



Tauno Sõmmer

V-LUMESAHA ARENDUS EXPERT BALTIC OÜ NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehituse eriala

Juhendaja: Mart Tiidemann

Tallinn 2021

Mina, Tauno Sõmmmer, tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Mart Tiidemann

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Tauno Sõmmmer,

sünnikuupäev: 04.08.1990

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose V-lumesaha arendus Expert Baltic OÜ näitel

1. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
2. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist;

Olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile ja kinnitan, et:

1. lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigusi;
2. PDF-failina esitatud töö vastab täielikult kirjalikult esitatud tööle.

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

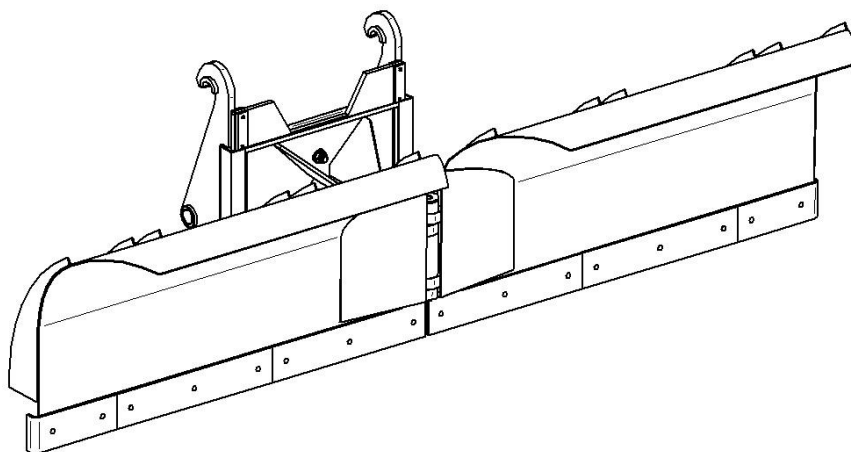
SISSEJUHATUS.....	5
1 ETTEVÕTTEST.....	7
1.1 Ettevõtte tutvustus	7
1.2 Toodang.....	8
2 LUMESAHA PROJEKTEERIMINE.....	9
2.1 Seadmele esitatavad nõuded.....	9
2.2 Vananenud saha analüüs.....	11
2.2.1 Massi vähendamine	11
2.2.2 Ujuvasendi arendus	14
2.2.3 Survedru vähene jäikus.....	15
2.2.4 Terahoidjate pöördtelje ümberpaigutamine	17
2.3 Tootmise lihtsustamine.....	18
2.3.1 Materjalide valik	18
2.3.2 Komponentide hulk.....	19
2.4 Koormuste arvutamine	20
2.4.1 Jõud hõlma riputuskõrvale	20
2.4.2 Hüdraulika jõud.....	21
3 TUGEVUSANALÜÜS	25
3.1 Hõlma tugevusanalüüs.....	25
3.2 Vaheraami tugevusanalüüs	26
3.3 Hõlma riputuskõrva tugevusanalüüs	27
3.4 Silindri kinnitustappide tugevusarvutus	28
3.5 Survedru arvutus	29
4 MAJANDUSLIK OSA.....	32
KOKKUVÕTE.....	33
SUMMARY	34
VIIDATUD ALLIKAD.....	35
LISAD	36

Lisa 1. V-lumesaha lõppkoost.....	36
Lisa 2. V-lumesaha lõppkoostu piirasendid	36
Lisa 3. Vaheraami koostejoonis	36
Lisa 4. Vaheraami töötlusjoonis.....	36
Lisa 5. Hõlma koostejoonis.....	36
Lisa 6. Terahoidja koostejoonis	36
Lisa 7. Survevedru koostejoonis	36

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks on arendada välja uus 5 m lumesahk, mille esimene prototüüp on tellitud Expert Baltic OÜ sõsarettevõttesse PK Terminal OÜ, mis igapäevaselt tegeleb laadimis-ja lossimistöödega Eestis. Kuna PKT sõlmis AS Tallinna Sadamaga koostöölepingu terminali rajamiseks Muuga sadamasse, siis tekkis ka suurem vajadus tarnida erinevaid seadmeid lahtistes ja kinnistes tingimustes materjalide käsitlemiseks. Selle eesmärgi täitmisega on aga tegeletud juba alates 2019. aastast ning suurem enamik seadmetest ka tänaseks päevaks hangitud. Kuigi viimased talved on olnud küllaltki kesised ning vajaduspõhiseks platsihooldustöödeks saaks alati tellida ka mõne teise ettevõtte, otsustati siiski soetada oma tehnika.

Viimastel aastatel on aga huvi ettevõtte lumesahkade vastu olnud suhteliselt väike ning ilmselt varasem disain on moraalselt vananenud, otsustati vaadata üle eelnevalt toodetud sahade joonised ning analüüsida tagasisidest tulnud probleeme.



Joonis 1. Varasemalt toodetud 5 m lumesahk.

Varasemalt on tootmisesse läinud viie ja kuue meetri laiuseid sahkasid, mis on eelkõige suuremat sorti kinniste territooriumide hooldamiseks nagu näiteks sadamad või lennuväljad. Antud lõputöö eesmärgiks on vaadata üle 5 meetri laiune sahk ning muuta seda kergemaks, hinnata eelnevalt kasutatud materjale ning võrrelda neid hetkel kasutatavate materjalidega, mida igapäevaselt töötleme ning laoseisus hoiame.

Tagasisides kajastub, et eelkäijal on olnud probleeme survevedrudega, mis on osutunud liiga nõrgaks ning juba väiksemate takistuste korral lasevad terahoidjal tagasi liikuda ka kergemate takistuste korral, mis ühtlasi mõjutab ka sahkamise kvaliteeti. Samuti tuleb muuta ujuvasendi ülesehitust, mis

võimaldab sahal kopeerida maapinna kontuuri sõltumata seadme kinnituspunktidest, mille ette toode rakendatud on. Projekti raames vaadatakse üle ka terahoidja kinemaatika ning hinnatakse selle muutmise vajadust.

Projekteerimise protsessi käigus arendatakse hõlmade kui ka vaheraami konstruktsiooni arvestades lumesaha erinevatele koostudele mõjuvate jõududega. Käsiarvutuste ja tugevusanalüüside toel antakse ülevaade konstruktsioonide vastupidavusest. Modelleerimine, jooniste ettevalmistus ja FEM-analüüsid viiakse läbi Solid Edge 2021 tarkvara kasutades.

Majandusliku osana arvestatakse välja toote oma- ja müügihind ning võrreldakse seda konkureerivate toodetega.

1 ETTEVÕTTEST

1.1 Ettevõtte tutvustus



Foto 1. Palgardi Kraana Gruppi Sennebogen kraanad [1].

Expert Baltic OÜ on 2004 aastal asutatud metalliettevõte, mille peamiseks tegevusalaks on tõste- ja teisaldusseadmete tootmine, mis hõlmab uute laadimisseadmete ja tehnoloogiate arendust, hüdrocilindrite, koppade, haaratsite, konteinerite ja muude seadmete ning konstruktsioonide tootmist. Toodetakse vastavalt projektile nii üksikeksemplare kui ka väikeseeriaid. Ligemale 80% toodangust läheb ekspordiks. Põhiliselt tarnitakse EXSTEL kaubamärgi all toodetud tooteid Baltikumi, Rootsi, Suurbritanniasse, Norra ning Soome. Exstel toodete müügi ettevõtte on Tradex Invest OÜ [1].

Expert Baltic OÜ kuulub Palgardi Kraana Gruppi, mille moodustab laadimis-, lossimis- ja transporditeenust osutavate ettevõtete grupp, mis on alguse saanud Rootsi ettevõttest PÅLGÅRD & SÖNER KRAN AB, mille asutamisaeg ulatub tagasi 1972 aastasse. Tegemist on perefirmaga, mille traditsioonid ulatuvad koguni 1957. aastasse, kui ettevõtte peamine asutajaliige alustas vastava teenuse pakkumisega Rootsi logistikaturul. Väga pikk erialane kogemus on võti, mis on lubanud firmal osutada kvaliteetset, kiiret ja parimate lahendustega laadimis- ja lossimisteenust ning laieneda edukalt ka naaberriikidesse [1].

Täna on grupi peamiseks tegevusaladeks laadimis- ja lossimistööd ning materjalide transport sadamates, ladudes ja terminalides. Samuti tegeletakse laadimismasinade/seadmete valmistamise, müügi ja rendiga. Palgardi Kraana Grupp on tegev Rootsis, Eestis, Lätis ja Leedus [1].

Gruppi kuuluvad järgmised ettevõtted:

- Palgardi Kraana OÜ - laadimis- ja lossimistööde osutamine Eestis;
- Palgarda Krâni SIA - laadimis- ja lossimistööde osutamine Lätis;
- Palgardo Kranai UAB - laadimis- ja lossimistööde osutamine Leedus;
- ScanBalt Crane OÜ - hüdrauliliste laadimismasinade müük, rent ja hooldus Balti riikides;
- Expert Baltic OÜ - metallist seadmete ja konstruktsioonide valmistamine Eestis;
- PK Terminal OÜ - laoteenuse ja transpordi osutamine Eestis;
- Pålgård & Söner, Kran AB - laadimis- ja lossimistööde osutamine Rootsis;
- Pålgårds Akeri AB - paberi, ümarpuidu, puiduhakke ja eriveoste transport Rootsis;
- ScanBalt Crane AB - hüdrauliliste laadimismasinade müük, rent ja hooldus Rootsis [1].

1.2 Toodang

Expert Baltic OÜ toodangu moodustavad erinevad tooted, mis on valdavalt seotud materjali teisaldamisega. Siia kuuluvad topelthõlmadega kopad, prügi- ja palgihaaratsid või koguni viiehõlmalised kopad, mille mahud ulatuvad 12 kuupmeetriini. Materjali kuhjamiseks või lükkamiseks valmistatakse erinevaid sahkaseid ja roope, mille pikkus ulatub 10 meetriini ehk toodetakse suuremõõtmelisi seadmeid, et suurendada efektiivsust. Toodang on ettenähtud teisaldama näiteks kuhjatud teravilja, hakkepuitu või puidugraanulit, aga pakutakse ka seadmeid raskematerjalile, näiteks graniitkillustik või kivisüsi.

