



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Mehaanika ja tööstustehnika instituut

**BIOMASSIKATLA KÜTUSE
ETTEANDEMEHCHANISMI TÖÖPÕHIMÕTTE
TEHNILINE ANALÜÜS JA VÕIMALIKE
TEHNILISTE ALTERNATIIVLAHENDUSTE
VÕRDLUS**

**TECHNICAL ANALYSIS OF THE OPERATING PRINCIPLE
OF THE BIOMASS BOILER FUEL FEEDER MECHANISM
AND COMPARISON OF OTHER POSSIBLE TECHNICAL
ALTERNATIVE SOLUTIONS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Mati Raadik
/nimi/

Üliõpilaskood 192446

Juhendaja: Maarjus Kirs, teadur
/nimi, amet/

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad,

kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Mati Raadik (*autori nimi*) (sünnikuupäev: 25.12.1996)

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose **Biomassikatla kütusse etteandemehhanismi tööpõhimõtte tehniline analüüs ja võimalike tehniliste alternatiivlahenduste võrdlus,**

mille juhendaja on, Maarjus Kirs,

(*juhendaja nimi*)

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

_____ (*allkiri*)

_____ (*kuupäev*)

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Mati Raadik, 192446MATM

Õppekava, peeriala: MATM02/18

Juhendaja(d): Maarjus Kirs, teadur

Lõputöö teema:

(eesti keeles) Biomassikatla kütuse etteandemehhanismi tööpõhimõtte tehniline analüüs ja võimalike alternatiivlahenduste võrdlus

(inglise keeles) Technical analysis of the operating principle of the biomass boiler fuel feeder mechanism and comparison of possible technical alternative solutions

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida olemasolevat tehnilist lahendust
2. Analüüsida alternatiivseid tehnilisi lahendusi
3. Valmistada parima alternatiivlahenduse üldjoonised/eelprojekt

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Olemasoleva tehnilise lahenduse analüüs, nende eelised ning puudused	01.04.2021
2.	Alternatiivsete lahenduste analüüs, nende eelsied ning puudused	14.04.2021
3.	Parima lahenduse projekteerimine	01.05.2021

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg: "26" mai 2021a

Üliõpilane: Mati Raadik "26" mai 2021a
/allkiri/

Juhendaja: Maarjus Kirs "26" mai 2021a
/allkiri/

Programmijuht: Martin Eerme "26" mai 2021a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	8
SISSEJUHATUS	9
1 OLEMASOLEVATE ETTEANDESÜSTEEMIDE ANALÜÜS	11
1.1 Kruvikonveieri baasil lahendused	11
1.1.1 Elav põhi	12
1.1.2 Lineaarne korje-kruvikonveier	13
1.1.3 Toru-kruvikonveier	14
1.2 Kõndivpõrand	14
1.3 Liikuvpõrand	15
1.4 Kraapkonveier	16
1.5 Olemasolevate etteandesüsteemide võrdlus	17
2 ETTEANDESÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE	18
2.1 Nõuete loetelu	18
2.2 Funktsioonistruktuur	19
2.3 Morfoloogiline maatriks	20
2.4 Lahendusvariandid	20
2.4.1 Lahendus 1	21
2.4.2 Lahendus 2	22
2.4.3 Lahendus 3	23
2.4.4 Lahendus 4	24
2.5 Hindamismaatriks	25
2.5.1 Maksumus	25
2.5.2 Lahenduse keerukus	25
2.5.3 Hoolduskulud	25
2.5.4 Sobivus niiske biomassiga	25
2.5.5 Jäätumine	26
2.5.6 Eluiga	26
2.5.7 Ohutus	26
2.5.8 Tootlikkuse reguleerimine	26
2.6 Hindamismaatriksi tulemus	27

