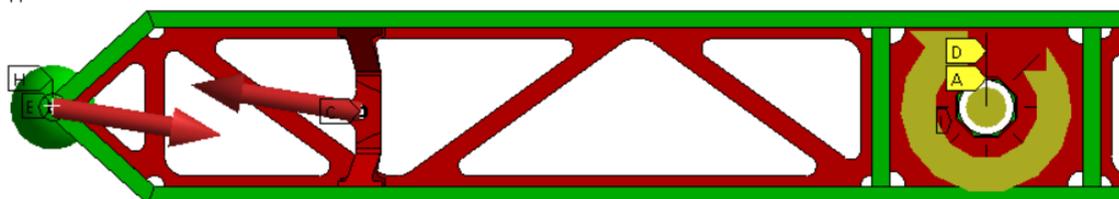
A: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

16.05.2022 0:48

- A** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- B** Force 2: 800,95 N
- C** Force 3: 800,3 N
- D** Rotational Acceleration: 2,393 rad/s²
- E** Force: 800,95 N
- F** Force 4: 800,3 N
- G** Point Mass
- H** Point Mass 2
- I** Fixed Support



Obr. 123 Detail směru dvojice sil (E a C) pro zasouvající se lineární aktuátor podle směru úhlového zrychlení a rotace otočného rámu (D)

Podobným způsobem jsou síly orientovány i pro vysouvající se lineární aktuátor na *Obr. 124*.

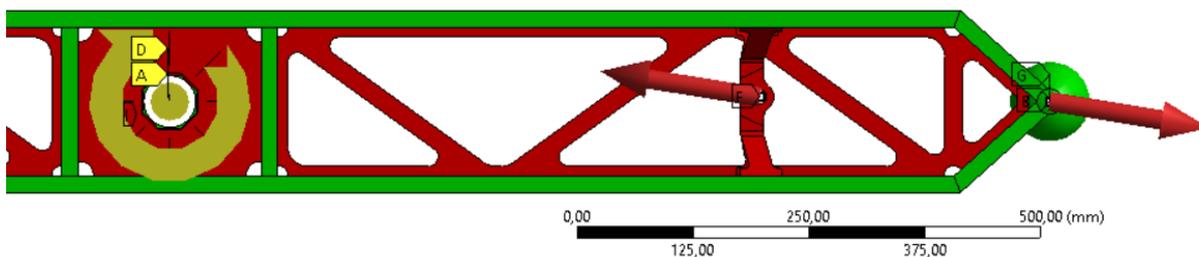
A: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

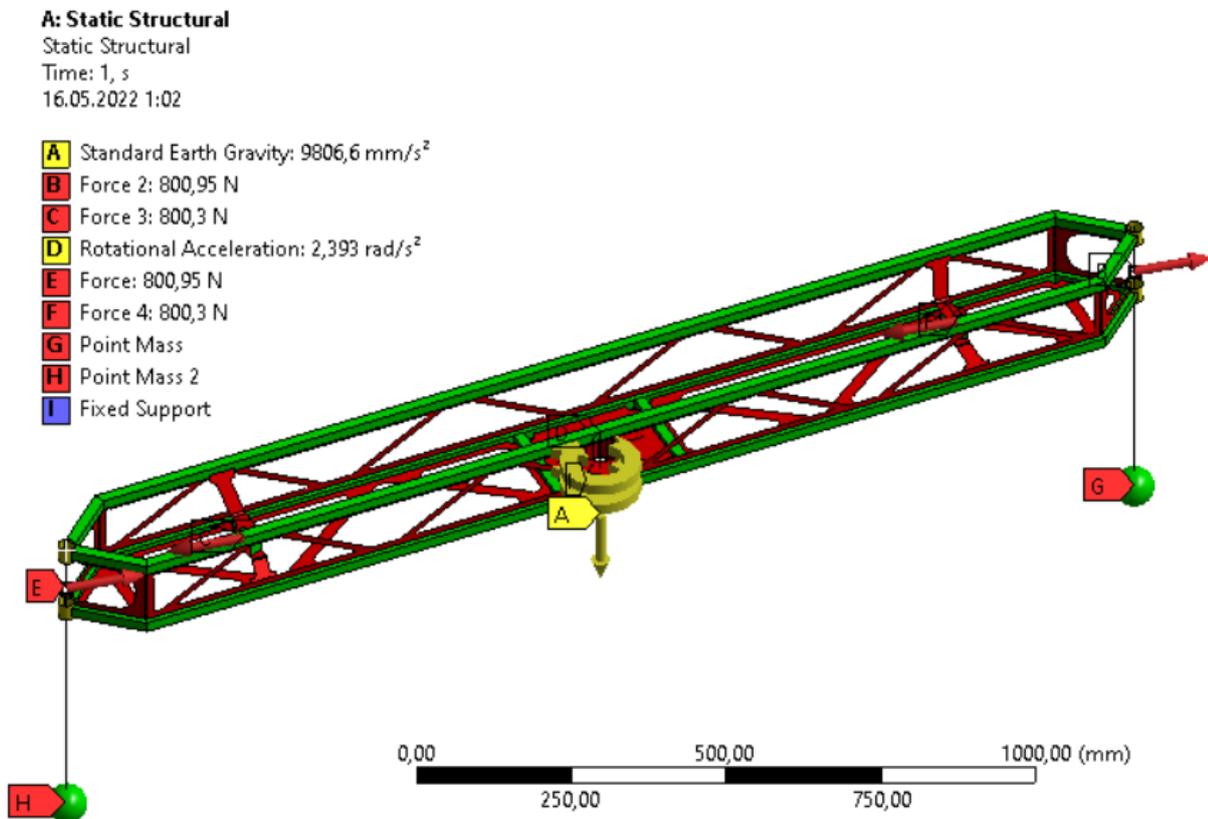
16.05.2022 0:48

- A** Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- B** Force 2: 800,95 N
- C** Force 3: 800,3 N
- D** Rotational Acceleration: 2,393 rad/s²
- E** Force: 800,95 N
- F** Force 4: 800,3 N
- G** Point Mass
- H** Point Mass 2
- I** Fixed Support



Obr. 124 Detail směru dvojice sil (F a G) pro vysouvající se lineární aktuátor podle směru úhlového zrychlení a rotace otočného rámu (D)

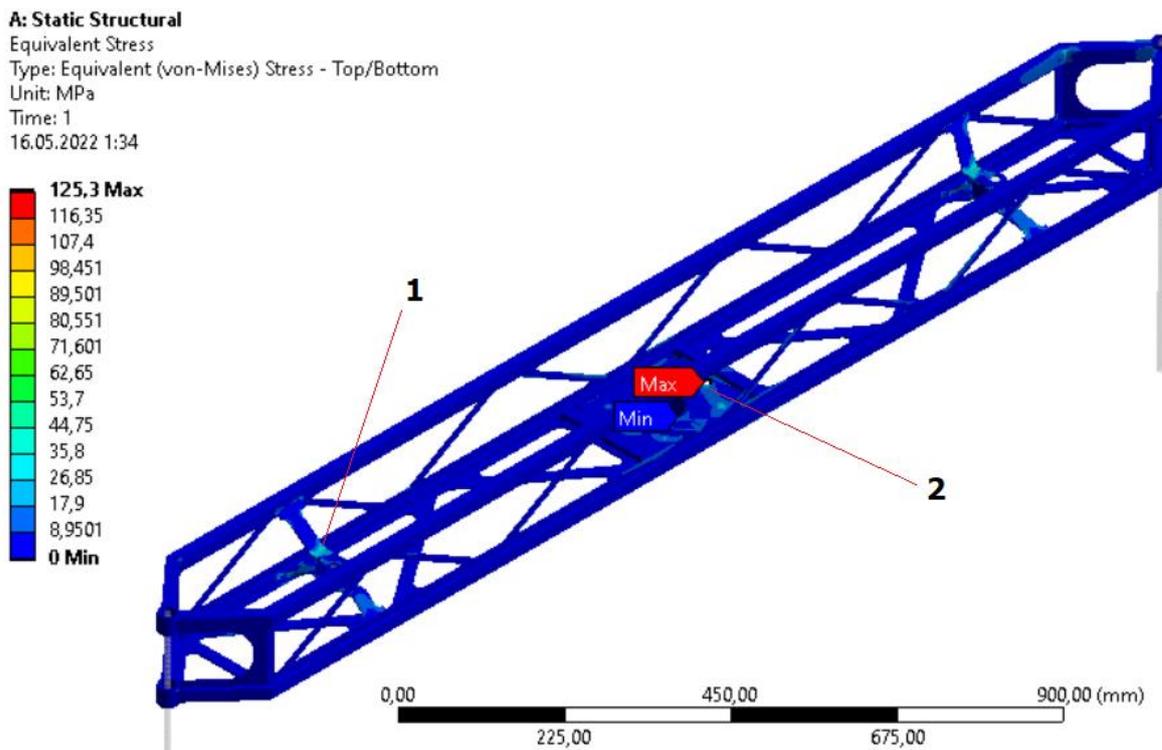
Dále je do výpočtového přidáno gravitační zrychlení. Pro výpočet je zanedbáno dostředivé a brzdné zrychlení, o němž výrobce nemá data.



