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

VYHRNOVAČ NEHOMOGENNÍCH MATERIÁLŮ
DOZER OF NON-HOMOGENEOUS MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Bc. Jan Sekava
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2020

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	**Bc. Jan Sekava**
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Automobilní a dopravní inženýrství
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Jiří Malášek, Ph.D.**
Akademický rok:	2019/20

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

Vyhrnovač nehomogenních materiálů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh vyhrnovacího bloku pro nehomogenní materiály. Hydraulicky ovládaný tlačný blok bude uchycen na teleskopickém manipulátoru.

Cíle diplomové práce:

Vypracování technické zprávy obsahující přehled podobných strojních zařízení, výběr a zdůvodnění zvolené koncepce, důležité technické výpočty, schema hydraulického obvodu.
Uvedení přehledu možných nehomogenních materiálů.
Vypracování výkresu sestavy a vhodných detailních výkresů.
Provedení pevnostní kontroly vybraného dílce.

Seznam doporučené literatury:

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

BIGOŠ, Peter, Jozef KUĽKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

POLÁK, Jaromír, Jiří PAVLISKA a Aleš SLÍVA. Dopravní a manipulační zařízení I. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2001. ISBN 8024800438.

KOVÁČ, Milan a Vladimír KLAPITA. Manipulácia s materiálom v doprave. 1. vyd. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 8080701741.

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

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

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je navrhnout hydraulicky ovládaný vyhrnovací blok pro nehomogenní materiály. Navržený vyhrnovač nehomogenního materiálu je uchycený na teleskopickém manipulátoru. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část obsahuje přehled podobných strojních zařízení, popis teleskopického manipulátoru a přehled možných nehomogenních materiálů. Praktická část se zabývá konstrukčním návrhem vyhrnovacího bloku. Návrh obsahuje výběr a zdůvodnění zvolené koncepce, důležité technické výpočty, schéma hydraulického obvodu, pevnostní kontrolu a výrobní dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

vyhrnovač, nehomogenní materiál, teleskopický manipulátor, přímočarý hydromotor

ABSTRACT

The aim of the master's thesis is to design a hydraulically controlled dozer for non-homogeneous materials. The proposed dozer of non-homogeneous materials is attached to a telehandler. The thesis is divided into a theoretical and practical part. In the theoretical part contains a summary of similar machinery, a description of a telehandler and a summary of possible non-homogeneous materials. The practical part deals with the structural design of the proposed dozer. The design includes selection and justification of the chosen concept, important technical calculations, a scheme of the hydraulic circuit, strength check calculations, and drawing documentation.

KEYWORDS

dozer, non-homogeneous material, telehandler, straight hydraulic motor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEKAVA, Jan. *Vyhrnovač nehomogenních materiálů.* Brno, 2020. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124896. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 94 s. Vedoucí práce Jiří Malášek.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jiřího Maláška, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25. června 2020 ……..……..…………………………………………..

Jan Sekava

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval doc. Ing. Jiřímu Maláškovi, Ph.D. za poskytnuté cenné informace, rady a připomínky při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni a rodině, kteří mě po celou dobu mého studia na vysoké škole podporovali.

OBSAH

Obsah ... 8
Úvod ... 11
1 Rešerše podobných zařízení ... 12
1.1 Radlice ... 12
1.1.1 Připojení radlice k pracovnímu stroji ... 12
1.1.2 Způsoby natáčení radlice ... 15
1.1.3 Břit radlice ... 16
1.1.4 Možnosti ochrany radlice ... 16
1.1.5 Příklady radlic a jejich použití ... 17
1.2 Sněhové pluhy ... 20
1.2.1 Sněhové pluhy malé ... 20
1.2.2 Sněhové pluhy lehké ... 20
1.2.3 Sněhové pluhy střední ... 21
1.2.4 Sněhové pluhy těžké ... 21
1.2.5 Sněhové pluhy dálniční ... 21
1.2.6 Sněhové pluhy univerzální ... 22
1.3 Sněhové frézy ... 22
1.4 Šnekové dopravníky ... 23
1.4.1 Rozdělení šnekových dopravníků ... 24
1.4.2 Konstrukce šnekových dopravníků ... 24
1.4.3 Svislý šnekový dopravník ... 25
1.5 Redlery ... 26
1.5.1 Rozdělení redlerů ... 27
1.5.2 Konstrukce redlerů ... 27
1.5.3 Svislé redlery ... 29
1.6 Hřeblové dopravníky ... 30
1.6.1 Rozdělení hřeblových dopravníků ... 31
1.7 Zemědělství ... 31
1.7.1 Vyvážení chlévské mrvy ... 31
1.7.2 Přihrnovač krmení ... 33
1.7.3 Siláž ... 33
1.7.4 Vyhrnování materiálu z návěsu ... 34
1.8 Stavebnictví ... 35
1.9 Upravárenství ... 35
1.10 Teleskopický manipulátor ... 36

1.10.1 Parametry teleskopického výložníku ... 37
1.10.2 Přídavná zařízení pro teleskopický manipulátor ... 41
2 Výběr a zdůvodnění zvolené koncepce ... 43
2.1 Návrh rámu vyhrnovače ... 44
2.2 Návrh křídla vyhrnovače ... 45
2.3 Návrh hydraulického obvodu ... 46
3 Důležité technické výpočty ... 48
3.1 Trakční síla teleskopického manipulátoru ... 48
3.2 Reakční síly ... 49
3.2.1 Reakční síly při natočení křídla do polohy T ... 50
3.2.2 Reakční síly při natočení křídla do polohy V ... 51
3.2.3 Reakční síly při natočení do polohy Y ... 53
3.3 Návrh a volba hydromotoru ... 54
3.3.1 Výpočet činné plochy a výsledné síly ... 54
3.3.2 Zpětný chod – výpočet plochy a výsledné síly ... 55
3.3.3 Kontrola hydromotoru na vzpěr ... 56
3.4 Kontrola pojistných čepů hydromotoru ... 57
3.4.1 Maximální ohybový moment ... 58
3.4.2 Napětí v ohybu ... 58
3.4.3 Smykové napětí ... 59
3.4.4 Redukované napětí dle podmínky HMH ... 59
3.4.5 Bezpečnost čepu ... 59
3.5 Kontrola hlavního čepu vyhrnovače ... 60
3.5.1 Maximální ohybový moment ... 63
3.5.2 Napětí v ohybu ... 63
3.5.3 Bezpečnost hlavního čepu ... 63
3.6 Kontrola kluzných pouzder ... 64
3.6.1 Kontrola kluzného pouzdra o délce 50 mm ... 64
3.6.2 Kontrola kluzného pouzdra o délce 40 mm ... 64
4 Pevnostní kontrola MKP ... 65
4.1 Výpočet mezního stavu únosnosti ... 65
4.2 Tvorba MKP modelu rámu ... 66
4.3 Okrajové podmínky rámu ... 68
4.3.1 Nahrazení čepu ... 68
4.3.2 Nahrazení křídel vyhrnovače ... 69
4.3.3 Připevnění k teleskopickému manipulátoru ... 70

4.3.4 Zatížení vyhrnovaným materiálem 70
4.4 Vyhodnocení pevnostní analýzy rámu 71
4.4.1 Zátěžný stav 1 72
4.4.2 Zátěžný stav 2 73
4.4.3 Zátěžný stav 3 74
4.4.4 Zátěžný stav 4 75
4.4.5 Zátěžný stav 5 76
4.4.6 Zátěžný stav 6 77
4.5 Tvorba MKP modelu křídla 78
4.6 Okrajové podmínky křídla 80
4.6.1 Uchycení křídla vyhrnovače 80
4.6.2 Nahrazení hydromotru 80
4.6.3 Zatížení křídla vyhrnovače 81
4.7 Vyhodnocení pevnostní analýzy křídla 81
5 Nehomogenní materiály 84
5.1 Sníh 84
5.2 Chlévský hnůj a mrva 84
5.3 Suroviny pro silážování 84
5.4 Zemina 84
5.5 Štěrk, Písek, Štěrkopísek 85
Závěr 86
Seznam použitých zkratek a symbolů 91
Seznam příloh 94

ÚVOD

V zemědělství a komunálních službách se často využívá teleskopický manipulátor. Díky variabilitě a velkému množství přídavných zařízení je teleskopický manipulátor vhodný pro manipulaci jak s kusovým materiálem, tak i sypkým materiálem. V zemědělství se mimo jiné využívá pro vyhrnování chlévské mrvy z chodeb stáje, odklízení napadaného sněhu v zemědělském areálu a pro rozhrnování siláže po silážní jámě. Pro tyto účely se k teleskopickému manipulátoru připojuje radlice různých tvarů, která může být hydraulicky nebo ručně nastavitelná.

Předmětem této diplomové práce je návrh hydraulicky ovládaného vyhrnovacího bloku pro nehomogenní materiály. Vyhrnovač je připojený k teleskopickému manipulátoru značky New Holland s označením TH7.42.

V první kapitole bude uveden přehled podobných strojních zařízení, které se používají při vyhrnování a dopravě nehomogenního materiálu. Dále zde budou uvedeny příklady využití vyhrnovače nehomogenního materiálu, popsán teleskopický manipulátor a příslušenství, které je k teleskopickému manipulátoru možné připojit.

V druhé kapitole bude proveden výběr a zdůvodnění zvolené koncepce hydraulicky ovládaného tlačného bloku. Bude zde vypracováno schéma hydraulického obvodu a popsané zvolené komponenty.

Ve třetí kapitole budou provedeny důležité technické výpočty.

Čtvrtá kapitola se bude věnovat pevnostní analýze v programu Ansys. Pevnostní kontrola bude provedena pro rám a křídlo navrženého vyhrnovače nehomogenního materiálu.

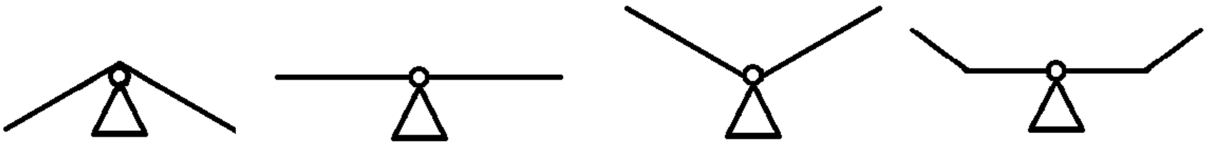
V poslední páté kapitole bude uvedený přehled nehomogenních materiálů, který lze pomocí navrženého vyhrnovače přemisťovat nebo s ním jiným způsobem manipulovat.

1 Rešerše podobných zařízení

Zařízeních podobných jako je vyhrnovač nehomogenního materiálů existuje velká řada. Přesun materiálu tlačným blokem se využívá v těžařském, stavebním, zemědělském a potraviny zpracujícím průmyslu. Dále velké využití nacházejí u správy a údržby silnic při odklízení sněhu a náledí z vozovek v zimním období. Využití také nacházejí u armády a záchranných složek, které vyhrnovač využívají pro zřizování pomocných cest nebo nájezdových ramp.

1.1 Radlice

Radlici na pracovní stroj lze umístit před první nápravu, za poslední nápravu nebo mezi nápravy. Záběr radlice může být přestavitelný nebo nepřestavitelný. Ovládání natočení je zajištěno buď hydraulicky nebo se nastavuje ručně. Radlice můžeme dělit podle jejich tvaru do čtyř základních skupin nazývané V, T, Y a U. Schématické rozdělení radlic je vyobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1. Základní skupiny radlic podle tvaru. Zleva: V, T, Y a U

1.1.1 Připojení radlice k pracovnímu stroji

K připojení radlice k pracovnímu stroji se nejčastěji používá jeden ze systémů upínání, jehož konstrukci udává norma. Díky normalizovanému upínání je možné na jeden pracovní stroj připojovat více druhů přídavných zařízení. Zároveň je možné kombinovat pracovní stroj a přídavné zařízení od jiných výrobců. Upínací zařízení jsou navrhnuté tak, aby umožňovaly rychlé a snadné připojení přídavného zařízení. Dále jsou uvedeny jednotlivé systémy připojování.

1.1.1.1 Euro

Upínací systém Euro je nejrozšířenější systém ve státech evropské unie. Tento systém využívají veškeré typy čelních nakladačů, některé vysokozdvižné vozíky nebo stavební stroje určené pro vysokou zátěž. Výsledkem toho je, že majitel různých typů nakladačů může těžit z široké nabídky nářadí. Rozměry tvaru tohoto upínání upravuje norma ISO 23206:2005(E). *[1]*

Obr. 2. Lopata s uchycením EURO [2]

Obr. 3. Rozměry EURO uchycení [3]

1.1.1.2 SMS (Svensk Maskin Standard)

Dalším typem uchycení je SMS. Tento typ upínání je primárně uzpůsoben pro čelní nakladače Trima. Průměr háku na nářadí je 60 mm. Většina strojů s tímto upínáním je zároveň vybavena kombinovaným systémem Euro/SMS, který umožňuje uchycení nářadí se systémem SMS, tak se systémem EURO. *[1]*

Obr. 4. Lopata s uchycením SMS [4]

1.1.1.3 Tříbodý závěs

K připojení přídavného zařízení na traktor se používá tříbodový závěs, který bývá umístěný, jak vpředu, tak i vzadu. Tříbodový závěs se rozděluje do čtyř kategorií podle výkonu motoru měřeného přes vývodový hřídel. Rozměry jednotlivých kategorií upravuje norma ISO 789-1. *[5]*

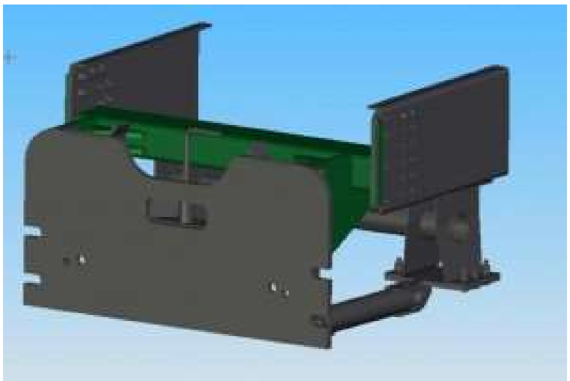
Kategorie závěsu	**Výkon motoru měřený přes vývodový hřídel podle ISO 789-1(kW)**
I	do 48
II	do 92
III	80 až 185
IV	150 až 350

Tab. 1. Kategorie tříbodých závěsů [6]

Obr. 5. Tříbodý závěs [7]

1.1.1.4 PŘEDNÍ UPÍNACÍ DESKA

Konstrukci a rozměry přední upínací desky určuje norma DIN 76060 A(B). Tato deska slouží k upnutí nástaveb typu sněhová radlice, sněhová fréza, ramenová sekačka apod. na vozidlo. Deska zajišťuje rychlou výměnu nástaveb a jejich bezpečné upnutí na přední část vozidla a zároveň chrání rám vozidla před jeho poškozením při provozu. Upínací desku je možno montovat prakticky na všechny typy nákladních vozidel. *[8]*



Obr. 6. Přední upínací deska [8]

1.1.1.5 TECHLIFT

Upínací deska Techlift se používá pro malé nákladní automobily a stavební stroje (Multicar, Magma, Ladog, UNC, Bobcat, Locust, atd.).

Obr. 7. Upínací deska Techlift [9]

1.1.2 ZPŮSOBY NATÁČENÍ RADLICE

1.1.2.1 MANUÁLNÍ NATÁČENÍ

Manuálním natáčením lze ušetřit vysoké náklady spojené s pořizováním a následnou údržbou technologicky složitých a drahých hydraulických součástí. Místo nich je na radlici natáčecí mechanismus s aretačním zařízením. Tohoto způsobu natáčení se většinou využívá u malých radlic a radlic, u kterých se předpokládá jen občasné využití. Výhodou manuálního natáčení je spolehlivost a již zmiňovaná cena. Naopak nevýhodou je nemožnost ovládání radlice z kabiny stroje během pracovního cyklu a omezený počet nastavovacích pozic.

Obr. 8. Přední radlice s manuálním natáčením [10]

1.1.2.2 HYDRAULICKÉ NATÁČENÍ

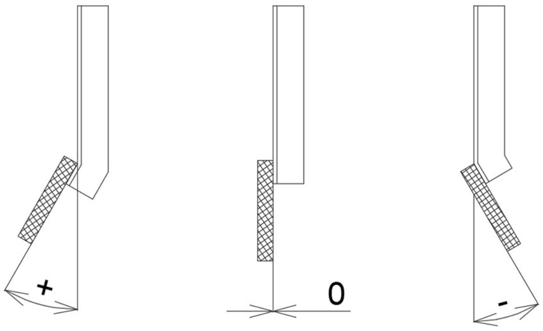
Hydraulické natáčení je nejčastěji používaný způsob, jak se dá ovládat natáčení radlice. K pohonu se využívá hydrogenerátor pracovního stroje, který přes rozvaděč dodává potřebný pracovní tlak. Propojení stroje s radlicí je provedeno pomocí hydraulických rychlospojek. U jednoduchých radlic (skupina „T“ s natáčením vpravo, případně vlevo) stačí jeden hydraulický okruh s jedním nebo dvěma dvojčinnými hydromotory. U šípových radlic je zapotřebí dvou hydraulických okruhů s dvěma dvojčinnými hydromotory. U šípových radlic se do obvodu se přidává vícecestný rozvaděč, aby bylo umožněno natáčení každého křídla zvlášť.

Obr. 9. Zadní radlice s hydraulickým natáčením [11]

Výhodou je možnost natáčení radlice z kabiny stroje a tím i rychlost, za kterou se radlice dostane do požadovaného natočení. Další výhodou je plynulé nastavování radlice pod zatížením. K aretaci v dané poloze slouží hydromotor, tudíž odpadá nutnost instalovat aretační zařízení. Nevýhody využití hydraulického natáčení jsou vysoká cena, nutnost využití pracovního stroje vybaveného hydrogenerátorem a větší pravděpodobnost poruchy (například netěsnosti).

1.1.3 Břit radlice

Břit radlice slouží k rozpojování přepravovaného materiálu. Geometrie břitu významně ovlivňuje odpory vznikající při rozpojování a přemisťování zemin. Úhel, který svírá břit s povrchem může být kladný, nulový nebo záporný (znázorněno na obrázku 10). Kladného úhlu se využívá u těžkých nákladních vozidel. Naopak záporného úhlu se využívá u radlic, které jsou tažené za pracovním strojem (například radlice umístěná za traktorem). Břit je s radlicí spojen šrouby, protože se předpokládá jeho velké opotřebení a nutnost výměny.



Obr. 10. Úhel břitu, zleva: kladný, nulový a záporný

Nejčastěji používaný materiál břitu je speciální otěruvzdorná pryž, která může být zpevněna zalisovanou textilní vložkou zvyšující její odolnost. Dále se používají i ocelový břity, polyuretanový břity, či jejich kombinace. Nejčastěji používaní pryžové břity bývají 250 mm vysoké o síle 30 mm. Radlice na sníh pro multikáry nebo jiné menší stroje jsou obvykle v síle 20 mm.

1.1.4 Možnosti ochrany radlice

Radlice jsou často vystaveny kontaktu s tvrdými předměty nebo překážkami ukrytými pod tlačeným materiálem. Aby se zabránilo poškození radlice, její části nebo bylo zabráněno případnému zranění obsluhy jsou radlice konstruovány s výkyvnou částí radlice nebo celou výkyvnou radlicí. Aretace výkyvné části je zajištěna pomocí pružných systému. K tomu se používá tlačných (obr.12), tažných (obr.8) nebo zkrutných pružin (obr.11). Tažné pružiny se používají v kombinaci se silentbloky, které snižují rázy při vykyvování radlice.

Obr. 11. Aretace pomocí zkrutných pružin [13]

Obr. 12. Aretace pomocí tlačných pružin [14]

1.1.5 PŘÍKLADY RADLIC A JEJICH POUŽITÍ

V následujícím přehledu je ukázáno několik příkladů radlic.

1.1.5.1 RADLICE NA SNÍH

Šípová radlice SR-T2 od firmy AGROMETALL s.r.o. Šípovou radlici lze agregovat na vozidla s předním tříbodovým závěsem kat. I, II nebo univerzální deskou DIN 76060 a také s ostatními stroji s vlastním pohonem (například teleskopické nakladače). Radlice slouží k odklizení čerstvého nebo rozbředlého sněhu z parkovišť, komunikací, náměstí, a ostatních zpevněných nebo nezpevněných ploch. Radlice je vybavena pružinovým zabezpečením břitu (tlačnými pružinami), které zajišťují odolnost vůči nárazu na překážku. Konstrukce umožňuje plynulou změnu nastavení vypínací síly břitu. *[15]*

Obr. 13. Šípová radlice SR-T2 [15]

Zadní radlice ZR-T2 od firmy AGROMETALL s.r.o. Trychtýřové provedení ohrnovacího štítu a velká světlost pod závěsem zaručují volný průchod odhrnovaného materiálu k pravé straně radlice. Radlice má tloušťku materiálu odhrnovací desky 6 mm. Připojení k pracovnímu prostředku je snadné. Natočení radlice 30°. Zadní radlice ZR-T2 je vybavena závěsem kategorie II. *[16]*

Obr. 14. Zadní radlice ZR-T2 [16]

1.1.5.2 RADLICE NA SILÁŽ

Nesená radlice Agrotipa SilaPress je jednoduchý stroj, určený k rozhrnování silážové hmoty pro následné její snadnější zpracování (dusání – pěchování). Nesená radlice je určená k agregaci se zemědělským kolovým traktorem o minimální pohotovostní hmotnosti 7 500 kg a výkonu od cca 170 koní a výše. Radlici lze připojit do tříbodového závěsu, a to jak do předních ramen, tak do zadních ramen traktoru, a připojit na 2 hydraulické okruhy. Radlice se vyrábí se záběrem 2,5–5 m a výškou radlice 1250 mm. Záběr radlice lze regulovat dvěma hydraulickými válci, které jsou začepovány jedním okem ve stojánku a druhým okem v otočném křídle radlice. Boční křídla radlice jsou spojena se střední částí čepy, které jsou uloženy v kluzných pouzdrech. Pouzdra jsou opatřena mazacími místy. Součástí radlice je stojánek, do kterého se tříbodově připojuje traktor. Při odstavení radlice musí být vždy radlice stažena na nejmenší záběr pro bezpečnou stabilitu. *[18]*

Obr. 15. Radlice na siláž [18]

1.1.5.3 RADLICE NA VYHRNOVÁNÍ CHLÉVSKÉ MRVY

Čelní radlice stájová slouží k vyhrnování chlévské mrvy ze stáje na hnojiště. Je určena pro čelní nakladač nebo teleskopický nakladač. Připojení ke stroji je provedeno upínacím systémem EURO. Hydraulickým nastavováním je možné plynule měnit šířka záběru podle šířky stáje.

Obr. 16. Stájová čelní radlice [17]

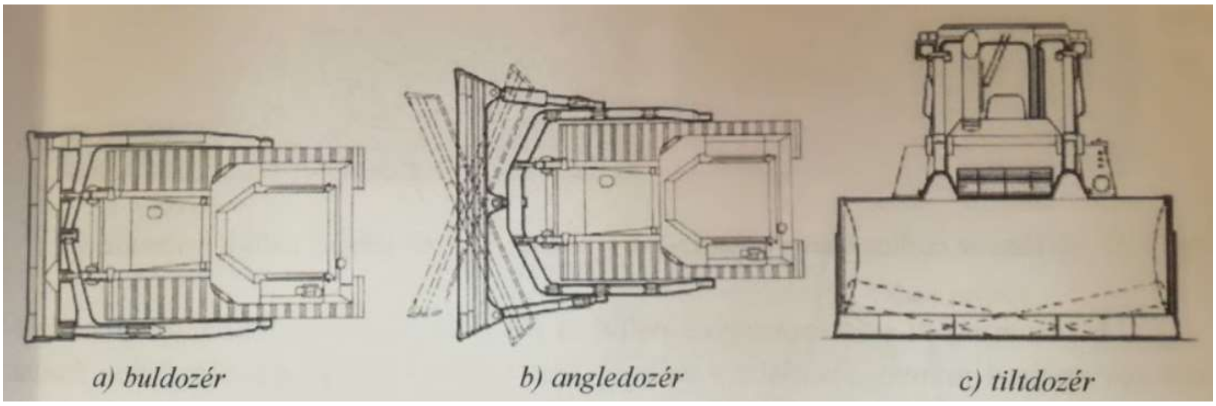
1.1.5.4 DOZÉROVÁ RADLICE

Podle počtu stupňů volnosti pohybu radlice rozdělujeme dozéry na tři typy – buldozér, angledozér a tiltdozér.

Buldozér (přímý dozér) – Radlice se udržuje v poloze, kde je řezná hrana kolmá na podélnou osu stroje. Umožňuje s ní zdvihání ve vertikálním směre měnit výšku třísky odebírané zeminy. Jako řezná hrana (nůž) radlice je radlice rovnoběžná s pojezdovou rovinou, buldozér zeminu rozpojuje a hrne směrem dopředu.

Angledozér – Umožňuje změnu směru radlice (natáčením) tak, aby řezná hrana svírala s vertikální rovinou (kolmou na podélnou osu stroje) úhel v rozsahu ±30°. Potom angledozér může zeminu těžit, hrnout před sebou anebo hrnout směrem na bok.

Tiltdozér – Radlice je kolmá na podélnou osu stroje a mimo zdvihání se může vychýlit od horizontální roviny v rozsahu ±30°. *[19]*



Obr. 17. Dozérové radlice [19]

1.2 SNĚHOVÉ PLUHY

Sněhový pluh je mobilní prostředek určený k odklízení sněhu z vozovek, kolejí a jiných komunikací. Následují rozdělení sněžných pluhů je provedeno podle stránky mtmtech.cz. *[20]*

- Sněhové pluhy malé
- Sněhové pluhy lehké
- Sněhové pluhy střední
- Sněhové pluhy těžké
- Sněhové pluhy dálniční
- Sněhové pluhy univerzální

1.2.1 SNĚHOVÉ PLUHY MALÉ

Pluhy určené pro malé profesionální nosiče nářadí, jako jsou vozidla Multicar, různé typy malotraktorů apod. Tyto pluhy se používají převážně k údržbě pěších komunikací. *[20]*

Obr. 18. Malý sněhový pluh [20]

1.2.2 SNĚHOVÉ PLUHY LEHKÉ

Pluhy určené pro úklid vozovek, převážně městských a obecních komunikací. Díky své nízké hmotnosti se tyto pluhy často agregují s traktory a vozidly o celkové hmotnosti 10–15 t. *[20]*

Obr. 19. Lehký sněhový pluh [20]

1.2.3 SNĚHOVÉ PLUHY STŘEDNÍ

Jedná o střední kategorii pluhů o hmotnosti cca 800–1000 kg, určenou pro široké použití. *[20]*

Obr. 20. Sněhové pluhy střední [20]

1.2.4 SNĚHOVÉ PLUHY TĚŽKÉ

Pluhy hmotnostní kategorie přes 1000 kg, určené pro odklízení vysokých vrstev sněhu. *[20]*

Obr. 21. Sněhové pluhy těžké [20]

1.2.5 SNĚHOVÉ PLUHY DÁLNIČNÍ

Pluhy určené speciálně pro úklid dálničních a rychlostních komunikací. Tyto pluhy jsou rovněž díky své velké šířce záběru vhodné i pro úklid velkých betonových ploch, jako jsou např. letištní plochy. Díky své konstrukci dovolují úklid i při vyšších rychlostech (okolo 50 km/h). *[20]*

Obr. 22. Sněhové pluhy dálniční [20]

1.2.6 SNĚHOVÉ PLUHY UNIVERZÁLNÍ

Sněhové pluhy šípové s proměnnou geometrií nastavení křídel. Tyto pluhy jsou určeny jednak pro odklízení nejvyšších vrstev sněhu a jednak pro vyhrnování sněhu z různých prostranství. *[20]*

Obr. 23. Sněhový pluh univerzální [20]

1.3 SNĚHOVÉ FRÉZY

Sněhová fréza je stroj sloužící k odklízení velkých nánosů sněhu. Existuje jak ve formě pro odklízení závějí ze silnic a železnic, tak i v menší podobě pro použití v domácích podmínkách. Sněhové frézy zpravidla sníh rozřezávají pomocí točícího se šneku. Kousky sněhu jsou pak odhazovány mimo čištěnou oblast. Typ užívané frézy se liší jak podle čištěné oblasti (silnice, železnice, zahrada), podle typu podkladu (zpevněný povrch, nerovný a měkký terén), tak i podle typu sněhu, který má odklízet (čerstvý sníh, těžký udusaný sníh). *[21]*

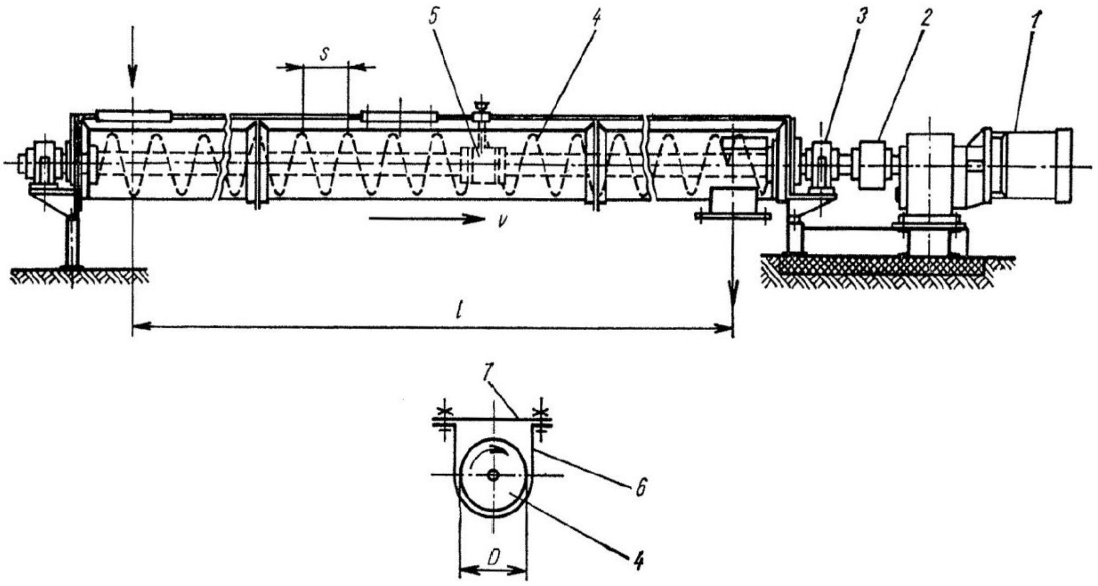
Sněhové frézy lze rozdělit podle typu pohonu nebo použití. Následující rozdělení je provedeno podle stránky mtmtech.cz *[20]*

- Sněhové frézy poháněné od nosného vozidla
- Sněhové frézy poháněné vlastním motorem
- Sněhové frézy speciální pro údržbu sjezdovek

Obr. 24.Sněhová fréza poháněná od nosného vozidla [20]