3	KONSTRUKTSIOONI PROJEKTEERIMINE.....	28
3.1	Materjali nihutamine.....	29
3.1.1	Raami tõmbekäik.....	29
3.1.2	Raami lükkikäik.....	29
3.1.3	Materjalikuhja edasiliikumine.....	30
3.2	Labale mõjuv jõud liigumise tsüklite ajal.....	30
3.2.1	Tõmbekäigul liikuvale labale mõjuvad jõud.....	31
3.2.2	Tõmbekäigul statsionaarsele labale mõjuvad jõud.....	32
3.2.3	Lükkikäigul labadele mõjuvad jõud.....	33
3.3	Raamile mõjuvad jõud.....	33
3.4	Jõuarvutuste kontroll.....	34
3.5	Seadme tootlikkus ja töötsükkel.....	36
3.6	Kulumine.....	36
3.7	Jäätunud materjal.....	37
3.8	Tugitalad.....	37
3.9	Seadme turvalisus.....	38
4	TUGEVUSANALÜÜS.....	39
4.1	Raami laba.....	39
4.2	Raami siire.....	41
4.3	Alustugi.....	44
5	KOKKUVÕTE.....	47
6	SUMMARY.....	49
7	KASUTATUD KIRJANDUS.....	51
8	GRAAFILINE OSA.....	53
1.	A000 (Liikuvpõrand, formaat A2).....	53
2.	A001 (Raam, formaat A3).....	53
3.	A002 (Alustugi, formaat A3).....	53
4.	A003 (Liikuva laba keeviskoost, formaat A4).....	53
5.	A004 (Liikuv laba, formaat A4).....	53
6.	P006 (Liikuva laba kaldpind, formaat A4).....	53
7.	P007 (Liikuva laba põhi, formaat A4).....	53
8.	P008 (Raami plaat, formaat A4).....	53
9.	P014 (NKT 100x100 L1661 t=10, formaat A4).....	53
10.	P018 (Tugiplaat, formaat A4).....	53

11. P028 (Puks, formaat A4) 53

EESSÕNA

Käesoleva magistritöö keskendub AS Stora Enso Imavere saeveski biomassi katelde kütuseladude probleemide lahendamisele. Saeveski tehnikajuhi Paul Tiisaare algatusel sõnastati lõputöö teema. Töös analüüsiti olemasolevat ning alternatiivseid lahendusi ning konstrueeriti probleeme lahendav konstruktsioon.

Seadme projekteerimiseks koguti andmeid ettevõtete AS Stora Enso Imavere saeveski ja AS Barrus katlamajadest.

Magistritöö juhendajaks on Tallinna Tehnikaülikooli mehaanika ja tööstustehnika instituudi teadur Maarjus Kirs.

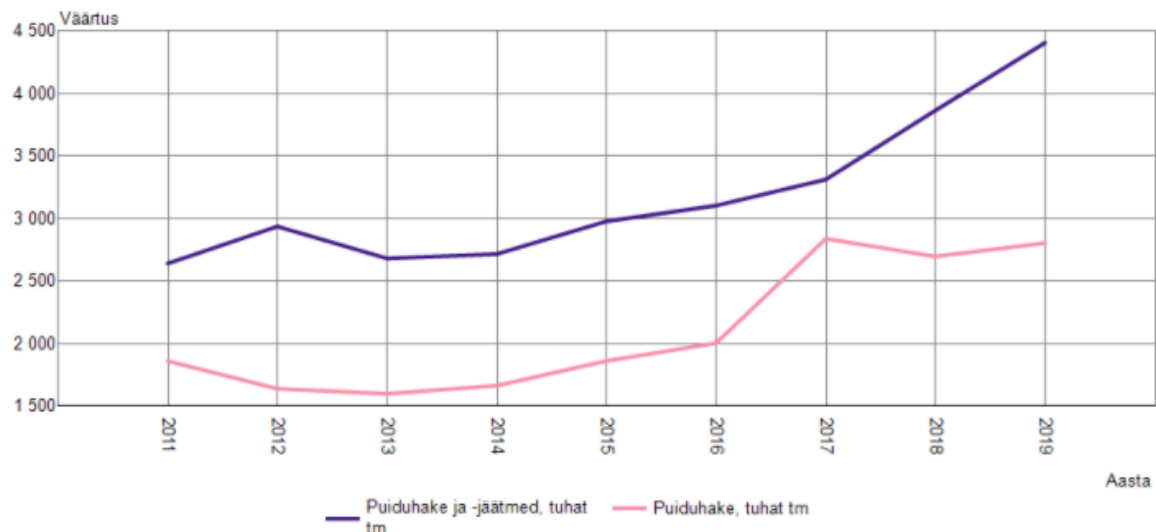
Avaldan tänu järgnevatele isikutele:

- Martin Eerme ja Tarmo Velsker, kes aitasid leida lõputöö teema,
- Maarjus Kirs, kes samuti aitas leida lõputöö teema ning kellega lõputöö kirjutamise sai konsulteerida,
- Paul Tiisaar, kes aitas püstitada lõputöö teema,
- Mihkel Keisk, kes aitas lähteandmeid koguda,
- Raul Metsunt, kes selgitas katla seadmete tööd ning kütuselao probleeme,
- Üllar Rohtla, kelle abil koguti töötava seadme andmeid.

SISSEJUHATUS

Modernsed ja tulevikku vaatavad ettevõtted uurivad ja rakendavad viise, kuidas oma energiatarbimist vähendada või muuta rohelisemaks. Tootmisettevõtetel, eriti puidutööstuses, tekib palju tootmisjääke mida on tarvis üht- või teistviisi käidelda. Levinud praktika on puidujäägid purustada puiduhakkeks ning tarnida need biomassi katlasse. Biomassi katlas põletatakse puiduhake keskkonnasäästlikult, saades soojusenergiat. Seda soojusenergiat on võimalik suunata kohalikku kaugkütte võrgustikku või siis oma tootmisprotsesside tarbeks. Lisaks arvestatakse hetkel biomassi põletamist süsinikneutraalseks, sest põletatav puit on eelnevalt kasvuperioodis sidunud endaga põletamisel eralduva süsiniku.

Eesti puiduhake ja -jäätmekatlad põletasid 2019. aastal ligikaudu 4500 tuhat tihumeetrit puitkütust, milles ligi pool on puiduhake (vt Joonis 0.1).



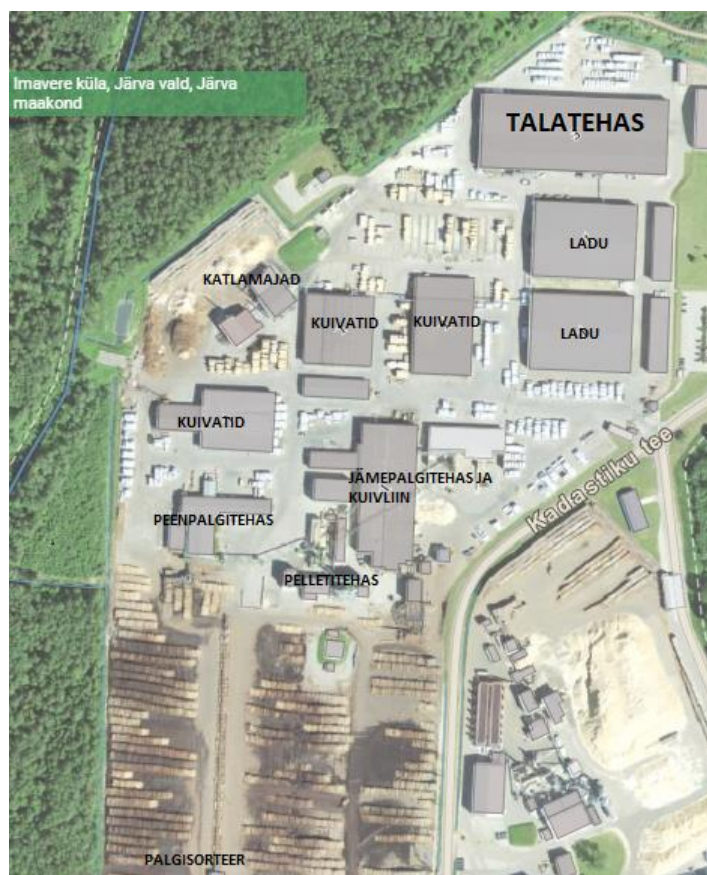
Joonis 0.1 Puitkütte tarbimine Eestis aastatel 2011-2019 [1]