Obr. 125 Připravený výpočtový model otočného rámu se všemi zátěžnými účinky,

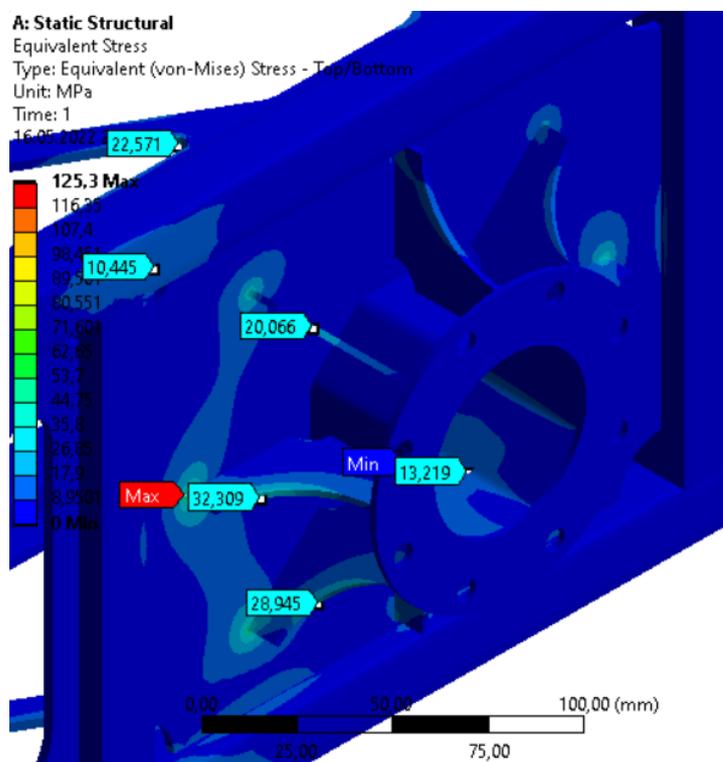
9.4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Po přípravě modelu a nastavení všech okrajových podmínek je provedena simulace maximální redukované napjatosti dle HMM pro zátěžný stav. Maximální napjatost vzniká v okolí napojovací příruby k převodovce a dosahuje hodnoty napjatosti dle HMM 125,3 MPa. Další oblast, kde vzniká napjatost je na konzole lineárního aktuátoru. Z tohoto důvodu jsou obě místa označena a pro lepší vyhodnocení výsledků budou lépe zobrazena.



Obr. 126 Zátěžný stav pro výpočtový model otočného rámu s označením sledovaných oblastí, průběh napjatosti dle HMM, měřítko deformace 1:1, max. napjatost 125,3 MPa, legenda: 0-125,3 MPa.

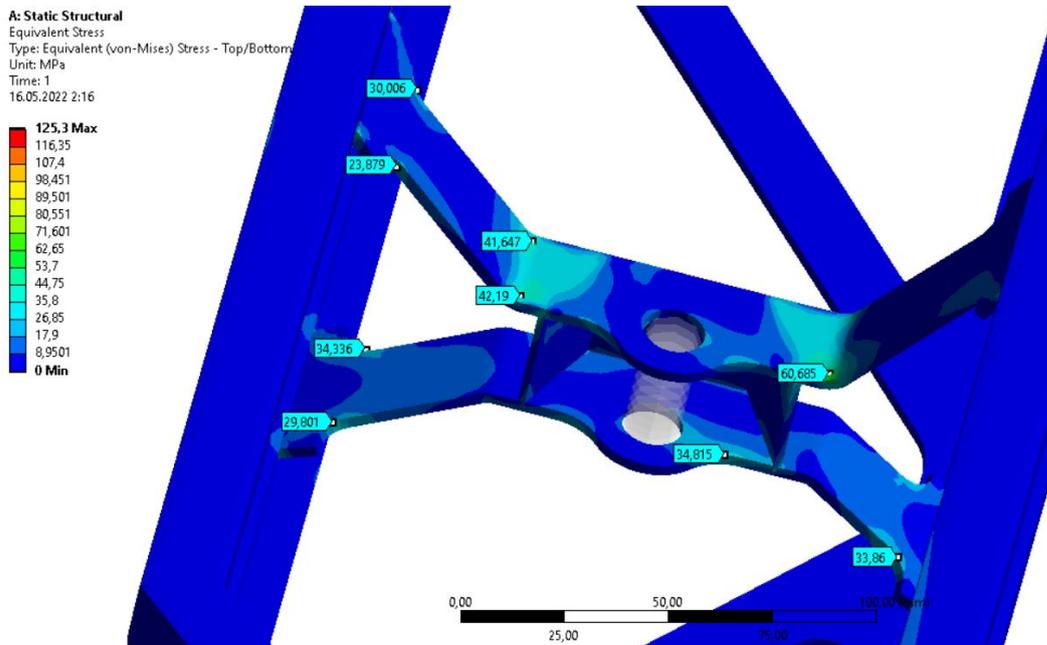
Nejdříve je zobrazeno okolí napojovací příruby, kde je zaznamenána maximální napjatost.



Obr. 127 Zátěžný stav pro výpočtový model otočného rámu, detail na napojovací přírubu, průběh napjatosti dle HMM, měřítko deformace 1:1, max. napjatost 125,3 MPa, legenda: 0-125,3 MPa.

Maximální napjatost vzniká přímo v rohu žebra napojovací příruby, jelikož však v jeho okolí napjatost značně klesá, lze tuto napjatost označit za špičkovou. Na *Obr. 127* je označeno několik míst s viditelně vyšší napjatostí. Tato napjatost však dosahuje nejvýše 32,3 MPa, což je značně nižší než mez kluzu použitého materiálu a lze ji označit za **vyhovující**.