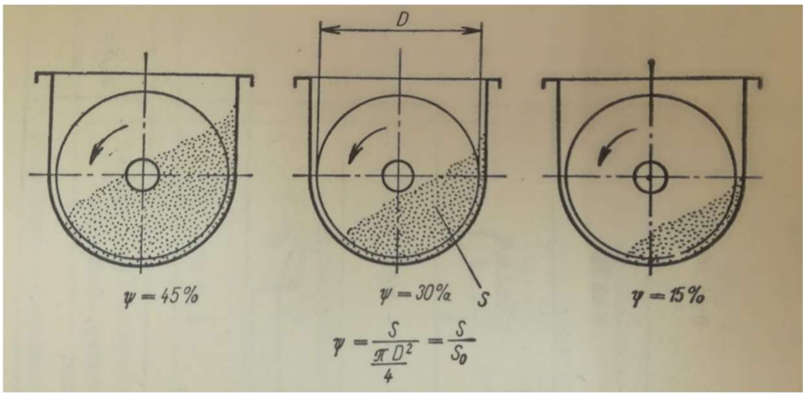
1.4 ŠNEKOVÉ DOPRAVNÍKY

Šnekový dopravník je otevřený nebo uzavřený žlab, uvnitř kterého se otáčí šroub, sestávající z hřídele a pracovních otočných čepelí. Při rotaci šneku dochází k posouvání dopravovaného materiálu ve žlabu. Účinky tíhy a tření materiálu o žlab brání společnému otáčení materiálu se šnekem. *[22]*



Obr. 25. 1 - hnací převodový elektromotor, 2 - spojka, 3 - ložisko, 4 - šnek, 5 - vodící ložisko, 6 - žlab, 7 - víko žlabu [22]

Šnekové dopravníky jsou určeny k přepravě na krátkou vzdálenost (30–40 m) práškových, zrnitých, neabrazivních, abrazivních a malých, jakož i viskózních a pastovitých materiálů v horizontálním a méně často nakloněném (až 25°) směru. U hermeticky uzavřeného žlabu se také používají šnekové dopravníky pro pohyb sypkých materiálů ve svislém směru. Šnekové dopravníky se dodávají se šrouby s průměry od 150 do 600 mm. Šnekový dopravník může být jednohřídelový nebo dvouhřídelový, který se dá zároveň použít k míchání. Dopravované množství se pohybuje od 1 do 300 m^3h^{-1}. Dopravní rychlost zpravidla nepřesahuje 0,5 ms^{-1}. Rychlost otáčení šroubu je stanovena v závislosti na jeho průměru a povaze materiálu, který se v něm pohybuje. Správná funkce dopravníku je podmíněna pouze částečným zaplněním žlabu materiálem. Stupeň naplnění žlabu se vyjadřuje součinitelem plnění, který je rovný podílu plochy průřezu materiálu ve žlabu ku ploše průřezu šnekovice. *[22]*



Obr. 26. Využití průřezu žlabu při různém součiniteli plnění [22]

1.4.1 Rozdělení šnekových dopravníků

Podle směru dopravy:

- Vodorovné
- Šikmé
- Svislé

Podle smyslu stoupání šneku:

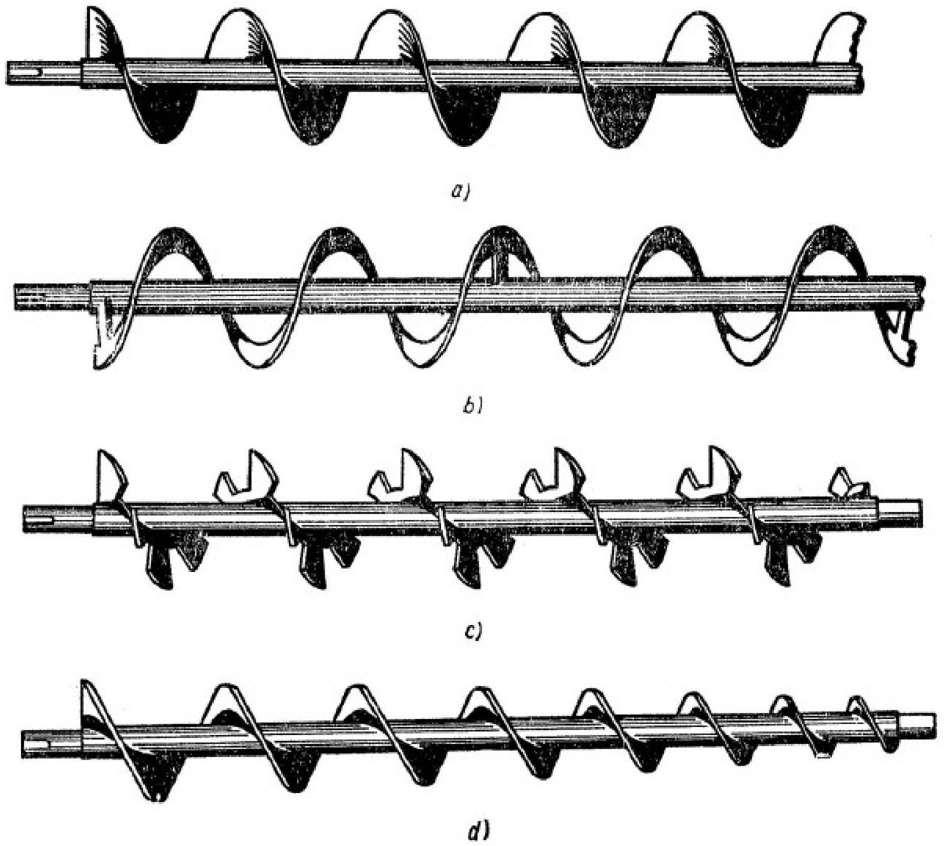
- Pravotočivé
- Levotočivé

Podle počtu šneků:

- Jednošnekové
- Dvoušnekové

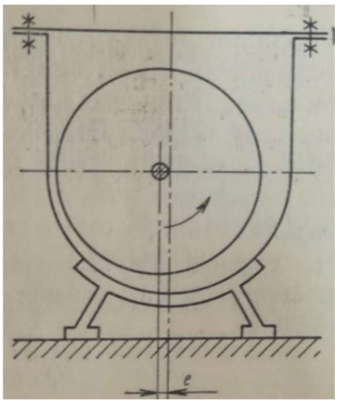
1.4.2 Konstrukce šnekových dopravníků

Šnek je podstatnou částí dopravníku. Do značné míry určuje vlastnosti dopravníku. Šnek se skládá z hřídele a šnekovice. Hřídel bývá plný i trubkový (dutý) s plnými čepy pro uložení v ložiskách. Na hřídeli je upevněna šnekovice. Šnekovice může mít pravé nebo levé stoupání, čímž se určuje směr pohybu dopravovaného materiálu. Podle provedení může být šnekovice plná, obvodová s centrálním hřídelem, obvodová bez centrálního hřídele nebo lopatková. *[22]*



Obr. 27. Typy šnekovic a) plná šnekovice b) obvodová šnekovice c) lopatková šnekovice d) kuželová šnekovice [22]

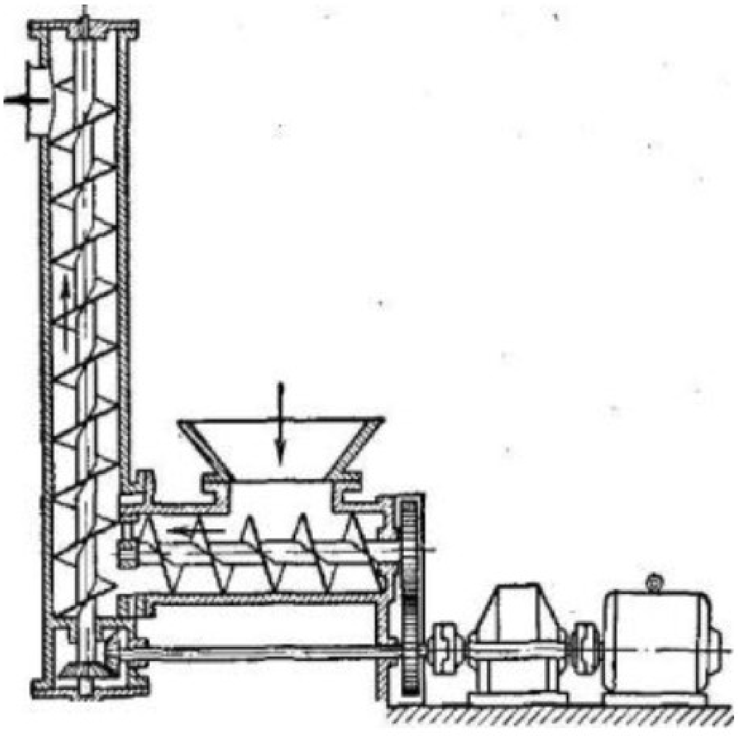
Žlab má tvar písmene U a jeho rozměry jsou odvozeny od rozměru šneků. Minimální vůle mezi šnekem a žlabem bývá 5 až 10 mm a je určena hlavně výrobními tolerancemi šneku a druhem dopravovaného materiálu. Žlab může být otevřený nebo uzavřený, k utěsnění se používá pryžové těsnění. Excentrickým umístěním šneku ve žlabu se zabrání příčení materiálu mezi žlabem a šnekem, protože vůle mezi šnekem a žlabem ve smyslu otáčení žlabu se zvětšuje. *[22]*



Obr. 28. Uložení šneku mimo osu žlabu [22]

1.4.3 SVISLÝ ŠNEKOVÝ DOPRAVNÍK

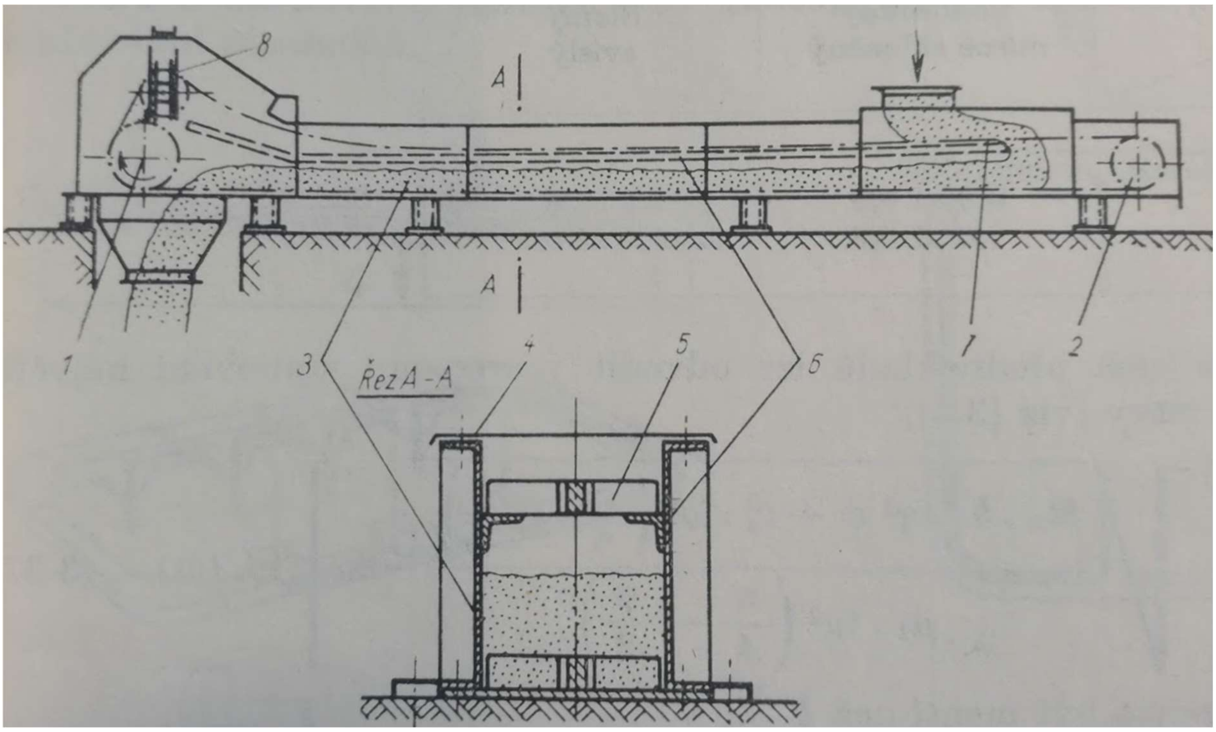
Svislý šnekový dopravník slouží k svislé dopravě materiálu do značných výšek. Dopravovat takto lze jen lehce tekoucí materiály. Plášť je nejčastěji dvoudílný, kruhového průřezu. Otáčky šneku jsou proti vodorovným šnekovým dopravníkům značně vyšší (3–7 s^{-1}). Musí být tak velké, aby záporně vzaté dostředivé zrychlení bylo větší než gravitační zrychlení. *[22]*



Obr. 29. Svislý šnekový dopravník [22]

1.5 REDLERY

Redler je mechanický dopravník, který svým tažným prostředkem (řetězem s unášeči) dopravuje materiál v uzavřeném žlabu, a to v průřezu větším, než je čelní plocha unášeče. *[22]*



Obr. 30. Základní části redleru 1) Poháněcí stanice 2) Vratná stanice 3) Žlab 4) Víko 5) řetěz s unášeči 6) vedení 7) mezidno 8) napínací ústrojí [22]

Ve žlabu skládajícím se z normalizovaných úseků (sekcí), na jehož jednom konci je poháněcí stanice s výsypkou a na druhém vratné ústrojí s násypkou, pohybuje se za chodu redleru řetěz s unašeči. Materiál přiváděný do redleru násypkou vytvoří s unášecím řetězem základní vodorovnou vrstvu výšky h_u, nad níž se hromadí další materiál o výšce h_2 přiváděný násypkou. Celková výška dopravovaného materiálu je $h_c = h_u + h_2$. Materiál horní vrstvy s materiálem spodní vrstvy tvoří jeden celek, který je unášen rozdílem třecích sil mezi materiálem a stěnami žlabu. Přitom rychlost pohybu matriálu – dopravní rychlost v je menší než rychlost pohybu unášecího řetězu v_0. Vzájemný poměr rychlostí charakterizuje součinitel $c_v = v/v_0$, jehož hodnoty jsou v následující tabulce. *[22]*

Redler / Materiál	Vodorovný mírně skloněný	Strmý svislý
drobně kusovitý	0,9	0,8
zrnitý	0,8 až 0,9	0,6 až 0,8
práškovitý	0, až 0,8	0,4 až 0,6

Tab. 2 Hodnoty součinitele c_v [22]

Redlery jsou vhodné pro dopravu práškových, vločkovitých, jemnozrnných i hrubozrnných materiálů do zrnitosti až 50 mm, jako jsou obiloviny, uhlí, suchá soda, suchá sůl. Teplota dopravovaného materiálu může být až 300°C. Silně abrazivní materiály vyžadují úpravy žlabu, jako například obložení žlabu otěruvzdorným materiálem. Readlery naopak nejsou vhodné pro dopravu lepivých a lehce drtivých materiálů. Směry dopravy mohou být vzájemně kombinovány, avšak pouze v rovině ohybu taženého řetězu (rovina může být svislá i vodorovná). *[22]*

1.5.1 ROZDĚLENÍ REDLERŮ

Podle dopravní trasy:

- Přímé
    a. vodorovné
    b. skloněné
- Lomené
    c. Svislé
    d. kombinované
- Okružní
- Svislý

Podle počtu tažných řetězů:

- Jednořetězové
- Dvouřetězové

Z hlediska směru dopravní trasy:

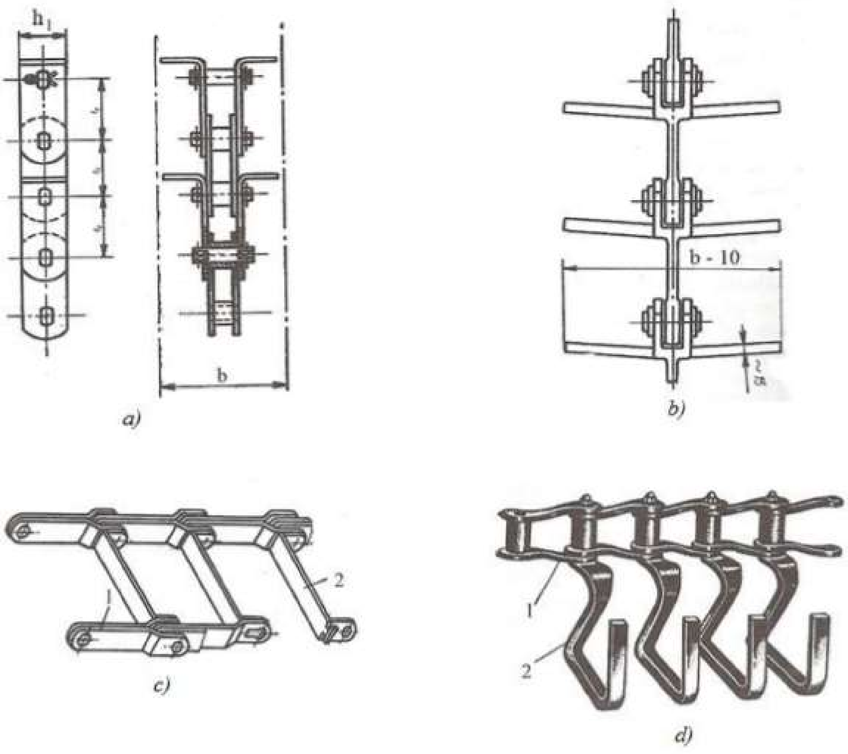
- Jednosměrné
- Obousměrné

1.5.2 KONSTRUKCE REDLERŮ

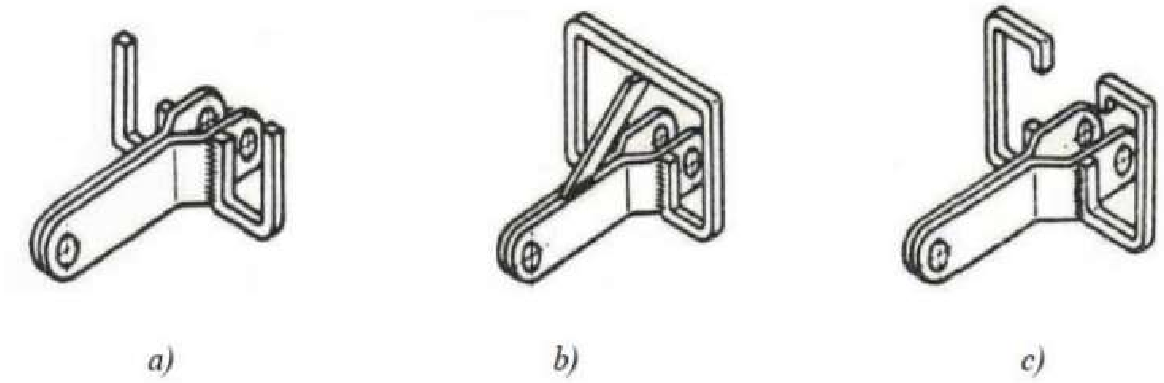
Žlab redleru se skládá z plechových svařovaných dílců obdélníkového průřezu délek od 900 do 2900 mm spojených mezi sebou sešroubováním na přírubu. Šířka žlabu je 160 až 1000 mm. Tloušťka plechů je mezi 3 až 8 mm. Dno žlabu bývá podle potřeby opatřeno kluznými lištami pro řetězy. Shora je žlab uzavřen víkem. K prachotěsnému uzavření žlabu se využívá pryžové těsnění nebo azbestového těsnění, které odolá vyšším teplotám. V horní části žlabu jsou na bočních stěnách upevněny kluzné lišty podpírající vratnou větev unášecího řetězu. Je-li pod horní větví unášecího řetězu mezidno, lze dopravovat materiál v obou větvích. *[22]*

Obr. 31. Žlab redleru s mezidnem [23]

Unášecí řetězy jsou kloubové nebo speciální. Pro vodorovné redlery se používají řetězy jednoduché, vidlicové (pro abrazivní materiály), dvojité a dvojité kombinované. Jednoduché se používají pro žlaby do šířky 250 mm. Pro větší šířky žlabů se používají dvojité řetězy. Pro redlery se sklonem 15–90° se používají řetězy s unášeči. Je-li uspořádání redleru takové, že unášeč přechází řetězová kola, musí být použity unášeč otevřený.



Obr. 32. a) Jednoduchý řetěz b) Vidlicový c) Dvojitý d) Řetěz pro vodorovný okružní redler [22]

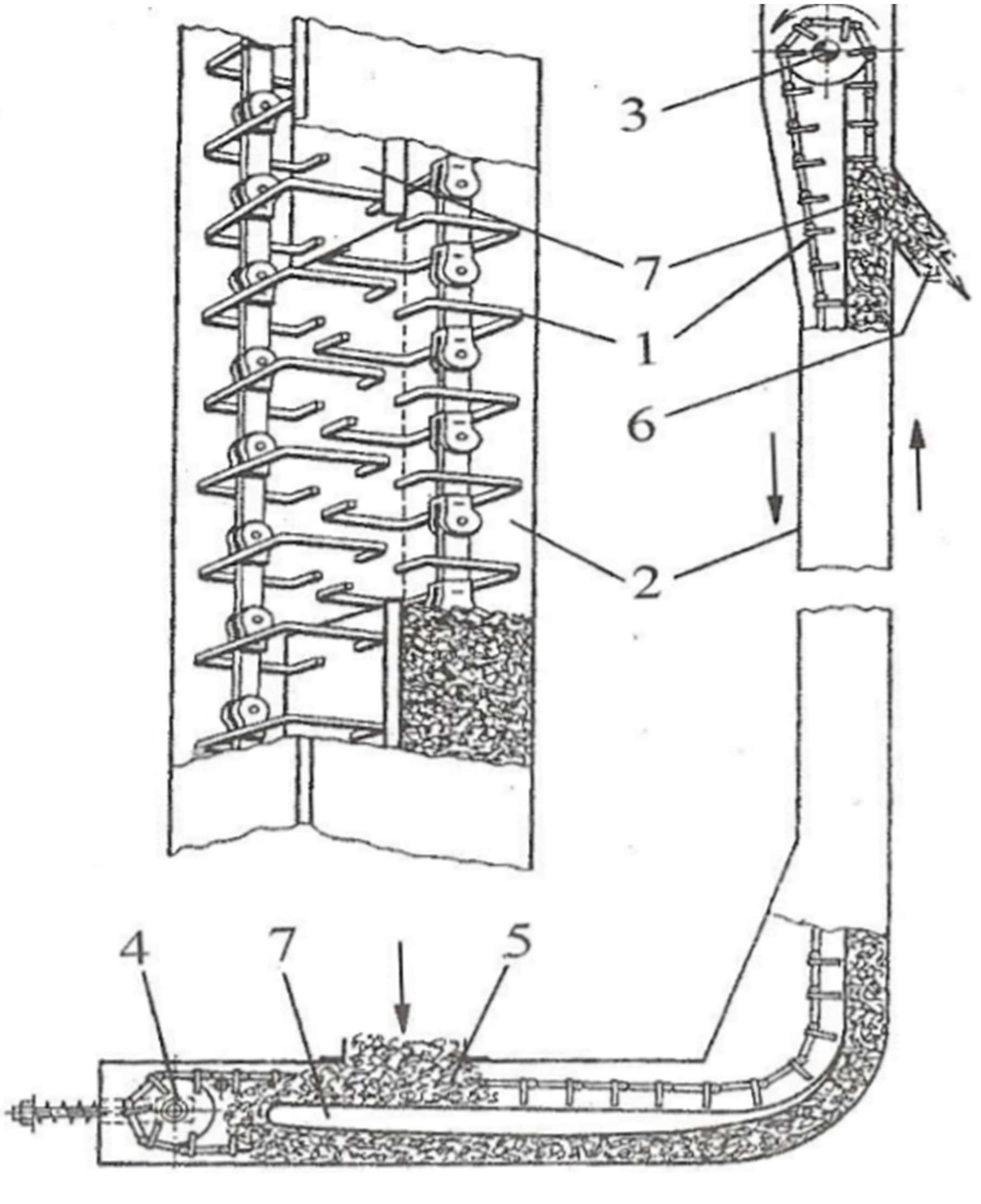


Obr. 33. Unášecí řetězy rpo strmé a svislé redlery a) pro sklony 15 až 30° b) pro sklony 30–90° uzavřený c) pro sklony 30–90° otevřený [22]

Unášecím řetězem pohybuje hnací řetězové kolo. Tvar ozubení řetězového kola je uzpůsoben typu řetězu. Řetězové kolo je poháněno elektromotorem přes převodovou skříň. Napínání unášecího řetězu je v místě nejmenšího tahu v řetězu. Zpravidla se provádí šrouby přes pružiny. *[22]*

1.5.3 SVISLÉ REDLERY

K vertikální dopravě je nutná svislá šachta zcela vyplněná materiálem, který v šachtě tvoří sloupec. Proto je mezi vzestupem a sestupem větve dělící přepážka. Svislý redler má vždy vstupní vodorovný úsek. Část materiálu, kterou vyhrnou unášeče z vodorovného úseku do svislé šachty, je plynule nahrazeno novým materiálem přiváděným do redleru násypkou. Se stoupající výškou sloupce materiálu v šachtě se začínají uplatňovat tlaky na svislé stěny a jimi vyvolané třecí síly o stěny způsobí zhutnění materiálu. Dochází k plynulému pohybu materiálu v celém průřezu šachty směrem nahoru. [22]



Obr. 34. Svislý redler: 1 – řetěz s unášeči, 2 – šachta, 3 – poháněcí stanice, 4 – vratná stanice, 5 – násypka, 6 – výsypka, 7 – přepážka [22]

1.6 HŘEBLOVÉ DOPRAVNÍKY

Přepravují sypký dopravovaný materiál hrnutím pomocí hřebel. Hřebla jsou upevněna na tažném řetězu zpravidla po několika roztečích a mohou mít tvar hrabic nebo lopatek. Přes hnací řetězové kolo řetězové kolo a vratné (vodící) kolo obíhá tažný řetěz s hřebly, která před sebou ve žlabu hrnou dopravovaný materiál. *[22]*

Obr. 35. Hřeblový dopravník [24]

Běžné délky hřeblových dopravníků nepřesahují 100 m. V hlubinných dolech se používá dopravníků dlouhých až 200 m. Dopravované množství bývá až 300 th^{-1}. Pracovní rychlosti do 1 ms^{-1}. Jsou vhodné pro šikmou dopravu vzhůru o dolů v rozmezí -35° až +40°. S rostoucím stoupáním se snižuje dopravní výkon hřeblových dopravníků.

Hřeblové dopravníky jsou vhodné pro dopravu sypkých hmot libovolné zrnitosti. Dopravovaný materiál může být nesourodý. V normálním provedení nejsou vhodné pro dopravu silně abrazivních hmot, neboť tyto hmoty otírají v neúnosné míře žlab. V takových případech je nutno žlab vyložit materiálem vzdorujícím otěru. Vzhledem k vyšší specifické spotřebě energie proti jiným (zejména pásovým) dopravníkům, drcení materiálu při dopravě, větším pořizovacím a provozním nákladům se používají hlavně ve speciálních případech, a to nejčastěji v dolech, hutích, chemickém průmyslu, cukrovarech a v zemědělství.

Jejich konstrukce je jednoduchá, dovoluje dopravu v obou směrech současně (v jedné větvi jedním, v druhé větvi opačným směrem). Při dopravě materiálu o velké kusovitosti dáváme přednost dopravě v horní větvi. Přivádění materiálu na dopravník a jeho odebírání je možné v libovolném místě dopravníku. *[22]*

1.6.1 ROZDĚLENÍ HŘEBLOVÝCH DOPRAVNÍKŮ

Podle počtu tažných řetězů:

- Jednořetězové
- Dvouřetězové
- Třířetězové

Z hlediska uspořádání tažné a vratné větve:

- S uspořádáním větví nad sebou
- S větvemi vedle sebe

Podle polohy tažného orgánu vzhledem k materiálu:

- S tažným řetězem ponořeným v materiálu
- S tažným orgánem mimo dopravovaný materiál

1.7 ZEMĚDĚLSTVÍ

Vyhrnovače nehomogenního materiálu nachází velké uplatnění v zemědělství, jedná se především o vyvážení chlévské mrvy ze stájí a přísunu krmiva do žlabu k ustájeným zvířatům. Další využití mají při vyprazdňování traktorových návěsů, přídavných zařízení manipulátorů (například vykusovač siláže) a rozhrnování materiálu po ploše (například siláže).

1.7.1 VYVÁŽENÍ CHLÉVSKÉ MRVY

K odklidu chlévské mrvy se využívá speciálního vyvážecího zařízení, které je přizpůsobeno stavebnímu uspořádání stáje.

1.7.1.1 MECHANICKÉ LOPATY

Mechanické lopaty mají svoji činnost založenou na principu smýkání chlévské mrvy po upravené dráze, která vede uvnitř i vně stáje. Základním ustrojím mechanické lopaty je shrnovač, který je tažený řetězem nebo lanem po upravené dráze. Dráhou může být povrchové kaliště nebo podroštové kaliště. Konec dráhy je ukončen propadlištěm s navazujícím příčným kanálem nebo sběrným místem chlévské mrvy odkud je dále odvážena. Pro pohon se využívá elektromotor. *[25]*

Obr. 36. Mechanická lopata [26]

1.7.1.2 OBĚŽNÉ DOPRAVNÍKY

Oběžné dopravníky chlévské mrvy jsou charakterizovány nekonečným článkovým řetězem se škrabkami, který obíhá ve dvou souběžných kalištích, na koncích spojených tak, aby vytvořili uzavřený okruh. Chlévská mrva je u oběžných dopravníků shrnována jednotlivými škrabkami s měnitelnou roztečí. Po jejím shrnutí z celé délky kaliště pak propadá do propadliště, odkud je zapuštěným hrabičkovým dopravníkem vynášena mimo stáj. Důležitým hlediskem správné funkce oběžných shrnovačů je řádné propadávání chlévské mrvy do propadliště na konci dopravní dráhy a tím vyloučení jejího dalšího oběhu. Splnění tohoto požadavku je podmíněno aktivním stíráním mrvy ze škrabek, a proto jsou oběžné shrnovače opatřeny stíracím ústrojím, umístěným nad propadlištěm. *[25]*

1.7.1.3 MOBILNÍ VYHRNOVAČE

K odstraňování mrvy a výkalů ve stájích, kde je kaliště společné pro dvě řady skotu a kde šířka hnojné chodby nebo průchodů ve výbězích odpovídá šířce mobilní mechanické lopaty, se používá mechanická lopata tlačená traktorem, teleskopickým manipulátorem, smykově řízeným nakladačem nebo čelním nakladačem. Mechanická lopata je nesena na přední části. Výhodou je, že mechanickou lopatou se mohou uklidit všechny znečistěné plochy a chodby, kterými se skot přehání. *[25]*

Obr. 37. Mobilní vyhrnování chlévské mrvy [27]

1.7.2 PŘIHRNOVAČ KRMENÍ

K přihrnování krmiva dobytku ke žlabu se používají radlice připevněné na mobilním stroji (traktoru, nakladači, teleskopickým manipulátoru). Efektivnějším způsobem je využití šnekových přihrnovačů, které mohou být připevněné na mobilních strojích nebo na autonomních robotech. Výhodou šnekových přihrnovačů oproti jiným systém je, že krmivo nestlačují, ale promíchávají a kypří.