Biomassi katelde üheks oluliseks osaks on kütusehoidla. Tänapäevane kütusehoidla töötab viimase puhvrina, kus inimene biomassiga kokku puutub katlamajas. Kütusehoidlas on seade, mis vastavalt biomassi katlas toimival põlemisele liigutab biomassi kütusetranspordööri, mis omakorda varustab katla küljes olevat kütuse toiteseadet.

Käesoleva magistritöö fookuses on biomassi etteandva kütuselao seadme analüüs, võimalike alternatiivsete lahenduste kaardistamine ning parima lahenduse projekteerimine tuginedes olemasolevalt seadmelt kogutud andmetele. Eesmärk on projekteerida seade ja selle osad, mis lahendaksid olemasoleva kütuselao etteandeseadme probleeme.

Olemasolev uuritav kütuselao seade on kasutusel Stora Enso AS Imavere saeveski katlamajades, millel on olulised probleemid konstruktsiooni ning tootlikusega. Seadme liikuvad osad kuluvad ning tootlikkus on ebaühtlane, eriti külmemal perioodil. Tootlikuse langusega väheneb ka katlast saadava soojusenergia hulk ning see mõjutab muid saeveski tootmisprotsesse, peamiselt toodangu kuivatamist (vt Joonis 0.2).

Imavere saeveski on üks Stora Enso saeveskitest, kus toodetakse saematerjali, töödeldud puitu, talasi ning ka pelletteid. Iga kuu väärindatakse seal vähemalt viiskümmend viis tuhat tihumeetrit palki. Kõrgema kvaliteediga jääkidest toodetakse küttepelletteid ning muud vähemväärtuslikud jäägid põletatakse biomassi katlas.



Joonis 0.2 Imavere saeveski kompleks

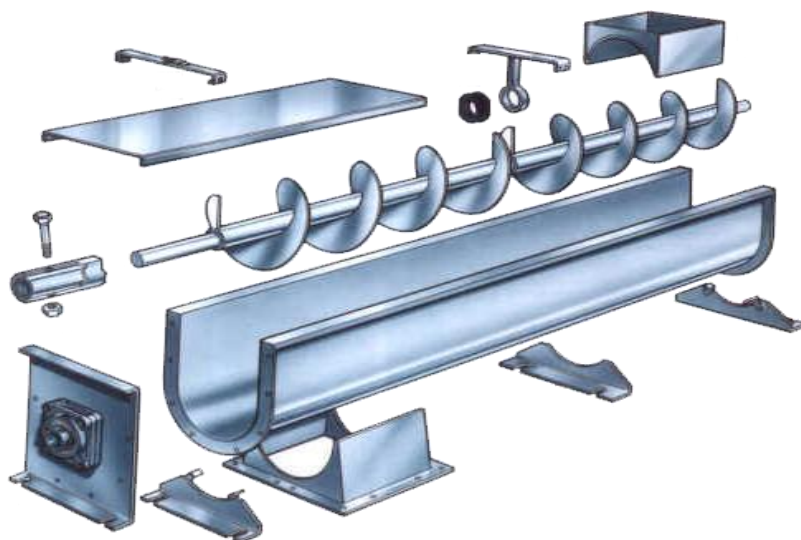
Seadme 3D projekteerimiseks kasutatakse tarkvara Autodesk Inventor 2021 ja tugevusanalüüside tegemiseks Ansys 2019 R2. Muud arvutused on tehtud Excel tabelarvutusprogrammi abil.