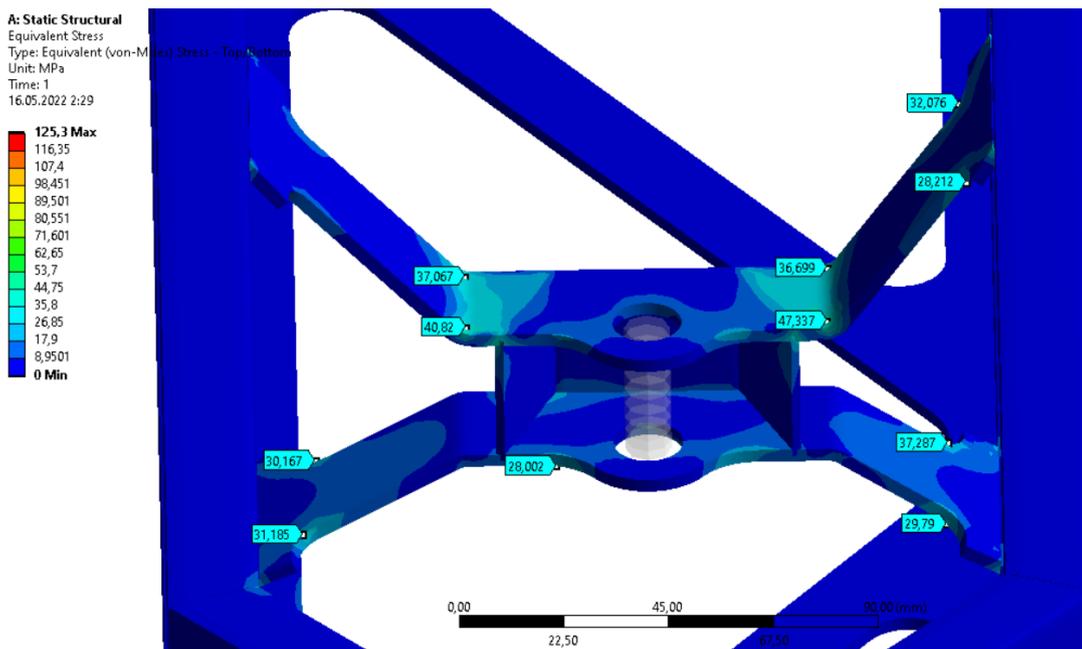
Dalším sledovaným místem je konzola vysouvajícího se lineárního aktuátoru na straně s postříkovým rámem.



Obr. 128 Zátěžný stav pro výpočtový model otočného rámu, detail na konzolu vysouvajícího se lineárního aktuátoru, průběh napjatosti dle HMM, měřítko deformace 1:1, max. napjatost 125,3 MPa, legenda: 0-125,3 MPa.

Největší napjatost na konzole vysouvajícího se lineárního aktuátoru na straně s postříkovým rámem vzniká v místě ohybu plechového dílu a dosahuje hodnoty 60,7 MPa, což je značně nižší než mez kluzu použitého materiálu a lze ji označit za **vyhovující**. V rozích mezi plechy konzoly a normalizovanými profily vzniká špičková napjatost, která je zanedbána.

Posledním sledovaným místem je konzola zasouvajícího se lineárního aktuátoru na straně s rámem osazeným detekčními snímači.



Obr. 129 Zátěžný stav pro výpočtový model otočného rámu, detail na konzolu zasouvajícího se lineárního aktuátoru, průběh napjatosti dle HMM, měřítko deformace 1:1, max. napjatost 125,3 MPa, legenda: 0-125,3 MPa.

Největší napjatost na konzole zasouvajícího se lineárního aktuátoru na straně s rámem osazeným detekčními snímači vzniká v místě ohybu plechového dílu a dosahuje hodnoty 47,3 MPa, což je značně nižší než mez kluzu použitého materiálu a lze ji označit za **vyhovující**. V rozích mezi plechy konzoly a normalizovanými profily vzniká špičková napjatost, která je zanedbána.

Po posouzení všech sledovaných míst lze definovaný zátěžný posoudit jako **vyhovující** a otočný rám je možné použít.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo vytvořit prototyp postřikovací jednotky s ohledem na platnou legislativu dané kategorie profesionálních zařízení. V úvodních kapitolách byla popsána teorie a stroje k aplikaci spolu s moderními systémy a platnou legislativou. V páté kapitole byl proveden rozbor použitého stroje spolu s požadavky výrobce, aby bylo možné navrhnout kapalinový okruh spolu s konstrukčním řešením postřikovače pro zvolené použití.

V kapitole 6 je popsán navržený kapalinový okruh, který pracuje s rozsahem tlaku 0-10 bar a rozsahem průtoku 0-27 litrů za minutu, čímž ho činí značně variabilním pro použití různých měrných dávek, šířek záběru, typů a velikostí trysek a proměnlivé pojezdové rychlosti. Na konci kapitoly jsou popsány navržené pracovní režimy pro zvýšení rozsahu použití spolu s výpočtem tlakových ztrát. Všechny výpočty v této kapitole jsou uvedeny obecně se zobrazením hodnot v celém rozsahu použití.

Pro vhodný konstrukční návrh bylo nutné definovat omezující podmínky z hlediska kinematiky a rozměrů stroje, které ovlivnily samotnou konstrukci a pracovní kinematiku postřikovací jednotky, jak lze vidět v kapitolách 7 a 8. Sedmá kapitola detailněji popisuje jednotlivé konstrukční celky a jejich propojení. Konstrukční celky mají naznačené zapojení kapalinového okruhu s jeho prvky.

Osmá kapitola se zabývá návrhem kinematiky postřikové jednotky a jednotlivými režimy natočení otočného rámu a přídatných rámu. Obsahuje také výpočty pro návrh elektromotoru čerpadla, který bude i s krokovým motorem převodovky řízen frekvenčním měničem. Motor čerpadla je také řízen charakteristickými rovnicemi z kapitoly 6 a 8 získaných z katalogových parametrů. Tyto rovnice se před výrobou stroje ověří na experimentálním kapalinovém okruhu a pomohou k rychlejšímu přenastavení parametrů čerpadla během provozu.

V poslední kapitole je uveden pevnostní výpočet pomocí metody konečných prvků v prostředí Ansys, pro který jsou uvažovány zátěžné podmínky z předchozích kapitol. Kvůli maximální dosažené hodnotě napjatosti o hodnotě 60,7 MPa lze konstrukci upravit. Jako vhodná úprava je změna materiálu z oceli na hliníkové slitiny, což několikanásobně sníží hmotnost otočného rámu. Tímto se změní i jeho dynamické účinky, což také ovlivní výpočty v předchozí kapitole.

Sestava postřikovací jednotky má značně velkou hmotnost, jelikož se jedná o prvotní návrh a pevnostně je ověřen pouze otočný rám. Z návrhu kapalinového okruhu a konstrukčního návrhu postřikovací jednotky je možné vytvořit samojízdnou variantu postřikovacího zařízení, která umožňuje použití většího objemu nádrží při zachování nižší hmotnosti. S propojením patentovaného podvozku firmy Spider lze takto vytvořit dálkově ovládaný samojízdný postřikovač s nízkým poloměrem zatáčení, který je možné po splnění legislativy přestavět na rosič.

V přílohách jsou přidány výkresy kompletní sestavy postřikovací jednotky s naznačenými krajními polohami kinematiky a naznačeným strojem. Dále je v příloze výkres svařence otočného rámu, výrobní výkres hřídele převodovky a výrobní výkres čepu otočného rámu.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] FRÍD, Milan a Václav VÁVRA. *Mechanizace ochrany rostlin* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: http://kzt.zf.jcu.cz/wp-content/uploads/2013/11/ochrana_rostlin.pdf
- [2] NEUBAUER, Karel. *Stroje pro rostlinnou výrobu: celostátní vysokoškolská učebnice pro vysoké školy zemědělské*. Praha: SZN, 1989. Mechanizace, výstavba a meliorace. ISBN 80-209-0075-6.
- [3] ABRHAM, Zdeněk. *Stroje pro chemickou ochranu vinic a ekonomika jejich provozu*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2007. ISBN 978-80-86884-27-1.
- [4] Katalog trysek ALBUZ. *ALBUZ spray nozzles* [online]. Évreux: ALBUZ, 2019 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: https://albuз-spray.com/images/Docs/cat_solcera_UK_nov19_BD.pdf
- [5] ŘÍHOVÁ, Alena. *Velikost kapkového spektra u postřikovačů* [online]. Brno, 2012 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/17799381-Velikost-kapkového-spektra-u-postřikovačů-diplomová-práce.html>. Diplomová práce. Mendelova univerzita, Agronomická fakulta. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Červinka, CSc.
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška o profesionálních zařízeních pro aplikaci přípravků a o změně vyhlášky č. 384/2011 Sb., o technických zařízeních a o označování dřevěného obalového materiálu a o změně vyhlášky č. 334/2004 Sb., o mechanizačních prostředcích na ochranu rostlin. In: . AION CS, 2012, částka 72, číslo 207. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-207>
- [7] Beaufortova stupnice rychlosti větru. *Meteogram.cz* [online]. Meteogram, c2022 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.meteogram.cz/beaufortova-stupnice-rychlosti-vetru/>
- [8] Drift Risk Value: Drift Risk Mitigation. *TOPPS-PROWADIS Drift Evaluation Tool* [online]. Brusel: TOPPS-PROWADIS, c2012-2013 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://topps-drift.org/field/?LANG=EN>
- [9] Reduction of spray drift. *TOPPS water protection* [online]. Brusel: TOPPS, c2022 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <http://www.topps-life.org/spray-drift.html>
- [10] Přípravky na ochranu rostlin: Dělení přípravků na ochranu rostlin. *Agromanual.cz* [online]. České Budějovice: Agromanual, 2017, 13.2.2017 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/pripravky-na-ochranu-rostlin>
- [11] Regulátory růstu rostlin. *Vsaduidoma* [online]. vsaduidoma, c2009-2022 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://vsaduidoma.com/cs/2012/09/24/regulatory-rosta-rastenij-vidy-opisanie-i-instrukciya-po-primeneniyu/>
- [12] Regulátory růstu. *Izahrádkář.cz* [online]. Praha: Český zahrádkářský svaz, 2017 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://izahradkar.cz/slovník/regulatory-rustu/>