Obr. 38. Šnekový přihrnovač krmiva [28]

1.7.3 SILÁŽ

Při naplňování silážní jámy nebo žlabu je dopravováno velké množství pícniny, která je potřeba rovnoměrně rozhrnout po celé ploše jámy (žlabu). K tomu se nejčastěji využívá těžký čelní nakladač nebo traktor. A to zejména kvůli velké trakční síle. Na předku stroje je umístěna čelní vyhrnovací radlice.

Obr. 39. Rozhrnování siláže v silážní jámě [29]

1.7.4 VYHRNOVÁNÍ MATERIÁLU Z NÁVĚSU

Dalším využitím vyhrnovače je tlačný blok pro vyhrnování přepravovaného materiálu z traktorového návěsu. Velkou výhodou tohoto zařízení je nízká potřebná výška pro vyprázdnění celého návěsu, čehož se dá využít při skládání uvnitř budovy. Tlačný blok se dá taky použít pro dávkování materiálu k rozmetadlu. Současně je nutné počítat s možným stlačením přepravovaného materiálu.

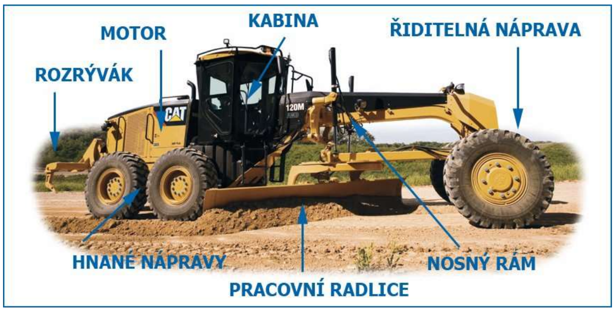
Obr. 40. traktorový návěs s výtlačným čelem [30]

Další možností vyprazdňování traktorového návěsu je využití hřeblového dopravníku. Ten je umístěný na dně návěsu. Svým pohybem postupně vyhrnuje veškerý dopravovaný materiál mimo návěs.

Obr. 41. Hřeblový dopravník v traktorovém návěsu [31]

1.8 STAVEBNICTVÍ

Vyhrnovače ve stavebnictví nacházejí uplatnění při úpravách terénů. K tomu se používají stroje pro zemní rovinné práce jako jsou dozery a grejdry. Dozery jsou vhodné pro přemisťování, rozhrnování a odtlačování zeminy. Grejdry slouží k přesnému dorovnání zeminy, čehož se nejčastěji využívá při rovnání podkladní vrstvy vozovky.



Obr. 42. Grejdr [32]

Obr. 43. Dozer New Holland [33]

1.9 UPRAVÁRENSTVÍ

Vyhrnovače nehomogenního materiálu se využívá i v čistírnách odpadních vod. Šnekový dopravník, umístěný pod kalovým zásobníkem, slouží k vyhrnování odvodněného stabilizovaného kalu. Vyhrnutý kal je nakládán do přepravní jednotky (například kontejneru), která zajišťuje jeho bezpečný odvoz z čistírny odpadních vod.

ČOV Uherské Hradiště ČOV Přelouč

Obr. 44. Řešení odvozu kalů v menších ČOV [34]

1.10 TELESKOPICKÝ MANIPULÁTOR

Teleskopické manipulátory se vyznačují tím, že základní částí jejich pracovních zařízení je teleskopický výložník, jehož pracovní dosahy přesahují možnosti klasických lopatových nakladačů. Občas jsou tyto stroje označené jako terénní manipulátory s měnitelným dosahem. *[19]*

Obr. 45. Teleskopický manipulátor [19]

Jejich parametry můžeme rozdělit do dvou základních skupin.

- Rozměrové parametry základního stroje
- Parametry pracovního zařízení

Konstrukce teleskopického výložníku v podstatě definuje nejen dosahové parametry pracovního zařízení, ale i rozměrové parametry základního stroje. Obě skupiny parametrů jsou na sebe vázané. Jejich vhodným spojením lze vytvořit optimální konstrukci i z hlediska spolehlivosti.

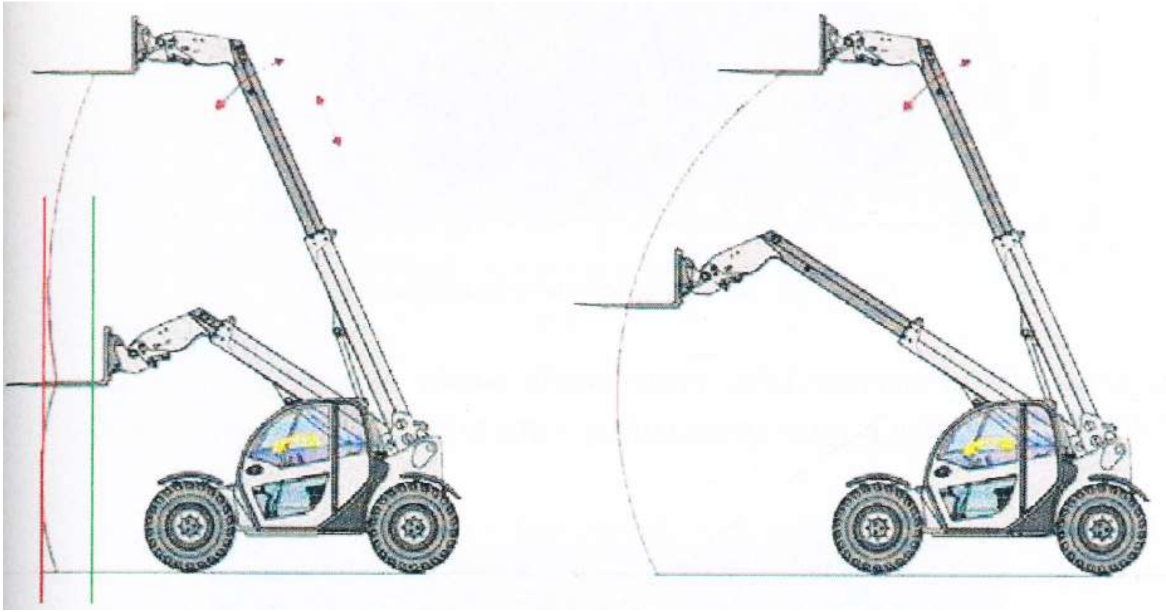
Podle výkonu hnacího motoru můžeme teleskopické manipulátory dělit do třech skupin.

- Malé, do 60 kW
- Střední, do 80 kW
- Velké, nad 80 kW

Pracovní cyklus teleskopických manipulátorů závisí od použitého pracovního nástroje. Manipulátor lopatou nakládá a přesouvá zeminu, paletizačními vidlemi skládá a dopravuje materiál do potřebné výšky, jeřábovým ramenem nebo hákem nahrazuje jeřáby apod. Jednou z jeho hlavních předností jsou montážní práce s pracovní plošinou. Například plošina s délkou 4,2 m a nosností 300 kg pro 3 pracovníky plně nahrazuje i jednoúčelové mobilní plošiny. Navíc je možné výškové práce vykonávat bez obsluhy v kabině pomocným dálkovým ovládáním. *[19]*

1.10.1 Parametry teleskopického výložníku

Rozhodujícími parametry teleskopického manipulátoru je výškový a vodorovný dosah a tomu odpovídající nosnost. Výškový dosah je výsledkem dvou rozměrových parametrů, a to celkové vysunutí teleskopu a maximální úhel sklonu výložníku. Při určování výškového dosahu považujeme za optimální stav, když břemeno v horní krajní poloze výložníku má vyložení od klopný hrany stejné anebo menší jako vyložení v dolní krajní poloze. Toho se dá dosáhnout zdviháním výložníku současně s vysouváním teleskopu.

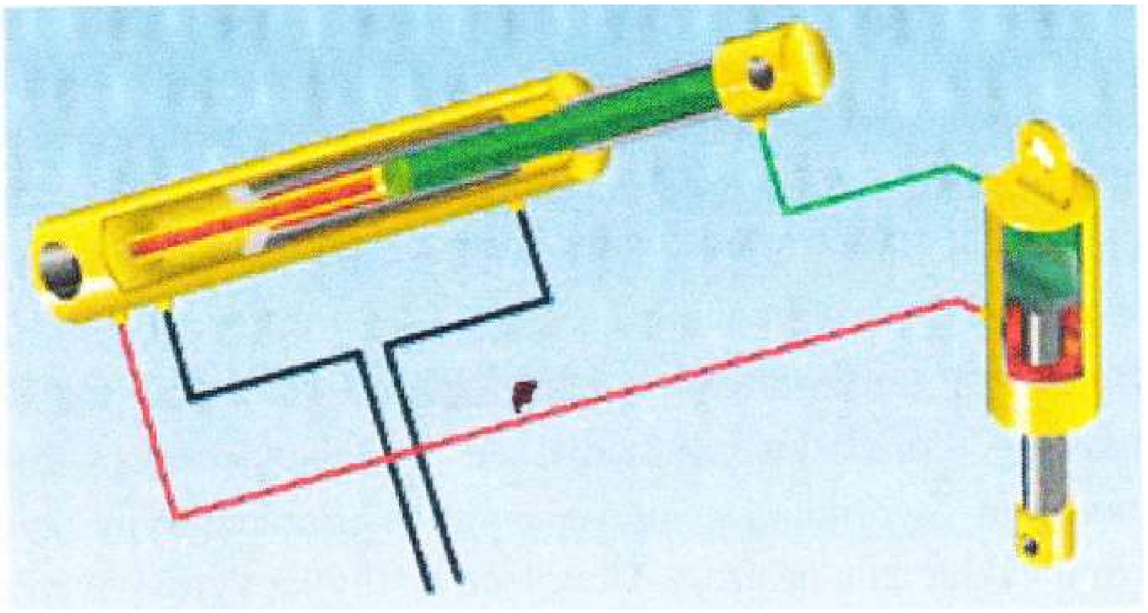


Obr. 46. vlevo: zdvih výložníku současně s vysouváním teleskopu vpravo: zdvih výložníku po vysunutí teleskopu [19]

Mimo požadovanou nosnost musí mechanismus zdvihu výložníku zabezpečit i paralelní pohyb nástroje v průběhu zdvihání. To je zabezpečené vyrovnávacím přímočarým hydromotorem hydraulicky propojeným s přímočarým hydromotorem pro ovládání mechanismu naklápěné nástroje. Dovolená odchylka vyrovnávání je ±3°.

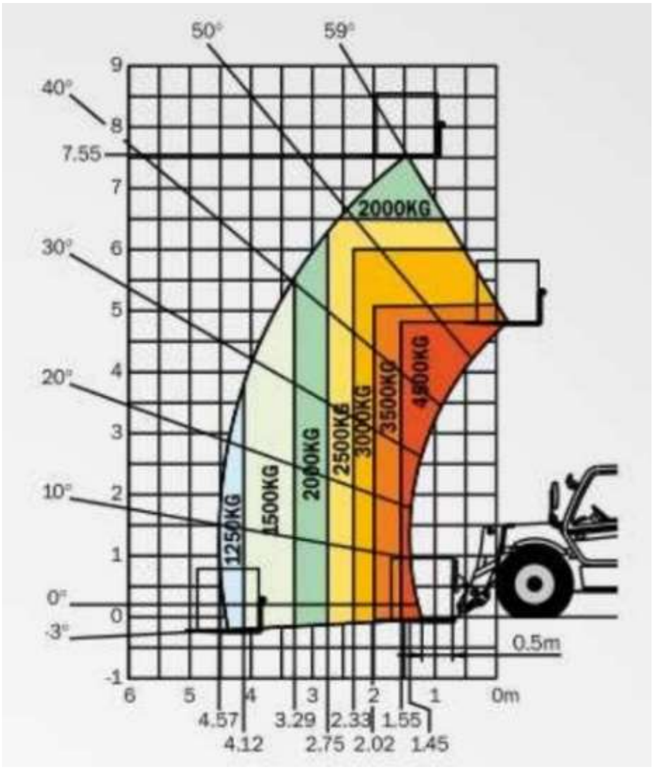
Obr. 47. Umístění vyrovnávacího válce [19]

Originálním řešením automatického vyrovnávání polohy nástroje je patent firmy Dieci. Vyrovnávání je umístěno přímo v přímočarém hydromotoru zdvihu výložníku.



Obr. 48. Systém vyrovnávání polohy nástroje firmy Dieci [19]

Závislost nosnosti od dosahovaných parametrů se uvádí na diagramu nosnosti, který musí být součástí technické dokumentace k danému stroji a zároveň musí být umístěný v kabině v zorním poli obsluhy.



Obr. 49. Závislost nosnosti a dosahu teleskopického manipulátoru [40]

Rozhodujícím činitelem ovlivňujícím koncepci teleskopického manipulátoru a jeho základní parametry je počet výsuvných částí teleskopického výložníku. Nejčastěji se vyskytují:

- **Dvojdílné teleskopy** – se základním pevným ramenem a s jedním výsuvným ramenem. Vysouvání teleskopu bývá v rozsahu od 1,25 m do 4 m. Výškový dosah až 8 m. Teleskopické manipulátory s dvoudílným výložníkem se nejčastěji využívají v zemědělství.

Obr. 50. Dvoudílný teleskopický manipulátor [40]

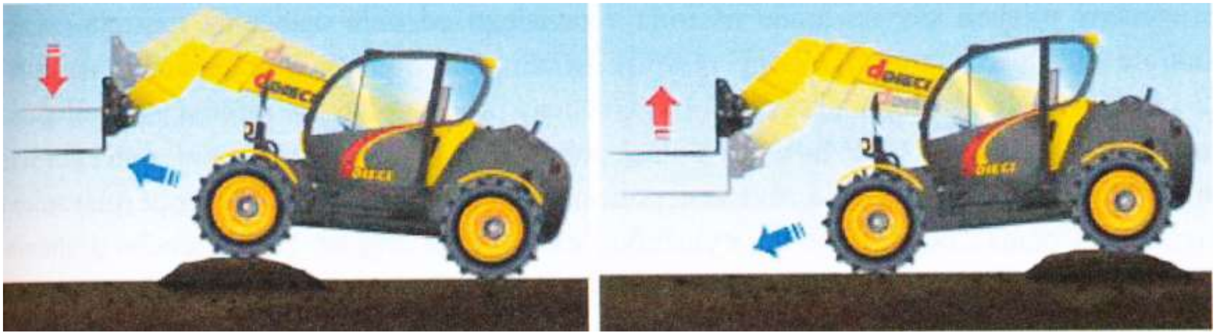
- **Trojdílné až čtyřdílné teleskopy** – se základním ramenem a s dvěma nebo třemi výsuvnými rameny. Výškový dosah bývá v rozsahu 10 až 13 m. Teleskopické manipulátory s trojdílným nebo čtyřdílným výložníkem se nejčastěji využívají ve stavebnictví při stavbách nízko podlažních budov. Už při třídílných teleskopech musí být podvozek před přední nápravou opatřený stabilizačními podpěrami a aretací zadní nápravy.

Obr. 51. Trojdílný teleskopický manipulátor [37]

- **Teleskopické manipulátory s otočnou nadstavbou** – tvoří samostatnou koncepční skupinu, vyznačují se tím, že hnací agregát je umístěný v podvozku a teleskopický výložník a kabina obsluhy jsou umístěné na otočném rámu. Používají se ve stavebnictví, nejčastěji jako nosiče montážních plošin.

Obr. 52. Teleskopický manipulátor s otočnou nástavbou [38]

Pro zlepšení dynamiky jízdy souběžně s přenosem břemena, zejména na paletizačních vidlích, jsou některé teleskopické manipulátory vybavené v hydraulickém okruhu zdvihu výložníku tzv stabilizátorem polohy. Tento systém zabezpečí stálou polohu nástroje při jízdě stroje po nerovném povrchu.



Obr. 53. Jízda teleskopického manipulátoru se stabilizátorem polohy výložníku [19]

Základním parametrem mechanismu ovládání nástroje je trhací síla a rozsah naklápěn nástroje. Pro paletizační vidle se úhel naklápění pohybuje v rozsahu 100° až 115°. Takovýto úhel je možné dosáhnout jednoduchým mechanismem, Při kterém přímočarý hydromotor je spojený pomocí rameno přímo s nástrojem. Pro lopatu musí být úhel naklápění nástroje v rozsahu 160° až 180°. Takovýto rozsah je možné dosáhnout jen vícečlennými mechanismy jako je Z – kinematika nebo Y – kinematika. *[19]*

1.10.2 PŘÍDAVNÁ ZAŘÍZENÍ PRO TELESKOPICKÝ MANIPULÁTOR

Pro teleskopické manipulátory existuje velké množství přídavných zařízení, které jsou speciálně určené pro jistý druh práce. Právě díky tomu jsou teleskopické manipulátory oblíbeným pracovním strojem zemědělců. V následující odstavcích je několik základních přídavných zařízení popsáno. *[35]*

PALETIZAČNÍ VIDLE

Základním zařízením standartně dodávaným s teleskopickým manipulátorem jsou paletizační vidle. Slouží ke skládání, nakládání nebo přemisťování zboží na paletách. *[35]*

Obr. 54. Paletizační vidle [35]

VÍCEÚČELOVÁ LOPATA

Používá se jako univerzální lopata pro nakládání různých sypkých a nehomogenních materiálů. Dále se dá použít jako odhrnovací radlice a zarovnávací lopata. *[35]*

Obr. 55. Víceúčelová lopata [35]

VIDLE S PŘÍKLOPEM

Toto zařízení je určeno pro manipulaci s kulatinami, slámou, senem nebo chlévskou mrvou. *[35]*

Obr. 56. Vidle s příklopem [35]

ADAPTÉR NA MANIPULACI S BALÍKY

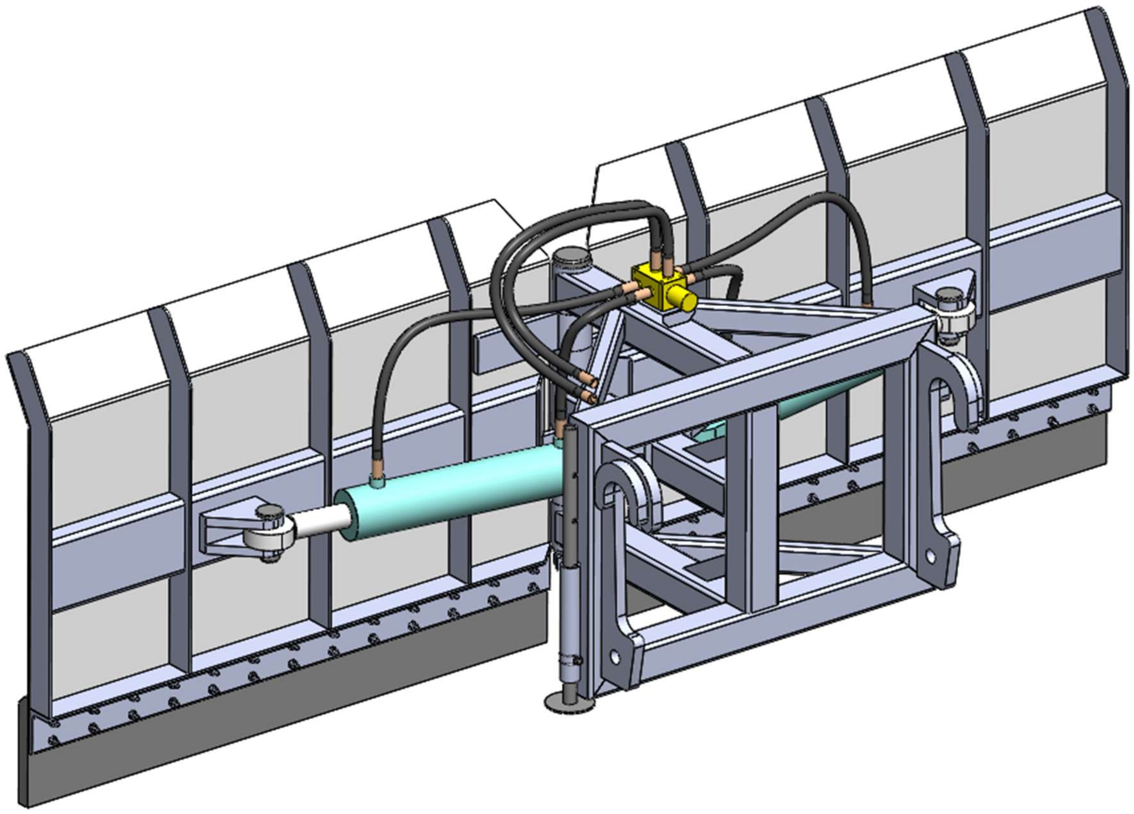
Slouží k manipulaci s balíky slámy. A to jak s kulatými balíky, tak s hranatými balíky. Některé adaptéry jsou navrženy tak, aby se dala manipulovat i se zabalenými balíky. *[35]*

Obr. 57. Adaptér na manipulaci s balíky [35]

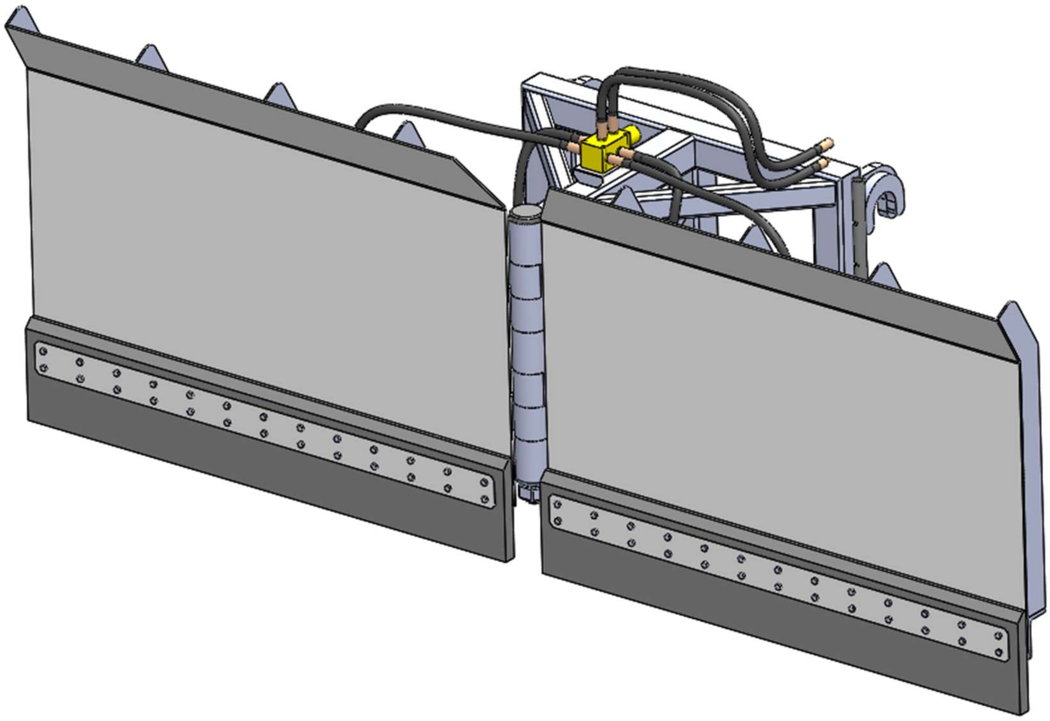
2 VÝBĚR A ZDŮVODNĚNÍ ZVOLENÉ KONCEPCE

Pro vyhrnovač nehomogenního materiálu byl zvolen teleskopický manipulátor od firmy New Holland s označením TH7.42. Tento teleskopický manipulátor byl zvolen kvůli své univerzálnosti, které se využívá především při každodenních pracích spojených s chovem hospodářských zvířat.

Navrhovaný vyhrnovač bude nejčastěji využíván v zemědělství pro různé druhy práce. Mezi tyto práce patří například vyhrnování chlévské mrvy ze stáje na určené místo, rozhrnování siláže po silážní jámě nebo odklízení sněhu uvnitř zemědělského areálu. Kvůli nutnosti velké univerzálnosti, kdy je někdy potřeba hrnout materiál před strojem anebo naopak usměrňovat tok materiálu na různé strany je zvolen šípový vyhrnovač s možností natáčení jednotlivých křídel v rozsahu ±30°. Změna nastavení úhlu natočení vyhrnovače je zajištěno dvěma hydraulickými válci. Každé křídlo vyhrnovače je možné ovládat samostatně a vyhrnovač může být nastavena do celkem pěti poloh (V, T, Y, doprava, doleva). Natočením jednotlivých křídel vyhrnovače dochází i ke změně celkové šířky. Tato vlastnost dovoluje například přesné nastavení vyhrnovače na šířku stájové chodby a vyhrnutí chlévské mrvy beze ztrát. Maximální a minimální šířka záběru je 2700 mm respektive 2325 mm. Kvůli ochraně před tvrdými předměty, které jsou často ukryty pod vrstvou vyhrnovaného materiálu a zvýšení otěruvzdornosti spodní části jsou křídla vyhrnovače opatřeny gumovými břity. Břity jsou k vyhrnovači připevněny pomocí šroubů a v případě poškození tak mohou být jednoduše vyměněny.



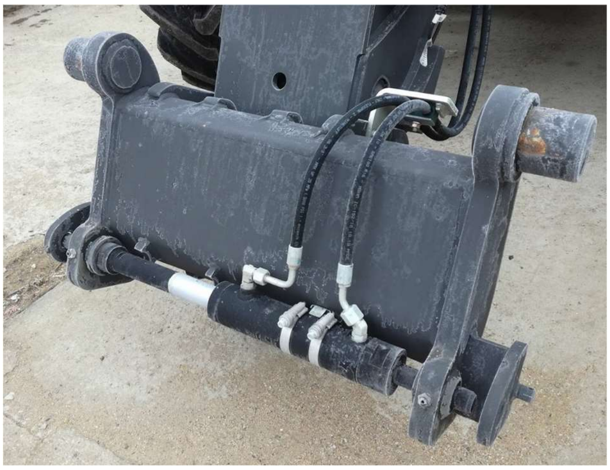
Obr. 58. Vyhrnovač nehomogenního materiálu, pohled na zadní část



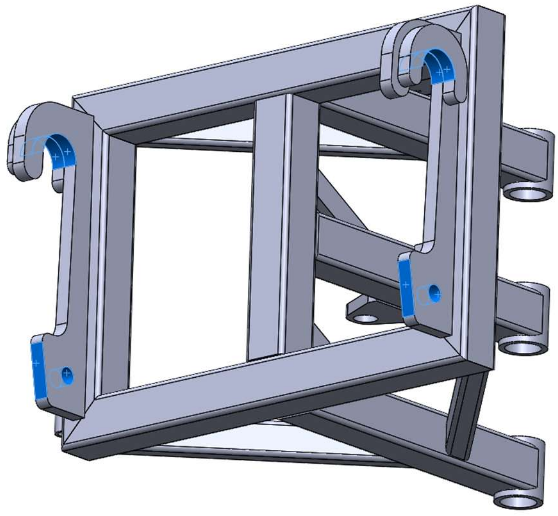
Obr. 59. Vyhrnovač nehomogenního materiálu, pohled na přední část

2.1 NÁVRH RÁMU VYHRNOVAČE

Rám vyhrnovače je svařený z čtvercových tyčí různých velikostí a délek. Na zadní části jsou přivařeny přípravky na připojení vyhrnovače na teleskopický manipulátor značky New Holland. Uchycení je provedeno podepřením zavěšovacích ok tyčí o průměru 80 mm, zasunutím pojistného čepu o průměru 30 mm a podepřením na dosedacích plochách (obr. 61). Připojení vyhrnovače k teleskopickému manipulátoru je možné provést z kabiny. Na rámu vyhrnovače jsou přivařeny oka, ke kterým se pomocí čepu připojí dva dvojčinné hydromotory. Přední část rámu je zakončena ocelovými pouzdry. Ty jsou před montáží svrtána na požadovanou přesnost a osazena kluznými ložisky ze slinutého bronzu. Těmi prochází čep spojující rám s křídly vyhrnovače. Tento čep zároveň celý rám vyztužuje. Rám je dále vybaven opěrnou nohou pro zajištění stability vyhrnovače při jeho odstavení.



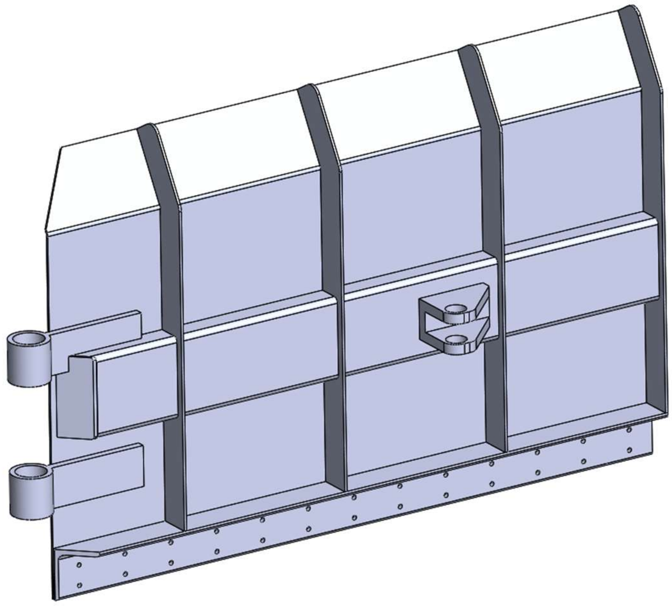
Obr 60. Přípravek na uchycení nástroje na teleskopický manipulátor značky New Holland



Obr. 61. Rám vyhrnovače, modře zvýrazněné plochy jsou určené pro připojení k teleskopickému manipulátoru

2.2 NÁVRH KŘÍDLA VYHRNOVAČE

Křídlo vyhrnovače se sestává z čelního plechu, který je ve vodorovném směru po celé délce vyztužen tyčí o průřezu U. Ve svislém směru je křídlo vyztužen žebry, které jsou vyrobené z pásoviny. Spodní část je vyztužena tyčí o průřezu nerovnoramenného L. Na straně jsou přivařeny pásoviny s ocelovými pouzdry, které slouží k uchycení křídla k rámu vyhrnovače. Ocelová pouzdra jsou před montáží svrtána na požadovanou přesnost a osazena kluznými ložisky ze slinutého bronzu. Na vodorovné tyči o průřezu U je přivařeno oko, ke kterému se pomocí čepu připojuje hydromotor. Na spodní tyči o průřezu nerovnoramenného L je pomocí šroubů připevněn pryžový břit o výšce 200 mm. Ten je z důvodu možného velkého opotřebení snadno vyměnitelný. Čelní plech je vyrobený z otěruvzdorného plechu, který zvyšuje životnost celého vyhrnovače a lépe odolává působení tvrdého materiálu.