2 LUMESAHA PROJEKTEERIMINE

V-lumesaha arendusel lähtutakse asjaolust, et toode peab olema projekteeritud vastavalt baasettevõtte võimekusele ning et seda oleks võimalikult kiire ja lihtne töödelda ning koostada. Projekti käigus muutub küll toote välisilme, kuid olemus jääb samaks ning saab sisse viia parandused varem toodetud seadmete vigu ning vajakajäämisi arvestades.

Modelleerimiseks ja jooniste vormistamiseks on ettevõttes kasutada Solid Edge 2021 ning tugevusanalüüsi läbiviimiseks kasutatakse samuti Solid Edge 2021 keskkonda.

2.1 Seadmele esitatavad nõuded

Koostöös Expert Baltic OÜ müügiettevõttega püstitati lähteülesanne, mis kõigi eelduste kohaselt aitab luua tugeva toote, millega uuesti turule tulla ja kuna on tegemist ka prototüübiga, saab oma ettevõtete süsteemis kiire tagasiside ja info liikuvuse juures operatiivselt leida lahendusi võimalikele tekkivatele probleemidele. Alljärgnevalt on välja toodud lähteandmed (Tabel 1), mida arenduse käigus kindlasti on vaja silmas pidada.

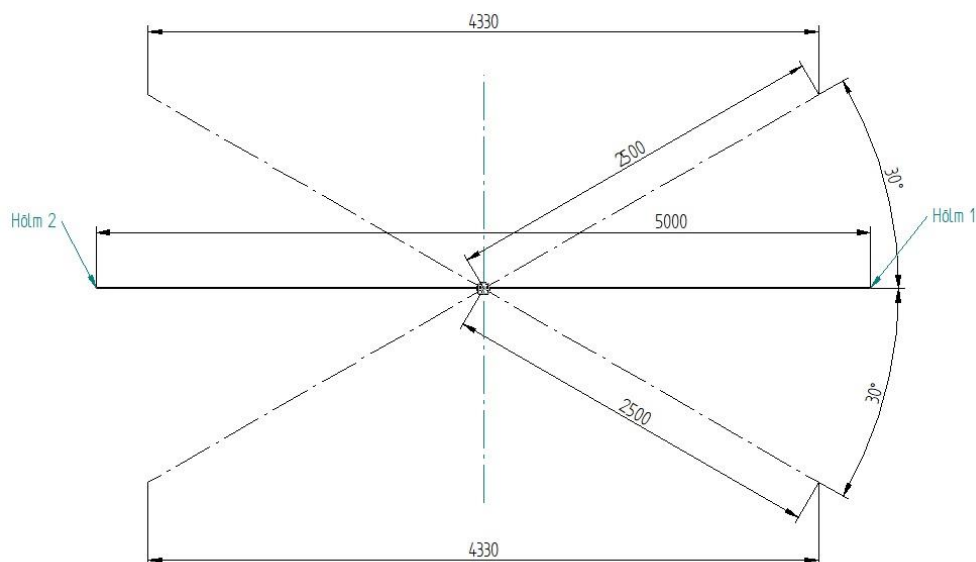
Tabel 1. Lähteandmed.

Kirjeldus	Nõue
Lumesaha tüüp	V-lumesahk
Lumesaha töölaius	5000 mm
Tera	1220 mm (standard) [2]
Terade arv	4 tk (löögileevendusega)
Hõlma pöördenurk	$\pm 30^\circ$
Ujuvasend	Jah
Hõlma kõrgus	1200 mm
Hüdraulika lülitus	Elektriline hüdrojagaja, raadioteel juhitud
Sobivus seadmega	Rataslaadur Hyundai HL970 [3]

Projekteeritav sahk saab olema eelkõige mõeldud suuremate territooriumide lumekoristustöödeks, mis omakorda tähendab, et laius peab olema küllaltki suur tagamaks piisav efektiivsus. Seetõttu ei soovitud teha järeleandmisi töölaiuse osas ning uusarendus peab jääma vähemalt sama laiaks nagu varemalt toodetud sahk ehk 5 meetrit. Toodet hakatakse kasutama kinnisel territooriumil, seetõttu suured gabariidid ei saa olema takistuseks.

Suuremõõtmelise saha funktsionaalsuse säilitamiseks toodetakse V-sahk, mis tähendab, et töomasina ette paigaldatud vaheraamile on kinnitatud kaks suurusjärgus 2500 mm laia hõlma, mille sahkamisasendit reguleeritakse teineteisest sõltumatute hüdrosilindritega. Kokku paigaldatakse hõlmadele 4 terahoidjat ning seda eelkõige sõltuvalt kuluterade standardlaiusest. Selle toote puhul on valitud 1220 mm laiused terad [2], mille poldivalem on sammuga 305 mm kahes reas, et terade kuludes esimesse järku, saab sammu võrra terasid hoidjal edasi tõsta saavutamaks pikema eluea.

Suheldes müügiosakonna ning ümberkaudsete ettevõtetega, kes kommunaalteenuseid pakuvad, leiti, et $\pm 30^\circ$ hõlma nurgamuutust on piisav, et lund juhtida soovitud suunas. Samuti puudub ka otsene vajadus saavutada kindlat minimaalset laiust. Spetsifikatsiooni järgi on laaduri laius 3100 mm [3], mis võiks olla mõistlik miinimum, et rattad ei sõtkuks lükkamata lund. Kuna tegemist on võrdlemisi laia tootega, siis laaduri laius silindri lõppasendites saab igal juhul garanteeritud (Joonis 2).



Joonis 2. V-lumesaha lihtsustatud asendid.

Masin, millele projekteeritav toode sobima peab, on rataslaadur Hyundai HL970. Selle tõsteraami hüdroüsteemil on 4 funktsiooni või asendit [3]: tõstmine, langetamine, kõrguse hoidmine ning nii-öelda „ujuvasend“. Viimane tähendab, et hüdrojagaja on lülitatud tühijooksuasendisse, kus õli liigub ainult suletud ringis hüdropumba poolt lisasurvet andmata. Nii lastakse tõsteraamil vabalt ülesse-või allapoole liikumist sooritada ilma, et hüdroõli silindri kolvile olulist mõju avaldaks mõlemas suunas [4, p. 43]. Enamik väiksemaid ratastraktoreid saaks seda funktsiooni väga eduliselt kasutada lume sahkamisel ning sel juhul puuduks vajadus „ujuvasendi“ projekteerimiseks. Antud laaduri tõsteraami mass koos kinnitusraami ja silindritega jääb hinnanguliselt vahemikku 1700-1900 kg, mis on ligemale poolteist korda raskem, kui projekteeritav seade, seega purustaks see saha konstruktsiooni lühikese aja jooksul. Laaduri hüdraulika peab olema sahkamisel seatud jäigaks ning lumesaha enda „ujuvasend“ peab tagama piisava vabaduse vertikaalsuunas, et sahk suudaks kopeerida maapinna ebatasasusi.

2.2 Vananenud saha analüüs

Antud projekti raames on võetud eesmärgiks ellu viia arendus kindla toote kontekstis. Selleks analüüsiti lumesaha suuremaid ja väiksemaid puudusi võttes arvesse nii ostu- kui ka tootmisosakonna soovitusi. Kuna ettevõttes toodetakse valdavalt üksikeksemplare, lähtutakse eelkõige seisukohast, et toodet oleks võimalikult lihtne koostada keerulisi töölusi, eriabivahendeid ja rakiseid loomata. Tagasisidest lähtuvalt leiti, et suuremat tähelepanu peab pöörama järgmistele punktidele:

- liiga suur mass;
- „ujuvasendi“ töökindluse suurendamine;
- survevedrude vähene jäikus;
- terahoidjate pöördtelje paiknemine hõlma esikülje taga;
- varasemalt kasutatud lehtmaterjali ja profiilide laoseisus hoidmise vajalikkus.

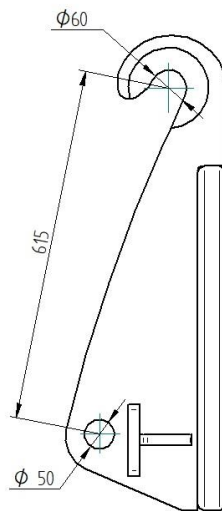
Puudustest lähtuvalt käsitletakse iga teemat eraldi.

2.2.1 Massi vähendamine

V-lumesaha moodustavad neli suuremat koostu, mis kannavad selle toimimiseks olulist rolli. Nende hulka kuuluvad:

- tagumine liide;
- vaheraam;
- hõlmad.

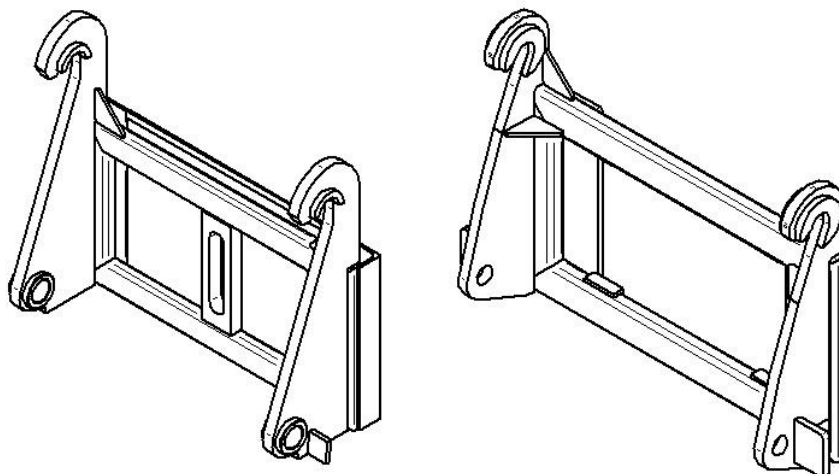
Tagumine liide on raam, mis ühendab lumesahka ning seadet, mille ette see on ühendatud. See valmistatakse vastavalt tellija masinale ning reeglina on see iga kord erinev. Antud hetkel on kasutatavaks seadmeks rataslaadur Hyundai HL970, millel on ettevõttesiseses keeles Volvo L120 liide, mis on kuvatud järgmisel joonisel (Joonis 3).