- [13] Katalog Pentair. *Pentair product catalog* [online]. Minneapolis: Pentair, 2018 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://5e90a4fa-26dc-47e9-ad06-bb49a9a07a0c.filesusr.com/ugd/7ed3d5_6d7b95ea671f486db6ac6ff8d9e762fd.pdf
- [14] ROH, Jiří, František KUMHÁLA a Petr HEŘMÁNEK. *Stroje používané v rostlinné výrobě*. Vyd. 2. V Praze: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2003. ISBN 80-213-0614-9.
- [15] Samojízdný postřikovač AG TRK RS260. *SUTTER BUTTES MANUFACTURING* [online]. Gridley: Sutter Buttes MFG, 2019 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.sutterbuttesmfg.com/>
- [16] Nesené postřikovače UF. *Agrotec zemědělská technika* [online]. Praha: Agrotec, 2021 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: [https://www.eagrotec.cz/products/stroje-pro-ochranu-rostlin/postrikovace-\(1\)/neseny-postrikovac-uf](https://www.eagrotec.cz/products/stroje-pro-ochranu-rostlin/postrikovace-(1)/neseny-postrikovac-uf)
- [17] Tažený postřikovač MAMUT XL. *DAGROS* [online]. Kostomlaty nad Labem: DAGROS, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.dagros.cz/mamutxl>
- [18] R4150i. *John Deere* [online]. Moline: Deere & Company, ©2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.deere.cz/cs/postrikovace/r4150i/>
- [19] Rosič nesený Agromechanika AGP 200. *Profistroje* [online]. Bohumín: Profistroje, ©2006–2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.profistroje.cz/rosic-neseny-agromechanika-agp-200_4814.html
- [20] Rosič tažený SLEZA BS 1500 výbava BS. *AGS agro sortiment* [online]. Židlochovice: AGS [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.ags-shop.cz/cz/e-shop/1752097/c38645-rosice/rosic-tazeny-sleza-bs-1500-vybava-bs.html>
- [21] COBRA 2000 Line Sprayer. *Tifone* [online]. Ferrara: Tifone [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.tifone.com/en/agricultural-air-sprayers/cobra-line/>
- [22] Zmlžovač PULSFOG K-30-20-BIO. *Oslavan* [online]. Náměšť nad Oslavou: Oslavan, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.oslavan.cz/zmlzovac-pulsfog-k-30-20-bio>
- [23] Weedseeker. *Hořčica* [online]. Kojetín: Hořčica, © 2015 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://horcica.eu/hubeni-plevelu/>
- [24] Laserový komunální postřikovač CITYSEEKER. *Prodag-Zlín* [online]. Zlín: Prodag, 2019 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <http://prodag.cz/laserovy-komunalni-postrikovac-cityseeker/>
- [25] ProGator 2030A GPS PrecisionSprayer. *John Deere* [online]. Moline: Deere & Company, ©2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.deere.cz/cs/sekani-golfovych-a-sportovnich-hrist/postrikovace/>



- [26] Postřikovač AGRI-FAB tažený 95 L, ramena záběr 1m. *AGS agro sortiment* [online]. Židlochovice: AGS [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.ags-shop.cz/cz/e-shop/872241/c85930-prislusenstvi-traktoru-a-rideru-wolf/postrikovac-agri-fab-tazeny-95-l-ramena-zaber-1m.html?tab-name=discussion&reaction_to=11601
- [27] Turf Storm. *SCAG power equipment* [online]. Mayville: SCAG Power, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.scag.com/product/spreader-sprayers/turf-storm/>
- [28] Chemical spraying in B.C. cuts natural forest firebreaks. *Burns Lake Lakes District News* [online]. Burns Lake: Burns Lake Lakes District News and Black Press Group, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.burnslakelakesdistrictnews.com/local-news/chemical-spraying-in-b-c-cuts-natural-forest-firebreaks/>
- [29] Site preparation. *ASPEN* [online]. Washington, D.C.: USDA Forest Service - Northern Research Station, 2008 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: https://www.nrs.fs.fed.us/fmg/nfm/aspensilv/regen/p2_siteprep.html
- [30] Na Vysočině pomáhá robot s ochranou stromů proti kůrovci: Stromolez. *Česká televize: ČT24* [online]. Praha: Česká televize, 2021, 16.7.2021 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3341260-na-vysocine-pomaha-robot-s-ochranou-stromu-proti-kurovci>
- [31] UniRoller 4x4. *SaZ* [online]. Hodonín: SaZ, © 2020 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/documents/50004227/50157106/b07-diskuze-saz.pdf>
- [32] Hubení nežádoucí vegetace na železnicích. *Jaro Česká Skalice* [online]. Česká Skalice: Jaro Česká Skalice, © 2011 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.jarocs.eu/sluzby/>
- [33] Rubicon: H-select. *HARDI* [online]. Cavan: HARDI AUSTRALIA, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.hardi.com.au/sprayers/selfpropelled/rubicon/electronics>
- [34] Pulse-width modulation (PWM) spraying: StrictSpray Plus. *Agrifac* [online]. Steenwijk: Agrifac, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.agrifac.com/optional-spray-technology/strictsprayplus/>
- [35] A New Age of Spraying – How To Size PWM Spray Nozzles: Pulse-width Modulation Explained. *Dultmeier* [online]. Omaha: Dultmeier Sales, 2020, 28 May 2020 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.dultmeier.com/blog/agriculture/pulse-width-modulation-how-to-size-pwm-spray-nozzles/>
- [36] PWM Solenoid Theory. *TLX Technologies* [online]. Pewaukee: TLX Technologies, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.tlxtech.com/solenoid-theory/pwm-solenoid-theory>
- [37] DA COSTA LIMA, Alessandro a Kassio FERREIRA MENDES. Variable Rate Application of Herbicides for Weed Management in Pre- and Postemergence. *Pests, Weeds and Diseases in Agricultural Crop and Animal Husbandry Production* [online]. IntechOpen, 2020, 2020-12-23 [cit. 2022-05-20]. ISBN 978-1-78923-827-3. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.93558