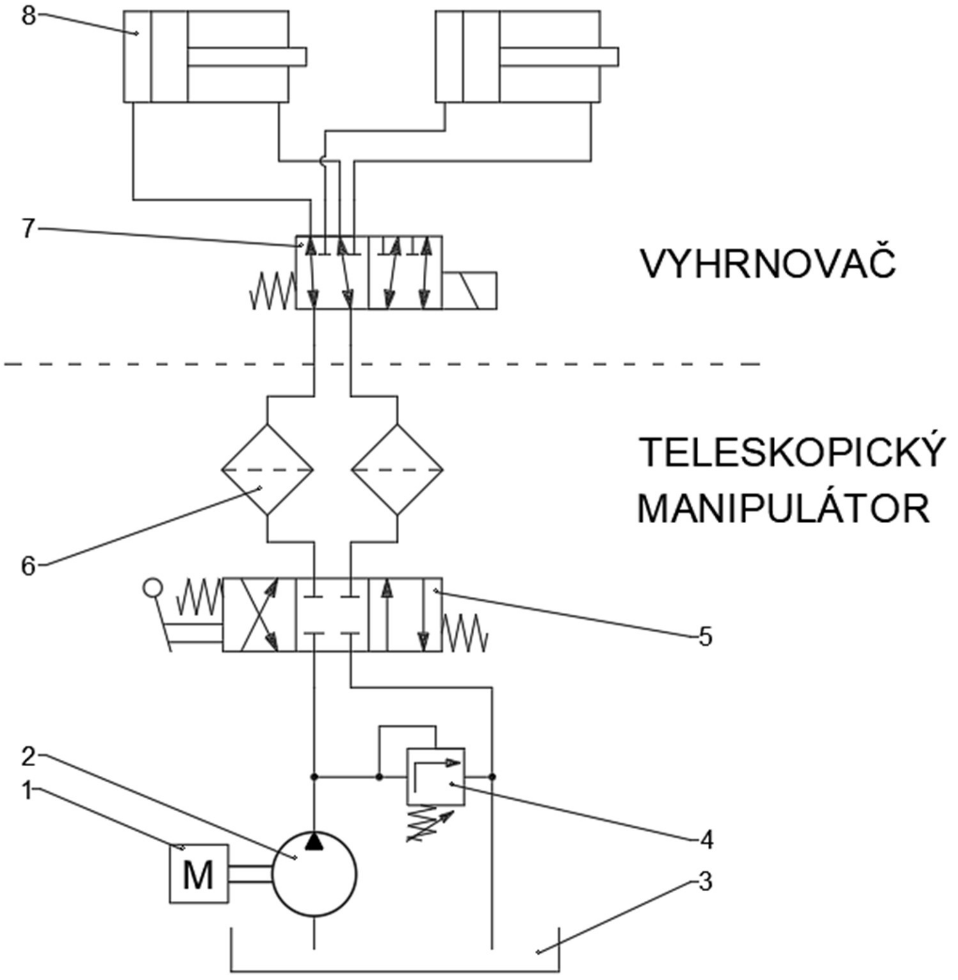


Obr. 62. Rám křídla vyhrnovače

2.3 NÁVRH HYDRAULICKÉHO OBVODU

Hydraulický obvod je složen z části, která je umístěna na teleskopickým manipulátoru, a z části umístěné na vyhrnovači. Propojení těchto částí je provedeno pomocí hydraulických rychlospojek. Na rameni teleskopického manipulátoru je umístěné ovládací tlačítko na uvolnění tlaku a tím i jednoduché odpojení nářadí.

Zdroj tlakové energie umístěný v teleskopickém manipulátoru je variabilní axiální pístové čerpadlo, které při maximálním průtoku 140 l/min (pro přední přídavné okruhy 130 l/min) vyvine tlak 240 bar. Mezi velké výhody tohoto čerpadla patří to, že je schopno variabilně dodávat průtok oleje v různých pracovních režimech i vysoký průtok oleje i při nízkých otáčkách motoru, ale také nízký průtok oleje v případě že není požadován hydraulický výkon. Čerpadlo je poháněno motorem NEF N45 o objemu 4 500 cm^3 a jmenovitém výkonu 89kW při 2200 ot/min. Nádrž na hydraulický olej o objemu 105 l. Používaný hydraulický olej Paramo HM 46. Na výstupu a vstupu z teleskopického manipulátoru je umístěný filtr, který čistí hydraulický olej od nečistot. Tím chrání a prodlužuje životnost všech používaných hydraulických součástí. *[36]*

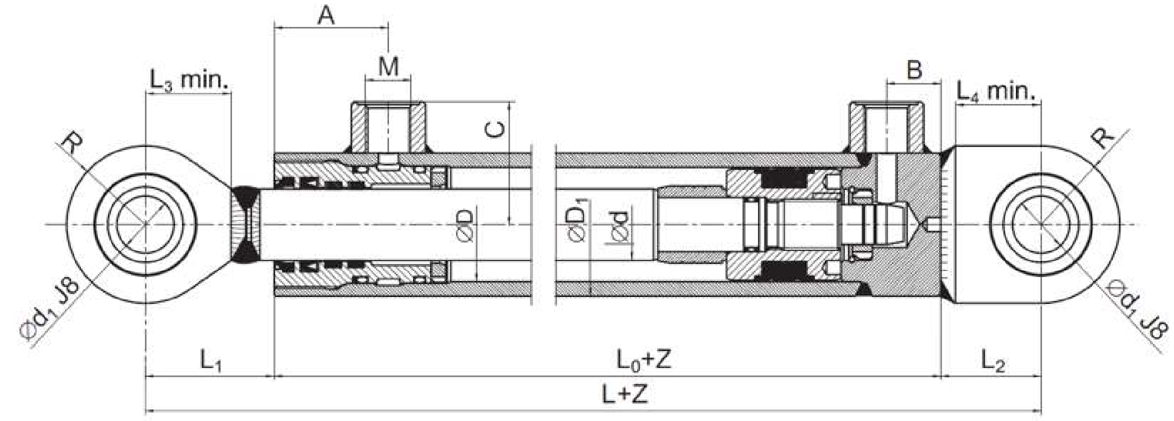


Obr. 63. Schéma hydraulického obvodu; 1– Spalovací motor, 2 – Jednosměrný hydrogenerátor, 3 – Nádrž, 4 – Pojistný ventil, 5 – Ručně ovládaný rozvaděč 4/3, 6 – Filtr, 7 – Elektrohydraulický ventil 6/2, 8 – Dvojčinný hydromotor

Pro ovládání křídel radlice byl zvolen dvojčinný hydromotor od firmy Hydraulics s.r.o. s neregulovatelným tlumením v koncových polohách s označením ZH2T. Tento hydromotor je vhodný pro aplikace s maximální tlakem 25 MPa. Průměr pístu dvojčinného hydromotoru je 90 mm a zdvih je 260 mm. Průměr pístu a zdvih hydromotoru byl zvolen tak, aby se křídla vyhrnovače dali nastavovat v rozsahu ±30° a to i při zátěži. Na vyhrnovači je umístěný elektromagneticky ovládaný 6/2cestný hydraulický ventil. Tento ventil je ovládaný obsluhou z kabiny teleskopického manipulátoru. Jeho využitím je možné nastavit natočení každého křídla vyhrnovače nezávisle na druhém křídle. Propojení hydraulického okruhu radlice s teleskopickým manipulátorem je provedeno pomocí hydraulických rychlospojek. *[39, 40]*

ØD	**Ød**	**ØD₁**	**Ød₁**	**L**	**L₀**	**L₁**	**L₂**	**L₃±1**	**L₄±1**	**M**	**A**	**B**	**C**	**E**	**K₁**	**R**	**Hmotnost při zdvihu Z (kg)**
90	50	105	40	375	230	85	60	57	53	22x1,5	70	28	70,5	28	35	52,5	27,4

Tab. 3 Rozměry dvojčinného hydraulického hydromotoru ZH2T [39]



Obr 64. Dvojčinný hydraulický hydromotor ZH2T [39]

3 DŮLEŽITÉ TECHNICKÉ VÝPOČTY

V této kapitole budou provedeny následující technické výpočty.

3.1 TRAKČNÍ SÍLA TELESKOPICKÉHO MANIPULÁTORU

Výrobce New Holland u svých teleskopických manipulátorů neuvádí trakční sílu. Určení trakční síly proto bude vypočteno jako třecí síla snížená o valivý odpor pneumatik. Největšího třecího součinitele se dosahuje při pohybu po suchém betonu. V takovém případě třecí součinitel mezi pneumatikou a suchým betonem je 0,8. Rameno valivého odporu v tomto případě je 2 mm.

TŘECÍ SÍLA

$$F_t = m_t \cdot g \cdot f_1$$

$$F_t = 8000 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}8$$

$$F_t = 62\,784\ N \tag{3.1}$$

Kde:

F_t – třecí síla

$m_t = 8\,000\ kg$, hmotnost teleskopického manipulátoru *[36]*

$f_1 = 0{,}8$, součinitel tření mezi pneumatikou a suchým betonem *[50]*

$g = 9{,}81\ ms^{-2}$, tíhové zrychlení

VALIVÝ ODPOR

$$F_v = m_t \cdot g \cdot \frac{\xi}{r}$$

$$F_v = 8000 \cdot 9{,}81 \cdot \frac{0{,}002}{0{,}627}$$

$$F_v = 250\ N \tag{3.2}$$

Kde:

F_v – valivý odpor

$m_t = 8\,000\ kg$, hmotnost teleskopického manipulátoru *[36]*

$\xi = 0{,}002\ m$, rameno valivého odporu (pneumatika – beton) *[50]*

$r = 0{,}627\ m$, poloměr pneumatiky teleskopického manipulátoru *[36]*

$g = 9{,}81\ ms^{-2}$, tíhové zrychlení

TRAKČNÍ SÍLA

$$F_T = F_t - F_v$$

$$F_T = 62\,784 - 250$$

$$F_T = 62\,534\ N \tag{3.3}$$

Kde:

F_T – trakční síla

$F_t = 62\ 784\ N$, třecí síla (3.1)

$F_v = 250\ N$, valivý odpor (3.2)

3.2 Reakční síly

V následujících kapitolách budou vypočtené reakční síly křídla vyhrnovače. Výpočty budou provedeny pro různé natočení vyhrnovače. Následně se výsledky přepočítají do osové síly hydromotoru, dle naměřeného úhlu. Předpokládá se zatížení maximální trakční silou. Tato síla je rovnoměrně rozložená po celé čelní ploše vyhrnovače.

Výpočet liniového zatížení

Velikost liniového zatížení se mění v závislosti na nastavení vyhrnovače a s ní spojené celkové šířce. Při natočení křídel do polohy T je šířka největší a to 2 700 mm, při natočení do tvaru V a Y je šířka nejmenší a to 2 325 mm.

Liniové zatížení pro šířku 2 700 mm

$$q_1 = \frac{F_T}{2700}$$

$$q_1 = \frac{62\ 534}{2700}$$

$$q_1 = 23{,}16\ N/mm \tag{3.4}$$

Kde:

q_1 – liniové zatížení pro šířku 2 700 mm

$F_T = 62\ 534\ N$, trakční síla (3.3)

Liniové zatížení pro šířku 2 325 mm

$$q_2 = \frac{F_T}{2\ 325}$$

$$q_2 = \frac{62\ 534}{2\ 325}$$

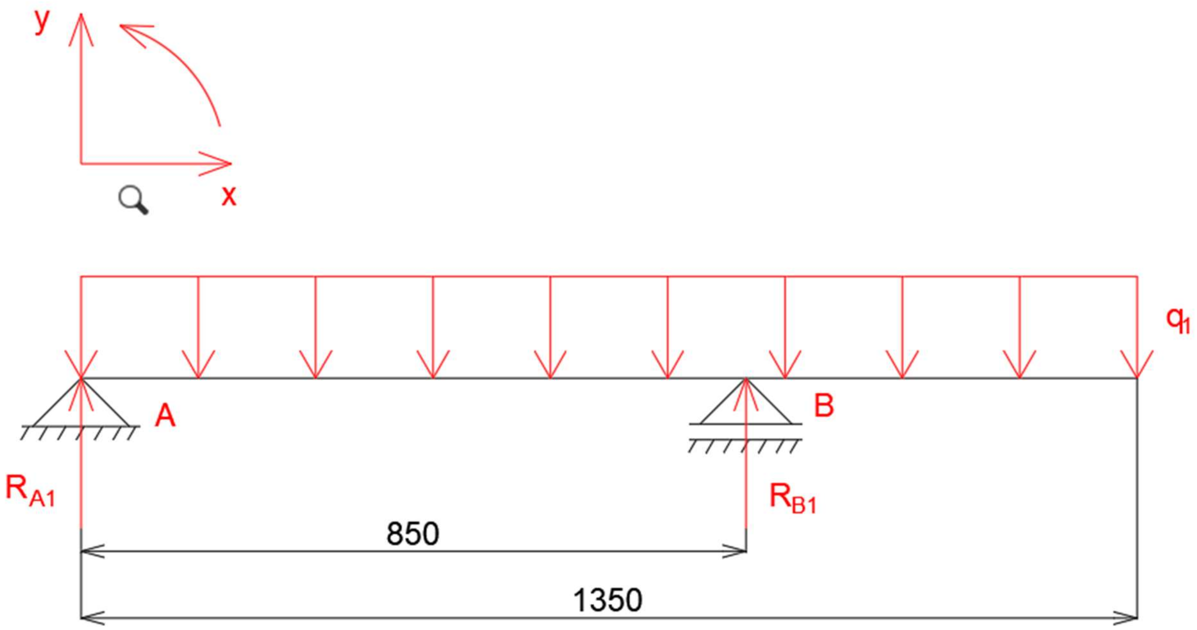
$$q_2 = 26{,}9\ N/mm \tag{3.5}$$

Kde:

q_2 – liniové zatížení pro šířku 2 325 mm

$F_T = 62\ 534\ N$, trakční síla (3.3)

3.2.1 REAKČNÍ SÍLY PŘI NATOČENÍ KŘÍDLA DO POLOHY T



Obr. 65. Reakční síly při natočení křídla do polohy T

$$\sum F_x = 0: \quad 0$$

$$\sum F_y = 0: \quad R_{A1} - q_1 \cdot 1350 + R_{B1} = 0$$

$$\sum M_A = 0: \quad -q_1 \cdot 1350 \cdot 675 + R_{B1} \cdot 850 = 0$$

$$R_{B1} = \frac{q_1 \cdot 1350 \cdot 675}{850} = \frac{23{,}16 \cdot 1350 \cdot 675}{850}$$

$$R_{B1} = 24\,828{,}9\ N \tag{3.6}$$

$$R_{A1} = q_1 \cdot 1350 - R_{B1} = 23{,}16 \cdot 1350 - 24\,828{,}9$$

$$R_{A1} = 6\,437{,}1\ N \tag{3.7}$$

Kde:

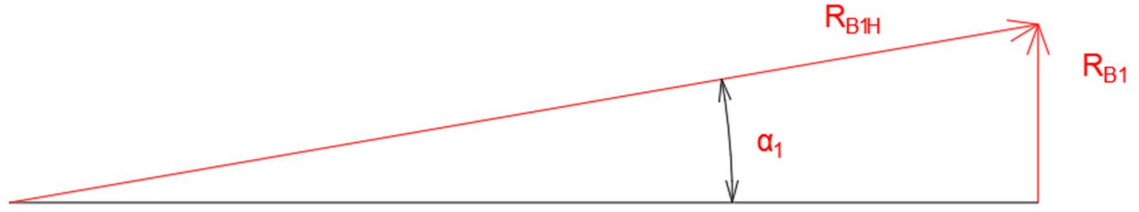
R_{A1} – reakční síla

R_{B1} – reakční síla

$q_1 = 23{,}16\ N/mm$, liniové zatížení pro šířku 2 700 mm (3.4)

PŘEPOČET REAKČNÍ SÍLY R_{B1} NA SÍLU V OSE HYDROMOTORU

Úhel α_1 byl odměřen z modelu v programu Solidworks.



Obr. 66. Rozložení síly

$$R_{B1H} = \frac{R_{B1}}{\sin(\alpha_1)}$$

$$R_{B1H} = \frac{24\,828{,}9}{\sin(9{,}8)}$$

$$R_{B1H} = 145\,872{,}6\ N \tag{3.8}$$

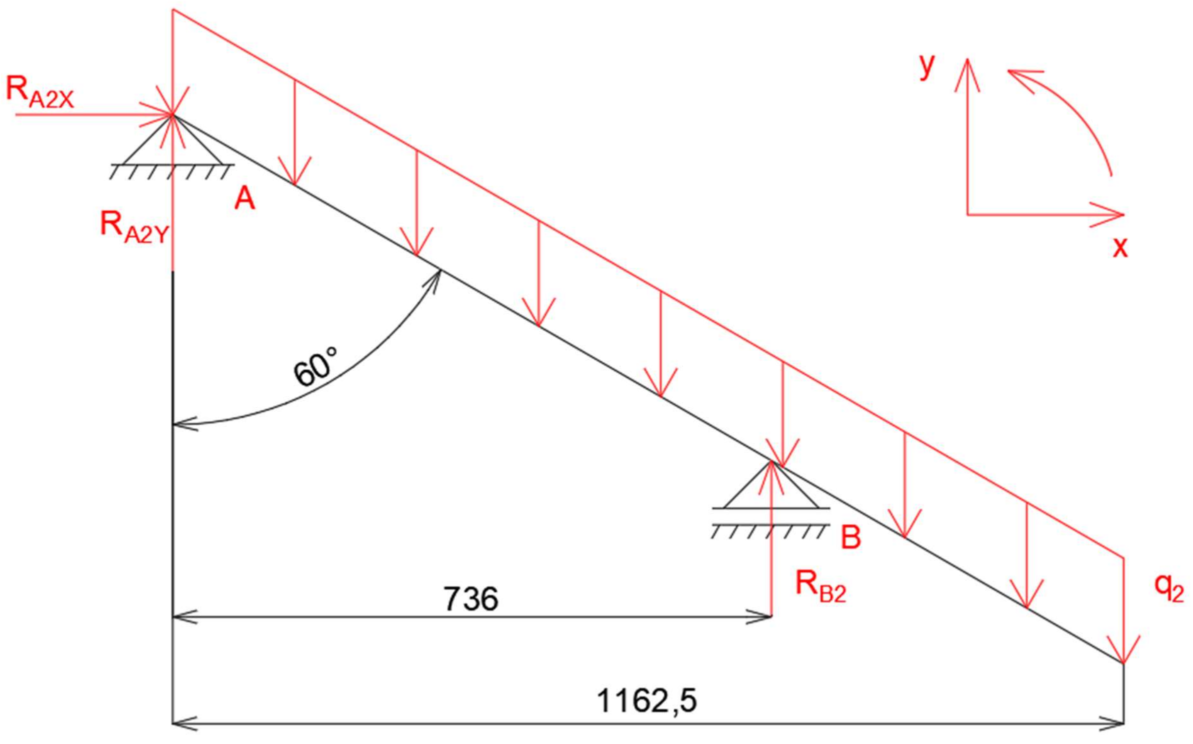
Kde:

R_{B1H} – síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy T

$R_{B1} = 24\,828{,}9\ N$ reakční síla (3.6)

$\alpha_1 = 9{,}8°$, úhel osy hydromotoru při natočení křídla do polohy T

3.2.2 REAKČNÍ SÍLY PŘI NATOČENÍ KŘÍDLA DO POLOHY V



Obr. 67. Reakční síly při natočení křídla do polohy V

$$\sum F_x = 0: \qquad R_{A2X} = 0$$

$$\sum F_y = 0: \qquad R_{A2Y} - q_2 \cdot 1162{,}5 + R_{B2} = 0$$

$$\sum M_A = 0: \qquad -q_2 \cdot 1162{,}5 \cdot 581{,}25 + R_{B2} \cdot 736 = 0$$

$$R_{B2} = \frac{q_2 \cdot 1\,162{,}5 \cdot 581{,}25}{736} = \frac{26{,}9 \cdot 1\,162{,}5 \cdot 675}{736}$$

$$R_{B2} = 28\,679{,}5\ N \qquad (3.9)$$

$$R_{A2Y} = q_2 \cdot 1\,162{,}5 - R_{B2} = 26{,}9 \cdot 1\,162{,}5 - 28\,679{,}5$$

$$R_{A2Y} = 2\,591{,}8\ N \qquad (3.10)$$

Kde:

R_{A2X} – reakční síla

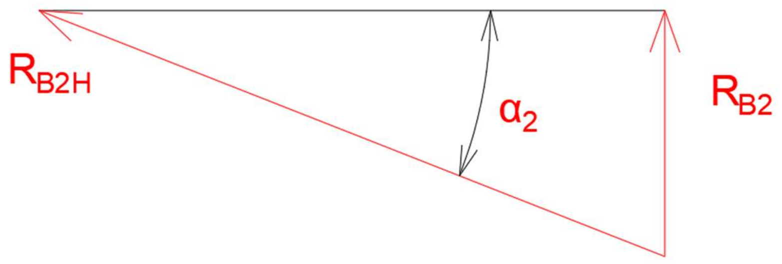
R_{A2Y} – reakční síla

R_{B2} – reakční síla

$q_2 = 26{,}9\ N/mm$, liniové zatížení pro šířku 2 325 mm (3.5)

PŘEPOČET REAKČNÍ SÍLY RB2 NA SÍLU V OSE HYDROMOTORU

Úhel α_2 byl odměřen z modelu v programu Solidworks.



Obr. 68. Rozložení síly

$$R_{B2H} = \frac{R_{B2}}{\sin(\alpha_2)}$$

$$R_{B2H} = \frac{28\,679{,}5}{\sin(27)}$$

$$R_{B2H} = 63\,172{,}02\ N \qquad (3.11)$$

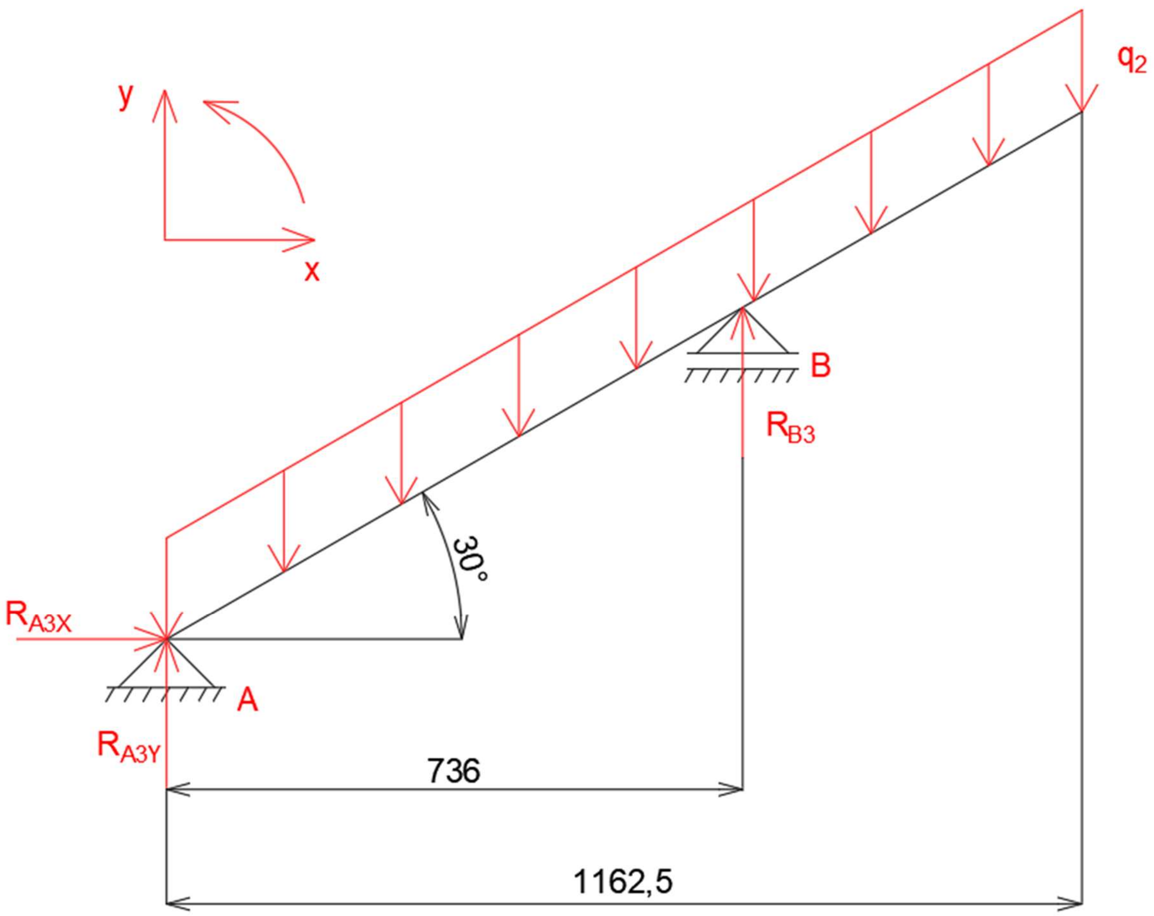
Kde:

R_{B2H} – síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy V

$R_{B2} = 28\,679{,}5\ N$ reakční síla (3.9)

$\alpha_2 = 27°$, úhel osy hydromotoru při natočení křídla do polohy V

3.2.3 REAKČNÍ SÍLY PŘI NATOČENÍ DO POLOHY Y



Obr. 69. Reakční síly při natočení křídla do polohy Y

$$\sum F_x = 0: \qquad R_{A3X} = 0$$

$$\sum F_y = 0: \qquad R_{A3Y} - q_2 \cdot 1162{,}5 + R_{B3} = 0$$

$$\sum M_A = 0: \qquad -q_2 \cdot 1162{,}5 \cdot 581{,}25 + R_{B3} \cdot 736 = 0$$

$$R_{B3} = \frac{q_2 \cdot 1\,162{,}5 \cdot 581{,}25}{736} = \frac{26{,}9 \cdot 1\,162{,}5 \cdot 675}{736}$$

$$R_{B3} = 28\,679{,}5\ N \tag{3.12}$$

$$R_{A3Y} = q_2 \cdot 1\,162{,}5 - R_{B3} = 26{,}9 \cdot 1\,162{,}5 - 28\,679{,}5$$

$$R_{A3Y} = 2\,591{,}8\ N \tag{3.13}$$

Kde:

R_{A3X} – reakční síla

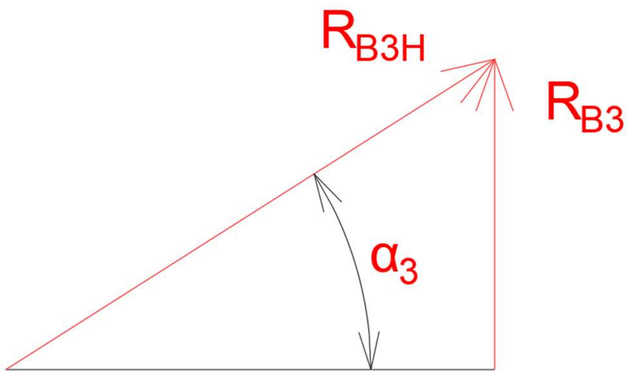
R_{A3Y} – reakční síla

R_{B3} – reakční síla

$q_2 = 26{,}9 \; N/mm$, liniové zatížení pro šířku 2 325 mm (3.5)

PŘEPOČET REAKČNÍ SÍLY RB3 NA SÍLU V OSE HYDROMOTORU

Úhel α_3 byl odměřen z modelu v programu Solidworks.



Obr. 70. Rozložení síly

$$R_{B3H} = \frac{R_{B3}}{\sin(\alpha_3)}$$

$$R_{B3H} = \frac{28\,679{,}5}{\sin(40)}$$

$$R_{B3H} = 44\,617{,}4\,N \qquad (3.14)$$

Kde:

R_{B3H} – síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy V

$R_{B3} = 28\,679{,}5\,N$ reakční síla (3.12)

$\alpha_2 = 40°$, úhel osy hydromotoru při natočení křídla do polohy V

3.3 NÁVRH A VOLBA HYDROMOTORU

Navrhovaný dvojčinný hydromotor je od firmy Hydraulics s.r.o. s označením ZH2T. Průměr pístu je 90 mm, průměr pístnice je 50 mm a zdvih o délce 260 mm. Maximální tlak hydrogenerátoru je 24 MPa. Je požadováno možnost nastavení křídla vyhrnovače i při zátěži. Z tohoto důvodu musí být výsledná síla hydromotoru větší než největší síla, která vzniká reakcí od zátěže.

3.3.1 VÝPOČET ČINNÉ PLOCHY A VÝSLEDNÉ SÍLY

$$S_H = \frac{\pi \cdot D_P^2}{4}$$

$$S_H = \frac{\pi \cdot 90^2}{4}$$

$$S_H = 6\,361{,}7\,mm^2 \qquad (3.15)$$

Kde:

S_H – činná plocha válce hydromotoru

$D_P = 90\ mm$, průměr pístu hydromotoru

$$F_H = p_H \cdot S_H$$
$$F_H = 24 * 6\,361{,}7$$
$$F_H = 152\,680{,}8\ N \tag{3.16}$$

Kde:

F_H – výsledná síla hydromotoru

$S_H = 6\,361{,}7 mm^2$, činná plocha válce hydromotoru (3.15)

$p_H = 24\ MPa$, maximální tlak hydrogenerátoru *[36]*

POROVNÁNÍ VÝSLEDNÉ SÍLY S REAKČNÍ

$$\boldsymbol{F_H = 152\,680,8\ N \geq R_{B1H} = 145\,872,6\ N} \tag{3.17}$$

Výsledná síla hydromotoru je větší než největší osová síla hydromotoru vzniklá při zátěži a natočení křídla vyhrnovače do polohy T. Navrhovaný hydromotor vyhovuje.

3.3.2 ZPĚTNÝ CHOD – VÝPOČET PLOCHY A VÝSLEDNÉ SÍLY

$$S_{HZ} = \frac{\pi \cdot D_P^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_P^2}{4}$$
$$S_{HZ} = \frac{\pi \cdot 90^2}{4} - \frac{\pi \cdot 50^2}{4}$$
$$S_{HZ} = 4\,398,2\ mm^2 \tag{3.18}$$

Kde:

S_{HZ} – činná plocha válce hydromotoru při zpětném chodu

$D_P = 90\ mm$, průměr pístu hydromotoru

$d_P = 50\ mm$, průměr pístnice hydromotoru

$$F_{HZ} = p_H \cdot S_H$$
$$F_{HZ} = 24 * 4\,398{,}2$$
$$F_{HZ} = 105\,556{,}8\ N \tag{3.19}$$

Kde:

F_{HZ} – výsledná síla hydromotoru při zpětném chodu

$S_{HZ} = 6\,361{,}7\ mm^2$, činná plocha válce hydromotoru při zpětném chodu (3.18)

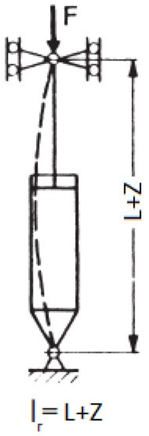
$p_H = 24\ MPa$, maximální tlak hydrogenerátoru *[36]*

Velikost síly při zpětném chodu je menší. Důvodem je menší plocha činná plocha válce hydromotoru. Pro účel šípového vyhrnovače je velikost síly plně dostačující.