Joonis 3. Volvo L120 liide.

Tagumisele liitele kinnitatakse vaheraam, millele antakse piisavalt vabadust vertikaalsihis, et hõlmad ja terad saaksid vabalt pinnavorme kopeerida.

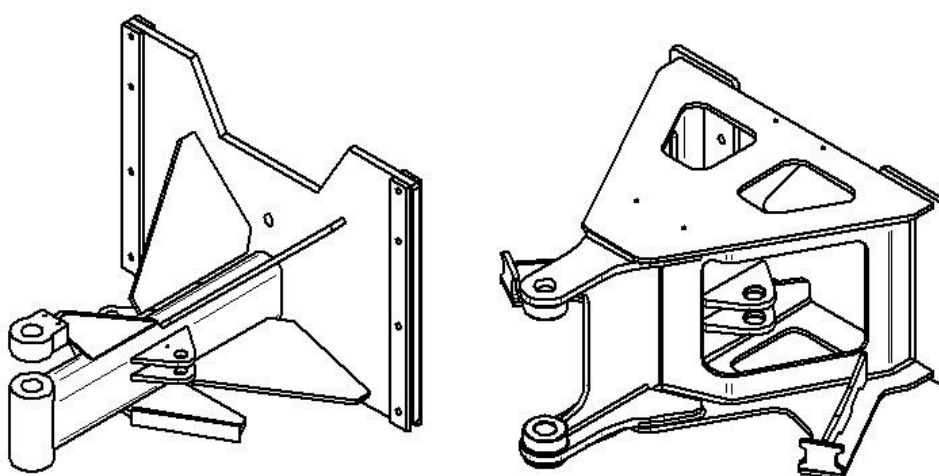
Massi vähendamise osas tehti selles koostus muudatus „riputuskõrvadele“ ning mindi lehtmaterjalis 40 mm 30 mm peale võites 20 kg, saades tulemuseks 125 kg senise 145 kg asemel (Joonis 4).



Joonis 4. Tagumine liide. Vasakul varasem koost, paremal arendus.

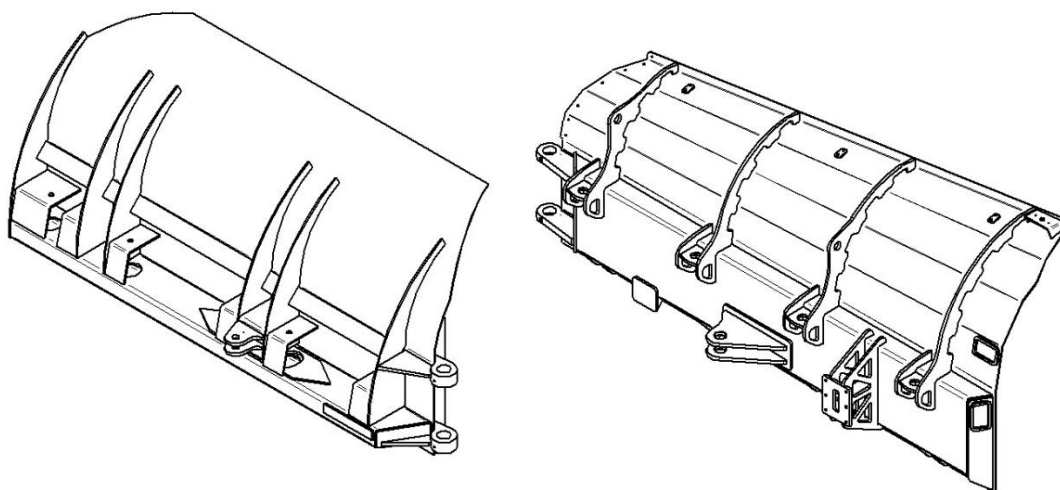
Vaheraam seob omavahel tagumise liite ning hõlmad. Lisaks kinnituvad selle külge veel hüdrosilindrid ning olenevalt konstruktsioonist, leitakse vaheraamil koht erinevate abiseadmete paigutamiseks, näiteks elektrilised juhtimisventiilid, kaitseklapid, hüdroakud vms.

Varasema vaheraami teoreetiline mass on 305 kg. Põhiosa sellest moodustas tagumine 25 mm lehtmaterjalist lõigatud plaat ning paksuseinaline nelikanttoru, vastavalt 152 kg ja 53 kg. Lahendus leiti õhemaid lehtmaterjale kasutades. Arendus tehti märksa ruumilisem, mis andis võimaluse paigutada hüdroaku nii, et see oleks kaitstud ning liikuvatest objektidest eemal ning läbi õõnsuste ja avade saab vedada hüdrovoolikud. Leitud lahendus andis tulemuseks 182 kg (Joonis 5).



Joonis 5. Vaheraamid. Vasakul varasem koost, paremal arendus.

Lumesaha hõlmad aitavad suunata ja koguda lund, mida hüdrosilindrite abiga juhitakse soovitud suunas. Varasema hõlma teoreetiline mass on 364 kg. Suurema osakaaluga sellest on hõlma taga paiknev suuremõõtmeline nelikanttoru kaaluga 83 kg ning hõlma kaar 134 kg. Arendusel jäi hõlma kaare materjal samaks, kuid anti sellele kooniline välimus, säästes 27 kg. Toru asendati painutatud karbiga võites 10 kg. Tapi kõrvad tehti varasemalt 60 mm S355J2+N lehtmaterjalist, kuid asendati 30 mm Strenx 700-ga alandades massi kahe kõrva peale kokku 15 kg. Ülejäänud massi alandus saavutati detailide mõõtmete vähendamise ning väljalõigetega. Arendatud hõlma teoreetiline mass 259 kg (Joonis 6).



Joonis 6. Hõlmad. Vasakule varasem koost, paremal arendus.

Eelpool kirjeldatud koostude arenduse tulemusena saadi küllaltki suur masside erinevus, mida kirjeldab järgmine tabel (Tabel 2):

Tabel 2. Masside võrdlus.

Osakoost	Varasem lumesahk, kg	Arendatud lumesahk, kg	Erinevus, kg
Tagumine liide	145	125	20
Vaheraam	305	182	123
Hõlmad (2tk)	728	518	210
Kokku	1178	825	353

Optimeerimise käigus saadi uue lumesaha massiks 1380 kg varasema 1730 kg asemel.

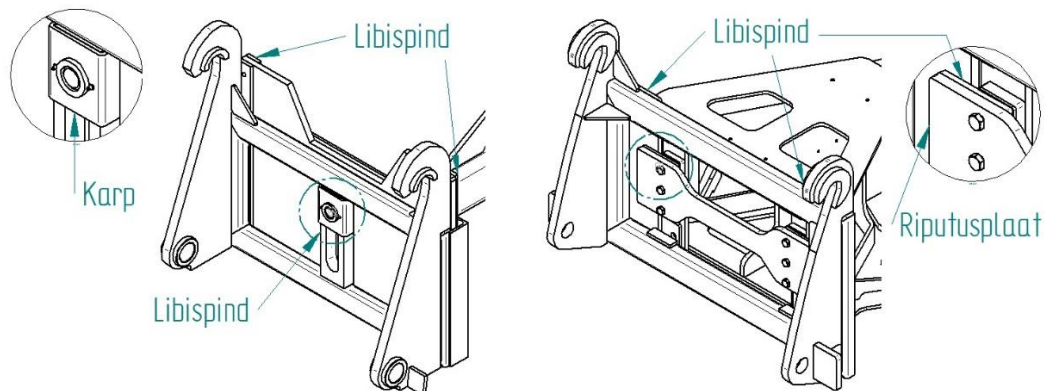
2.2.2 Ujuvasendi arendus

Lumesaha ujuvasend on lumelükkamise protsessis märgilise tähtsusega. See peab tagama piisava vabaduse, et laaduri külge kinnitatud tagumine liide ja vaheraam saaksid omavahel vertikaalsihis teatud ulatuses vabalt liikuda. Antud juhul on laaduri tõsteraamide asend fikseeritud ning seetõttu peab vaheraam ja hõlmad koos teradega saama selle ees üles-alla liikuda. See välistab olukorra, et lumesahk võiks hakata sahatavasse pinnasesse sisse lõikama ning välistab võimaluse lasta konstruktsioonist läbi jõudusid, milleks sahki pole ette nähtud. Samuti tagab parema sahkamistulemuse. Ujuvasendi arenduseks oli kaks peamist põhjust. Esiteks klientide tagasiside kohaselt ei olnud tegemist väga töökindla lahendusega. Sahkamise käigus esines kinnikiilumisi, mille

tulemusel tera enam ei kopeerinud maapinna kumerusi, vaid löikas hoopis sisse võttes endaga kaasa ka pinnast vastavalt sellele, millisel alusel tööd tehti. Teiseks põhjuseks oli varasemalt kasutatud 50 mm lehtmaterjali kasutamine, sest baasettevõtte laoseisus sellist materjali hoida oleks ebaratsionaalne ühe kindla detaili jaoks, kui rääkida projektipõhisest tootmisest.

Esialgsel lahendusel toetus kogu ülejäänud konstruktsioon keskel asetsevale tapile, kus olid kontaktis kaks määrimisvõimalusega teraspinda. Äärtesse paigaldati kulumiskindlast plastist kontaktpinnad piki serva vertikaalsuunas. Tapp omakorda sai liikuda piki ovaalset ava. Nii tapi kui ka ovaalse ava ning karbi ja libisklotsi vahele oli jäätud lõtku 1,5-2 mm.

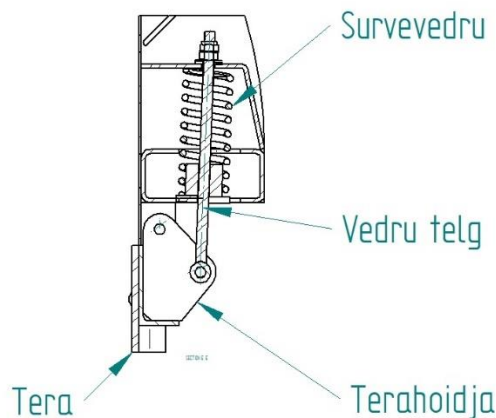
Arenduse käigus eemaldati kontaktsed metallsed pinnad ning mindi täielikult üle teras/plast kontaktile, mille hõõrdeegur $\mu = 0,3$ kuivades oludes. Võrreldes teras/teras lahendusega on see küll 10% suurem, aga üks pindadest alati väiksema kõvadusega ehk projekteeritud kuludetailiks. Varasema isendi karp on asendatud riputusplaadiga, mis tagab kaks korda suurema toetuspinna ning seda hajutatuna mõlemas otsas, mitte lokaalselt keskel. Lisaks on külgsuunas antud vabadust kuni 10 mm, mis võimaldab saavutada ka $\pm 5^\circ$ kaldenurka laaduri ja terade asendi vahel. Ujuvsüsteemid on välja toodud järgnevalt (Joonis 7). [5, p. 41]



Joonis 7. Ujuvsüsteem. Vasakul varasem koost, paremal arendus.