1 OLEMASOLEVATE ETTEANDESÜSTEEMIDE ANALÜÜS

Biomass, mida kateldes põletatakse tarnitakse kütuselattu puistematerjalina. See võib koosneda mitmest erinevast tootmisprotsessit tekkinud jääkidest ning seetõttu koosneb ka puistematerjal erinevate suurustega ja omadustega fraktsioonidest. Käesolevas peatükis vaadeldakse puistematerjali ladude süsteeme, mis on võimelised puistematerjali kuhja kokku korjama ja suunama soovitud kitsamasse paika.

1.1 Kruvikonveieri baasil lahendused

Kruvikonveierid on laialdaselt levinud seadmed puistematerjali käitlemisel. Neid kasutatakse peeneteralisest pulbrist kui ka suuremate fraktsioonidega materjalide liigutamisel. Kruvikonveier koosneb enamasti juhtudel võllist ning selle ümber olevast spiraalsest labast. Spiraalne laba on ümbritsetud lehtmetailist kanaliga, millel on materjali voolamiseks tehtud soovitud kohtadesse avad. Puistematerjali liigutamiseks pöörleb kruvikonveieri võll ning nihutab materjali mööda konveierilaba edasi. Konveieri võllile mõjuvad aksiaalsed jõud ning spiraalsele labala hõõrdejõud materjali ning laba vahel. Kruvikonveiereid saab ka ehitada kinniselt, tehes need tolmu- ja niiskuskindlamaks, sellised on näiteks kasutusel teraviljakombainide punkrite haagisele tühendamiseks. Peamised kruvikonveieri komponendid on äranäidatud Joonisel 1.1. [2]



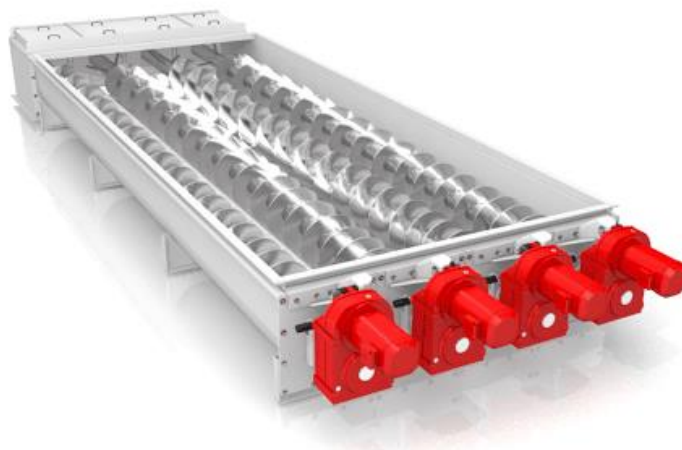
Joonis 1.1 Kruvikonveieri peamised komponendid [2]

Kruvikonveierite laba konstruktsiooniga saab muuta materjali liikumist kanalis vastavalt materjalile. Kasutatakse ka muutuva sammu ja või diameetriga konveieri laba, muutes võllile mõjuvaid jõudusi ning materjali liikumise kiirust. Kruvikonveier

lahenduste suureks eeliseks on kiire reageerimiskiirus tootlikuse suhtes, kus tootlikust saab kiiresti muuta ajami pöörlemissageduse kaudu.