3.3.3 Kontrola hydromotoru na vzpěr

Výrobce hydromotoru doporučuje zkontrolovat hydromotor na vzpěrnou stabilitu. Výpočet je proveden podle návodu od výrobce. Pro výpočet se nepředpokládá žádná zatížení radiální silou. Hydromotor je na radlici připevněný pomocí dvou rotačních vazeb. Redukovaná délka je proto stanovená pro Eulerův případ 2 (obr. 71). Pro provoz hydromotoru je výrobcem stanoven koeficient bezpečnosti na 2. *[39]*

Redukovaná délka



Obr. 71. Redukovaná délka [39]

$$l_r = L + Z$$

$$l_r = 375 + 260$$

$$l_r = 635\ mm \tag{3.20}$$

Kde:

l_r – redukovaná délka hydromotoru

$L = 375\ mm$, základní délka hydromotoru

$Z = 260\ mm$, zdvih hydromotoru

Určení dovoleného zatížení

Pomocí redukované délky a průměru pístnice je z grafu (příloha 1 – červeně) odečtena hodnota maximálního dovoleného zatížení.

$$d_P = 50\ mm$$

$$l_r = 635\ mm$$

$$F_{dov} = 440\ 000\ N \tag{3.21}$$

Kde:

F_{dov} – dovolené zatížení hydromotoru

$d_P = 50\ mm$, průměr pístnice hydromotoru

$l_r = 635\ mm$, redukovaná délka hydromotoru (3.20)

BEZPEČNOST HYDROMOTORU

$$k_H = \frac{F_{dov}}{R_{B1H}}$$

$$k_H = \frac{440\,000}{145\,872{,}6}$$

$$k_H = 3{,}02 \qquad (3.22)$$

Kde:

k_H – bezpečnost hydromotoru

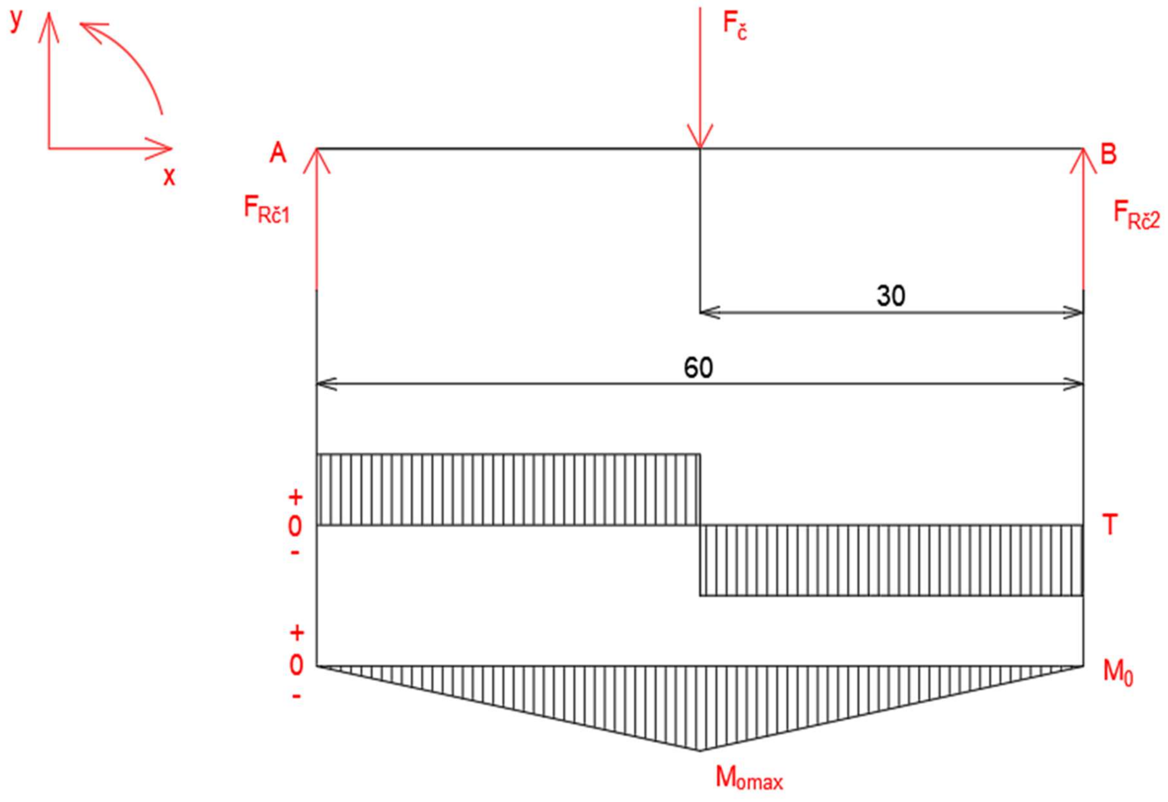
$R_{B1H} = 145\,872{,}6\ N$, síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy T (3.8)

$F_{dov} = 440\,000\ N$, dovolené zatížení hydromotoru (3.21)

Výsledná bezpečnost hydromotoru je větší než hodnota 2, kterou výrobce uvádí jako minimální. Navrhovaný hydromotor vyhovuje.

3.4 KONTROLA POJISTNÝCH ČEPŮ HYDROMOTORU

Čepy hydromotoru jsou kontrolované na ohyb a střih. Jako zatěžující síla je zvolena největší síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy T, která je R_{B1H} = 145 872,6 N. Čepy jsou vyrobené z oceli 16MnCr5 (14 220).



Obr. 72. Schéma a průběh napětí v pojistných čepech hydromotoru

$$\sum F_x = 0: \quad 0$$

$$\sum F_y = 0: \quad -F_{Č} + F_{RČ1} + F_{RČ2} = 0$$

$$\sum M_A = 0: \quad -F_{Č} \cdot 30 + F_{Rč2} \cdot 60 = 0$$

$$F_{Rč2} = \frac{F_{č} \cdot 30}{60} = \frac{145\,872{,}6 \cdot 30}{60}$$

$$F_{Rč2} = 72\,936{,}3\ N \tag{3.23}$$

$$F_{Rč1} = F_{Č} - F_{RČ2} = 145\,872{,}6 - 72\,936{,}3$$

$$F_{Rč1} = 72\,936{,}3\ N \tag{3.24}$$

Kde:

$F_{Rč1}$ – reakční síla

$F_{Rč2}$ – reakční síla

$F_{Č} = R_{B1H} = 145\,872{,}6\ N$, zatěžující síla čepu (3.8)

3.4.1 Maximální ohybový moment

$$M_{OMAX} = F_{RČ1} \cdot \frac{l_{č}}{2}$$

$$M_{OMAX} = 72\,936{,}3 \cdot \frac{60}{2}$$

$$M_{OMAX} = 2\,188\,089\ Nmm \tag{3.25}$$

Kde:

M_{OMAX} – maximální ohybový moment

$l_{č} = 60\ mm$, délka čepu

$F_{RČ1} = 72\,936{,}3\ N$, reakční síla (3.24)

3.4.2 Napětí v ohybu

$$\sigma_{č} = \frac{M_{OMAX}}{W_O} = \frac{M_{OMAX}}{\frac{\pi \cdot d_{č}^3}{32}}$$

$$\sigma_{č} = \frac{2\,188\,089}{\frac{\pi \cdot 40^3}{32}}$$

$$\sigma_{č} = 348{,}25\ MPa \tag{3.26}$$

Kde:

$\sigma_č$ – napětí v ohybu

$M_{OMAX} = 2\,188\,089\ Nmm$, maximální ohybový moment (3.25)

$d_Č = 40\ mm$, průměr čepu

W_O – průřezový modul v ohybu

3.4.3 Smykové napětí

$$\tau_č = \frac{F_Č}{2 \cdot S_Č} = \frac{F_Č}{2 \cdot \frac{\pi \cdot d_Č^2}{4}}$$

$$\tau_č = \frac{145\,872{,}6}{2 \cdot \frac{\pi \cdot 40^2}{4}}$$

$$\tau_č = 58{,}04\ MPa \tag{3.27}$$

Kde:

$\tau_č$ – smykové napětí

$F_Č = R_{B1H} = 145\,872{,}6\ N$, síla v čepu (3.8)

$d_Č = 40\ mm$, průměr čepu

$S_Č$ – plocha čepu

3.4.4 Redukované napětí dle podmínky HMH

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_č^2 + 3 \cdot \tau_č^2}$$

$$\sigma_{red} = \sqrt{348{,}25^2 + 3 \cdot 58{,}04^2}$$

$$\sigma_{red} = 362{,}47\ MPa \tag{3.28}$$

Kde:

σ_{red} – redukované napětí

$\sigma_č = 348{,}25\ MPa$, napětí v ohybu (3.26)

$\tau_č = 58{,}04\ MPa$, smykové napětí (3.27)

3.4.5 Bezpečnost čepu

$$k_č = \frac{R_{e1}}{\sigma_{red}}$$

$$k_č = \frac{590}{362{,}47}$$

$$k_č = 1{,}63 \tag{3.29}$$

Kde:

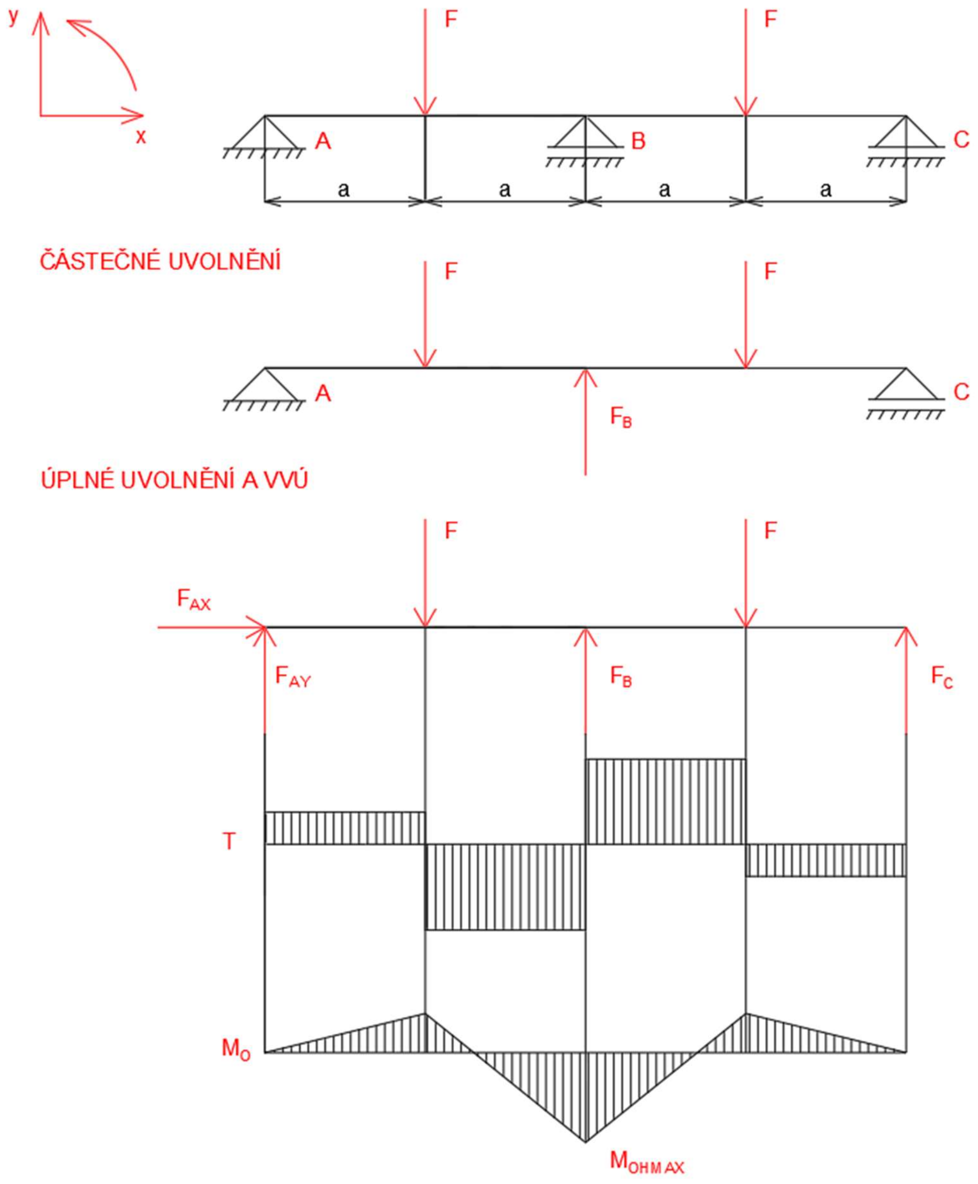
$k_č$ – bezpečnost čepu

$R_{e1} = 590\ MPa$, mez kluzu oceli 16MnCr5 (14 220) *[50]*

$\sigma_{red} = 362{,}47\ MPa$, redukované napětí (3.28)

3.5 KONTROLA HLAVNÍHO ČEPU VYHRNOVAČE

Hlavní čep je vyrobený z oceli 16MnCr5 (14 220). Zatížený je reakčními silami od jednotlivých křídel vyhrnovače. Reakční síly působí na hlavní čep ve dvou místech Pro zjednodušení je uvažováno bodové působení sil a bodové uchycení čepu.



Obr 73. Schéma rozložení sil na hlavním čepu

VYJÁDŘENÍ SÍLY F_B POMOCÍ SÍLY F_{AY}

$$w = \frac{\partial W}{\partial F_B} = \frac{1}{EJ}\left\{\int_0^a (F_{AY}x)\cdot 0\,dx + \int_0^a [F_{AY}(a+x) - Fx]\cdot 0\,dx + \int_0^a \{[F_{AY}(2a+x) - F(a+x) + F_B x]x\}\,dx + \int_0^a \{[F_{AY}(3a+x) - F(2a+x) + F_B(a+x) - Fx)](a+x)\}\,dx\right\} = 0$$

$$w = \frac{1}{EJ}\left(0 + 0 + 2F_{AY}\frac{a^3}{2} + F_{AY}\frac{a^3}{3} - F\frac{a^3}{2} - F\frac{a^3}{3} + F_B\frac{a^3}{3} + 3F_{AY}a^3 + 3F_{AY}\frac{a^3}{2} + F_{AY}\frac{a^3}{2} + F_{AY}\frac{a^3}{3} - 2Fa^3 - 2F\frac{a^3}{2} - F\frac{a^3}{2} - F\frac{a^3}{3} + F_B a^3 + F_B\frac{a^3}{2} + F_B\frac{a^3}{2} + F_B\frac{a^3}{2} - F_B\frac{a^3}{3} - F\frac{a^3}{2} - F\frac{a^3}{3}\right) = 0$$

$$F_B = \frac{2F_{AY}\frac{a^3}{2} - F_{AY}\frac{a^3}{3} + F\frac{a^3}{2} + F\frac{a^3}{3} - 3F_{AY}a^3 - 3F_{AY}\frac{a^3}{2} - F_{AY}\frac{a^3}{2} - F_{AY}\frac{a^3}{3} + 2Fa^3}{\frac{a^3}{3} + a^3 + \frac{a^3}{2} + \frac{a^3}{2} + \frac{a^3}{3}} + \frac{2F\frac{a^3}{2} + F\frac{a^3}{3} + F\frac{a^3}{2} + F\frac{a^3}{2} + F\frac{a^3}{3}}{\frac{a^3}{3} + a^3 + \frac{a^3}{2} + \frac{a^3}{2} + \frac{a^3}{3}}$$

$$F_B = \frac{-6F_{AY}a^3 - 2F_{AY}a^3 + 3Fa^3 + 2Fa^3 - 18F_{AY}a^3 - 9F_{AY}a^3 - 3F_{AY}a^3 - 2F_{AY}a^3}{2a + 6a + 3a + 3a + 2a} + \frac{12Fa^3 + 6Fa^3 + 3Fa^3 + 2Fa^3 + 3Fa^3 + 2Fa^3}{2a + 6a + 3a + 3a + 2a}$$

$$F_B = \frac{-40F_{AY} + 33F}{16}$$

Kde:

F_B – reakční síla

F_{AY} – reakční síla

w – posunutí

J – kvadratický moment

$F = R_{A1} = 6\,437{,}1\ N$, zatěžují síla (3.7)

$E = 210\ GPa$, modul pružnosti v tahu

$a = 130\ mm$, vzdálenost

VÝPOČET VELIKOSTÍ REAKČNÍCH SIL

$$\sum F_X = 0: \qquad F_{AX} = 0$$

$$\sum F_Y = 0: \qquad F_{AY} - F + F_B - F + F_C = 0$$

$$\sum M(C) = 0: \quad -4F_{AY}a + 3Fa - 2F_Ba + Fa = 0$$

$$2F = 2F_{AY} + F_B$$

$$2F = 2F_{AY} + \frac{-40F_{AY} + 33F}{16}$$

$$32F = 32F_{AY} - 40F_{AY} + 33F$$

$$F_{AY} = \frac{F}{8}$$

$$F_{AY} = \frac{6\,437{,}1}{8}$$

$$F_{AY} = 804{,}64\ N \tag{3.30}$$

$$F_B = \frac{-40F_{AY} + 33F}{16}$$

$$F_B = \frac{-40 \cdot 804{,}64 + 33 \cdot 6\,437{,}1}{16}$$

$$F_B = 11\,264{,}92\ N \tag{3.31}$$

$$F_C = -F_{AY} - F_B + 2F$$

$$F_C = -804{,}64 - 11\,264{,}92 + 2 \cdot 6\,437{,}1$$

$$F_C = 804{,}64\ N \tag{3.32}$$

Kde:

F_X – reakční síla

F_B – reakční síla

F_{AY} – reakční síla

$F = R_{A1} = 6\,437{,}1\ N$, zatěžují síla (3.7)

$a = 130\ mm$, vzdálenost

3.5.1 MAXIMÁLNÍ OHYBOVÝ MOMENT

$$M_{OHMAX} = F_{AY} \cdot 2a - F \cdot a$$

$$M_{OHMAX} = -804{,}64 \cdot 2 \cdot 130 - 6\,437{,}1 \cdot 130$$

$$M_{OHMAX} = -627\,616\,Nmm \quad (3.33)$$

Kde:

M_{OHMAX} – maximální ohybový moment

F_{AY} – reakční síla

$F = R_{A1} = 6\,437{,}1\,N$, zatěžují síla (3.7)

$a = 130\,mm$, vzdálenost

3.5.2 NAPĚTÍ V OHYBU

$$\sigma_{hč} = \frac{|M_{OHmax}|}{W_{0h}} = \frac{|M_{OHmax}|}{\frac{\pi d_{hč}^3}{32}}$$

$$\sigma_{hč} = \frac{627\,616}{\frac{\pi \cdot 50^3}{32}}$$

$$\sigma_{hč} = 51{,}14\,MPa \quad (3.34)$$

Kde:

$\sigma_{hč}$ – napětí v ohybu

W_{0h} – průřezový modul v ohybu

$M_{OHMAX} = 627\,616\,Nmm$, maximální ohybový moment (3.33)

$d_{hč} = 50\,mm$, průměr hlavního čepu

3.5.3 BEZPEČNOST HLAVNÍHO ČEPU

$$k_{hč} = \frac{R_{e1}}{\sigma_{hč}}$$

$$k_{hč} = \frac{590}{51{,}14}$$

$$k_{hč} = 11{,}53 \quad (3.35)$$

Kde:

$k_{hč}$ – bezpečnost hlavního čepu

$\sigma_{hč} = 51{,}14MPa$, napětí v ohybu (3.34)

$R_{e1} = 590\,MPa$, mez kluzu oceli 16MnCr5 (14 220) (50)

3.6 KONTROLA KLUZNÝCH POUZDER

Kontrola kluzných pouzder je provedena podle výpočtu uvedeného v produktovém katalogu od výrobce SKF. Na navrhovaném vyhrnovači jsou kluzné pouzdra dvou délek, které jsou ze slinutého bronzu. Na rámu vyhrnovače působí největší statické zatížení síla F_B na dvojici kluzných pouzder o délce 50 mm. Na křídle vyhrnovače jsou celkem čtyři kluzná pouzdra o délce 40 mm, na které působí největší statické zatížení síla R_{A1}. Výrobce u kluzných pouzder ze slinutého bronzu udává maximální statické zatížení 20 N/mm^2. *[52]*

3.6.1 KONTROLA KLUZNÉHO POUZDRA O DÉLCE 50 MM

$$p_{kp50} = \frac{F_B/2}{d_{kp} b_{kp50}}$$

$$p_{kp50} = \frac{11\,264{,}92/2}{50 \cdot 50}$$

$$p_{kp50} = 2{,}25\ N/mm^2 \tag{3.36}$$

Kde:

p_{kp50} – specifické zatížení kluzného pouzdra o délce 50 mm

$F_B = 11\,264{,}92\ N$, reakční síla (3.31)

$d_{kp} = 50\ mm$, průměr kluzného pouzdra

$b_{kp50} = 50\ mm$, délka kluzného pouzdra

$$\boldsymbol{p_{kp50} = 2{,}25\ N/mm^2 \leq 20\ N/mm^2} \tag{3.37}$$

Navrhované kluzné pouzdro ze slinutého bronzu vyhovuje.

3.6.2 KONTROLA KLUZNÉHO POUZDRA O DÉLCE 40 MM

$$p_{kp40} = \frac{\frac{R_{A1}}{4}}{d_{kp} b_{kp40}}$$

$$p_{kp40} = \frac{\frac{6\,437{,}1}{4}}{50 \cdot 40}$$

$$p_{kp40} = 0{,}81\ N/mm^2 \tag{3.38}$$

Kde:

p_{kp40} – specifické zatížení kluzného pouzdra o délce 40 mm

$R_{A1} = 6\,437{,}1\ N$, reakční síla (3.7)

$d_{kp} = 50\ mm$, průměr kluzného pouzdra

$b_{kp40} = 40\ mm$, délka kluzného pouzdra

$$\boldsymbol{p_{kp40} = 0{,}81\ N/mm^2 \leq 20\ N/mm^2} \tag{3.39}$$

Navrhované kluzné pouzdro ze slinutého bronzu vyhovuje.

4 PEVNOSTNÍ KONTROLA MKP

Pevnostní analýza navrhovaného vyhrnovače nehomogenního materiálu byla provedena v programu Ansys Workbench 2019 R3 student licence pomocí lineární metody konečných prvků (dále jen „MKP“). Studentská licence Ansysu Workbench je omezena na 32 000 nodů/elementů. Předmětem pevnostní kontroly je rám vyhrnovače i křídlo vyhrnovače. Rám i křídlo vyhrnovače je z velké části tvořen tenkostěnnými profily, proto je vhodné tyto objemové modely nahradit skořepinovým modelem. Využitím skořepinového modelu dojde k úspoře výpočtového času a výrazného snížení počtu prvků při zachování odpovídajících výsledků.

4.1 VÝPOČET MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI

Nosné části rámu a křídla vyhrnovače jsou vyrobeny z oceli S355JR (11 523). Jedná se o běžnou konstrukční ocel, která je dobře svařitelná. Je vhodná pro svařované konstrukce, které jsou namáhané jak staticky, tak dynamicky. Výpočet mezních stavů únosnosti odpovídá normě ČSN EN 1993-1-1. *[48]*

NÁVRHOVÁ PEVNOST OCELI Z MEZE KLUZU

$$f_{yd} = \frac{R_{e2}}{\gamma_m}$$

$$f_{yd} = \frac{333}{1{,}15}$$

$$f_{yd} = 289{,}6\ MPa \qquad (4.1)$$

Kde:

f_{yd} – návrhová pevnost oceli z meze kluzu

$R_{e2} = 333\ MPa$, mez kluzu oceli S355JR (11 523) *[50]*

$\gamma_m = 1{,}15$, dílčí součinitel spolehlivosti materiálu *[48]*

DOVOLENÉ NAPĚTÍ ZAHRNUJÍCÍ DYNAMICKÝ SOUČINITEL

$$f_D = \frac{f_{yd}}{\mathrm{k}_D}$$

$$f_D = \frac{289{,}6}{1{,}5}$$

$$f_D = 193{,}1\ MPa \qquad (4.2)$$

Kde:

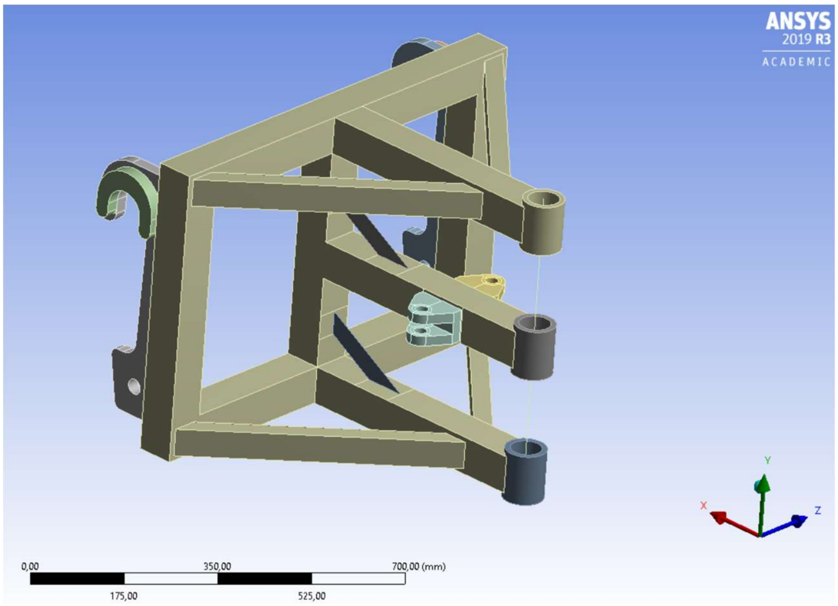
f_D – dovolené napětí zahrnující dynamický součitnitel

$f_{yd} = 289{,}6\ MPa$, návrhová pevnost oceli z meze kluzu

$k_D = 1{,}5$, dynamický součinitel

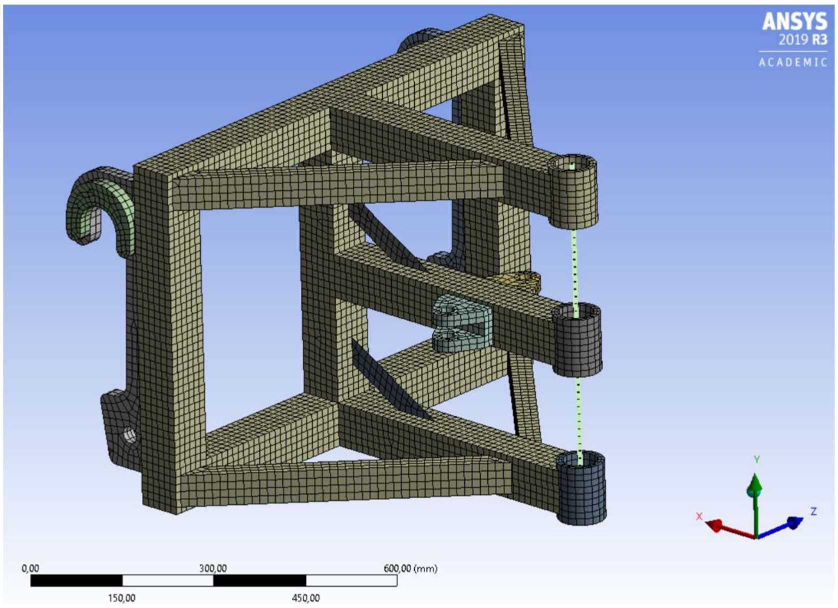
4.2 TVORBA MKP MODELU RÁMU

Objemový model rámu vyhrnovače nehomogenního materiálu byl vytvořen v prostředí Solidworks 2019. Model byl převedený do prostředí Ansys Workbench, ve kterém byl upraven. Pro zjednodušení byli ve výpočtovém modelu zanedbány zaoblení, zkosení a technologické prvky (úkosy pro svařování apod.). Tenkostěnné profily byli převedeny na střednicové plochy. Těmto střednicovým plochám byla přirazena tloušťka stěny a materiál, které odpovídají skutečným hodnotám.



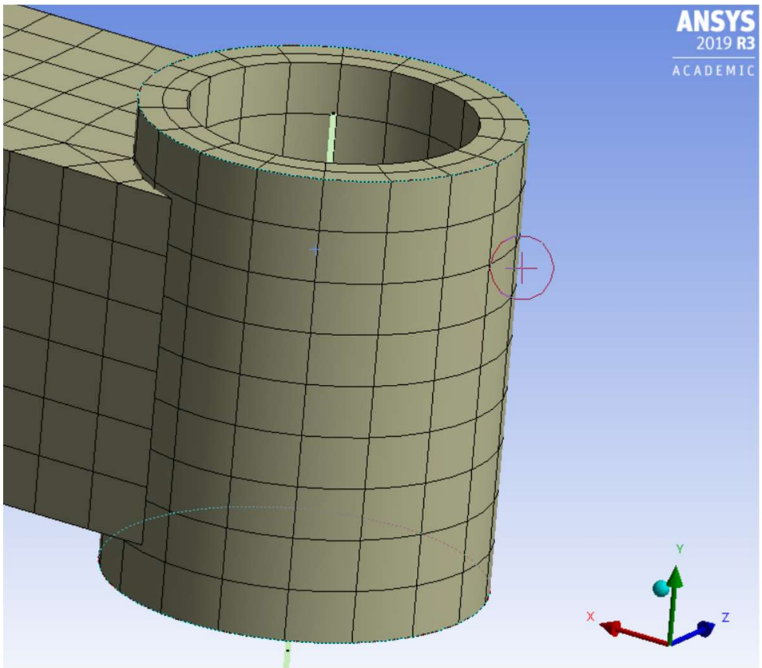
Obr. 74. Model rámu

Pro vytvoření konečnoprvkové sítě skořepinové části byl použit čtyřuzlový prvek (Quadrilateral Dominant) a velikost jednoho elementu byla nastavena na 13 mm.



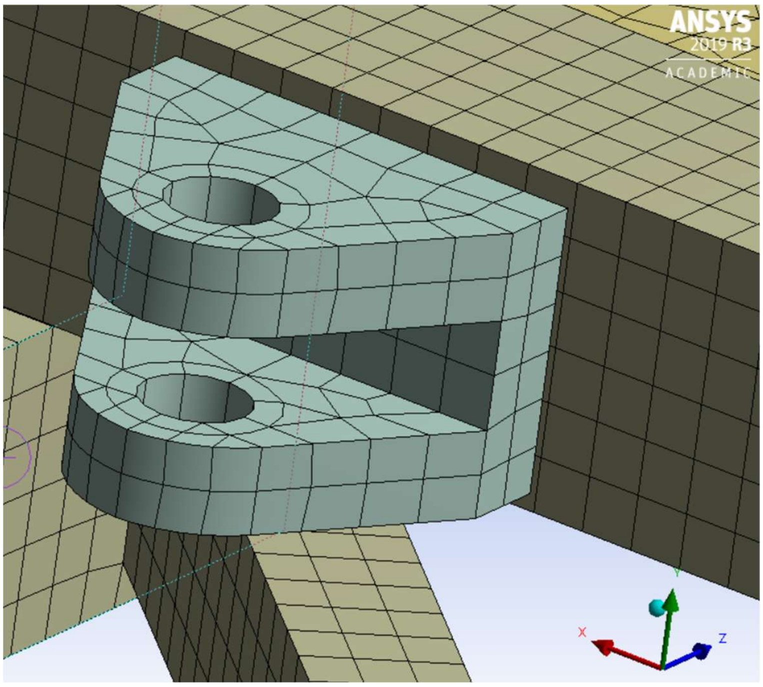
Obr. 75. Konečněprvková síť rámu

Konečněprvková síť pouzdra pro kluzné ložisko, který je ve výpočtovém modelu jako objemový prvek, byla vytvořena pomocí funkce „Face Meshing" a „Sweep Method". Šířka jednoho elementu odpovídá polovině tloušťky pouzdra. Délka elementu byla nastavena na hodnotu 12 mm.