2.2.3 Survevedru vähene jäikus

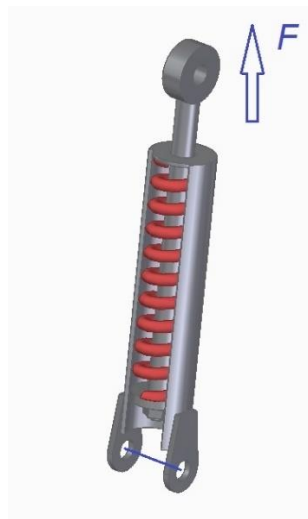
Vedrusid kasutatakse lumesahkadel, et vältida purustavaid jõudusid terapiirkonnas ning nende edasikandumist ülejäänud hõlmakonstruktsioonini. Vastavalt tootja eelistustele ning tehnilistele lahendustele kasutatakse nii tõmbe-kui survevedrusid. Baasettevõtte tootel on kasutusse võetud survevedrud. Selles sõlme on survevedru eelpingestatuna paigaldatud kahe pinna vahele ning teljena kasutatav varras ühendatud terahoidjaga (Joonis 8). Vedru reguleeritakse teatud pikkusele, et tagada piisav esialgne jõud ning piisav siire.



Joonis 8. Olemasolev survevedrusüsteem.

Varasemalt toodetud sahkadel kasutatud vedrud ei andnud tagasiside põhjal soovitud tulemusi ning sahkamise käigus terahoidja pööras end hõlma alt liiga lihtsalt ära takistusega kontakti saavutades. Seega valitud ostutooted olid liiga pehmed ning tuli leida asendus. Suheldes vedrusid valmistava ettevõttega ning nende soovitusi rakendades, valiti sihtotstarbelised vedrud varasema 12 mm asemel 15 mm traadist, et saavutada suurem jäikus. Samuti oli tarvis suurendada siirde ulatust, mis konstruktsiooni muudatusi arvestades läks 90 mm asemel 105 mm.

Vedrusid valmistav ettevõte valmistas neile etteantud parameetrite järgi ühe eksemplari ja kuna neil puudus kohe peal testimise võimekus, valmistasime ise abinõu vedru parameetrite määramiseks (Joonis 9).



Joonis 9. Survevedru testkeha.

Abinõu tekitas vastupidise olukorra, et saaksime survevedru testida nagu tõmbevedru. Ülemise silma külge oli paigaldatud digitaalne kaal, mis omakorda ühendati tõstetaliga. Alumised hülsi aasad olid

fikseeritud. Joonisel 8 on tehtud hülsile väljalõige illustreerimaks siseehitust. Reaalselt oli hülsile lõigatud ainult pilu vedru siirde nägemiseks.

Testimiseks tõmmati taliga koostu ülespoole ning ühtlasi ka pikemaks. Digitaalne kaal vedru ja tali vahel näitas, kui palju vedru suudab vastusurvet tekitada. Testi käigus suruti vedru lõpuni kokku, mis teeb siirde pikkuseks 105 mm. Vedru koormamata pikkus 330 mm, koormatuna 195 mm. Kuvatud näiduks kaalul saadi 1470 kg, mis teisendatuna on 14700 N. Saadud tulemuse järgi leitakse valemiga(1) [5, p. 36] vedru jäikustegur R (N/mm):

$$R = \frac{F}{s}, \quad (1)$$

kus F – vedru jõud, N;

s – vedru siire, mm.

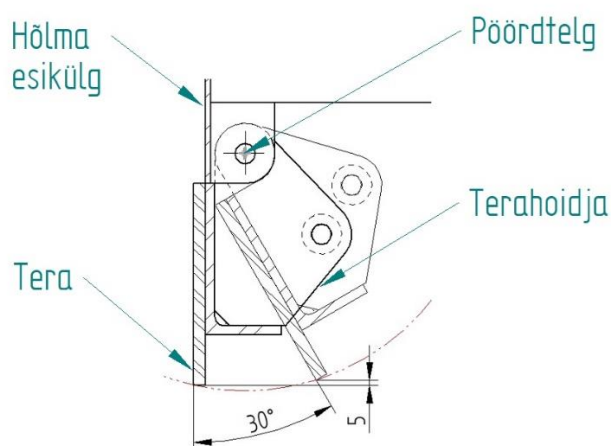
Vedru jäikustegur vastavalt valemile (1) on:

$$R = \frac{14700}{105} = 140 \frac{N}{mm}.$$

Saadud tulemusega hinnatakse vedru sobivust tootele peatükis 3.

2.2.4 Terahoidjate pöördtelje ümberpaigutamine

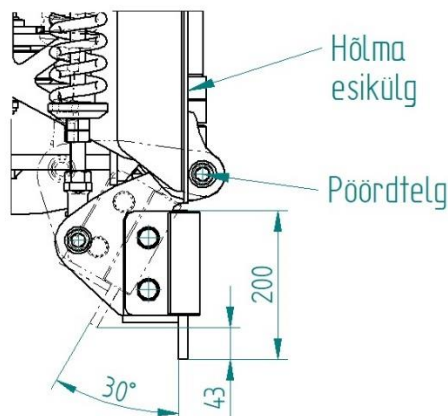
Tera pöördtelje ümberpaigutamise vajadust ilmestab kõige täpsemalt Joonis 10.



Joonis 10. Varasema toote terahoidja pöördtelg.

Jooniselt on näha, et kui tera peaks sahkamise käigus kokku pörkama mõne takistusega, pöörab ta oma asendit 30°. Selle nurga juures tõuseb tera tipp maapinnast vaid 5 mm kõrgusele, mistõttu

takistusest üle sõites liigutatakse kogu saha kõrgemale takistuse kõrguse võrra. See tekitab olukorra, kus peaaegu kogu saha laiuses jääb sel ajahetkel teatud hulk lund maha. Selle vähendamiseks tõstetakse pöördtelg saha hõlma esiküljest ettepoole (Joonis 11).



Joonis 11. Pöördtelje asetuse muudatus.

Jooniselt saab lugeda, et 30° tera pööramise korral esmalt suudab tera tõusta 43 mm kõrgusele ja kui ületatav takistus peaks olema sellest suurem, alles sel juhul tõstetakse ülejäänud saha.

2.3 Tootmise lihtsustamine

Eelnevalt toodetud lumesaha analüüsimise käigus leiti, et seadme tootmiseks kasutati väga palju erinevaid materjale – seda nii leht- kui profiilmaterjali osas. Kuna lumesahkade tootmine ei ole baasettevõtte peamine suund, tuli kriitiliselt üle vaadata leht ja profiilmaterjalid, mida lumesaha tootmiseks kasutuses hoida ning ühildada seda materjalidega, mida enamasti laosseisus hoitakse.

Lisaks nähti vajadust eemaldada kooslusest detailid, mis vajasisid pärast saagimist või plasmalõikust ajakulukaid järeltöötusi enne koostamist.

2.3.1 Materjalide valik

Materjalide valikul lähtuti eesmärgi täitmisest viia leht- ja profiilmaterjalide valik vastavusse baasettevõtte laoga ning vähendada kasutatavate paksuste hulka. Samuti lähtuti massi vähendamise aspektist, millest oli ka varasemalt juttu. Järgnevalt võrreldakse vanas ja arendatud tootes kasutatavaid materjale (Tabel 3).

Tabel 3. Kasutatud materjalid.

	Mõõt, mm		
Materjal	Varasem toode	Arendatud toode	Vahe
Leht S355 J2+N	3; 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 40; 50; 60	3; 5; 8; 10; 12; 16; 20; 30	-38%
Leht Strenx 700E	-	30	100%
Leht Hardox 500	12	12	0%
Ümar S355 J0	ø20; ø35; ø40; ø50; ø60; ø75; ø80; ø90; ø115; ø120	ø20; ø30; ø40; ø50; ø80; ø100; ø127	-30%
Ümar C45E	ø50	ø50	0%
Nelikanttoru S355 J2H	100 x 50; 230 x 100; 200 x 100	100 x 50	-67%
Ümar toru S355 J2H	-	90 x 5	100%
L-profiil S355 J0	90 x 90 x 9	90 x 90 x 9	0%
Lehtkumm	-	6	100%
PE HD1000+MoS2	10	10	0%
Kokku	30	23	-30%

Tabelist saadud tulemused näitavad, et erinevus materjalide kasutuses on 30%. Konstruksiooni ühest kriitilisemas sõlmes, hõlma riputuskõrvades, asendati lehtmaterjal 60 mm S355 J2+H lehtmaterjaliga 30 mm Strenx700E. Materjali tarnija soovitude järgi on 30 mm ka suurim paksus, mida võib ette kuumutamisetä keevitada [6]. Selle materjali asenduse kohta teostatakse ka tugevusanalüüs järgmises peatükis.

2.3.2 Komponentide hulk

Detailide hulk tootes mõjutab ettevalmistust ja tootmist kogu protsessi vältel alustades projekteerimisest lõpetades viimistlusega. Seetõttu on püütud hoida komponentide kogus minimaalsena. Järgnevalt võrreldakse varasemat ja arendatud sahka komponentide hulga alusel (Tabel 4).