1.1.1 Elav põhi

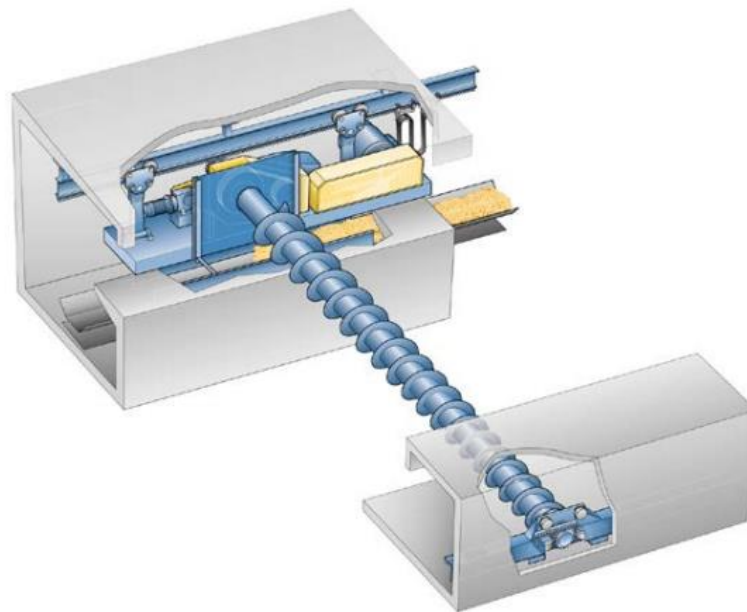
„Elav põhi“ (ingl k *Live bottom screw feeder*) on kruvikonveier seade, millel on paigutatud paralleelselt mitu kruvikonveierit (vt Joonis 1.2). Konveieri kanal on kaetud ainult külgedelt ja põhjast, jättes pealmise poole vabaks. Lai lahtine pealmine tahk võimaldab kõrvaldada materjali sildumise probleemi, eemaldades pinna kuhu saab materjal toetuda. Kõrvuti olevate konveieri spiraalsed labad on paigaldatud peegelpildis ning võllid pöörlevad vastassuunaliselt. Sellise konstruktsiooni korral liigub materjal seadmes ühtlaselt soovitud suunas ning ei segune oluliselt. Elektrimootorite juhtimise abil on võimalik vastavalt vajadusele muuta seadme tootlikust. Lisaks ei teki multikruvikonveieril olulist „surnud tsooni“ liikuvate osade kohale, kus materjal seisab paigal. Vastukaaluks eelistele, on mitme kõrvuti paikneva kruvikonveieri baasil lahenduse puuduseks võimekus omada kõrget materjalikuhja, mis toetub konveieri võllidele. Kuhja kõrgus mõjutab läbi raskusjõu oluliselt vajaminevat pöördemomenti kruvi pööramiseks ning tekitab olulise läbipainde võllidele. Selle probleemi lahendamiseks on võimalik toetada konveieri võlle laagerdatud tugevdega, kuid iga toega võib tekkida oht ummistuste tekkeks konveieri renni põhjas. Võõrkehade sattumisel konveierisse võib seade ummistuda või võlli labad puruneda. [3]



Joonis 1.2 Multikruvikonveier SB400 [4]

1.1.2 Lineaarne korje-kruvikonveier

Lineaarsed korje-kruvikonveierid (ingl k *Linear screw reclaimer*) on puistematerjali teisaldamise seadmed, mida kasutatakse näiteks suuremates puidutööstustes saepuru korjeks laost. Tegemist on kruvikonveieriga, mis on paigaldatud relssidele võimaldamaks lineaarset liikumist lao pinna suhtes (vt Joonis 1.3). Olenevalt konveieri võlli pikkusest võidakse konveierit liigutada pikki relsse mõlemast või ainult ühest konveieri otsast. Konveieri võlli pööreldes liigutatakse materjali ühe või teise relssi poole, kus kukub materjal järgmise transportööri peale. Taolise korje-kruvikonveieri eelisteks on väga suure lao mahutavuse võimalikkus. Lahendusele on omane, et konveierile kuhjuv materjal langeks vertikaalselt peale. Frontaallaaduriga kuhja nihutades kruvikonveieri telge sihis on oht vigastada relssidel paiknevat mehhanismi. [5]



Joonis 1.3 Lineaarne korje-kruvikonveier [5]

1.1.3 Toru-kruvikonveier

Toru-kruvikonveier (ingl k *TubeFeeder*) on lihtsa kruvikonveieri ning lineaarse korje-kruvikonveieri edasiarendus. Sellel seadmel on konveieri labadega võll paigutatud omakorda avadega toru sisse, kus toru välisküljel iga ava juures on hambad (vt Joonis 1.4).