- [38] Section Control: Precision Ag Technology. *John Deere* [online]. Moline: Deere & Company, ©2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.deere.co.uk/en/agricultural-management-solutions/precision-farming/section-control/>
- [39] JIAN SUN, Alessandro a Kassio YUBIN MIAO. Modeling and Simulation of the Agricultural Sprayer Boom Leveling System. *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation* [online]. IEEE, 2011, 2011, 613-618 [cit. 2022-05-20]. ISBN 978-1-4244-9010-3. Dostupné z: doi:10.1109/ICMTMA.2011.439
- [40] High spray quality thanks to perfect boom to crop distance: StrictHeight Plus. *Agrifac* [online]. Steenwijk: Agrifac, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.agrifac.com/optional-spray-technology/strictsprayplus/>
- [41] JIAN SUN, Alessandro a Kassio YUBIN MIAO. Modeling and Simulation of the Agricultural Sprayer Boom Leveling System. *2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation* [online]. IEEE, 2011, 2011, 613-618 [cit. 2022-05-20]. ISBN 978-1-4244-9010-3. Dostupné z: doi:10.1109/ICMTMA.2011.439
- [42] Ramena TWIN FORCE. *Unimarco* [online]. Želechovice nad Dřevnicí: Unimarco, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.unimarco.cz/25987-ramena-twin-force>
- [43] HARAŠTA, Petr. Nežádoucí úlet postřiku a jak jej omezovat: Nízkoúletové trysky. *Agromanual* [online]. České Budějovice: Agromanual, © 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/nezadouci-ulet-postriku-a-jak-jej-omezovat>
- [44] ČSN EN ISO 16119-2. Zemědělské a lesnické stroje-environmentální požadavky pro postřikovače: Část 2: Postřikovače s vodorovným postřikovacím rámem (plošné). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [45] ŠKOPÁN, Miroslav. *Hydraulické pohony strojů*. Brno, 2009. Skripta. Vysoké učení technické v Brně
- [46] Rotary Unions for High Speed Applications. *TAC Rockford* [online]. Rockford: TAC Rockford, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://tacrockford.com/product/rotary-unions-for-high-speed-applications/>
- [47] Manual diaphragm pressure relief control valve with threaded coupling. *ARAG* [online]. Reggio nell'Emilia: ARAG Srl, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.aragnet.com/VediMacro/EN/246/products/?PRD=109497>
- [48] Plastic Three-Way Ball Valves 350. *Specialty mfg* [online]. St. Paul: Specialty mfg, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.specialtymfg.com/catalog/?page=search&cid=350>
- [49] Plastic Check Valves 427. *Specialty mfg* [online]. St. Paul: Specialty mfg, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.specialtymfg.com/catalog/?page=search&cid=427>

- [50] TEEJET 23120 1/2 150 PSI PRESSURE RELIEF/REG VALVE. *AG Spray* [online]. Columbus: Ag Spray Equipment, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.agspray.com/fittings-line-strainers-valves/valves/pressure-relief-valves/pid7741/teejet-23120-1-2-150-psi-pressure-relief-reg-valve/>
- [51] Miskový anemometr C552 - hliníkový. *Drátek.cz* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://dratek.cz/arduino/7819-miskovy-anemometr-c552.html?gclid=CjwKCAjw2P-KBhByEiwADBYWCjFzT73M6TUGkLawEv6tBfEk2KgGuspdfNgqPNhfQbyexkRQapjUeRoCHqIQAvD_BwE
- [52] Hose thread fittings. *ARAG* [online]. Reggio nell'Emilia: ARAG Srl, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.aragnet.com/VediMacro/EN/246/products/?PRD=96005>
- [53] Hadice na zemědělské postřiky. *GMS* [online]. Lanškroun: GMS velkoobchod, © 2018 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.gms.cz/prumyslove-hadice-hadice-na-chemikalie-hadice-na-zemedelske-postriky>
- [54] Mini suction filters. *ARAG* [online]. Reggio nell'Emilia: ARAG Srl, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.aragnet.com/VediMacro/EN/246/products/?PRD=99456>
- [55] Line filters. *ARAG* [online]. Reggio nell'Emilia: ARAG Srl, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.aragnet.com/VediMacro/EN/246/products/?PRD=99507>
- [56] Accessories. *ARAG* [online]. Reggio nell'Emilia: ARAG Srl, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.aragnet.com/VediMacro/EN/246/products/?PRD=96072>
- [57] Eductor nozzles. *SNP* [online]. Newark: SNP [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.spray-nozzle.co.uk/spray-nozzles/mixing-eductors>
- [58] Plovákový snímač vodní hladiny. *Drátek.cz* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/7729-plovakovy-senzor-vodni-hladiny.html?mena=2>
- [59] Průtokoměr 1-30L/min. *Drátek.cz* [online]. Havlíčkův Brod: ECLIPSERA, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/831-prutokomer-1-30l-min.html>
- [60] Viskozita: Kinematická viskozita kapalin při 18 °C. *Wikipedie* [online]. San Francisco: Wikipedia, 2022, 13. 2. 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozita#Kinematick%C3%A1_18_°C
- [61] Voda: Hustota. *Wikipedie* [online]. San Francisco: Wikipedia, 2022, 27. 2. 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>
- [62] *Průtokový součinitel Kv* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://home.tiscali.cz/cz447703/honeywell/min-kv.htm>

- [63] Nozzle holders for dry booms: Tri-Jet with quick coupling and single hose tail. *ARAG* [online]. Reggio nell'Emilia: ARAG Srl, © 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.aragnet.com/VediMacro/EN/246/products/?PRD=100284>
- [64] How a VFD or variable frequency drive works - Technical animation. *YouTube* [online]. San Bruno: YouTube, 2017, 5 Apr 2017 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=DiKcKYbJ1A4>
- [65] Přehled vlastností oceli S235JR. *Bolzano* [online]. Kladno: Bolzano, © 2020 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s235jrdrive-s235jrg2>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a_{CORor}	[m/s ²]	Coriolisovo zrychlení otočného rámu
D_{naku}	[mm]	Průměr akumulční nádoby
d_p	[m]	Vnitřní průměr potrubí
D_s	[m]	Délka stroje
f_{km1000}	[Hz]	Maximální použitá frekvence pulzů
F_{la}	[N]	Síla lineárního aktuátoru
F_{sprla}	[N]	Setrvačná síla postřikového rámu při zrychlení od lineárního aktuátoru
F_{spror}	[N]	Setrvačná síla postřikového rámu od úhlového zrychlení otočného rámu
F_{srsla}	[N]	Setrvačná síla rámu se snímači při zrychlení od lineárního aktuátoru
$F_{srсор}$	[N]	Setrvačná síla rámu se snímači od úhlového zrychlení otočného rámu
g	[m/s ²]	Tíhové zrychlení
HMH	[-]	Hypotéza Huber-von Mises-Hencky
h_{trpr}	[m]	Výška trysky nad ošetřovanou plochou
i_{naku}	[-]	Počet zapojených kapalinových akumulátorů
i_p	[-]	Převodový poměr převodovky
i_{tr}	[-]	Počet trysek
J_{orc}	[kg.m ²]	Celkový moment setrvačnosti otočného rámu s přídatnými rámy
$J_{prčo}$	[kg.m ²]	Moment setrvačnosti postřikového rámu k čepu otočného rámu
$J_{rsčo}$	[kg.m ²]	Moment setrvačnosti rámu s detekčními snímači k čepu otočného rámu
k_{cpaku}	[N/mm]	Celková tuhost pružin akumulátoru
K_v	[m ³ /h]	Průtokový součinitel elektromagnetického ventilu
$L_{čo}$	[m]	Vzdálenost čepů od středu otočného rámu
L_{ds}	[m]	Vzdálenost čočky snímače od čepu otočného rámu
L_{dt}	[m]	Vzdálenost držáků trysek od čepu otočného rámu
l_{ho}	[m]	Délka hadic okruhu
L_{ptr}	[m]	Šířka záběru jedné trysky
L_{rtr}	[m]	Rozteč trysek
L_{Tpr}	[m]	Vzdálenost těžiště postřikového rámu od čepu otočného rámu
L_{Trs}	[m]	Vzdálenost těžiště rámu s detekčními snímači od čepu otočného rámu
L_{zpr}	[m]	Šířka záběru postřikového rámu
M_{km1000}	[N.m]	Kroutící moment krokového motoru při frekvenci pulzů 1000 Hz
MKP	[-]	Metoda konečných prvků