Tabel 4. Komponentide hulga võrdlus

Detaili tüüp	Detailide kogus, tk		Vahe
	Varasem sahk	Arendatud sahk	
Plasmalõigatud	123	131	6%
Treitud	74	91	23%
Saetud	16	15	-7%
Kinnitusvahendid	294	321	9%
Allhange	21	12	-175%
Kokku	528	570	8%

Tabelist leitavad tulemused näitavad, et komponentide kokkuvõttes suurt protsentuaalset erinevust ei saavutatud. Hoolimata minimaalsest hulga tõusust on märkimisväärselt alandatud allhanke korras tarnitavate detailide kogus, mille tingis nii terade, survevedrude arvu vähendamine ning paksust lehtmaterjalist libispinna ning hõlma riputuskõrvadele alternatiivsete materjalidega asendamine.

Teisalt saab tabelist esile tuua asjaolu, et tootes on endiselt küllaltki suur treitud detailide osakaal võrreldes plasmadetailidega. See tähendab, et ettevalmistuse protsessis on nii lehetöötlus- kui ka treimisosakond suhteliselt võrdselt koormatud ning jaoskonna meistri seisukohalt objektide hetkeseisu lihtsamini jälgitavaks.

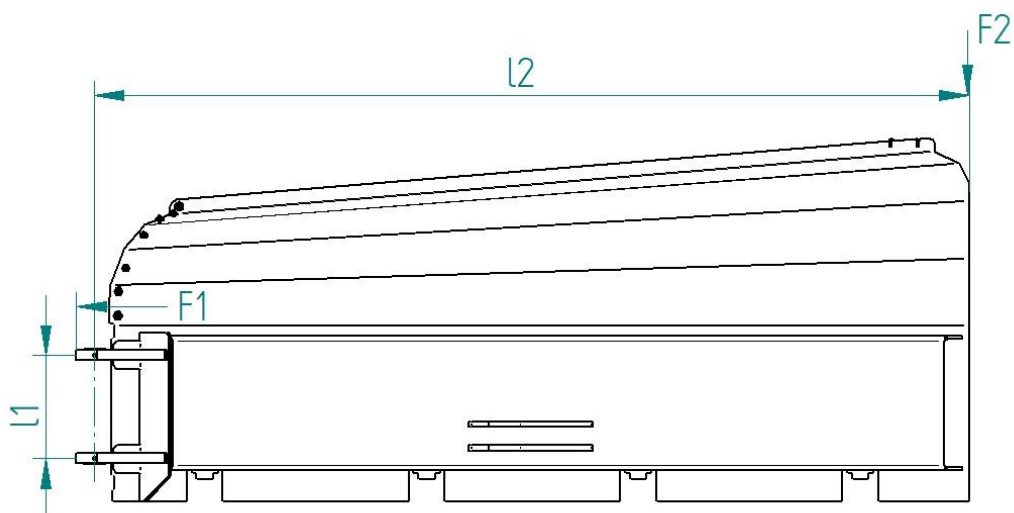
2.4 Koormuste arvutamine

2.4.1 Jõud hõlma riputuskõrvale

Hõlma riputuskõrvad asendati poole õhema, kuid 2x kõrgema voolavuspiiriga materjaliga. Veendumaks kõrv vastupidavuses, kontrollitakse jõudusid, mis hõlma parameetreid arvestades tema geomeetriat läbivad. Antud olukorda kirjeldab Joonis 12. Selleks leiame valemit (2) [5, p. 37] kasutades kõrvale rakenduvat jõu F_1 (N):

$$F_1 = \frac{F_2 \times l_2}{l_1}, \quad (2)$$

- kus F_2 – hõlma poolt tekitatud raskusjõud koos vedrude ja terahoidjatega, N;
 l_2 – jõule F_2 vastav jõuõlg ehk hõlma pikkus pöörlemistsentrist, mm;
 l_1 – jõule F_1 vastav jõuõlg ehk hõlma kõrvade vaheline kaugus, mm.



Joonis 12. Hõlma kõrvale mõjuv jõud.

Hõlma kõrvale rakenduv jõud vastavalt valmile (2) on:

$$F_1 = \frac{3980 \times 2482}{293} = 33715 \text{ N}.$$

Saadud tulemust rakendatakse järgmises peatükis tugevusanalüüsiks.

2.4.2 Hüdraulika jõud

Lähteülesande kohaselt tuleb projekteeritavale sahale paigaldada elektriline hüdrojagaja, mis suurendaks hüdroväljundite arvu ning võimaldaks valida, millist hõlma parasjagu reguleerida soovitakse. Kliendi laaduril Hyundai HL970 [3] tuleb tõsteraamile ainult 1 sisend ja 1 väljund. Kui rakendataval seadmel oleks 2 pealevoolu ja tagasivoolu kanalit, puuduks vajadus jagamisseadme paigaldamiseks.

Laaduri hüdrostsüsteemis on töö rõhuks 280 bar [3], aga enamike turul müüdavate 6/2 suunaventiilide töö rõhk paikneb vahemikus 210-250 bar olenevalt tootjast. Selleks piiratakse töö rõhku enne jagajat 180 bar. Nii kompaktsuse kui ka lisaseadmete arvu kokkuhoiu aspektist lähtudes valiti suunaventiilideks Piipo Hydraulic E6212PV 24V [7], mis on juba varustatud ülerõhuklappidega, piirates rõhu 210 bar. Lisaks on see hüdrojagaja varustatud hüdroaku väljundiga. Paigaldatud 0,75 l membraanaku on ette nähtud töötama töö rõhul kuni 210 bar [8] ning tarnija poolt eellaetakse gaasiga teatud rõhuni.

Vajaliku eelrõhu p_{e0} (bar) leidmiseks kasutatakse valemit (3) [9, p. 68]:

$$p_{e0} \approx 0,9 \times p_{e1}, \quad (3)$$

kus p_{e1} – akumulaatori töö rõhk, bar.

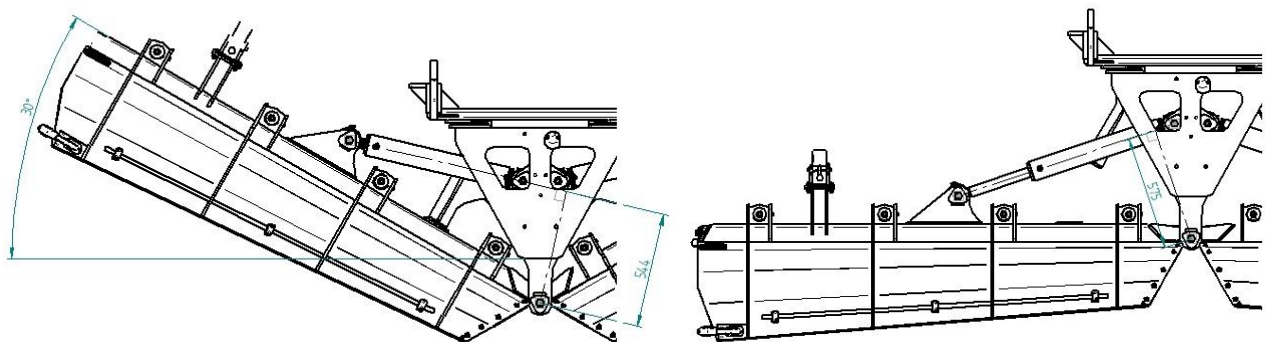
Eelrõhk vastavalt valemile (3) on:

$$p_{e0} \approx 0,9 \times 180 \approx 162 \text{ bar}.$$

Arvutustest saadud tulemustest on eellaadimiseks vajalik gaasi rõhk membraanikus 160 bar.

Lähteülesande kohaselt paigaldati lumesahale juhtklappide tarnija poolt valmistatud juhtmevaba seade, mis võimaldaks hüdrojagajat distantsilt ümber lülitada. Vastuvõtja paigutati vaheraami külge varjuliselt ning kaetud alasse. Kuna vaheraam oli nii alt kui ka pealt poolt piisavalt avatud, ei takistanud see raadiosignaalide edastust laaduri kabiinist.

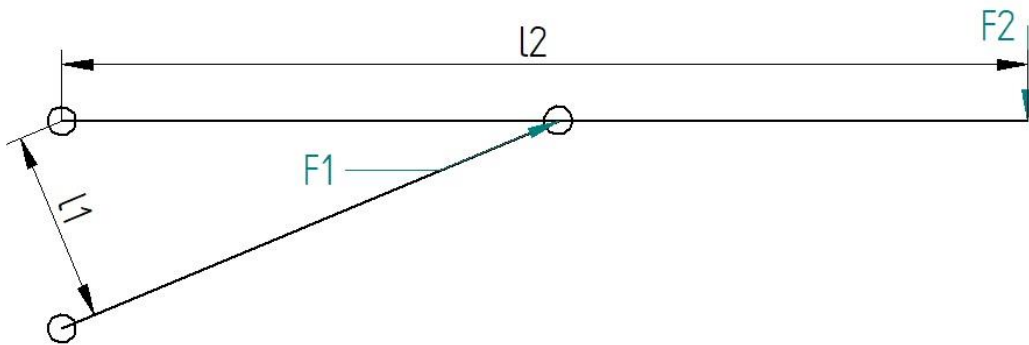
Baasettevõtte kasutab oma lumesahkadel hüdrosilindreid, mille kolvi läbimõõt on 80 mm. See on võetud ettevõttesiseselt standardiks ning seda muutma ei hakatud, kuid on vajalik kontrollida silindri sobivust antud tootele. Selleks võrreldakse hõlmade piirasendeid, et leida minimaalne jõuõlg silindrile (Joonis 13).



Joonis 13. Jõuõla sõltuvus hõlma asendist.

Jooniselt võib näha, et minimaalne silindrile mõjuv jõuõlg on 544 mm, kui hõlm on 30° tagasi pööratud ja silinder kokku tõmmatud. Ettevõtte kogemuse kohaselt peab hüdrosilinder hõlma pöörlemistsentrist kaugemas tipus tagama jõu suurusega 15000 N.

Lihtsustatult illustreerib leitud jõuõlgasid järgnev joonis (Joonis 14) :



Joonis 14. Silindri jõuõlgade skeem.

Selle järgi leitakse silindri vajalik jõud F_1 (N) valemi (4) järgi [5, p. 37]:

$$F_1 = \frac{F_2 \times l_2}{l_1}, \quad (4)$$

kus F_2 – hõlma pöörlemistsentrist kaugemasse tippu mõjuv jõud, N;

l_2 – hõlma pöörlemistsentrist võetud hõlma laius, mm;

l_1 – minimaalne jõuõlg silindrile, mm.