Joonis 1.4 Saxlund *TubeFeeder* seade [6]

Välimise toru pöörlemisel haaravad hambad materjalikuhjast materjali toru sisse, milles kruvikonveier toimetab materjali transportööri poole. Toru eesmärk on vähendada kruvikonveierile mõjuvat survejõudu materjali poolt, vähendamaks ka tekkivat hõõrdejõudu. Nii säästetakse oluliselt kokku materjali nihutamisele kuluvat energiahulka. Toru-kruvikonveierit liigutatakse samamoodi lineaarselt silo põranda suhtes kui toru pöörleb. Sedalaadi seadme eeliseks on madalam energiakulu kuid suureks puuduseks on oluliselt kõrgem seadme maksumus ning kleepuva materjali korral võivad välimise toru avad ummistuda.[6]

1.2 Kõndivpõrand

Horisontaalseks materjalide liigutamiseks kasutatakse ka „kõndiva põranda“ (ingl k *Walking floor*) lahendust. See lahendus on levinud veoauto treileritelt puistematerjali mahalaadimiseks, sest see ei vaja treileri kallutamist. Mahalaadimise mehhanism koosneb pikkadest, suhteliselt kitsastest lattidest (vt Joonis 1.5). Need latid on põrandal paigutatud üksteise kõrvale nii, et lattide vahed on võimalik tihendada. Latid on omavahel grupiviisiliselt seotud, kus ühe lati kõrvale olevad latid kuuluvad alati erinevatesse gruppidesse. Lattide grupe liigutatakse hüdrotsilindritega teatud tsükliks, kus materjali liigutamise tsükliks liiguvad kõik grupid korraga edasi ning lattide tagasikäigu tsükliks liigutatakse grupe ühekaupa tagasi. [7]



Joonis 1.5 Kõndivpõrand hakkepuidu traileris

Ühekaupa lattide gruppe liigutades jääb materjalikuhi paigale. Korraga liigutades kõiki latte liigub materjalikuhi aga edasi, sest see toetub enamjaolt liikuvale seadme osale. Materjali liikudes kõndiva põranda servale lõpeb materjali alt tugipind ära ning materjal valgub gravitatsiooni jõul kõndiva põranda pealt ära. Sedalaadi seadme suureks eeliseks on võimekus kogu materjalikuhja korraga liigutada. Lisaks ei toimu olulist materjali sisest hõõrdumist või lõikumist. Oluliseks puuduseks on aga suur detailide kogus ning ühe detaili purunemise korral on kogu seadme töö ohustatud.

1.3 Liikuvpõrand

Enamlevinud seade kütuselao etteandjasüsteemides on liikuvpõrand (ingl k *Push Floor*). See seade koosneb terasest roopidest, mida liigutatakse hüdrotsilindritega. Roobid on paigaldatud silo põrandale üksteise kõrvale koos juhtpindadega, mis takistavad roobi nihkumist külgsuunas ning vertikaalselt. Roop kujutab geomeetriliselt redelit, kus ühe või kahe tala külge on sellega risti paigaldatud ristlõikelt täisnurkse trapetsi või kolmnurga kujulised labad. Roobi liikudes ühes suunas on materjalil võimalus libiseda üle roobi laba kuid teisipidi liikudes materjali lükatakse liikumise suunas. Hüdrotsilindrid on paigaldatud roopide otsaserva, kuhu seade materjali liigutab. Seadme tootlikus sõltub oluliselt roobi geometriast ja liigutatava materjali omadustest. Liikuvpõranda põhja monteeritakse vajaduse korral ka terasest plaadid, mis tekitavad jäigema ning kulumiskindlama põhja, mille peal roope ning materjali liigutatakse. [8]