M_{pp}	[l/ha]	Měrná dávka na ošetřovanou plochu
m_{pr}	[kg]	Hmotnost postřikového rámu
m_{rs}	[kg]	Hmotnost rámu s detekčními snímači
$M_{tč}$	[N.m]	Točivý moment elektromotoru
$n_{č}$	[ot./min]	Otáčky čerpadla
p_{akup}	[bar]	Výsledný požadovaný tlak akumulátoru
$p_{č}$	[bar]	Pracovní tlak čerpadla
$P_{č}$	[W]	Výkon čerpadla
$p_{čp}$	[bar]	Výsledný požadovaný tlak čerpadla
P_{p0}	[W]	Průsečík s osou výkonu při nulovém tlaku
p_{raku}	[bar]	Tlakový rozdíl v kapalinovém akumulátoru
p_{tr}	[bar]	Požadovaný tlak trysky
p_{trk}	[bar]	Nejbližší katalogový tlak trysky
p_{trk1}	[bar]	Nejbližší katalogový tlak trysky pro horní hranici měrné dávky
p_{trk2}	[bar]	Nejbližší katalogový tlak trysky pro spodní hranici měrné dávky
p_{zdp}	[bar]	Délková tlaková ztráta vedením kapaliny na metr potrubí
p_{zdpr}	[bar]	Regresní délková tlaková ztráta vedením kapaliny na metr potrubí
p_{zev}	[bar]	Místní tlaková ztráta elektromagnetického ventilu
p_{zevr}	[bar]	Regresní místní tlaková ztráta elektromagnetického ventilu
p_{zmz}	[bar]	Součet místních tlakových ztrát neuvažovaných prvků
p_{zrpr}	[bar]	Regresní místní tlaková ztráta rotačního kapalinového převodníku
$Q_{č}$	[l/min]	Průtok čerpadla
Q_{p0}	[l/min]	Průsečík s osou průtoku při nulovém tlaku
Q_{tr}	[l/min]	Průtok tryskou
Q_{trk}	[l/min]	Nejbližší katalogový průtok tryskou
Q_{trk1}	[l/min]	Nejbližší katalogový průtok tryskou pro horní hranici měrné dávky
Q_{trk2}	[l/min]	Nejbližší katalogový průtok tryskou pro spodní hranici měrné dávky
Q_{trmax}	[l/min]	Maximální průtok tryskou
Q_{trmin}	[l/min]	Minimální průtok tryskou
R^2	[-]	Koeficient determinace
Re_p	[-]	Reynoldsovo číslo pro potrubí
R_{la}	[m]	Rozteč oka lineárního aktuátoru a čepu otočného rámu
R_z	[m]	Nejmenší poloměr zatáčení

$R_{z\check{c}}$	[m]	Poloměr zatačení čepu
s_p	[m]	Maximální uražená dráha pojezdu v čase jedné sekundy
\check{S}_s	[m]	Šířka stroje
t_l	[s]	Doba pro výpočet poloměru zatačení
t_{sVaku}	[s]	Minimální doba spotřeby objemu akumulátoru
t_{zor}	[s]	Doba zrychlení otočného rámu
t_{zpr}	[s]	Doba zrychlení postřikového rámu
t_{zrs}	[s]	Doba zrychlení rámu s detekčními snímači
v_{la}	[m/s]	Rychlost vysunutí lineárního aktuátoru
v_s	[km/h]	Pojezdová rychlost stroje
V_s	[m]	Výška stroje
v_{smax}	[km/h]	Maximální rychlost pojezdu stroje
V_{uaku}	[l]	Užitný objem akumulátoru
y_{Pp0}	[W]	Rovnice průsečíků s osou výkonu při nulovém tlaku
y_{Qp0}	[l/min]	Rovnice průsečíků s osou průtoku při nulovém tlaku
y_{srpP}	[-]	Rovnice směrnic regresních přímek výkonu
y_{srpQ}	[-]	Rovnice směrnic regresních přímek průtoku
α_{pr}	[°]	Úhel natočení postřikového rámu (režim 1)
α_{ptr}	[°]	Úhel výstřikového obrazce trysky
α_{rs}	[°]	Úhel natočení rámu se snímači (režim 1)
β_{or}	[°]	Úhel natočení otočného rámu
γ_{pr}	[°]	Úhel natočení postřikového rámu (režim 2)
ε_{or}	[rad/s ²]	Úhlové zrychlení otočného rámu
ε_{pr}	[rad/s ²]	Úhlové zrychlení postřikového rámu
ε_{rs}	[rad/s ²]	Úhlové zrychlení rámu s detekčními snímači
η_p	[-]	Účinnost převodovky
ν_v	[m ² /s]	Kinematická viskozita vody
ρ_v	[kg/m ³]	Hustota vody
φ_{km}	[°]	Velikost natočení krokového motoru na jeden pulz
φ_o	[rad]	Maximální uražená úhlová dráha

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1: katalogový list válečkového čerpadla HYPRO 4101

PŘÍLOHA 2: katalogový list rotačního kapalinového převodníku MOSMATIC 35.603

PŘÍLOHA 4: katalogový list míchací trysky TeeJet 6290-SC

PŘÍLOHA 5: katalogový list snímače tlaku LAYHER 810 010

PŘÍLOHA 9: katalogový list krokového motoru AMETEK HN 200 3451

PŘÍLOHA 10: katalogový list tlakového spínače LAYHER 420 010

PŘÍLOHA 11: katalogový list Olhamovy spojky OX33G

SEZNAM SAMOSTATNÝCH PŘÍLOH

PŘÍLOHA 3: katalogový list elektromagnetického ventilu JP Fluid ST-SA012B105E-012DC

PŘÍLOHA 6: katalogový list lineárního aktuátoru LINAK LA28 12V

PŘÍLOHA 7: katalogový list kroužkového sběrače SENRING H4086

PŘÍLOHA 8: katalogový list šnekového soukolí TEATECHNIK 2/2/B, strana 325-331

SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE

Výkres sestavy postřikovacího zařízení: 0-FRUH-1/01

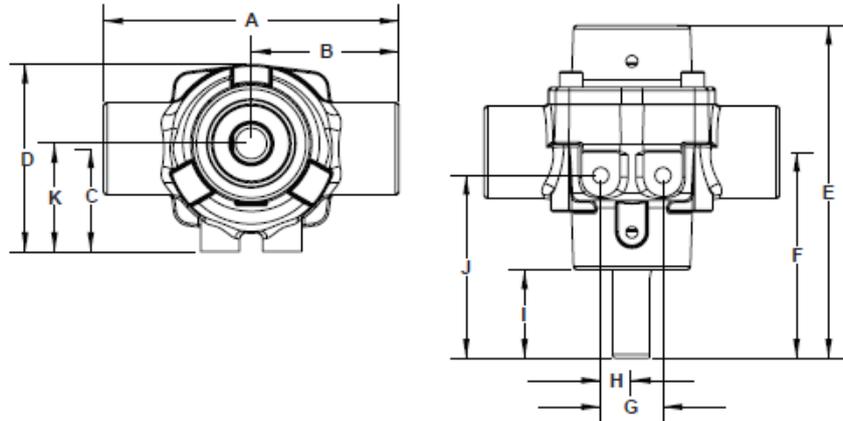
Výkres svařence otočného rámu: 0-FRUH-1/01-1

Výkres hřídele převodovky: 3-FRUH-1/03-5

Výkres čepu otočného rámu: 4-FRUH-1/01-3


PŘÍLOHA 1: katalogový list válečkového čerpadla HYPRO 4101
Pump Technical Data
4101 Series Pump Only

Pump Dimensions		
Dim.	Inch	mm
A	4.75	121
B	2.38	61
C	1.67	42
D	3.03	77
E	5.39	137
F	3.34	85
G	1	25
H	0.49	13
I	1.43	36
J	2.96	75
K	1.75	45


4101C, 4101N, 4101XL Pump Specifications

Rollers:	Max. Flow Rate (GPM [LPM]):	Max. Pressure (PSI [BAR]):	Max RPM	Ports:	Shaft:	Continuous Operation (PSI [BAR]):	Intermittent Operation (PSI [BAR]):	Dry Weight (LBS [KG]):	Minimum Horsepower requirement	Mounting bolts
4	7.2 [27.3]	150 [10.3]	2600	N" NPT Inlet & Outlet	5/8" Dia. (Solid) or 1/2" Dia. (Hollow)	100 [6.9]	150 [10.3]	5 [2.27]	1.08	2 X 5/16-18 UNC