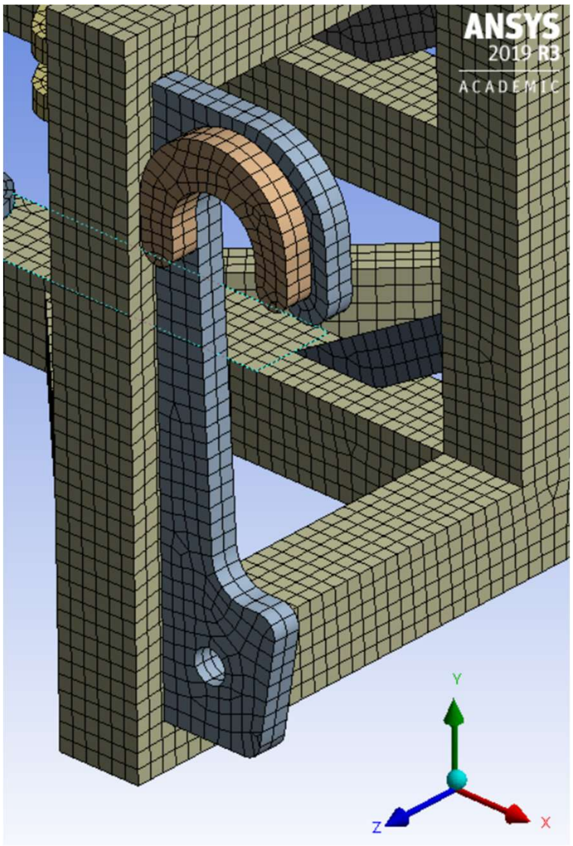
Obr. 76. Konečněprvková síť pouzdra pro kluzné ložisko

Konečněprvková síť držáku hydromotoru byla automaticky vytvořena pomocí metody hex dominant. V každé tloušťce jsou minimálně dva elementy. Celkový počet elementů na jednom držáku hydromotoru je 346.



Obr. 77. Konečněprvková síť držáku hydromotoru

Konečněprvková síť přípravku na uchycení k teleskopickému manipulátoru byla automaticky vytvořena pomocí metody hex dominant. V každé tloušťce jsou minimálně dva elementy. Celkový počet elementů na jednom přípravku je 1 126.



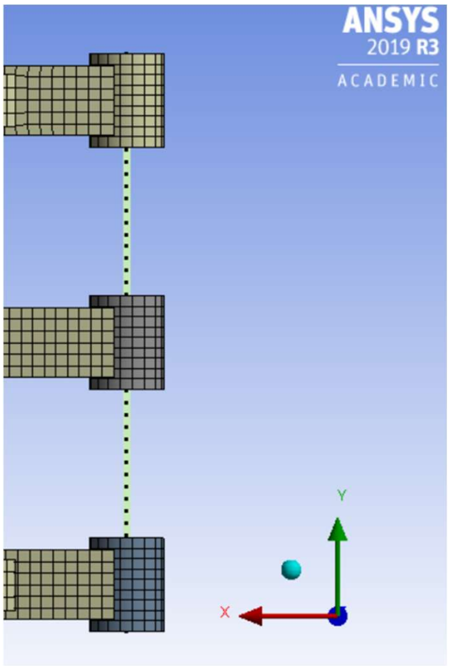
Obr. 78. Konečněprvková síť přípravku na uchycení k teleskopickému manipulátoru

4.3 Okrajové podmínky rámu

Pevnostní analýza byla zaměřená jen na výpočet rámu vyhrnovače. Některé prvky vyhrnovače proto nebyly součástí analýzy a byly nahrazené vybranými prvky a vazbami. Prvky byly vybrány tak, aby jejich chování co nejvíce odpovídalo skutečnosti. Geometrické a silové okrajové podmínky jsou popsány v následujících kapitolách.

4.3.1 Nahrazení čepu

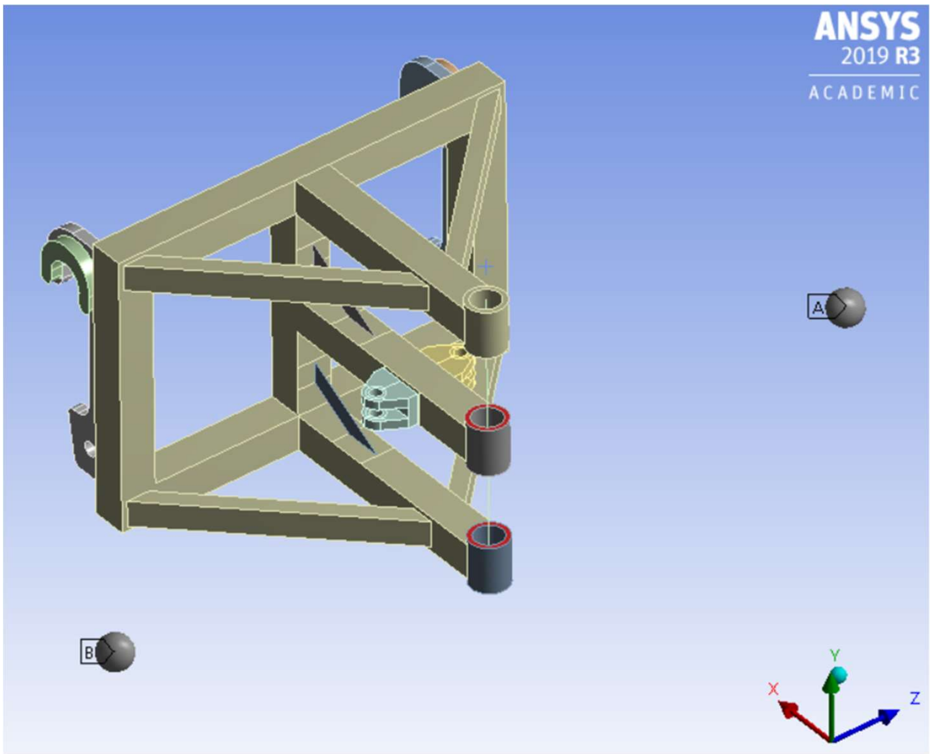
Čep, který spojuje rám vyhrnovače s křídly vyhrnovače, přenáší zatížení z křídla vyhrnovače na rám vyhrnovače. Zároveň funguje jako výztuha rámu vyhrnovače. Ve výpočtovém modelu byl tento čep nahrazen tyčí typu beam o stejných rozměrech a materiálových vlastnostech, které odpovídají skutečnému čepu. Náhradní tyči byla zamezena volnost ve směru osy Y.



Obr. 79. Nahrazení čepu

4.3.2 NAHRAZENÍ KŘÍDEL VYHRNOVAČE

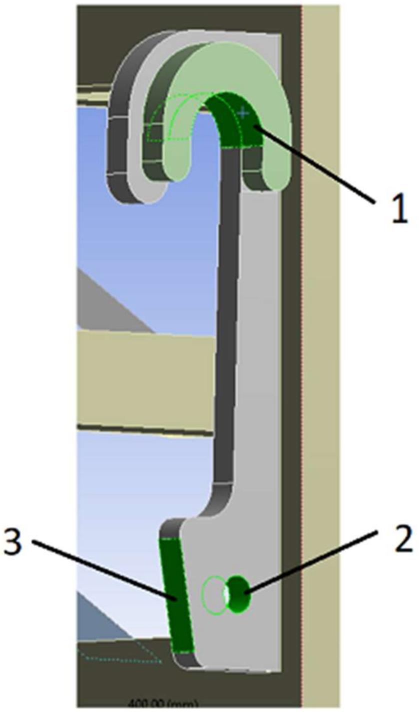
Křídla vyhrnovače nehomogenního materiálu představují nezanedbatelný hmotnost působící na rám vyhrnovače. Nahrazení každého křídla bylo provedeno hmotným bodem umístěným v jeho těžišti. Toto zatížení je rozloženo po horní ploše spodních dvou pouzder kluzných ložisek.



Obr. 80. Nahrazení křídel vyhrnovače

4.3.3 PŘIPEVNĚNÍ K TELESKOPICKÉMU MANIPULÁTORU

Připevnění k teleskopickému manipulátoru představují vazby zabraňující posunutí (Displacement) a tlaková vazba (Compresion Only Support). Vazba zabraňující posunutí byla využitá jako náhrada za tyč, která se podpírá závěsné oko (1). Zároveň byla použita jako podpěra plochy, která se opírá o přípojné zařízení teleskopického manipulátoru (2). Tlaková vazba aplikuje vazbu na válcové ploše jen v místech, kde je tlaková reakce v normálovém směru. Ve výpočtovém modelu byla využita jako náhrada za pojistný čep, který se zasunuje do přípravku na připojení k teleskopickému manipulátoru (3).



Obr. 81. Vazby

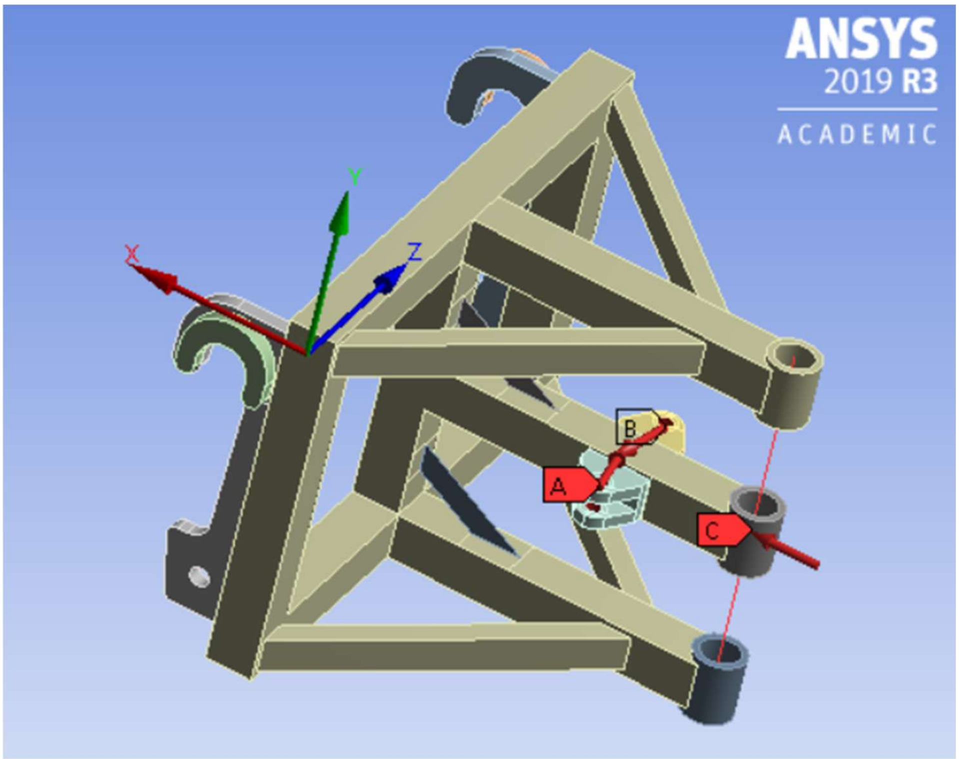
4.3.4 ZATÍŽENÍ VYHRNOVANÝM MATERIÁLEM

Zatížení od vyhrnovaného materiálu bylo rozloženo do čepu, který spojuje rám a křídla vyhrnovače, a držáků hydromotoru. Velikost jednotlivých sil je určená v kapitolách 4.2 Reakční síly. Rám byl kontrolován pro celkem šest zátěžných stavů. Jednotlivé zátěžné stavy jsou popsány v následující tabulce (tab.4).

Zátěžný stav	Natočení levého křídla vyhrnovače	Natočení pravého křídla vyhrnovače
1	0°	0°
2	-30°	-30°
3	30°	30°
4	-30°	30°
5	-30°	0°
6	30°	0°

Tab. 4 Zátěžné stavy zatížení rámu vyhrnovače

Zatížení, které je přenášeno přes hydromotor do rámu vyhrnovače, bylo zadáno pomocí funkce ložiskového zatížení (Bearing Load). Toto zatížení simuluje rozložení tlaku na válcovou plochu od čepu zajišťujícího hydromotor (na obr. 81 zatížení A a B). Zatížení, které je přenášeno přes hlavní čep na pouzdra kluzných ložisek bylo zadáno pomocí liniového zatížení (Line Pressure). Zatížení bylo zadáno jako síla podělená délkou hlavního čepu (na obr. 81 zatížení C)



Obr. 82. Zatížení rámu vyhrnovače

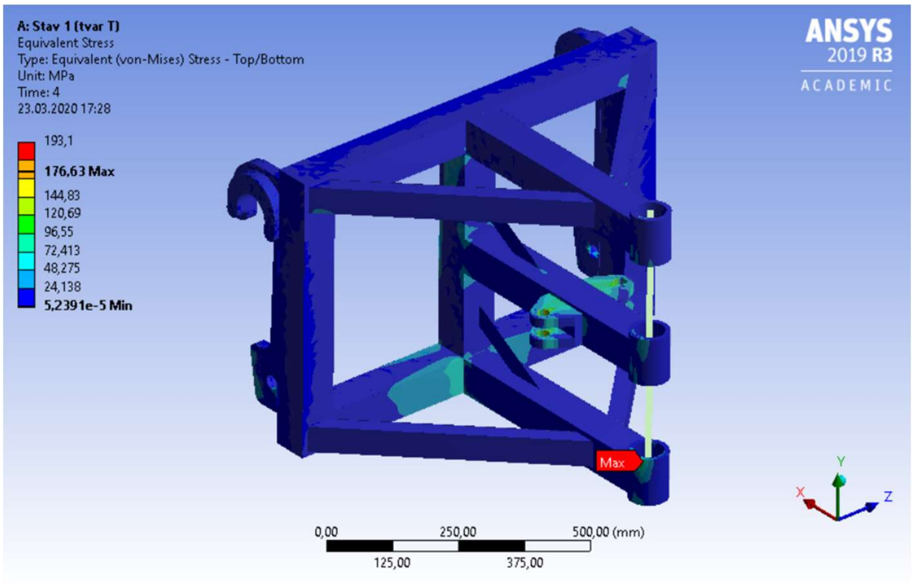
4.4 VYHODNOCENÍ PEVNOSTNÍ ANALÝZY RÁMU

Pevnostní analýza rámu vyhrnovače byla hodnocena celkem v 6 zatěžovacích stavech. Výsledky napjatosti jsou určeny dle teorie HMH, která je v programu Ansys Workbench ekvivalentní napětí von Mises. Pro zobrazení maximální hodnoty napětí byla zvolena hodnota dovoleného napětí po zahrnutí dynamického součinitele oceli S355JR (11 523), která dle výpočtu odpovídá 193,1 MPa. Dále jsou zobrazeny výsledky deformace rámu. Veškeré výsledky jsou zobrazeny v měřítku 1:1.

Při vyhodnocování výsledků bylo nutné brát zřetel k tomu, že velká část modelu rámu byla nahrazena skořepinovým modelem. Vytvořený výpočtový model neobsahuje žádné svary, zaoblení, ani technologické prvky. Z tohoto důvodu může hlavně v blízkosti ostrých hran a v místě napojení dvou či více střednicových ploch vznikat neadekvátní vysoké napětí a docházet tak ke zkreslení výsledků. Velikost těchto špiček je závislá na jemnosti vytvořené sítě. Jelikož je studentská licence programu Ansys Workbench omezená na počet nodů/elementů, nemohlo dojít ke zjemnění sítě v kritických místech.

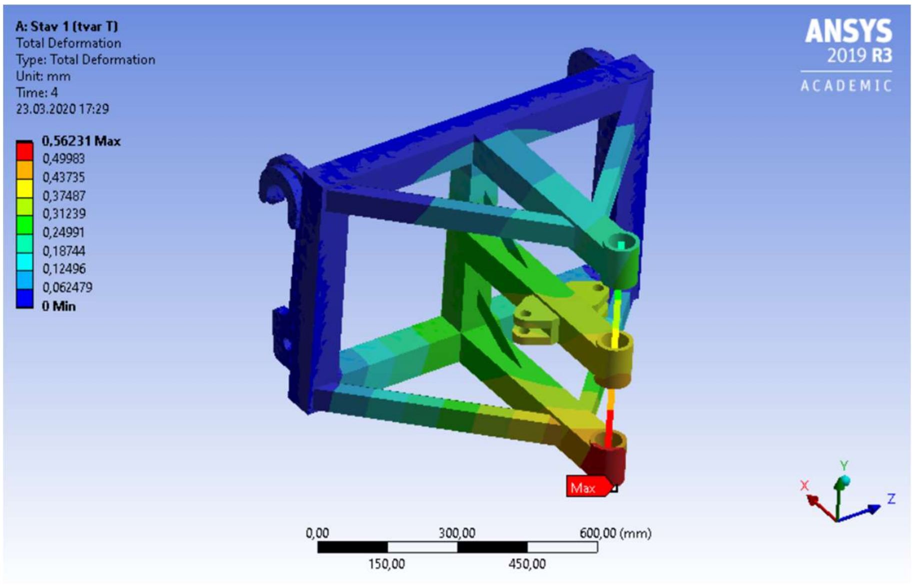
4.4.1 ZÁTĚŽNÝ STAV 1

Největší napětí vzniká v místě spojení čepu s rámem. V tomto místě dochází k přenosu síly z křídla vyhrnovače na rám. Nejvyšší napětí je velikosti 177 MPa. Další vysoká napětí vznikají v držácích hydromotorů. V těchto místech je nejvyšší napětí okolo 145 MPa. Maximální napětí nepřesahuje dovolené napětí zahrnující dynamický součinitel. Stav lze hodnotit jako vyhovující.



Obr. 83. Zatěžný stav 1 - Equivalent Stress

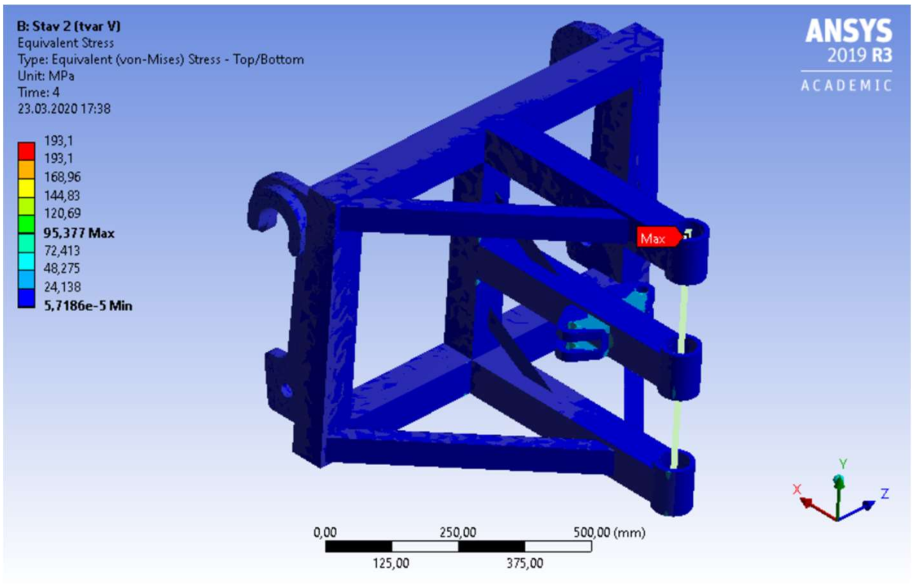
K maximální deformaci dochází na spodním pouzdru pro kluzné ložisko. Největší posunutí je rovno 0,56 mm. Dané posunutí by nemělo ovlivnit funkčnost vyhrnovače. Stav lze proto hodnotit jako vyhovující.



Obr. 84. Zátěžný stav 1 - Total Deformation

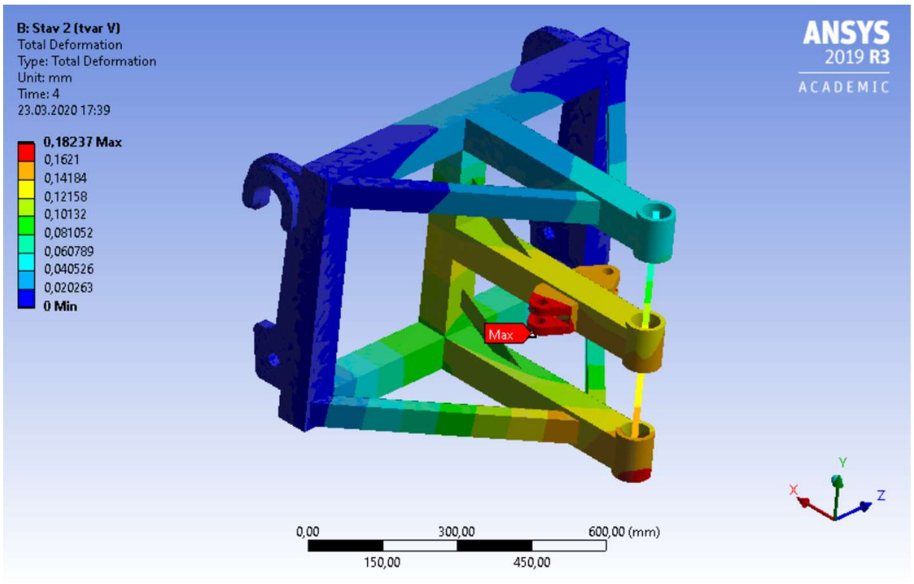
4.4.2 ZÁTĚŽNÝ STAV 2

Největší napětí při natočení vyhrnovače do tvaru V vzniká v horním pouzdře. Vzhledem k tomu, že se jedná o místo, kde dochází ke kontaktu mezi čepem a rámem, je možné toto napětí hodnotit jako špičkové. Další vysoká napětí vznikají v držácích hydromotoru. Toto napětí se pohybuje okolo 70 MPa, což je pod hranicí dovoleného napětí 193 MPa. Stav lze hodnotit vyhovující.



Obr. 85. Zátěžný stav 2 - Equivalent Stress

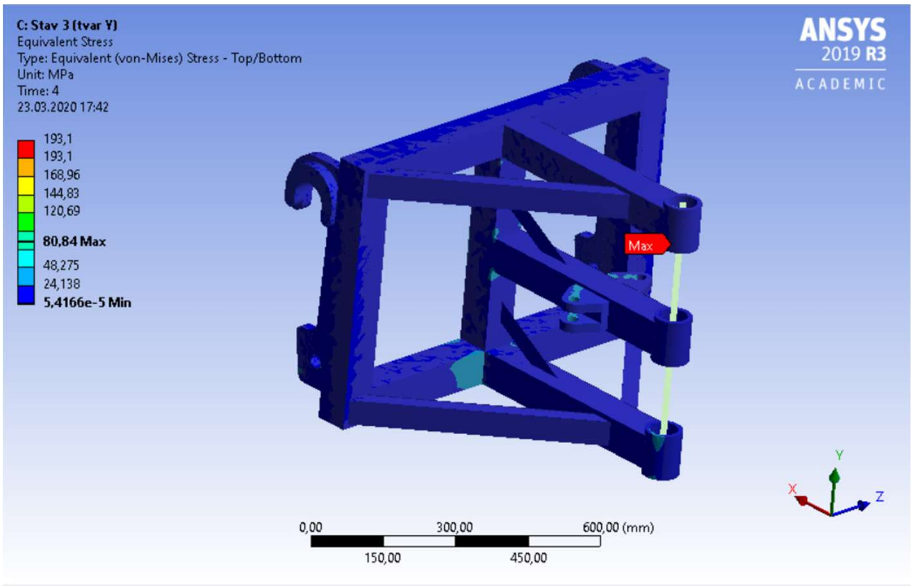
Při natočení vyhrnovače do tvaru V je největší deformace zaznamenaná v držáku hydromotoru a spodním pouzdře. Velikost posunutí je 0,2 mm, což neovlivní funkčnost vyhrnovače. Stav lze hodnotit jako vyhovující.



Obr. 86. Zátěžný stav 2 - Total Deformation

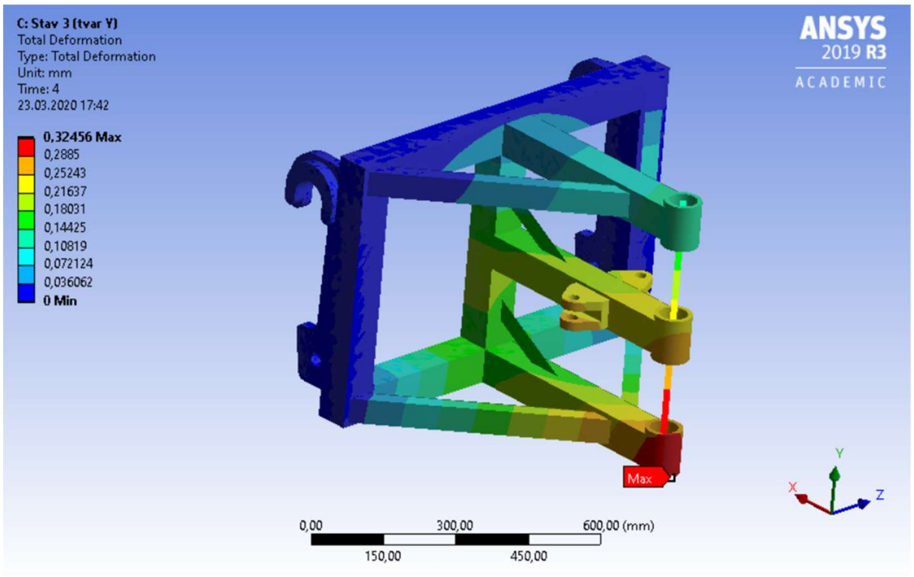
4.4.3 ZÁTĚŽNÝ STAV 3

Při natočení vyhrnovače do tvaru Y je největší napětí opět v místě horního pouzdra, kde dochází ke kontaktu čepu s rámem. Maximální napětí při tomto zátěžném stavu se pohybuje okolo 80 MPa, což se pohybuje pod hranicí dovoleného napětí 193 MPa. Stav lze hodnotit jako vyhovující.



Obr. 87. Zátěžný stav 3 - Equivalent Stress

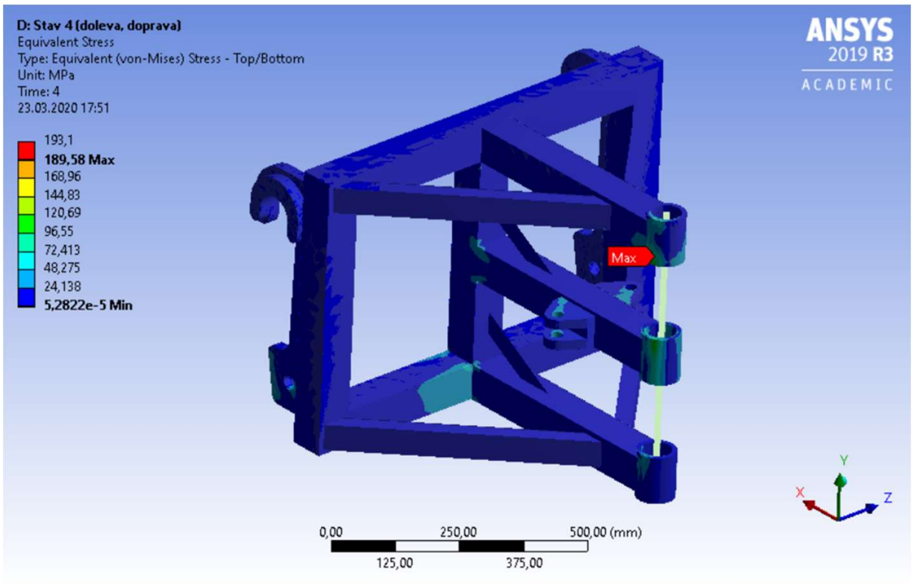
Maximální deformace rámu vyhrnovače je na spodním pouzdře. Velikost maximálního posunutí se pohybuje okolo 0,32 mm. Vzniklé posunutí nemá vliv na funkčnost vyhrnovače a stav lze hodnotit jako vyhovující.



Obr. 88. Zátěžný stav 3 - Total Deformation

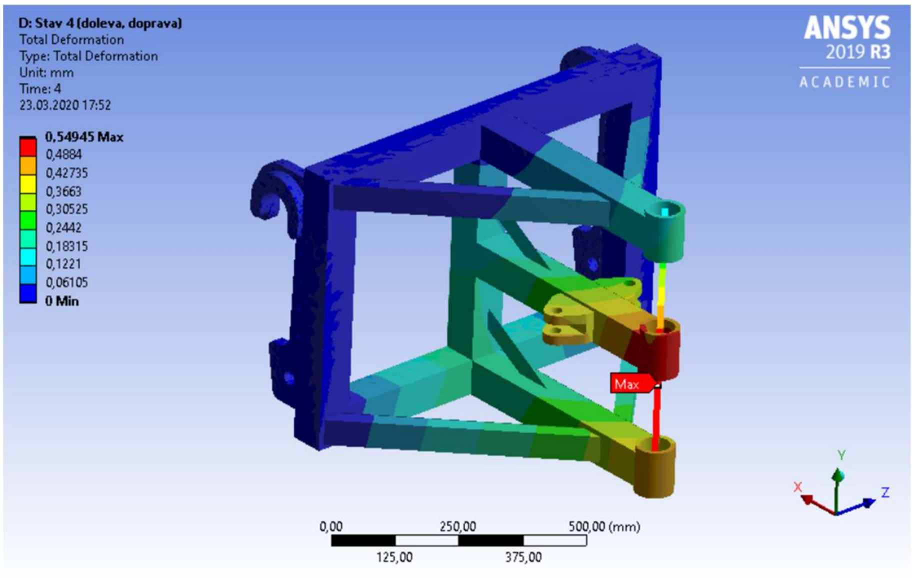
4.4.4 ZÁTĚŽNÝ STAV 4

Při zatížení vyhrnovače, který odvádí všechen nehomogenní materiál na jednu nebo druhou stranu vzniká maximální v horním pouzdru. Jelikož v tomto místě dochází ke kontaktu čepu a rámu lze toto vypočítané napětí považovat za špičku napětí. Vysoké napětí pohybující se okolo 140 MPa je i v dalších pouzdrech. Žádné napětí nepřesahuje dovolené napětí 193 MPa. Lze proto tento stav hodnotit jako vyhovující.