Silindri vajalik jõud vastavalt valemile (4) on:

$$F_1 = \frac{15000 \times 2482}{544} = 68437,5 \text{ N} = 68,4 \text{ kN}.$$

Arvutuste järgi leiti, et hüdrosilindri poolt tekitatud jõud 15000 N tagamiseks hõlma kaugemas tipus peab olema vähemalt 68,4 kN.

Leitakse silindri kolvile mõjuv jõud F_1 (N) valemi (5) abil [9, p. 22]:

$$F_1 = p \times A_1, \quad (5)$$

kus p – töö rõhk silindris, MPa;

A_1 – kolvi ristlõike pindala, mm².

Kolvile mõjuv jõud vastavalt valemile (5) on:

$$F_1 = 18 \times 5026,5 = 90477 \text{ N} = 90,47 \text{ kN}.$$

Kalkuleeritud jõud kolvile ehk hüdrosilindri poolt tekitatav jõud 180 bar juures on 90,47 kN.

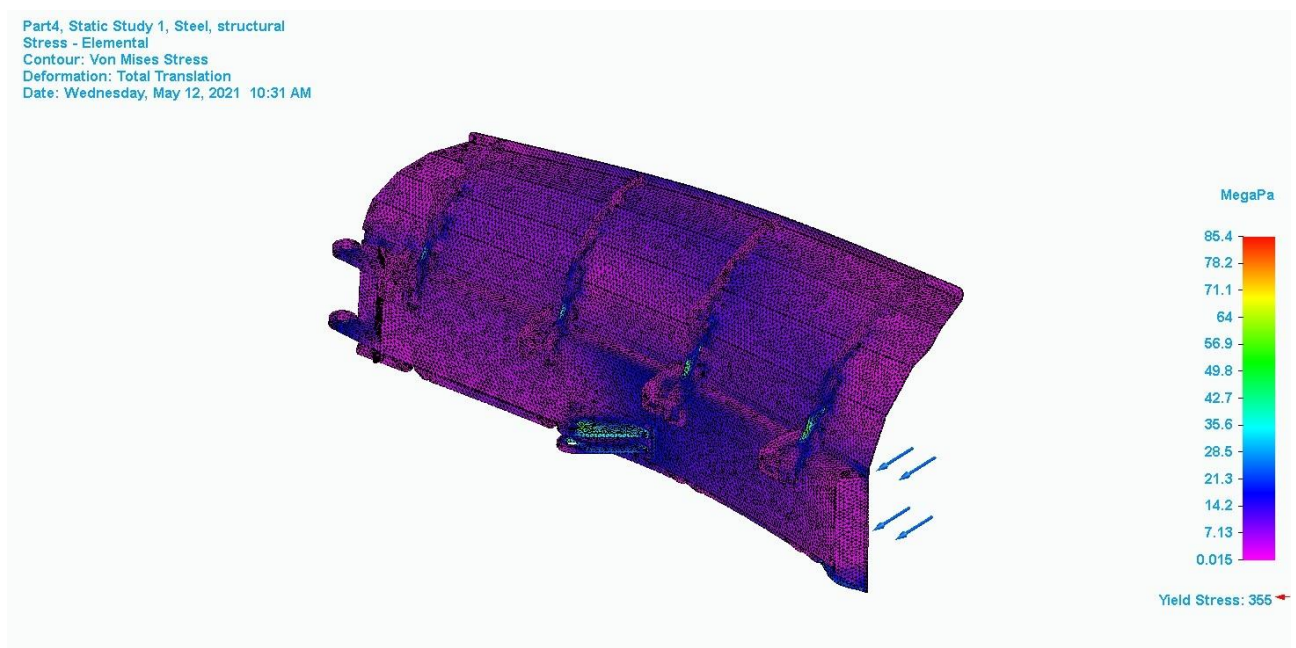
Saadud tulemused näitavad, et ettevõtte hüdrosilinder kolvi läbimõõduga 80 mm sobib lumesaha konstruktsioonil kasutamiseks omades 1,3 kordset varutegurit.

3 TUGEVUSANALÜÜS

Veendumaks projekteeritud toote konstruktsiooni vastupidavuses ettenähtud koormustele, viidi läbi tugevusanalüüs FEM-meetodit kasutades Solid Edge 2021 Simulation keskkonnas vastavalt peatükis 2 leitud väärtustele. Vastupidavust koormustele rakendatakse saha hõlmale, vaheraamile ja hõlma riputuskõrvale. Lisaks tehti klassikalisel viisil käsiarvutused silindri kinnitustapile ja survevedrule.

3.1 Hõlma tugevusanalüüs

Baasettevõtte koguse põhjal peab saha hõlm suutma pöörlemistsentrist kaugemas tipus võtta vastu 15000 N suurust jõudu ilma, et see puruneks. Hõlm on toodetud lehtmaterjalist S355J2+N voolavuspiiriga 355 MPa v.a. hõlma riputuskõrvad. Testi läbiviimiseks fikseeriti mõlemad hõlma riputuskõrvad ning silindri kinnituskõrvad ning rakendati pöörlemisteljest kaugemale nurgale vastav jõud. Tulemused on kuvatud järgnevalt (Joonis 15):



Joonis 15. Saha hõlma tugevusanalüüs.

Saadud tulemused näitavad, et hõlma koormamisel 15000 N on konstruktsioonis maksimaalne pinge $\sigma_{\max} = 85 \text{ MPa}$, mis koormab eelkõige silindri kinnituskõrvasid ning avalduvad ka mõned lokaalsed pinged hõlma tugikaartel.

Leitakse hõlma varutegur v vastavalt valemile (6) [5, p. 44]:

$$v = \frac{\sigma_{allow}}{\sigma_{max}}, \quad (6)$$

kus σ_{allow} – koostu materjali voolavuspiir, MPa;

σ_{max} – analüüsi tulemusel leitud suurmi pinget konstruktsioonis, MPa.

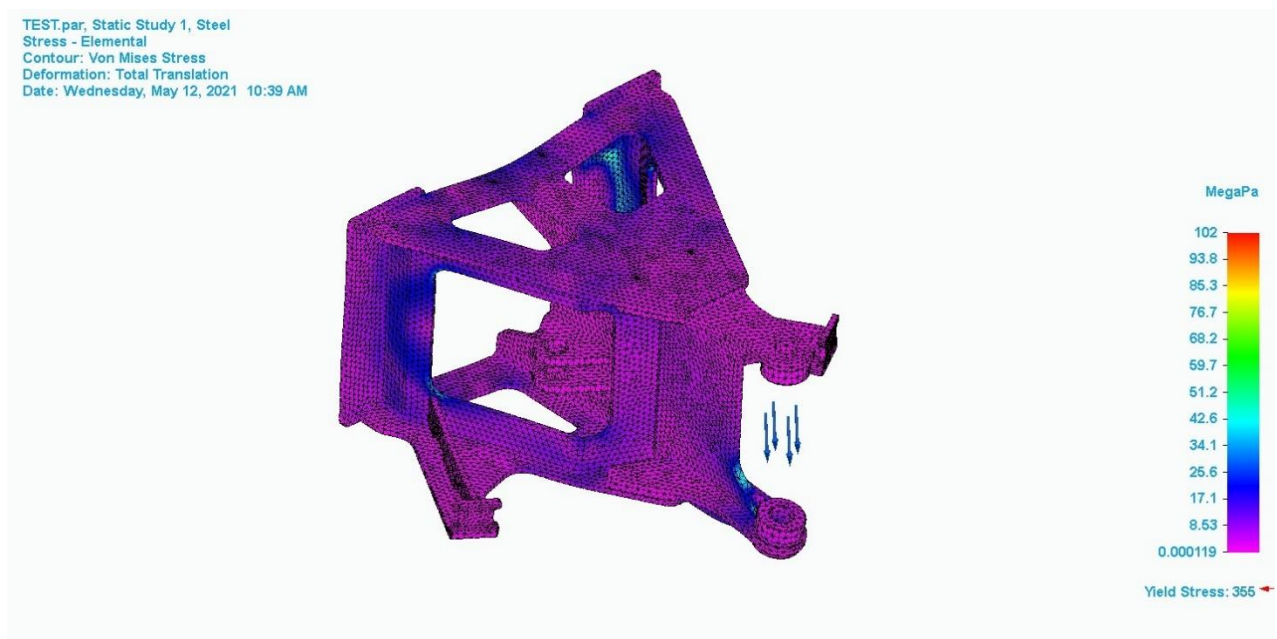
Varutegur vastavalt valemile (6) on:

$$v = \frac{355}{85} = 4,2.$$

Leitud varutegur on 4,2 ning on piisava suurusega näitamaks, et hõlm peab vastu temale määratud koormustele. Lähtudes baasettevõttesisesest tavast ning käsiraamatu [5, p. 44] soovitusel, võiks dünaamiliste koormuste puhul olla varuteguriks vähemalt 3, seega kriteerium on täidetud.

3.2 Vaheraami tugevusanalüüs

Kui lumesahk on maast üles tõstetud, mõjub vaheraami keskelje alumisele tapipesa puksile mõlema hõlma raskusjõud koos terahoidjate ja leevendussüsteemiga. Kokku moodustab see 7960 N, mis on suurimaid koormusi, mida vaheraam peab suutma vastu võtta. Koormuse rakendamist illustreeritakse alljärgnevalt (Joonis 16):



Joonis 16. Vaheraami tugevusanalüüs.

Vaheraam on fikseeritud poldiavadest tagaküljel ning alumisele puksile rakendatakse raskusjõud 7960 N. Tulemused näitavad, et suurimad pinged avalduvad poldiavade ümber ning vaheseina ja alumise puksi lähedal. Suurimaks pingeks on saadud $\sigma_{\max} = 102 \text{ MPa}$. Koos on valmistatud materjalist S355J2+N, mille voolavuspiir on 355 MPa.