Performance Data 4101C, 4101N, 4101XL (Imperial)

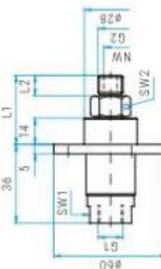
Pressure	GPM		HP		GPM		HP	
	@1800 RPM		@2200RPM		@2600RPM			
0 PSI	5.0	0.1	6.2	0.1	7.2	0.2		
25 PSI	4.8	0.2	5.8	0.3	6.9	0.3		
50 PSI	4.5	0.3	5.6	0.4	6.6	0.5		
75 PSI	4.2	0.5	5.4	0.6	6.4	0.6		
100 PSI	3.9	0.6	5.0	0.7	6.0	0.8		
125 PSI	3.7	0.7	4.7	0.8	5.7	0.9		
150 PSI	3.4	0.8	4.4	1.0	5.4	1.1		

Performance Data 4101C, 4101N, 4101XL (Metric)

Pressure	LPM		HP		LPM		HP	
	@1800 RPM		@2200RPM		@2600RPM			
0 BAR	18.9	0.1	23.5	0.1	27.3	0.2		
1.7 BAR	18.2	0.2	22.0	0.3	26.1	0.3		
3.4 BAR	17.0	0.3	21.2	0.4	25.0	0.5		
5.2 BAR	15.9	0.5	20.4	0.6	24.2	0.6		
6.9 BAR	14.8	0.6	18.9	0.7	22.7	0.8		
8.6 BAR	14.0	0.7	17.8	0.8	21.6	0.9		
10.3 BAR	12.9	0.8	16.7	1.0	20.4	1.1		

PŘÍLOHA 2: katalogový list rotačního kapalinového převodníku MOSMATIC 35.603
DGF - SWIVELS

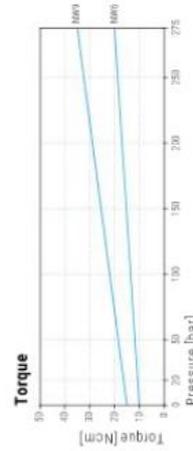
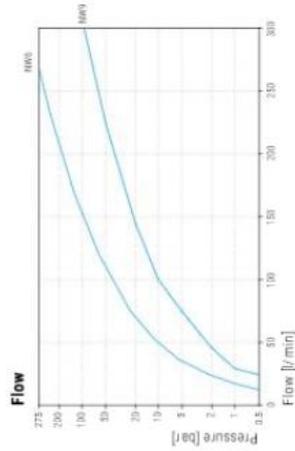
- ✓ High speed, triple bearing system
- ✓ Flange for easy installation
- ✓ Maintenance free
- ✓ Highest precision and quality


Application

High pressure cleaning technology, parts washers, tire cleaners, self rotating applications

TECHNICAL DATA

Pressure	275 bar (27.5 MPa)
Temperature	30°C (at 1'000 rpm) 120°C (at 30 rpm) max. 1'000 rpm
RPM	max. 1'000 rpm
Body	brass, nickel plated
Inner part	stainless steel
Seal	O-ring NBR (optional: EPDM or FKM)
Bearing	2x radial ball bearings 1x thrust ball bearing
Throughput medium	pH 3 - 12 10 µm filtered 20 bar compressed air


DGF

Part No.	G1 (F)	G2 (M)	NW	SW1	SW2	L1	L2	Weight
35.001	G1/4" F	G1/4" M	6	22	19	37	11	290 g
35.003	G1/4" F	G3/8" M	6	22	19	38	12	300 g
35.025	G1/4" F	1/8" NPTM	6	22	10	30	8	280 g
35.101	G3/8" F	G1/4" M	6	22	19	37	11	310 g
35.103	G3/8" F	G3/8" M	6	22	19	38	12	290 g
35.125	G3/8" F	1/8" NPTM	6	22	10	30	8	270 g
35.603	G3/8" F	G3/8" M	9	22	19	38	12	320 g



PŘÍLOHA 4: katalogový list míchací trysky TeeJet 6290-SC

TeeJet[®] Jet Agitators

Installed at bottom of spray tank on end of agitator return line. Continuous solid stream jet flow creates turbulence and keeps wettable powders in suspension.

6290-SC

Made in choice of brass, aluminum and all stainless steel. 1/4" NPT (F) inlet connection. Fits through 2" (51 mm) hole. Weight 6 oz. (0.17 kg). Siphon caps increase liquid flow by Venturi action to increase mixing potential.



JET AGITATOR NUMBER	ORIFICE CAP NUMBER	ORIFICE INLET DIAMETER	CAPACITY (GPM) THRU AGITATOR LINE AT VARIOUS PRESSURES					FOR MAX. TANK SIZE IN GALLONS OF:		
			10 PSI	15 PSI	20 PSI	30 PSI	40 PSI	50 PSI	50	110
6290SC-1	11118-1	.055"	.78	.96	1.1	1.4	1.6	1.8	50	
6290SC-2	11118-2	.086"	1.9	2.3	2.7	3.3	3.8	4.3	110	
6290SC-3	11118-3	.096"	2.4	2.9	3.3	4.1	4.7	5.3	140	
6290SC-5	11118-5	.144"	4.4	5.4	6.2	7.6	8.8	9.9	250	
6290SC-8	11118-8	.156"	5.1	6.3	7.2	8.8	10.2	11.4	300	
6290SC-10	11118-10	.177"	5.7	7.0	8.0	9.7	11.4	12.7	350	

How to order:

Specify jet agitator number.

Examples:

6290SC-1 – Brass
 6290SC-1-AL – Aluminum
 6290SC-1-SS – Stainless Steel

Other sizes available.

Note: Maximum tank sizes shown in table are approximate and are based on 40 PSI (3 bar) operation with pesticides, not fertilizers.

PŘÍLOHA 5: katalogový list snímače tlaku LAYHER 810 010

LAYHER

Drucksensor
Pressure Sensor **Typ 810**

0 - 10 V



TECHNISCHE DATEN | TECHNICAL DATA

Bestellnummer Order no. PNP	810 002	810 006	810 010	810 025	810 060	810 100	810 250
Messbereiche* Pressure range*	0-2,5 bar	0-6 bar	0-10 bar	0-25 bar	0-60 bar	0 - 100 bar	0-250 bar
Überlastgrenze (statisch) Overload limit (static)	≤3 bar	≤7,5 bar	≤15 bar	≤30 bar	≤75 bar	≤150 bar	≤300 bar
Berstdruck Burst Pressure	≥5 bar	≥15 bar	≥35 bar	≥60 bar	≥150 bar	≥250 bar	≥450 bar
Versorgungsspannung Supply voltage	12 - 30 VDC						
Ausgangssignal Output signal	0 - 10 V						
Zulässige Bürde Permitted load	> 4.5 kΩ						
Stromaufnahme Current consumption	≤25 mA						
Genauigkeit Accuracy	≤±0,5% FS typ. (Grenzpunkteinstellung gemäß DIN 16086 max. ≤±1,5%FS) ≤±0,5% FS type (limit point setting according to DIN 16086 max. ≤±1,5%FS)						
Stabilität Nullpunkt Stability zero point	(1000h@125°C) ≤±0,3% FS						
Wiederholgenauigkeit Repeat accuracy	±0,1%FS						
Kompensierter Temp. bereich Compensated temp. range	0 bis 85°C						
Temperaturfehler Nullpunkt Temperature error zero point	<±0,02% FS						
Temperaturfehler Spanne Temperature error range	-0,012% FS						
Reaktionszeit Response Time	<2 ms (10 bis 90% des Messbereiches) <2 ms (10 to 90% of the measurement range)						
Vibrationsfestigkeit Vibration resistance	20 g (4 - 500 Hz) Sinus; DIN EN 60068-2-6 20 g (4 - 500 Hz) sine; DIN EN 60068-2-6						
Schockfestigkeit Shock resistance	Halbsinus 50 g; 11ms; DIN EN 60068-2-27 Half-sine 50 g; 11ms; DIN EN 60068-2-27						
Schutzart Protective system	IP65						
Druckgehäuse Pressure housing	Edelstahl VA 1.4305 Stainless Steel AISI 303						
Drucksensor Pressure sensor	Keramikmesszelle in Dickschichttechnologie mit entsprechendem O-Ring NBR, FKM, EPDM Ceramic measuring cell with appropriate O-ring NBR, FKM, EPDM						
Werkstoff Material	Medienberührende Teile: Keramik, Edelstahl VA 1.4305, Dichtwerkstoff Medium-touching sections: Ceramic measuring cell, Stainless Steel AISI 303, Sealing material						
Umgebungstemperatur Ambient temperature	-25° bis +85° C -25° to +85° C						
Standzeit Service Life	> 10 Millionen Zyklen bei Druckanstiegsrate ≤ 1bar/ms bei Pnenn > 10 million cycles at rate of pressure rise to ≤ 1bar/ms at pnom						
Anschlußgewinde Fitting thread	G 1/4" Außengewinde (andere auf Anfrage) G 1/4" Male thread (others on request)						
Elektrischer Anschluß Electrical connection	PG9 DIN EN 175301-803-A		M12x1 DIN EN 61076-2-101 A		Deutsch DT04-3P		
Gewicht ca. Weight Approx.	130 g		100 g		100 g		