Obr. 89. Zátěžný stav 4 - Equivalent Stress

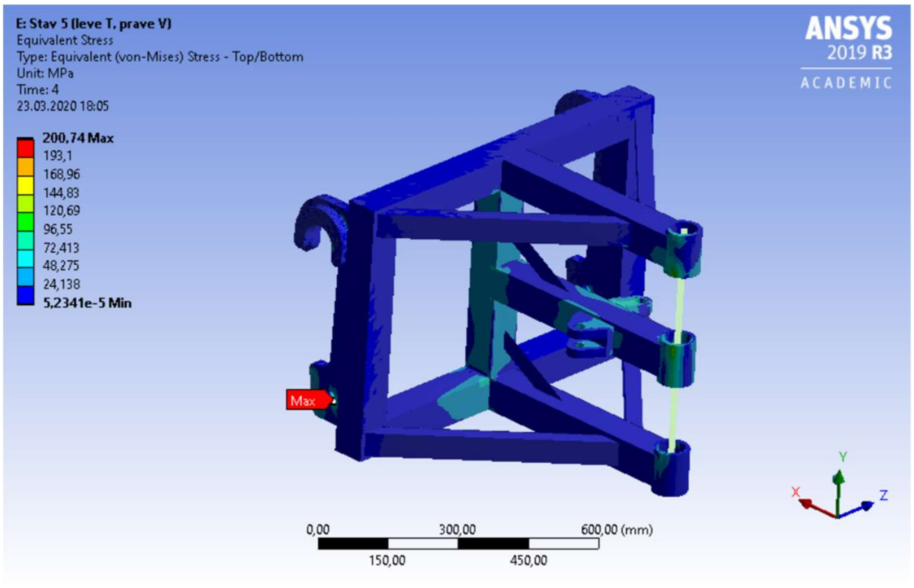
K maximální deformaci při zátěžném stavu 4 dochází na prostředním pouzdře. Velikost deformace do 0,6 mm neomezí funkčnost vyhrnovače a lze tento stav hodnotit jako vyhovující.



Obr. 90. Zátěžný stav 4 - Total Deformation

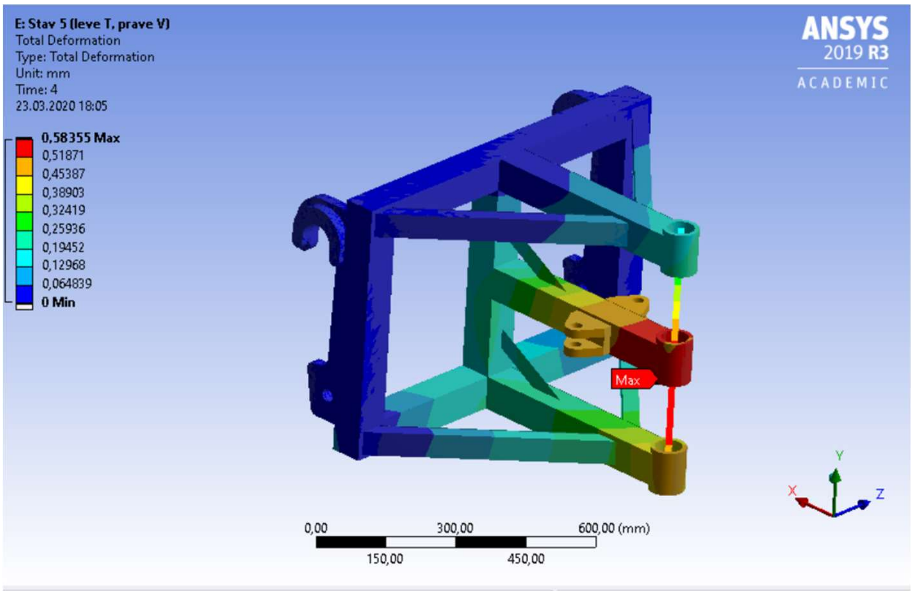
4.4.5 ZÁTĚŽNÝ STAV 5

Při nastavení křídel vyhrnovače do nesymetrické polohy, kdy levé křídlo je kolmé na směr pohybu a druhé natočené směrem ke stroji, je maximální napětí 201 MPa. Vzhledem k tomu, že toto napětí vzniká v místě vazby, je toto napětí považované za špičku, která neodpovídá realitě. Další vysoká napětí vznikají na pouzdrech, kde se jejich hodnota pohybuje okolo 150 MPa. Tato napětí jsou nižší než dovolené napětí, a tak lze stav hodnotit jako vyhovující.



Obr. 91. Zátěžný stav 5 - Equivalent Stress

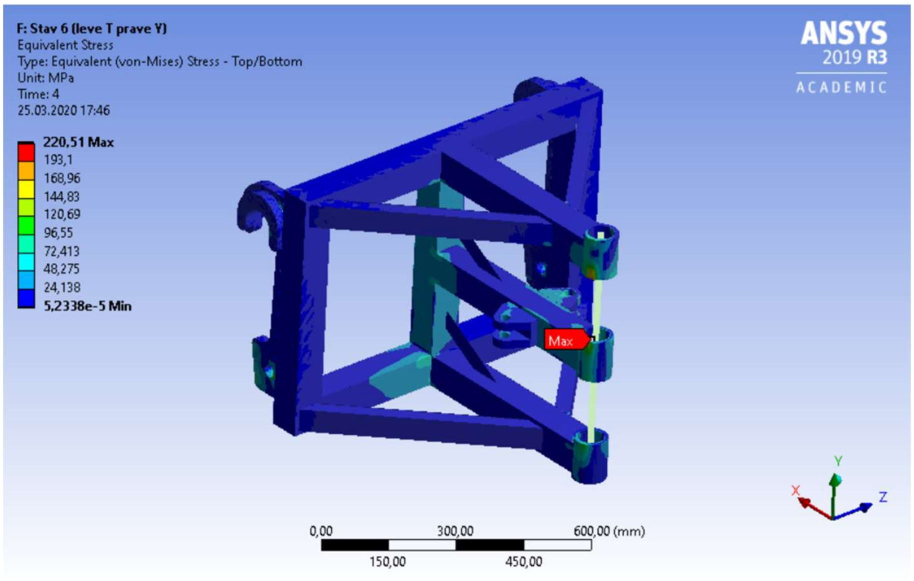
K maximální deformaci při zátěžném stavu 5 dochází na prostředním pouzdře. Velikost deformace do 0,6 mm neomezí funkčnost vyhrnovače a lze tento stav hodnotit jako vyhovující.



Obr. 92. Zátěžný stav 5 - Total Deformation

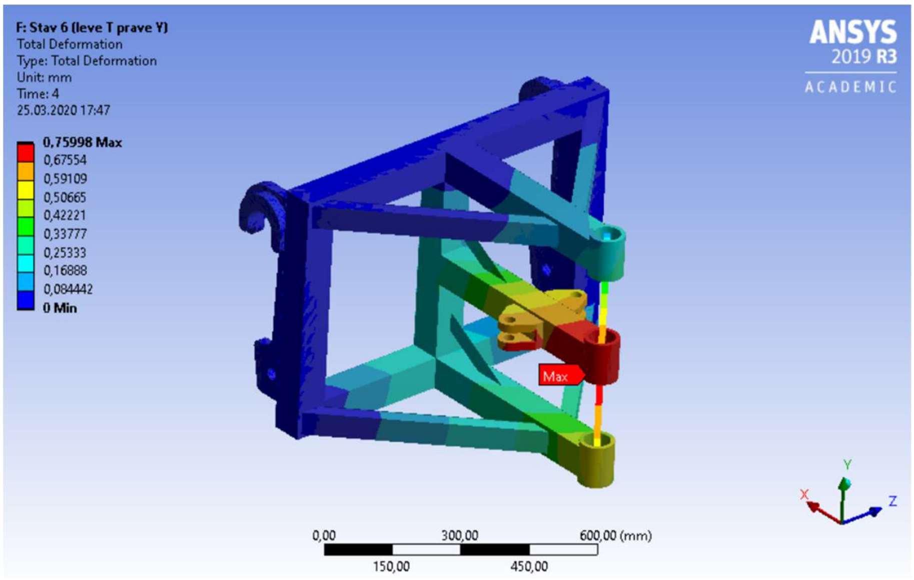
4.4.6 ZÁTĚŽNÝ STAV 6

Při nastavení křídel vyhrnovače do nesymetrické polohy, kdy levé křídlo je kolmé na směr pohybu a druhé natočené směrem od stroje, je maximální napětí 220 MPa. Toto napětí vzniká v místě vazby a na ostré hraně, která v tomto místě vznikla z důvodů zjednodušení. Vzhledem k tomu je toto napětí považované za špičku, která neodpovídá realitě. Další vysoká napětí vznikají na pouzdrech, kde se jejich hodnota pohybuje okolo 170 MPa. Tato napětí jsou nižší než dovolené napětí, a tak lze stav hodnotit jako vyhovující.



Obr. 93. Zátěžný stav 6 - Equivalent Stress

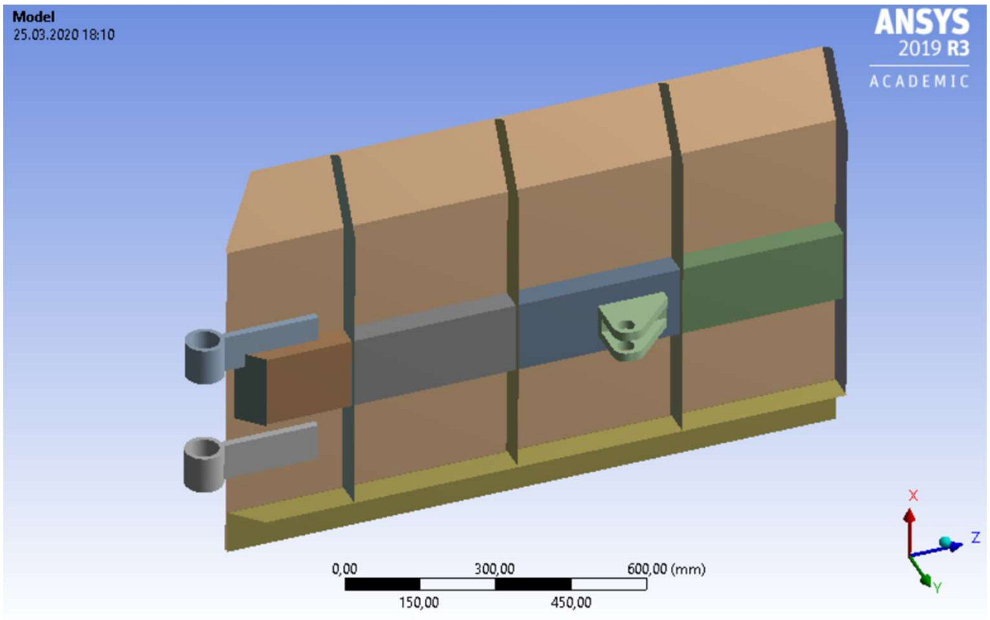
K maximální deformaci při zátěžném stavu 6 dochází na prostředním pouzdře. Velikost deformace do 0,8 mm neomezí funkčnost vyhrnovače a lze tento stav hodnotit jako vyhovující.



Obr. 94. Zátěžný stav 6 - Total Deformation

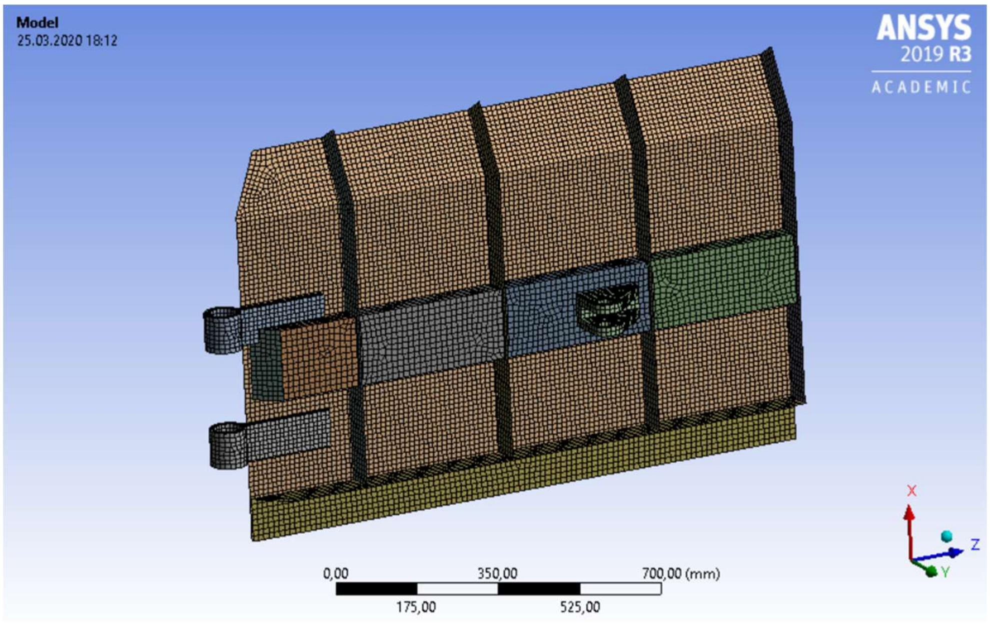
4.5 TVORBA MKP MODELU KŘÍDLA

Objemový model křídla vyhrnovače nehomogenního materiálu byl vytvořen v prostředí Solidworks 2019. Model byl převedený do prostředí Ansys Workbench, ve kterém byl upraven. Pro zjednodušení byli ve výpočtovém modelu zanedbány zaoblení, zkosení a technologické prvky (úkosy pro svařování apod.). Tenkostěnné profily, pásy a plechy byli převedeny na střednicové plochy. Těmto střednicovým plochám byla přirazena tloušťka stěny a materiál, které odpovídají skutečnosti.



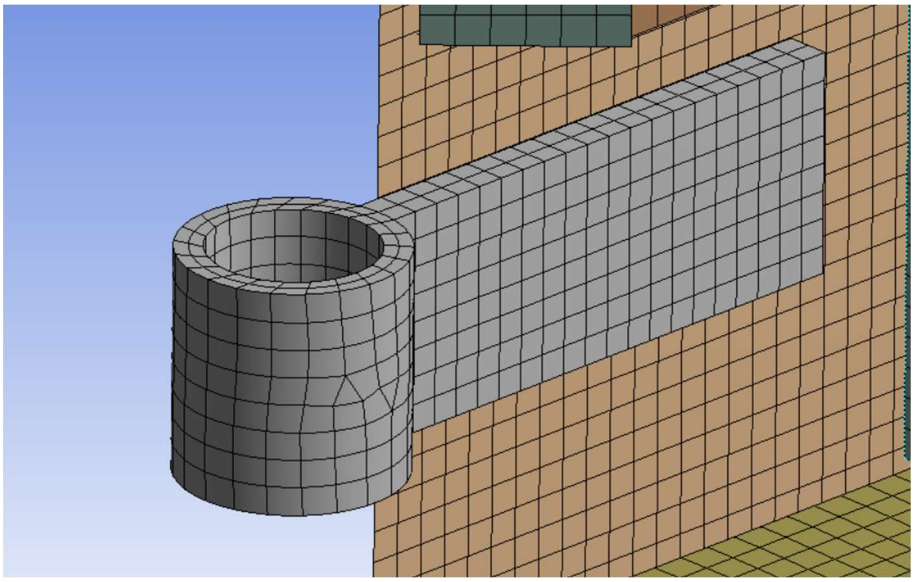
Obr. 95. 3D model křídla vyhrnovače

Pro vytvoření konečnoprvkové sítě skořepinové části byl použit čtyřuzlový prvek (Quadrilateral Dominant) a velikost jednoho elementu byla nastavena na 10 mm.



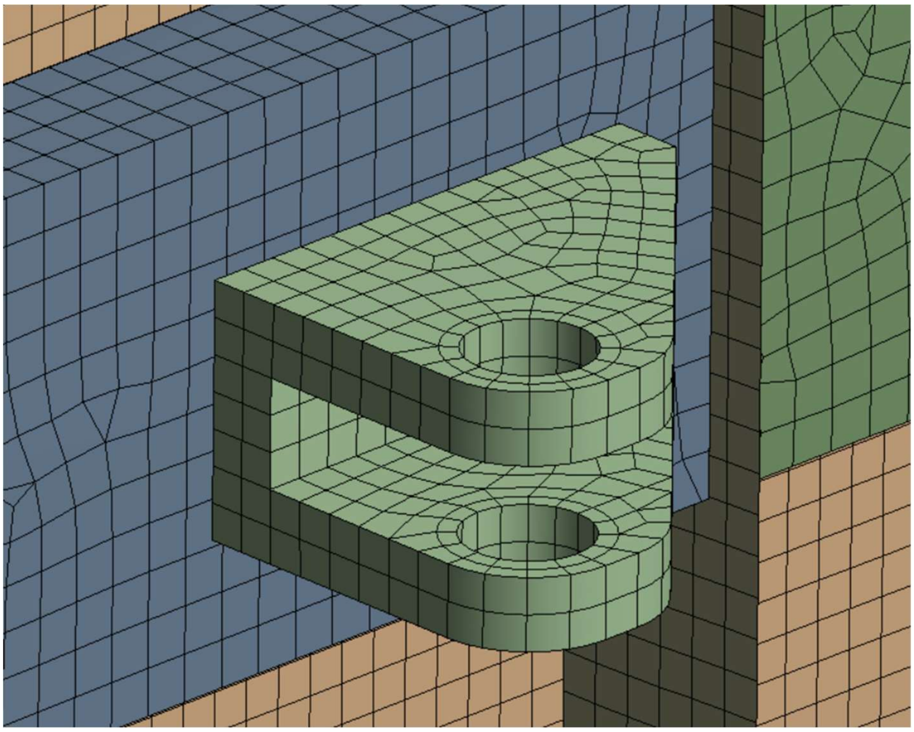
Obr. 96. Konečněprvková síť křídla vyhrnovače

Konečněprvková síť pouzdra pro kluzné ložisko, které je ve výpočtovém modelu křídla vyhrnovače jako objemový prvek, byla vytvořena pomocí funkce „Face Meshing“ a „Sweep Method“. Šířka jednoho elementu byla nastavena na polovinu tloušťky pouzdra. Délka elementu je nastavena na hodnotu 10 mm.



Obr. 97. Konečněprvková síť pouzdra kluzného ložiska

Konečněprvková síť držáku hydromotoru byla automaticky vytvořena pomocí metody hex dominant. V každé tloušťce jsou minimálně dva elementy. Celkový počet elementů na držáku hydromotoru je 995.



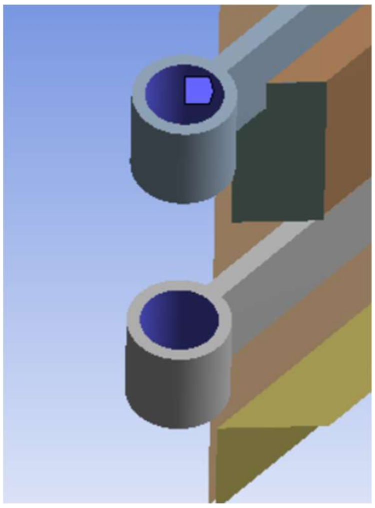
Obr. 98. Konečněprvková síť držáku hydromotoru

4.6 OKRAJOVÉ PODMÍNKY KŘÍDLA

Pevnostní analýza byla zaměřená na výpočet křídla vyhrnovače. Některé prvky vyhrnovače byly proto nahrazené vybranými prvky a vazbami. Prvky jsou vybrány tak, aby jejich chování co nejvíce odpovídalo skutečnosti. Geometrické a silové okrajové podmínky jsou popsány v následujících kapitolách.

4.6.1 UCHYCENÍ KŘÍDLA VYHRNOVAČE

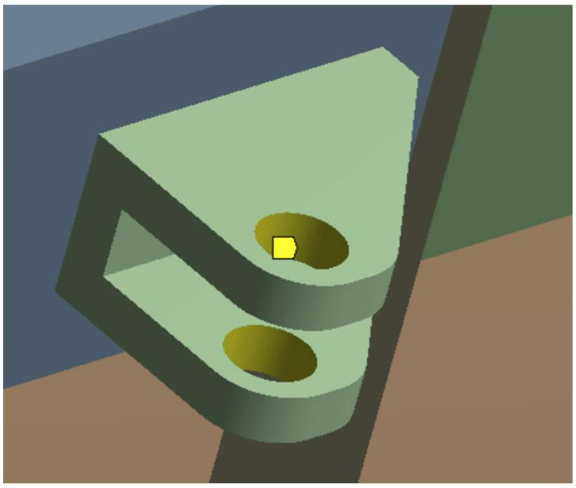
Křídlo vyhrnovače je uchyceno pomocí čepu, který vede skrz pouzdra pro kluzná ložiska. Ve výpočtovém modelu bylo toto uchycení nahrazeno vazbou „Fixed Support“, která zamezuje pohybu ve všech směrech.



Obr. 99. Vazba uchycení křídla vyhrnovače

4.6.2 NAHRAZENÍ HYDROMOTRU

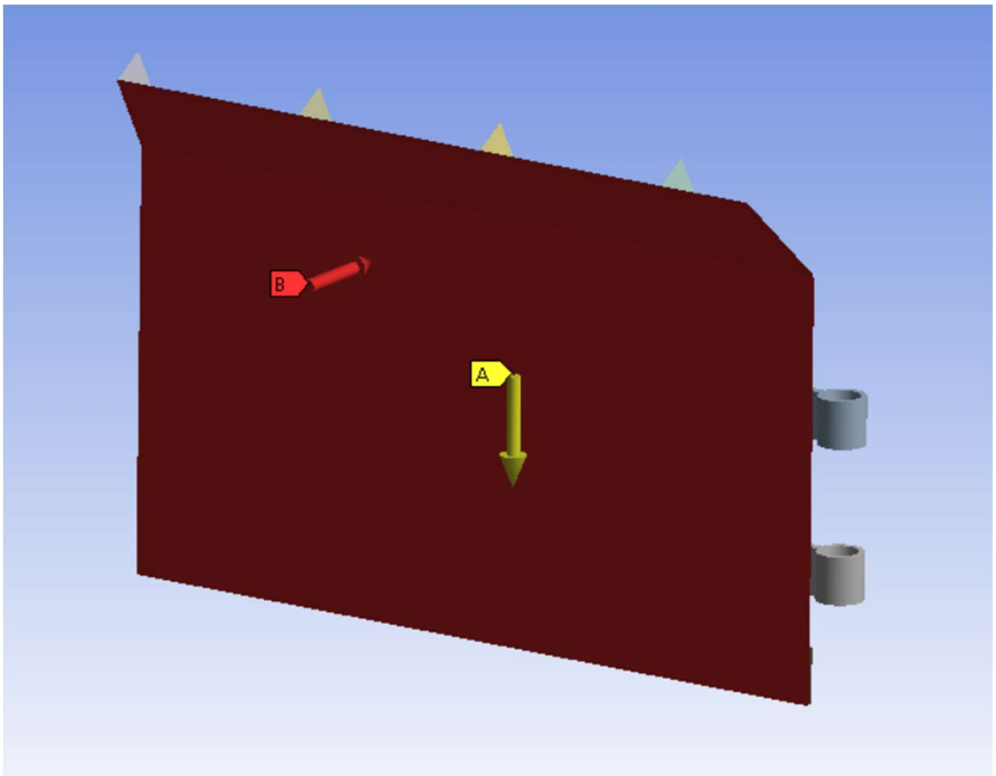
Ke křídlu vyhrnovače je připevněný hydromotor. Ve výpočtovém modelu byl nahrazený tlakovou vazbou „Compresion Only Support“. Tato vazba aplikuje tlakovou reakci jen v místech, kde je tlaková reakce v normálovém směru. Využívá se k modelování čepů, jako je tomu v tomto případě.



Obr. 100. Vazba uchycení hydromotoru ke křídlu vyhrnovače

4.6.3 ZATÍŽENÍ KŘÍDLA VYHRNOVAČE

Křídlo vyhrnovače je kontrolované pouze na jeden zátěžný stav, a to maximální zatížení. Zatížení je rovnoměrně rozprostřeno na čelní plochu křídla vyhrnovače (na obr. 97 zatížení B). Dále na křídlo působí gravitační zrychlení (na obr. 97 zatížení A).



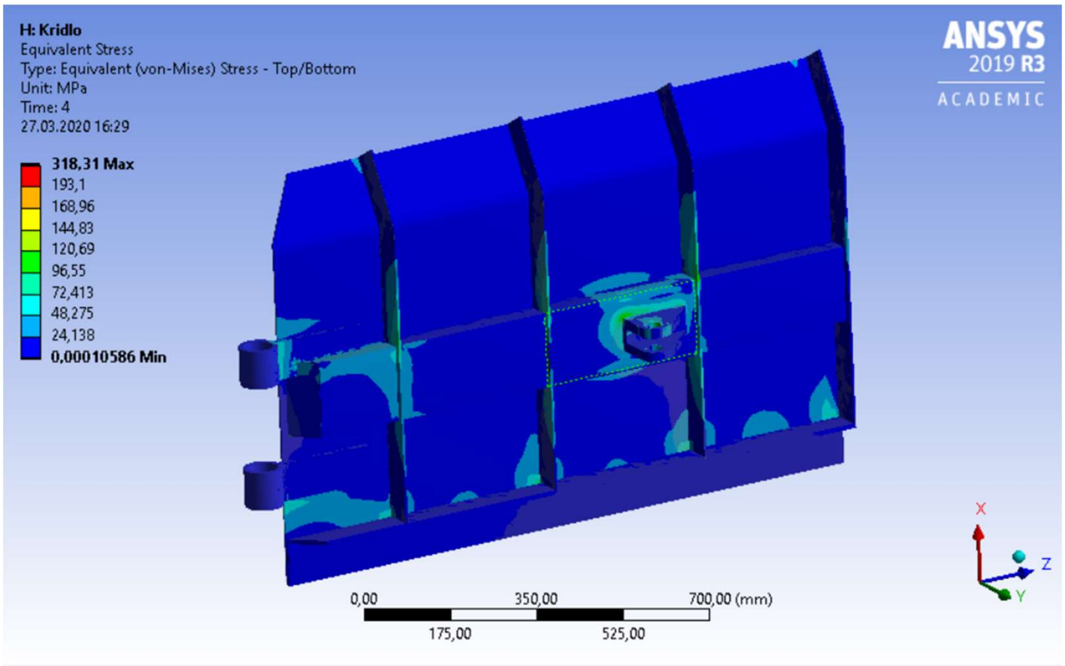
Obr. 101. Zatížení křídla vyhrnovače

4.7 VYHODNOCENÍ PEVNOSTNÍ ANALÝZY KŘÍDLA

Pevnostní analýza křídla vyhrnovače byla hodnocena v jednom zátěžném stavu. Výsledek napjatosti je určen dle teorie HMH, která je v programu Ansys Workbench ekvivalentní napětí von Mises. Pro zobrazení maximální hodnoty napětí je zvolena hodnota dovoleného napětí po zahrnutí dynamického součinitele oceli S355JR (11 523), která dle výpočtu odpovídá 193,1 MPa. Dále je zobrazen výsledek deformace křídla. Veškeré výsledky jsou zobrazeny v měřítku 1:1.

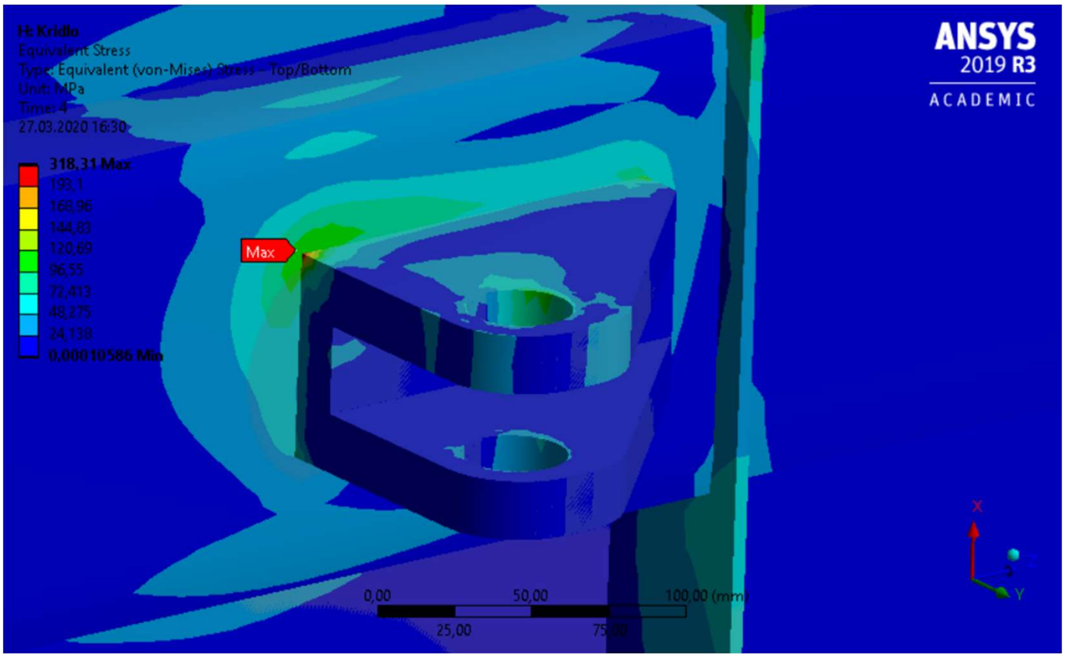
Při vyhodnocování výsledků je nutné brát zřetel k tomu, že velká část modelu rámu byla nahrazena skořepinovým modelem. Vytvořený výpočtový model neobsahuje žádné svary, zaoblení ani technologické prvky. Z tohoto důvodu může hlavně v blízkosti ostrých hran a v místě napojení dvou či více střednicových ploch neadekvátní vysoké napětí a dochází tak ke zkreslení výsledků. Velikost těchto špiček je závislá na jemnosti vytvořené sítě. Jelikož je studentská licence programu Ansys Workbench omezená na počet nodů/elementů, nemohlo dojít k zjemnění sítě v kritických místech.

Největší napětí na křídle radlice při plném zatížení bylo v místě spojení držáku hydromotoru a U profilu na zadní straně křídla vyhrnovače. Největší hodnota je 318 MPa. V ostatních částech výpočtového modelu se napětí pohybuje do 120 MPa, což je vyhovující maximálnímu dovoleného napětí.