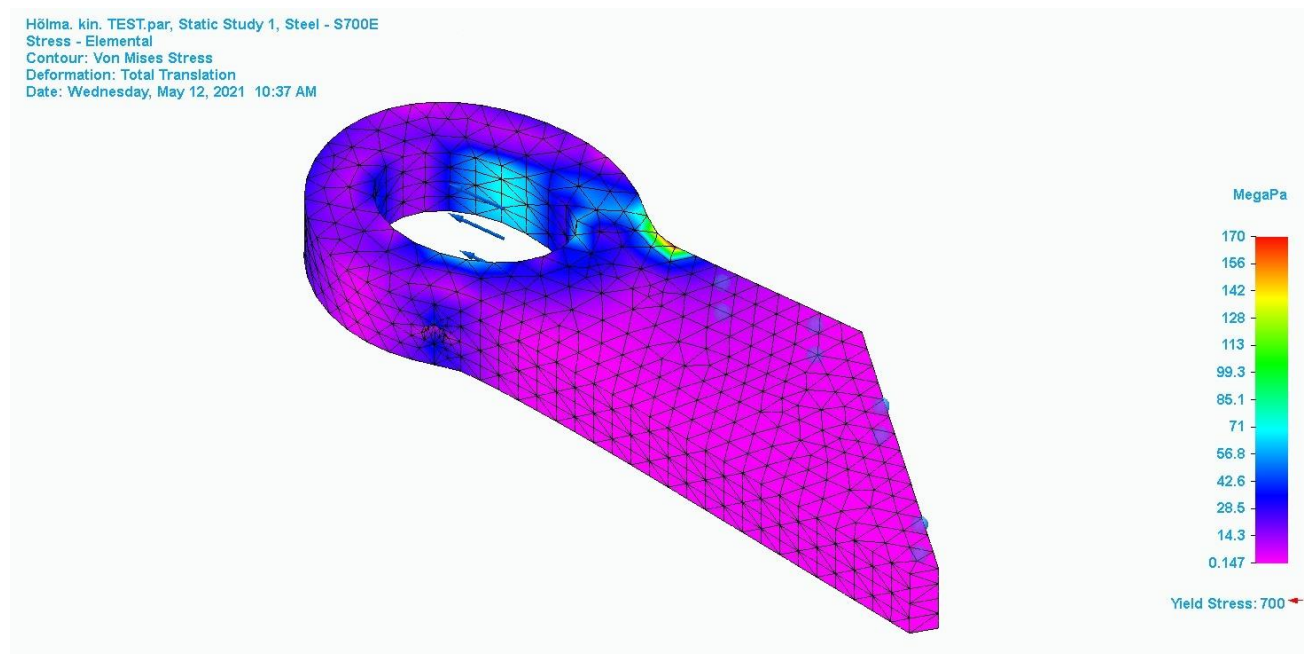
Rakendades valem (6) leitakse varutegur v :

$$v = \frac{355}{102} = 3,5.$$

Saadud varutegur näitab, et toode pea vastu talle määratud koormusele ning sobib ka ettevõtte poolt määratud varuteguriga 3.

3.3 Hõlma riputuskõrva tugevusanalüüs

Peatükis 2 käsitleti hõlma riputuskõrva paksuse vähendamist ning asendamist materjaliga Strenx 700E, mille voolavuspiir on 700 MPa [6]. Arvestades saadud tulemusi, rakendatakse hõlma riputuskõrvale koormus 33715 N nooltega näidatud suunas ning fikseeritakse otspinnast, millega see hõlmale kinnitub. Analüüsi kujutatakse alljärgnevalt (Joonis 17):



Joonis 17. Hõlma riputuskõrva tugevusanalüüs.

Saadud tulemus näitab, et jõud, mis tapi ava püüab pikemaks venitada, tekitab materjalis pinge suurusega $\sigma_{\max} = 170 \text{ MPa}$. Valemiga (6) kontrollitakse detaili varutegurit v :

$$v = \frac{700}{170} = 4,1.$$

Leitud varutegur hõlma riputuskõrvale näitab, et Strenx 700 tagab piisava varuteguri kriitilises sõlmes ning varasemalt kasutatud S355 materjal taganuks vaid 2-kordse varuteguri, mis ei sobi kokku ettevõtte ega masinaehituslike soovitudustega.

3.4 Silindri kinnitustappide tugevusarvutus

Kinnitustappide vastupidavuse kontroll viiakse läbi käsiarvutuslikul meetodil. Selleks leitakse lõikejõud tapile $\varnothing 50$ mm, võttes arvesse, et antud olukorras rakendub kaks lõikepiirkonda, sest silinder kinnitub kahe kõrva vahele. Tapi materjaliks on C45E. Vastavalt valemile (7) leitakse silindri tapile mõjuv nihkepinge τ_s (MPa):

$$\tau_s = \frac{F}{S * 2}, \quad (7)$$

kus F – silindri poolt tekitatud jõud 18 MPa juures, N;
 S – tapi ristlõike pindala, mm².

Valemit (7) rakendades nihkepinge tapile on:

$$\tau_s = \frac{90477}{1963 * 2} = 23 \text{ MPa}.$$

Käsiarvutus näitab, et tapile mõjuv nihkepinge on 23 MPa.

Lubatud nihkepinge materjalile C45E on $\tau_{sB} = 560 \text{ N/mm}^2$ [5, p. 44]. Kasutades valmit (8) [5, p. 44] leiame tapi varuteguri v :

$$v = \frac{\tau_{sB}}{\tau_s}, \quad (8)$$

kus τ_{sB} – lubatud nihkepinge, MPa;
 τ_s – kalkuleeritud nihkepinge, MPa.

Vastavalt valemile (8) on varutegur:

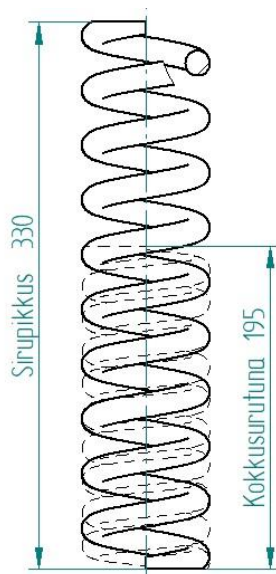
$$v = \frac{560}{23} = 24.$$

Tapp on garanteeritud väga suure varuteguriga, seega sobib antud konstruktsioonis kasutamiseks.

3.5 Survevedru arvutus

Sahkamise käigus võib ette tulla olukord, kus saha tera ette võib sattuda objekte, mida pole lume seest näha, näiteks kaevukaas. Siinkohal viiakse läbi kalkulatsioon, mille käigus arvutatakse välja takistuse maksimaalne mass, mida saha terahoidja koos survevedruga kokkupõrkel metallist takistusega on veel suuteline vastu võtma arvestades vedru omadusi.

Vedru maksimaalset siiret kokkusurumisel iseloomustab alljärgnev joonis (Joonis 18):



Joonis 18. Vedru siire.

Maksimaalse siirde l (mm) leidmiseks kasutati üldist valemit (9) vahe leidmiseks:

(9)

$$l = l_1 - l_2 ,$$

kus l_1 – vedru pikkus vabas oleksus, m;

l_2 – vedru pikkus kokkusurutuna, m.

Valemi (9) järgi leitud maksimaalne siire on:

$$l = 0,33 - 0,195 = 0,135 \text{ m.}$$

Vastavalt arvutusele on maksimaalseks siirdeks saadud 0,135 m.

Järgnevalt leitakse pikkusele 195 mm kokkusurumise maksimaalne kiirendus a (m/s²) valemi (10) [5, p. 36] järgi:

$$a = \frac{F_v}{m_s}, \quad (10)$$

kus F_v – vedru maksimaalne kokkusurumisjõud pikkusel 195 mm, peatükk 2, N;
 m_s – saha mass, 1380 kg.

Leitakse vedru kokkusurumise maksimaalne kiirendus valemi järgi (10):

$$a = \frac{14700}{1380} = 10,65 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}.$$

Järgnevalt leitakse kokkupõrkel objektiga lööki arvestav dünaamikategur k_d valemi (11) järgi [10, p. 304]:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times h}{l}}, \quad (11)$$

kus h – tinglik takistuse ja saha vaheline horisontaalkaugus, m;
 l – vedru siire, m.

Horisontaalkauguse h (m) leidmiseks kasutati valemit (12) [10, p. 304]:

$$h = \frac{v^2}{2 \times a}, \quad (12)$$

kus v^2 – laaduri kiirus takistusega kokkupõrkumise hetkel, arvestatud sahkamise kiirusest 35 km/h, 9,72 m/s;
 a – vedru kokkusurumise kiirendus pikkusele 0,195 m, m/s².

Leitakse tinglik horisontaalkaugus valemi (12) järgi:

$$h = \frac{9,72^2}{2 \times 10,65} = 4,44 \text{ m}.$$

Leitakse lööki arvestav dünaamikategur valemi (11) järgi:

$$k_d = 1 + \sqrt{1 + \frac{2 \times 4,44}{0,135}} = 9,17.$$

Saadud tulemus näitab, et antud juhul ületab sahaga kokkupõrkava takistuse dünaamiline mõju 9,17 korda tema staatilise mõju.

Leitakse rõhumisjõud F_N (N) metallist takistusele, kui saha poolt rakendatakse maksimaalne jõud takistusele aeglaselt ja rahulikult valemi (13) [10, p. 305] järgi:

$$F_N = \frac{F_v}{f}, \quad (13)$$

kus F_v – vedru maksimaalne kokkusurumisjõud pikkusel 195 mm, N;
 f – hõõrdetegur betooni ja terase vahel, 0,4 [5, p. 41].

Leitakse rõhumisjõud vastavalt valemile (13):

$$F_N = \frac{14700}{0,4} = 36750 \text{ N}.$$

Leitakse maksimaalne takistuse mass m_r (kg), mida lükates vedru jõuab aeglaselt ja rahulikult täisvõimsusel lükata järgmise valemi (14) [10, p. 305] järgi:

$$m_r = \frac{F_N}{g}, \quad (14)$$

kus F_N – rõhumisjõud, N;
 g – raskuskiirendus, 9,81 m/s² [5, p. 36].