Weitere Informationen siehe Gebrauchsanweisung (GBA) für Drucksensor | Further information see Operating Instruction (OI) for Pressure Sensor

* andere Messbereiche auf Anfrage | other measurement ranges on request

PŘÍLOHA 10: katalogový list tlakového spínače LAYHER 420 010

LAYHER

Druckschalter
Pressure Switch **Typ 420**

Schließer / Öffner / Wechsler | NO-Contact / NC-Contact / Change-over Contact



TECHNISCHE DATEN | TECHNICAL DATA

Bestellnummer Order no.	420 002	420 010	420 070	420 200
Druckeinstellbereich Pressure setting range	0,5 – 2 bar	1 – 10 bar	10 – 70 bar	50 – 200 bar
Toleranz Tolerance	± 0,2 bar	± 0,5 bar	± 3,0 bar	± 5,0 bar
Arbeitsdruck max. Working pressure max.	2 bar	10 bar	70 bar	200 bar
Überlastgrenze (statisch) Overpressure limit max.(static)	10 bar	20 bar	120 bar	300 bar
Bauart Design	Membrane federbelastet Spring-loaded diaphragm		Kolben federbelastet Spring-loaded piston	
Membrane Diaphragm / Dichtung Seal	NBR Sonderausführung siehe Rückseite NBR Special design see backside		UR Sonderausführung siehe Rückseite UR Special design see backside	
Befestigungsart Manner of fastening	über Außengewinde oder Innengewinde (IG) Male thread or Internal thread (IG)			
Anschlußgewinde >A< Fitting thread >A<	G 1/4", G 1/8", M10x1 kegelig, IG M12x1,5, andere Gewinde siehe Rückseite G 1/4", G 1/8", M10x1 Cone, IG M12x1,5, Other threads see backside			
Einbaulage Mounting position	beliebig Any			
Umgebungstemperatur Ambient temperature	-25 °C bis + 85 °C, höhere Temperaturen auf Anfrage -25 °C to + 85 °C, higher temperatures on demand			
Medien Medium	Luft, Hydrauliköl, Ölemulsionen, Wasser, andere Medien auf Anfrage Air, hydraulic oil, oil emulsions, water, others on demand			
Verstellbarkeit Adjustability	unter Druck Under pressure			
Rückschaltdifferenz Switch back difference	15 % – 30% (Optional ab Werk einstellbar Optionally ex factory adjustable)			
Mechanische Lebensdauer Mechanical life	10 ⁶			
Werkstoff Material	Stahl verzinkt, Sonderausführung siehe Rückseite Galvanized steel, Special design see backside			
Gewicht ca. Weight approx.	65 g		95 g	
Schaltelement Switching element	Microschalter – Kontakte versilbert, Sonderausführung vergoldet Microswitch - silver-plated contacts / special gold-plated contacts			
Bemessungsspannung Reference voltage	42 V			
Bemessungsfrequenz Reference frequency	nicht über 100 Hz Not over 100 Hz			
Schalhäufigkeit max. Switching frequency max.	200/min.			
Elektrischer Anschluß Electrical connection	Flachstecker 6,3 x 0,8 Flat plug 6.3 x 0.8			
Schutzart Protective system	IP 65, Klemmen IP 00 DIN 40 050 IP65, terminale IP00 DIN 40 050			



PŘÍLOHA 11: katalogový list Olhamovy spojky OX33G



Spojky OLDHAM®

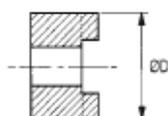
S průchozím otvorem | Typ OX



Typ OX

Popis

- Spojka slouží k přenášení krouticího momentu
- Vyrovnává axiální posunutí, radiální a úhlovou nesouosost
- Bezúhlová do 10° otáček
- Každá spojka je složena ze 2 polovin a středu, který přenáší krouticí moment
- Velikost vrtání 4 – 30 mm
- Nominální moment 1,7 – 44 Nm



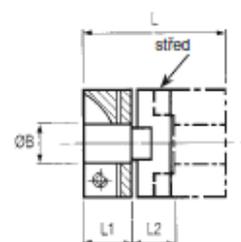
Spojky s průchozím otvorem OX umožňují výměnu středu bez nutnosti vyosení hřídelí.



Typ G
se svěrným spojem



Typ D - střed spojky Acetal
Vysoká tuhost, dobré vlastnosti při nouzovém chodu, dlouhá životnost bez vůle, [-20°C až +60°C]



Jiné typy spojek - s neprůchozím otvorem OS, se stavěcím šroubem typ F - na poptávku

Obj. číslo	Náboj	Střed	Vrtání Ø B		Ø D	L	L ₁	L ₂	Šrouby M _k	Nomin. moment M _d	Kritický moment M _c	Tlustost v kruhu	J	Hmotn.	Radiální	Max. vyosení		
			min.	max.												±mm	±mm	Ønel
OX19G	D19		4,000	8,00	19,1	26,0	9,4	7,2	4-40	2,33	1,70	10,0	115	59	13	0,20	0,10	±0,5°
OX25G	D25		6,000	12,00	25,4	32,4	11,6	9,2	M3	2,43	4,00	13,0	205	252	31	0,20	0,10	±0,5°
OX33G	D33		8,000	16,00	33,3	48,0	15,0	18,0	M3	2,43	9,00	53,0	615	1133	74	0,20	0,15	±0,5°
OX41G	D41		9,525	20,00	41,3	50,8	17,8	15,3	M4	5,66	17,00	57,0	1200	3177	142	0,25	0,15	±0,5°
OX50G	D50		9,525	25,40	50,0	59,6	20,6	18,4	M5	11,40	30,00	95,0	1375	7550	208	0,25	0,20	±0,5°
OX57G	D57		12,000	30,00	57,1	78,0	28,4	21,2	M6	19,34	44,00	150,0	2610	12410	361	0,25	0,20	±0,5°

Standardní vrtání Ø B

Velikost spojky	4,00	4,763	5,00	6,00	6,35	8,00	9,525	10,00	12,00	12,70	14,00	15,00	15,875	16,00	18,00	19,00	19,05	20,00	24,00	25,00	25,40	30,00	
19	■	■	■	■	■	■																	
25				■	■	■	■	■	■														
33						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■							
41							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
50								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
57									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

- **Příklad pro objednání** - např. spojka OLDHAM, velikost 25, vrtání 6 mm:
OX25G-6 - polovina spojky
D25 - střed spojky

Materiál

- Spojka Velikost 19 - 57 Legovaný hliník
- Střed D - Acetal