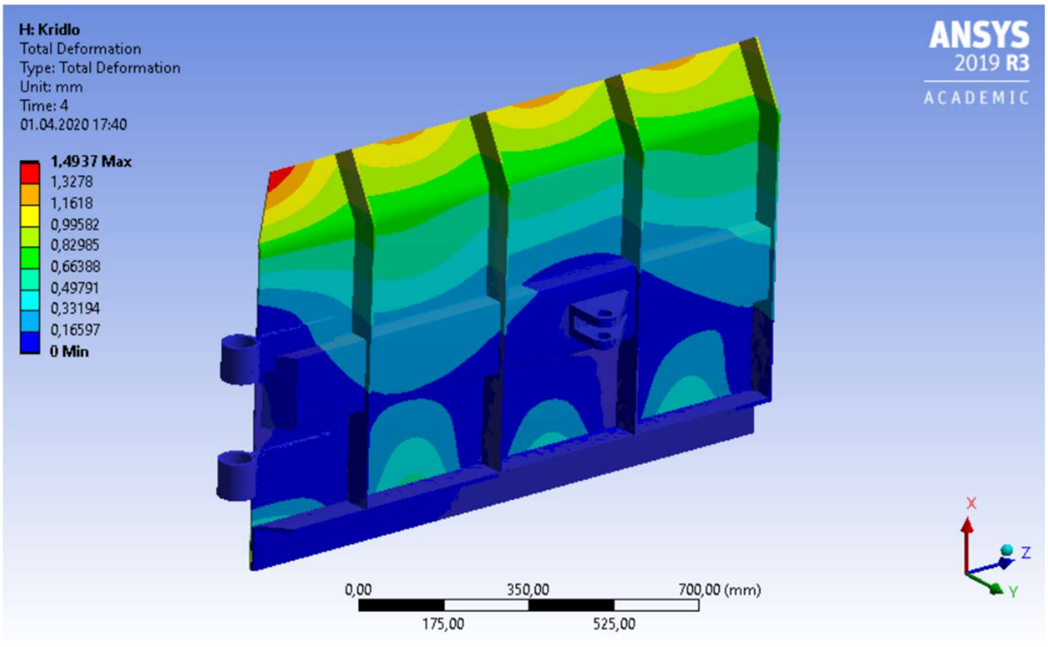
Obr. 102. Výsledek pevnostní analýzy – Equivalent Stress

Při bližším pohledu na maximální napětí (obr.99.) je evidentní, že vzniká v rohu držáku hydromotoru. Jelikož se jedná o část, kde došlo k velkému zjednodušení při vyváření výpočtového modelu a zde dochází ke kontaktu dvou součástí lze toto napětí hodnotit jako špičkové, které neodpovídá realitě. Napětí v nejbližším okolí tohoto špičkového napětí se pohybuje do 140 MPa, což je nižší než dovolené napětí. Výsledek lze proto hodnotit jako vyhovující.



Obr. 103. Detailní pohled – maximální napětí

Největší deformace křídla vyhrnovače jsou v horní části čelního plechu. Největší deformace je velikosti 1,5 mm. Vzniklá deformace neovlivňuje funkčnost křídla radlice. A jelikož v místě největší deformace nedochází ani k překročení dovoleného napětí lze tento výsledek hodnotit jako vyhovující.



Obr. 104. Výsledek pevnostní analýzy – Total Deformation

5 NEHOMOGENNÍ MATERIÁLY

Za nehomogenní materiály lze považovat disperze, suspenze, emulze, pasty, pěny, aerosoly, mlhy, roztoky a partikulární materiály. Tyto nehomogenní materiály při jejich dopravě a zpracování způsobují statické (pasivní) odpory. V následující části je uvedeno několik příkladů nehomogenních materiálů, které lze přemisťovat nebo rozhrnovat pomocí vyhrnovače umístěného na teleskopickém manipulátoru. *[41]*

5.1 SNÍH

Sníh je specifická forma ledu, pevného skupenství vody. Je tvořen ledovými krystalky seskupenými do sněhových vloček. V přírodě vzniká přirozeně za vhodných klimatických podmínek v oblacích na převážně biologickém podkladu jako jsou bakterie, odkud se snáší k zemi. Tento děj se nazývá sněžení. Sníh nahromaděný ve větším množství na dostatečně prochladlém zemském povrchu se nazývá sněhová pokrývka. Hustota čerstvě napadaného sněhu značně závisí na vlhkosti začíná na 30 kgm^{-3} a u mokrého se zvyšuje zhruba na 600 kgm^{-3}, při silných deštích může vzrůstat až k hustotě vody. *[42, 43]*

5.2 CHLÉVSKÝ HNŮJ A MRVA

Chlévská mrva je substrát nezušlechtěný, získaný po vyvezení stájí. Skládá se z tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat (zejména skotu) a podestýlky (sláma, piliny nebo pazdeří). Podle původu se může jednat o mrvu skotu, prasat nebo drůbeže. Rozdíl mezi chlévským hnojem a chlévskou mrvou je v tom, že mrva neprošla procesem zrání čili procesem mineralizace a humifikace. Chlévský hnůj je tedy vyzrálá chlévská mrva. Objemová hmotnost chlévské mrvy nebo hnoje je v rozmezí 700–800 kgm^{-3} *[43, 44]*

5.3 SUROVINY PRO SILÁŽOVÁNÍ

Pro silážování se používají jak rostliny za tímto účelem vypěstované (pícniny, kukuřice a slunečnice) nebo rostlinné zbytky (skrojky cukrové řepy) a dále odpad vznikající při výrobě piva (mláto, sladový květ). Všechny suroviny jsou promíchány a pomocí vyhrnovače rovnoměrně rozhrnuty v silážní jámě. Objemová hmotnost surovin pro silážování se pohybuje v rozmezí 650–1050 kgm^{-3}. *[43, 45]*

5.4 ZEMINA

Zemina se nachází na nejsvrchnější vrstvě zemské kůry, je prostoupená vodou, vzduchem a organismy. Z hlediska zpracování materiálu je nehomogenní a anizotropní, přičemž působením dalších vlivů především vlhkosti mění jejich mechanické vlastnosti. Pro manipulaci se zeminou je důležité znát charakter zeminy z důvodu vzájemného působení pracovního nástroje, podvozku a zeminy. Toto rozdělení zemin popisuje norma ČSN EN ISO 14 688-1 – Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřiďování zemin – Část 1: Pojmenování a popis.

Podle jejich základních vlastností a obtížnosti rozpojování můžeme zeminy dělit do sedmi tříd podle normy ČSN 73 3050.

1.třída – snadno rozpojitelné, měkké konzistence. Příkladem je ornice, písčitá hlína, štěrkopísek a stavební odpad

2.třída – snadno rozpojitelné tužší konzistence. Příkladem je ulehlá zemina se štěrkovými zrny

3.třída – horniny středně rozpojitelné. Příkladem jsou jíloví a písčité hlíny, písčitý jíl, ulehlé zeminy obsahující kameny do průměru 2,5 cm.

4.třída – horniny soudržné, těžko rozpojitelné. Příkladem je jíl, prachová hlína a zvětralé pískovce a vápence

5.třída – horniny snadno rozpojitelné rozrušovacími nebo trhacími pracemi. Příkladem je písčitá a jílovitá břidlice, travertin a pískovce s jílovitým tmelem. Do této třídy patří také zmrzlé zeminy

6.třída – horniny těžko rozpojitelné rozrušovacími nebo trhacími pracemi. Příkladem je žula, rula, andezit, vápence a dolomit.

7.třída – horniny velmi obtížně rozpojitelné rozrušovacími a trhacími pracemi. Příkladem jsou skalní masivy, křemence a křemité žuly. *[46]*

Objemová hmotnost zeminy je 1000–1800 kgm^{-3}. *[43]*

5.5 ŠTĚRK, PÍSEK, ŠTĚRKOPÍSEK

Štěrk je nepevný zrnitý materiál přírodního původu, který vznikl rozrušením, následným opracováním pevné horniny, s velikostí jednotlivých zrn od 2 mm do 125 mm. Pískem se rozumí drobné kamenivo, u které projde skrz kontrolní síto se čtvercovými oky o rozměru 4x4 mm. Štěrkopísek je zpravidla přírodní směs těženého hrubého a drobného kameniva, velikost zrn bývá pro většinu aplikací omezena.

Na základě velikosti zrna je kamenivo tříděno do frakcí. Frakcí se rozumí označení kameniva podle velikosti ok dolního (d) a horního (D) síta. Frakce je tedy množina zrn kameniva, které propadnou horním sítem (horní mez frakce) a zachytí se na spodním sítu (dolní mez frakce). Velikostní rozmezí frakce se zapisuje ve formě d/D. Pokud je poměr otvorů sít D/d větší než 2, potom je těmito síty definována tzv. široká frakce (např. 0/4, 4/16, 8/22, 0/32, 0/63). Úzká frakce je vymezena síty s poměrem velikosti otvorů menším nebo rovným 2 (např. 0/2, 2/4, 4/8, 8/11, 8/16, 11/22, 16/22, 32/63). *[47]*

Objemová hmotnost štěrkopísku se pohybuje v rozmezí 1300–1700 kgm^{-3}. *[43]*

ZÁVĚR

Předmětem diplomové práce je návrh a pevnostní analýza vyhrnovacího bloku pro nehomogenní materiály. Hydraulicky ovládaný tlačný blok je uchycený na teleskopickém manipulátoru značky New Holland s označením TH7.42. Součástí diplomové práce je i vypracovaná rešerše, která obsahuje přehled podobných strojních zařízení, které se používají při vyhrnování a dopravě nehomogenního materiálu. Dále jsou zde uvedeny příklady využití vyhrnovače nehomogenního materiálu, popsán teleskopický manipulátor a příslušenství, které je k teleskopickému manipulátoru možné připojit.

V další části práce následuje popis výběru a zdůvodnění zvolené koncepce. Pro vlastní návrh byl zvolen šípový tvar vyhrnovače s možností natáčení jednotlivých křídel. Mezi velké přednosti zvoleného řešení je možnost samostatného natáčení jednotlivých křídel v rozmezí ±30°. Díky tomu lze usměrňovat tok vyhrnovaného materiálu na jednotlivé strany nebo vyhrnovaný materiál hrnout před strojem. Natáčení křídel je zajištěno pomocí přímočarých hydromotorů, které jsou regulovány elektrohydraulickým rozvaděčem ovládaným z kabiny teleskopického manipulátoru. Šířka záběru vyhrnovače se mění v závislosti na natočení jednotlivých křídel a pohybuje se v rozsahu 2 325 mm až 2700 mm.

V dalších kapitolách se práce věnuje rozboru sil, které při různém natočení křídel na vyhrnovač působí, návrhu dvojčinného přímočarého hydromotoru, kontroly pojistných čepů hydromotorů a kluzných ložisek. Dále je zde vytvořen výpočtový model rámu a křídla vyhrnovače. Výpočtové modely jsou tvořený kombinací skořepinových a objemových prvků. Mezi jednotlivými prvky modelů byly vytvořeny vazby tak, aby odpovídali skutečným součástím. Poté byli vytvořeny vazby, které odpovídají reálným uchycením a zatížením daných součástí. Rám vyhrnovače byl analyzován v celkem šesti zátěžných stavech, které se liší natočením křídel vyhrnovače. Křídlo vyhrnovače bylo analyzováno pro jeden zátěžný stav. Navrhnutý rám a křídlo vyhrnovače z hlediska pevnostní analýzy vyhovuje ve všech zátěžných stavech. Vznikající napětí nepřesahuje pevnost dané oceli ani dovolené napětí zahrnující dynamický součinitel.

V poslední kapitole diplomové práce je uvedený přehled možných nehomogenních materiálů, které by bylo možné navrhnutým zařízením vyhrnovat. Navrhnutým vyhrnovačem je možné vyhrnovat jakýkoliv materiál, který vyhrnovač nebude namáhat otěrem nebo ho jiným způsobem poškozovat.

K diplomové práci je přiložen výkres sestavení a vybraná výkresová dokumentace.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] Implements. *TRIMA* [online]. 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: http://www.trima.nu/Intl/Plus/Implements.ept?tab=2345

[2] EURO uchycení. In: *TRIMA* [online]. [cit. 2020-05-07]. Dostupné z: http://www.trima.nu/Media/Images/Implements/implement_hook_euro.png

[3] Rozměry EURO uchycení. In: *Prozem.cz* [online]. Foreveryone, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www.prozem.cz/data/imgauto/7/6/1199-3.jpg

[4] Implements hook SMS. In: *TRIMA* [online]. 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: http://www.trima.nu/Media/Images/Implements/implement_hook_sms.png

[5] BAUER, František, Pavel SEDLÁK a Tomáš ŠMERDA. *Traktory*. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2006. ISBN 80-867-2615-0.

[6] ČSN ISO 789-1 - Zemědělské traktory. Zkušební metody. Část 1: Zkoušky výkonu na vývodovém hřídeli. 1. Praha: Český normalizační institut, 1994, 16 s.

[7] Přední tříbodový závěs. In: *Agrozet* [online]. České Budějovice, 2016 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www.agrozet.cz/files/agrozetshop/images/eshop/size3-158321793222-175.jpg

[8] Přední upínací deska. *SaZ s.r.o.* [online]. Hodonín, 2020 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: http://www.saz.cz/cs/predni-upinaci-deska/

[9] Techlift. *SAS parts* [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www.sasparts.cz/produkty/celni-zvedaci-a-upinaci-zarizeni-zzmu-m26-detail-398624

[10] Radlice na sníh. In: *AGROMEP* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.agromepshop.eu/agromep/eshop/3-1-Radlice-na-snih/-4-/5/403-Radlice-1-18-m-komfort-pro-ctyrkolky-a-travni-traktory

[11] Traktorová radlice hydraulická. In: *Zahradní-dílna-stroje* [online]. 2016 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.technika-online.cz/produkty/radlice-35/traktorov%C3%A1-radlice-hydraulick%C3%A1-ocel-detail

[12] Odpružená čelně nesená radlice. In: *Agrometall* [online]. 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://agrometall.cz/odpruzena-radlice-or-t-1

[13] Sněhová radlice City. In: *AGROCENTRUM ZS* [online]. 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://www.agrocentrumzs.cz/produkty/produkty/zavesna-technika/samasz/snehove-radlice/city

[14] Sněhová radlice PSS Safe. In: *Agrodráb* [online]. 2017 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: http://www.agrodrab.cz/produkt/98-pss-safe

[15] Šípová radlice SR-T2. In: *Agrometall* [online]. 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://agrometall.cz/sipova-radlice-sr-t-2

[16] Zadní radlice ZR-T2. In: *Agrometall* [online]. 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: https://agrometall.cz/zadni-radlice-zr-t2

[17] Stájová radlice hydraulická. In: *AgraFa* [online]. Reklamka na žluto, 2014 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: http://www.agrafa.com/traktory-nakladace/naradi-k-celnim-nakladacum/stajova-radlice-hydraulicka/

[18] Radlice na siláž. In: *Agrotip* [online]. Webmium.com [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: http://agrotipblazeksweb.webmium.com/radlice-na-silaz-agrotipa-silashield

[19] GULAN, Ladislav a Izidor MAZURKIEVIČ. *Mobilné pracovné stroje: Zemné stroje*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2014. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 9788022741903.

[20] *MTM Tech s.r.o.* [online]. ebrána, 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: http://www.mtmtech.cz/

[21] Sněhové frézy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C4%9Bhov%C3%A1_fr%C3%A9za

[22] DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. *Manipulace s materiálem*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1979.

[23] Redler. In: *REG-ARM S.C.* [online]. 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.reg-arm.pl/pl/przenosniki-galeria.php

[24] Hřeblový dopravník. In: *Ostroj* [online]. EVici, 2012 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: http://www.ostroj.cz/hreblove-dopravniky

[25] *Porovnání energetické, pracovní a materiálové náročnosti různých způsobů odklizu a skladování výkalů skotu*. České Budějovice, 2007. Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta. Vedoucí práce Doc. Ing. Alois PETERKA, CSc.

[26] Mechanická lopata. In: *AgriExpo* [online]. 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.agriexpo.online/fr/prod/gea/product-176654-101837.html

[27] Manure Scraper. In: *Kitt Ltd* [online]. Double Brace, 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.kitt.eu.com/product/m7000-adjustable-manure-scraper

[28] Přihrnovač krmení Mammut Fortuna. In: *Agro Trnava s.r.o.* [online].[cit. 2020-05-18]. Dostupné z: http://www.agrotrnava.cz/stroj-prihrnovac-krmeni-mammut-fortuna.html

[29] JCB Fastrac. In: *Lukrom* [online]. KHS.digital, 2020 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.lukrom.cz/kral-jecminek-se-premenil-na-krale-silazi

[30] Návěs třínápravový T900. In: *STROM PRAHA a.s* [online]. PUXdesign, 2017 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: https://www.strompraha.cz/zemedelska-technika/transportni-technika/navesy/navesy-s-vytlacnym-celem

[31] CARGOS 760 - 740. In: *AGRALL* [online]. 2013 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: http://www.agrallhb.cz/produkt/765/cargos-760-740

[32] Grejdr. In: *Katalog stavebních strojů* [online]. ČVUT, 2015 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: http://www.celysvet.cz/mechanizace/grejdry

[33] New Holland D150B. In: *Bagry* [online]. 2004 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://bagry.cz/cze/clanky/recenze/pasovy_dozer_new_holland_d150b_presel_na_hydrostaticky_pojezd

[34] Šnekové dopravníky pro manipulaci s odvodněným kalem. In: *ESB* [online]. JABARA, 2016 [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: http://www.odvodnovani-kalu.cz/snekove-dopravni-systemy

[35] Příslušenství k Teleskopickým manipulátorům. In: *MOREAU AGRI s.r.o.* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: http://www.moreauagri.cz/produkty/manipulacni-technika/manitou/prislusenstvi

[36] AGROTEC. Teleskopické manipulátory New Holland řady TH. 2019, 19 s. Katalog produktu.

[37] Manitou MTA 1055 S3. In: *Manitou* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.manitou.com/en/p/UtU1NgEAAAkxtIu3

[38] Manitou MRT 3255 Privilege Plus. In: *Manitou* [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.manitou.com/en/p/VNN60iYAAI4uRaP0

[39] Výrobní katalog. Hydraulics.cz [online]. [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: https://www.hydraulics.cz/wcd/pdf/vyrobni_katalog_cz2019.pdf

[40] 6/2cestný elektrohydraulický ventil. In: *Technika pro farmu* [online]. Shoptet, 2020 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://www.technikaprofarmu.cz/hydraulicke-vyhybky--ventily-pro-treti-funkci/6-2-cestne-elektrohydraulicke-ventil-24-vdc--90-l-min/

[41] Vysoké učení technické v Brně. *Obecný přístup k návrhu pohonů dopravních a manipulačních zařízení*. Brno, 2011

[42] Sníh. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sn%C3%ADh

[43] Objemové hmotnosti produktů a materiálu. *Agronormativy* [online]. Ing. Otakar Syrový, CSc., Prof.Ing. Miroslav Kavka, DrSc. [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: http://www.agronormativy.cz/docs/5020001_rslt.html

[44] Chlévský hnůj. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2019 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Chl%C3%A9vsk%C3%BD_hn%C5%AFj

[45] Siláž. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Sil%C3%A1%C5%BE

[46] ČSN 73 3050. *Zemné práce. Všeobecné ustanovenia*. Praha: ÚNM, 1987, 36. s.

[47] Geologie: kamenivo. In: *Nerostné suroviny a jejich využití* [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/suroviny/kamenivo.html#rozd%C4%9Blen%C3%AD

[48] ČSN EN 1993-1-1. Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2006.

[49] Doc. Ing. Škopán Miroslav CSc. ÚSTAV DOPRAVNÍ TECHNIKY. Hydraulické pohony strojů, 1. vydání, studijní text – sylabus Brno, listopad 2004

[50] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.

[51] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.

[52] *SKF bushings, thrust washers and strips* [online]. In: . [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d19680090e01-SKF-bushings-thrust-washers-and-strips-1-EN_tcm_12-120169.pdf#cid-120169

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[mm]	vzdálenost
b_{kp40}	[mm]	délka kluzného pouzdra
b_{kp50}	[mm]	délka kluzného pouzdra
$d_{Č}$	[mm]	průměr čepu
$d_{hč}$	[mm]	průměr hlavního čepu
d_{kp}	[mm]	průměr kluzného pouzdra
D_P	[mm]	průměr pístu hydromotoru
d_P	[mm]	průměr pístnice hydromotoru
E	[GPa]	modul pružnosti v tahu
F	[N]	zatěžující síla
F_X	[N]	reakční síla
F_{AY}	[N]	reakční síla
F_B	[N]	reakční síla
$F_{Č}$	[N]	síla v čepu
f_D	[MPa]	dovolené napětí zahrnující dynamický součinitel
F_{dov}	[N]	dovolené zatížení hydromotoru
F_H	[N]	výsledná síla hydromotoru
F_{HZ}	[N]	výsledná síla hydromotoru při zpětném chodu
$F_{Rč1}$	[N]	reakční síla
$F_{Rč2}$	[N]	reakční síla
F_T	[N]	trakční síla
F_t	[N]	třecí síla
F_v	[N]	valivý odpor
f_{yd}	[MPa]	návrhová pevnost oceli z meze kluzu
f_1	[-]	součinitel tření mezi pneumatikou a suchým betonem
g	[ms^{-2}]	tíhové zrychlení
J	[mm^4]	kvadratický moment
$k_{č}$	[-]	bezpečnost čepu
$k_{hč}$	[-]	bezpečnost hlavního čepu
k_D	[-]	dynamický součinitel
k_H	[-]	bezpečnost hydromotoru
L	[mm]	základní délka hydromotoru

$l_{č}$	[mm]	délka čepu
l_r	[mm]	redukovaná délka hydromotoru
M_{OMAX}	[Nmm]	maximální ohybový moment
M_{OHMAX}	[Nmm]	maximální ohybový moment
m_t	[kg]	hmotnost teleskopického manipulátoru
p_H	[MPa]	maximální tlak hydrogenerátoru
p_{kp40}	[N/mm^2]	specifické zatížení kluzného pouzdra o délce 40 mm
p_{kp50}	[N/mm^2]	specifické zatížení kluzného pouzdra o délce 50 mm
q_1	[N/mm]	liniové zatížení pro šířku 2 700 mm
q_2	[N/mm]	liniové zatížení pro šířku 2 325 mm
R_{A1}	[N]	reakční síla
R_{A2X}	[N]	reakční síla
R_{A2Y}	[N]	reakční síla
R_{A3X}	[N]	reakční síla
R_{A3Y}	[N]	reakční síla
R_{B1}	[N]	reakční síla
R_{B1H}	[N]	síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy T
R_{B2}	[N]	reakční síla
R_{B2H}	[N]	síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy V
R_{B3}	[N]	reakční síla
R_{B3H}	[N]	síla v ose hydromotoru při natočení křídla do polohy V
R_{e1}	[MPa]	mez kluzu oceli 16MnCr5 (14 220)
R_{e2}	[MPa]	mez kluzu oceli S355JR (11 573)
r	[m]	poloměr pneumatiky teleskopického manipulátoru
$S_{Č}$	[mm2]	plocha čepu
S_H	[mm^2]	činná plocha válce hydromotoru
S_{HZ}	[mm^2]	činná plocha válce hydromotoru při zpětném chodu
W_O	[mm^3]	průřezový modul v ohybu
W_{0h}	[mm^3]	průřezový modul v ohybu
w	[mm]	posunutí
Z	[mm]	zdvih hydromotoru
α_1	[deg]	úhel osy hydromotoru při natočení křídla do polohy
α_2	[deg]	úhel osy hydromotoru při natočení křídla do polohy V
γ_m	[-]	dílčí součinitel spolehlivosti materiálu

ξ	[m]	rameno valivého odporu (pneumatika – beton)
$\sigma_{č}$	[MPa]	napětí v ohybu
$\sigma_{hč}$	[MPa]	napětí v ohybu
σ_{red}	[MPa]	redukované napětí
$\tau_{č}$	[MPa]	smykové napětí

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Diagram vzpěrné pevnosti přímočarého hydromotoru

Příloha 2 – SKF Kluzná pouzdra – technická data

Výkresová dokumentace:

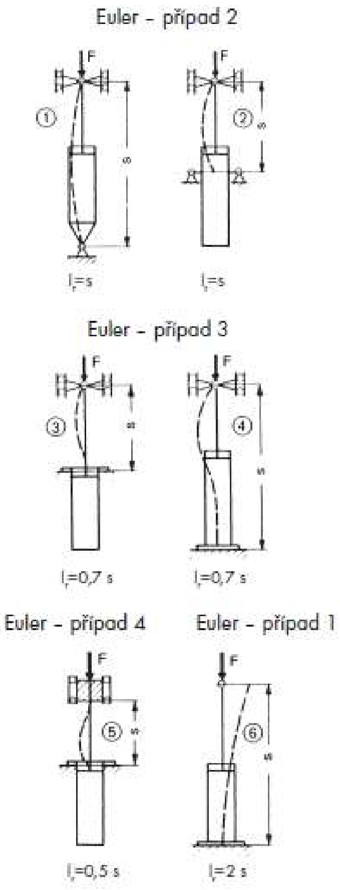
Výkres sestavy – Vyhrnovač	A1-DP-00
Seznam položek – Vyhrnovač	A1-DP-00
Výkres svarku – Rám vyhrnovače	A2-DP-01
Seznam položek – Rám vyhrnovače	A2-DP-01
Výkres svarku – Pravé křídlo	A2-DP-02
Seznam položek – Pravé křídlo	A2-DP-02

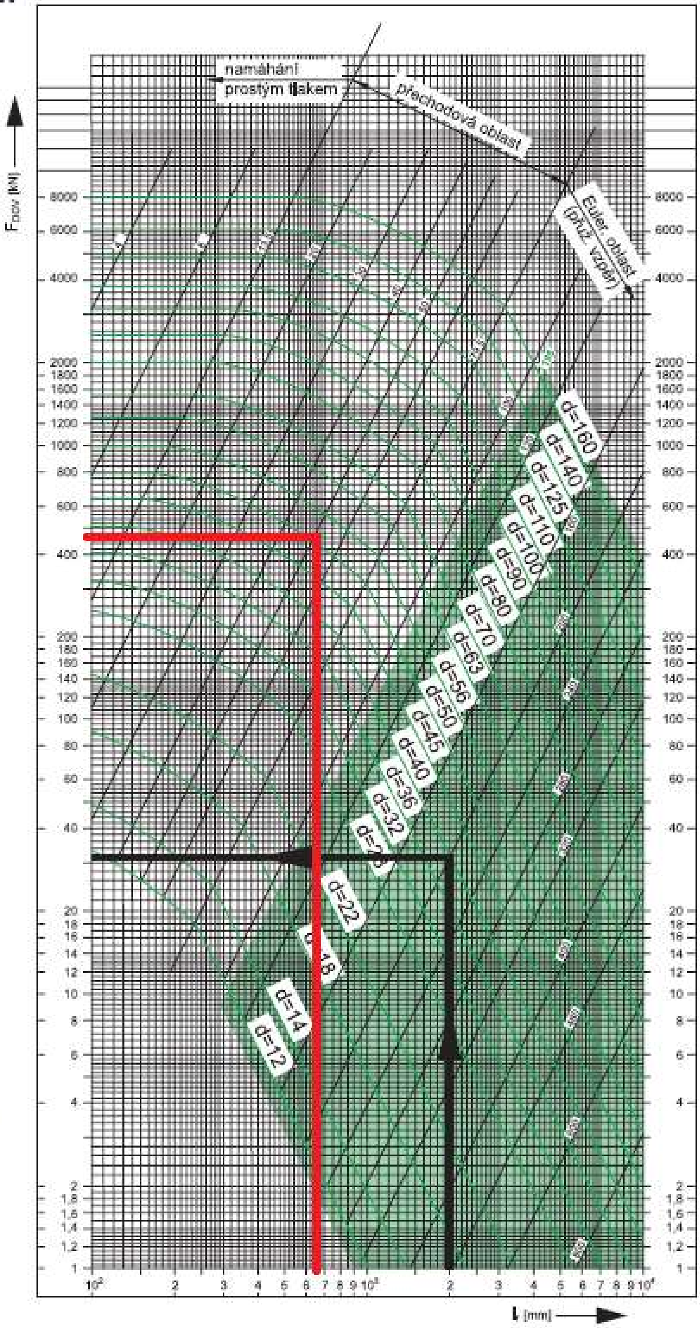
PŘÍLOHA 1 – DIAGRAM VZPĚRNÉ PEVNOSTI PŘÍMOČARÉHO HYDROMOTORU *[39]*

Technická agenda — Hydraulics

Diagram vzpěrné pevnosti

- Pro výpočet l_r se neuvažuje, resp. je nepřípustné zatěžovat pístní tyč radiální silou.
- Pro provoz PČH při jmenovitých hodnotách provozních parametrů je námi stanovená míra bezpečnosti koeficientem **kv**=2.
  Pro případy provozu PČH při vyšších hodnotách provozních parametrů doporučujeme zvýšit hodnotu **kv**.
- Zároveň by měla být hodnota **kv** posouzena v kontextu celého strojního celku.





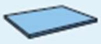
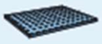
Určení dovoleného namáhaní:

- určit Eulerův případ
- stanovit redukovanou délku l_r
- pro daný ∅**d** určíme dovolené zatížení silou F_{DOV}
  (l_r 2000 mm, ∅ pístní tyče 40 mm, → F_{DOV} = 32 kN)

96

PŘÍLOHA 2 – SKF Kluzná pouzdra – technická data

SKF bushings – technical data

	Solid bronze	**Sintered bronze**	**Wrapped bronze**	**PTFE composite**	**POM composite**	**PTFE polyamide**	**Filament wound**
Temperature range, °C	–40 .. +250	–10 .. +90	–40 .. +150	–200 .. +250	–40 .. +110	–30 .. +110	–50 .. +140
Friction coefficient, μ	0,08 .. 0,15	0,05 .. 0,10	0,08 .. 0,15	0,03 .. 0,25	0,02 .. 0,20	0,06 .. 0,15	0,03 .. 0,08
Permissible load, N/mm²							
– dynamic	25	10	40	80 (v ≤ 0,02)	120 (v ≤ 0,02)	40	140
– static	45	20	120	250	250	80	200
Permissible sliding velocity, m/s	0,5	0,25 .. 5	1,0	2,0 (p ≤ 1,0)	2,5 (p ≤ 1,0)	1,0	0,5
Shaft tolerance	e7 – e8	f7 – f8	e7 – f8	f7 – h8	h7 – h8	h8 – h9	h8
Housing tolerance	H7	H7	H7	H7	H7	H7	H7
Shaft roughness R_a, µm	0 .. 1,0	0,2 .. 0,8	0,4 .. 0,8	0 .. 0,4	0 .. 0,8	0 .. 0,8	0,2 – 0,4
Shaft hardness, HB	165 – 400	200 – 300	150 – 400	300 – 600	150 – 600	100 – 300	> 490
Assortment and product series designation	PBM PBMF	PSM PSMF	PRM PRMF	PCM .. E PCMF .. E PCMW .. E  PCMS .. E	PCM .. M PCMW .. M  PCMS .. M	PPM PPMF	PWM

The sliding velocity can be calculated using

$$v = n \times \pi \times d / (60 \times 1\,000)$$

where
v = sliding velocity, m/s
n = rotational speed, r/min
d = bore diameter of bushing, mm

The specific bearing load can be calculated using

$$p = F / (d \times b)$$

where
p = specific bearing load, N/mm²
F = bearing load, N
d = bore diameter of bushing, mm
b = width of bushing, mm

20 SKF