Leitakse mass vastavalt valemile (14):

$$m_r = \frac{36750}{9,81} = 3746 \text{ kg}.$$

Leitakse maksimaalne takistuse mass m_l (kg), mida sahk jõuab löögiga kiirusel 35 km/h lükata järgneva valemi (15) [10, p. 305] järgi:

$$m_l = \frac{m_r}{k_d}, \quad (15)$$

kus m_r – maksimaalne takistuse mass ühtlaseks lükkamiseks, kg;
 k_d – dünaamikategur

Leitakse mass vastavalt valemile (15):

$$m_l = \frac{3746}{9,17} = 409 \text{ kg}.$$

Saadud tulemus näitab, et kiirusel 35 km/h sahatas suudab vedru takistusega kokkupõrkel vastu võtta koormust, mille mass on 409 kg. See näitab, et igal juhul on vedru piisava jõuga selleks otstarbeks. Reaalses elus selliseid juhtumeid ilmselt esineb harva või üldse mitte, kuid arvutuskäiguga tõestati, et vedru sobib sellele tootele ka äärmuslikes olukordades.

4 MAJANDUSLIK OSA

Projekti omahinna kalkulatsioon on tootmisprotsessi lahutamatu osa ja annab ligilähedase ülevaate saha tootmiseks tehtavatest kulutustest. Baasettevõttes on välja töötatud kulutabel, mis arvestab nende tootmise iseloomu ja majandamiskulusid. Konstruksioonide tootmiseks kuluva töömahu hindamiseks vajalik informatsioon on hangitud tootmisjaoskonnast.

Lumesaha tootmiseks vajalike kulukohtade all on välja toodud toorme maksumus, mille moodustavad kõik leht- ja profiilmaterjalid. Ostutoodete alla kuuluvad kinnitusvahendid, survevedrud, hüdraulika komponendid k.a. hüdrojagaja koos juhtimisseadmega, tugirattad ning laagrid. Ostutoodete hulgas on ka kulutused masintöötusele, kuna ettevõttel puudub võimekus suuri keeviskooste järeltöödelda, tuleb seda allhankena sisse osta. Üldkulude all mõeldakse halduskulusid, kulutusi elektrile ning küttele, kontorikulu ja amortisatsiooni. Lumesaha oma- ja müügihinna hinna kujunemine on kokku võetud alljärgnevalt (Tabel 5):

Tabel 5. Lumesaha omahinna ja müügihinna kujunemine.

Kulukoht	Maksumus; €
Materjalid	1624
Palgakulu	837
Ostutooted	2560
Tootmiskulud	5021
Üldkulud 200% palkadest	1674
Omahind	6695
Kasum 10%	669.5
Müügihind	7364.5

Konkureerivate toodete võrdlus on välja toodud alljärgnevalt (Tabel 6):

Tabel 6. Müügihindade võrdlus.

Konkureeriv toode	Müügihind, €	Arendatud toode; €	Hinnaerinevus, %
Estre VP-4.0	6420	7365	15
Meiren TSP4002	8490		-15
Sami VB-4000	7530		-2

Müügihinna kujundamine ei olnud küll lõputöö eesmärk, aga võrdlus annab ülevaate projekteeritud toote positsioonist turul.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli arendada välja uus 5 m lumesahk, mille käigus võeti aluseks eelnevalt tootmises olnud analoog, mis oli nii mõneski mõttes moraalselt vananenud. Projekti käigus analüüsiti saha olulisemaid koostusid leidmaks optimaalsemaid lahendusi.

Töö käigus alandati saha massi võrreldes eelneva tootega 350 kg võrra, saades tulemuseks 1380 kg varasema 1730 kg asemel. Selle saavutamiseks leiti alternatiivsed lahendused siiani kasutatud massiivsetele profiilidele lehtmaterjale kasutades, võttes arvesse baasettevõtte laoseisus hoitavate lehtprofiilide valikut. Optimeerimise tulemusena alandati lumesaha ühe hõlma massi 105 kg võrra ning vaheraami massi 123 kg võrra. Konstruksioonide vastupidavuse kontrollimiseks teostati tugevusanalüüs olulisematele koostudele.

Ühes vaheraamiga muudeti täielikult ka ujuvasendi ehitust, sest varasemalt lahendatud sõlm ei andnud soovitud tulemusi. Selleks eemaldati kontaktset metallpinnad, minnes üle teras/plast lahendusele, mis tähendas rohkema plastpindade kasutamist kuludetailidena. Lisaks varasema lokaalse keskelt toetatud süsteemi asemel hajutati toetuspunktid laiali raami äärtesse, saavutades suurema toetuspinna.

Projekteerimise käigus muudeti terahoidja kinemaatikat, mille käigus muudeti selle pöörlemistsentri asukohta, viies selle saha hõlma esiküljele. Muudatuse tulemusel saavutab saha tera pööratud asendis suurema kõrguse sahatavast pinnast ning ei hakka esmajoones tervet konstruktsiooni tõstma, kui peaks toimuma kokkupõrge mõne madalama objektiga pinnal. Kui tera on pööratud maksimaalselt, saavutatakse kõrguseks 43 mm varasema 5 mm asemel.

Terahoidjate paremaks toimimiseks vahetati välja survevedrud, saavutamaks suurem kokkusurumise siire ning terade piisava liikumise ulatus uue kinemaatikaga. Vedrude jõu kontrollimiseks viidi läbi füüsiline testimine selleks ehitatud spetsiaalse abinõuga. Saadud tulemustele toetudes tehti läbi arvutused ning leiti, et laaduri liikumisel 35 km/h suudab vedru võtta vastu löögi maas lebavalt kehalt, mille mass on 409 kg.

Projekteeritud lumesahk vastab püstitatud eesmärkidele. Varasema tootega võrreldes saavutati märgatav massi erinevus, kasutades bassettevõtte laomaterjale, konstruktsiooni tugevuses järeleandmisi tegemata tema sihtotstarbeliseks kasutamiseks.

SUMMARY

The purpose of this graduation thesis was to develop a new 5 m snow plough, which was based on an analogue that had previously been in production and was morally outdated in some ways. In the course of the project, the most important assemblies of the snow plough were analyzed in order to find more optimal solutions.

During this thesis, the weight of the snow plough was reduced by 350 kg compared to the previous product, resulting in 1380 kg instead of the previous 1730 kg. To achieve this, alternative solutions were found to the massive profiles used so far using sheet material, taking into account the choice of sheet profiles held in stock by the base company. As a result of the optimization, the weight of one snow plough was reduced by 105 kg and the weight of the midframe by 123 kg. To check the durability of the structures, a strength analysis were performed for the most important assemblies.

Along with the midframe, the construction of the floating position was completely changed, because the previously solution did not give desired results. To achieve this, the contacted metal surfaces were removed by switching to a steel / plastic solution, which meant using more plastic surfaces as wear components. In addition, instead of the previous center-supported system, the support points were spread to the edges of the frame, achieving a larger support area.

During the design, the kinematics of the blade holder was changed by moving the position of its center of rotation and bringing it to the front of the plough panel. As a result of the change, the wearblade reaches a greather height from the contactsurface in the angeled position and will not start lifting the entire structure at first, if a collision with an object occurs on the surface. When the blade is rotated to the maximum, the height is 43 mm instead of the previous 5 mm.

For better performance of the blade holders, compression springs were replaced to achieve greater compression displacement and sufficient blade movement with the new kinematics. To check the strength of the springs, a physical test was performed with a special tool built for this purpose. Based on the results obtained, calculations were performed and it was found that when the loader moves at 35 km / h, the spring can receive a kick from a body lying on the ground with a mass of 409 kg.

The designed snow plow meets the set goals. Compared to the previous product, a significant difference in weight was achieved by using the warehouse materials of the base company without compromising the strength of the structure for its intended use.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Expert Baltic OÜ, "PALGARDI KRAANA GRUPP," [Online]. Available: <http://expertbaltic.ee/meist/palgardi-kraana-grupp>. [Accessed 8. märts, 2021].
- [2] "Grader service kuluterad," [Online]. Available: <http://www.grader.ee/toodang/kuluvterad-sahatera/tasatera/>. [Accessed 06. Aprill, 2021].
- [3] H. Europe, "Hyundai HL970," [Online]. Available: <https://www.hyundai-ce.eu/products/loaders/wheel-loaders/hl970#product-specifications>. [Accessed 08. märts, 2021].
- [4] R. Soots, in *Hüdraulika ja hüdroseadmed II osa*, Tallinn, Tallinna Tehnika kõrgkool, 2005.
- [5] P. Kulu, *Mehaanikainseneri käsiraamat*, Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2015.
- [6] SSAB, "Eriteras Strenx 700," [Online]. Available: <https://www.ssab.com/products/brands/strenx/products/strenx-700-e-f?accordion=workshop>. [Accessed 08. märts, 2021].
- [7] "Piippohydraulic," [Online]. Available: <https://www.piippohydraulic.com/Solenoid-cont-6-2-directional/ekauppa/pE6212PV-24V/>. [Accessed 08. märts, 2021].
- [8] "Hydroscand service rõhuaku," [Online]. Available: <https://www.hydroscand-service.ee/Details/11FD01-210-0.75E?lang=et>. [Accessed 11. mai, 2021].
- [9] R. Soots, *Hüdraulika ja hüdroseadmed*, Tallinn: Tallinna Tehnika Kõrgkool, 2009.
- [10] P. Stepin, *Tugevusõpetus*, Tallinn: Valgus, 1970.
- [11] Expert Baltic OÜ, "Expert Baltic OÜ tooted," [Online]. Available: <http://expertbaltic.ee/tooted>. [Accessed 08. märts, 2021].
- [12] "Engineering toolbox," [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/metric-bolts-minimum-ultimate-tensile-proof-loads-d_2026.html. [Accessed 08. märts, 2021].
- [13] TKTK, "Keevisliidete tähistamine," [Online]. Available: <https://eprints.tktk.ee/id/eprint/180/2/Keevisliited%20ja%20keevitusasendid/keevisliidete-taumlhistamine-joonistel.html>. [Accessed 08. märts, 2021].
- [14] "Baltic Bolt Kinnitusvahendid," [Online]. Available: <https://www.balticbolt.ee/Products/IndexByGroup?groupId=87>. [Accessed 09. märts, 2021].

LISAD

Lisa 1. V-lumesaha lõppkoost

Lisa 2. V-lumesaha lõppkoostu piirasendid

Lisa 3. Vaheraami koostejoonis

Lisa 4. Vaheraami töötlusjoonis

Lisa 5. Hõlma koostejoonis

Lisa 6. Terahoidja koostejoonis

Lisa 7. Survevedru koostejoonis