Joonis 1.6 Liikuvpõrand nelja roobiga [9]

1.4 Kraapkonveier

Kraapkonveier (ingl k *Scraper conveyor*) on seade, kus materjali liigutavaks osiseks on kett, mille külge on paigaldatud laiad labad. Kett toetub liugpindadel ning ketiratastel ning ajamiseks on elektrimootor. Vastavalt laba laiuse vajadusele võidakse paigaldada üks labajooks kahe keti vahele. Keti ajami käivituses liigutatakse konveieri labasi ning labad haaravad nende peale kuhjunud materjali kaasa. Kraapkonveieri kasutamine on väga levinud põllumajanduses sõnnikulaoturite mehhanismi osana ning ka mäetööstuses. [10]



Joonis 1.7 Kraapkonveier sõnnikulaoturis [11]

1.5 Olemasolevate etteandesüsteemide võrdlus

Tabel 1.1 Etteandesüsteemide võrdlus

Lahendus	Eelised	Puudused
„Elav põhi“	<ul style="list-style-type: none"> Materjal ei tekita sildasi Ühtlane tootlikus Ei tekita olulisi „surnud tsoone“ 	<ul style="list-style-type: none"> Võõrkehade korral ummistub Materjali kuhja kõrgus piiratud Piiratud konveieri pikkus
Lineaarne korje-kruvikonveier	<ul style="list-style-type: none"> Piiramatu silo laius Lihtne ummistusi likvideerida Ühtlane tootlikus 	<ul style="list-style-type: none"> Keeruline konstruktsioon Kõrge maksumus Ei ole kompaktne
Toru-kruvikonveier	<ul style="list-style-type: none"> Piiramatu silo laius Lubatud kõrgem materjalikuhhi Kõrgema kasuteguriga 	<ul style="list-style-type: none"> Kõrged hoolduskulud Keeruline konstruktsioon Kõrge maksumus Ei ole kompaktne
Kõndivpõrand	<ul style="list-style-type: none"> Materjalikuhhi liigub korruga Kõrge kasutegur Sobib enamike materjalide käitlemiseks 	<ul style="list-style-type: none"> Konstruktsioon mõõdukalt keeruline Vajab aegajalt inspekteerimist Komponentide suur kogus
Liikuvpõrand	<ul style="list-style-type: none"> Väga lihtne konstruktsioon Lubatud kõrge materjalikuhhi Kompaktne Vähe komponente 	<ul style="list-style-type: none"> Tootlikus sõltub oluliselt liigutatavast materjalist
Kraapkonveier	<ul style="list-style-type: none"> Haarab materjali silo põhjast Lihtne konstruktsioon 	<ul style="list-style-type: none"> Materjalikuhja kõrgus oluliselt piiratud Laius oluliselt piiratud Ummistus võib kaasa tuua kõrge remondikulu.

Eelnevast võrdlustabelist (Tabel 1.1) saab järeldada, et kruvikonveieri ja selle edasiarendatud lahendused on tootlikuse poolest ühtlased ning võimelised kiiresti reageerima nõutava tootlikuse muutuse poolest. Samas ei võimalda kruvikonveieri kasutus tekitada silosse kõrget materjalikuhja, mis suurendaks potentsiaalselt silo täitmistevahelist aega. Kruvikonveieritel, välja arvatud toru-kruvikonveieril, on see probleem tingitud olulisest raskusjõust, mis konveieri võlli deformeerib.

Kõndivpõranda lahendus on ideaalne silodes, kus silo tühjeneb täielikult ning on võimalus mehhanismi seisukorda kontrollida. Liikuvpõranda juures on olulisim, et käsitletav materjal vastaks seadme nõuetele, vastasel juhul langeb tootlus oluliselt.

2 ETTEANDESÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE

2.1 Nõuete loetelu

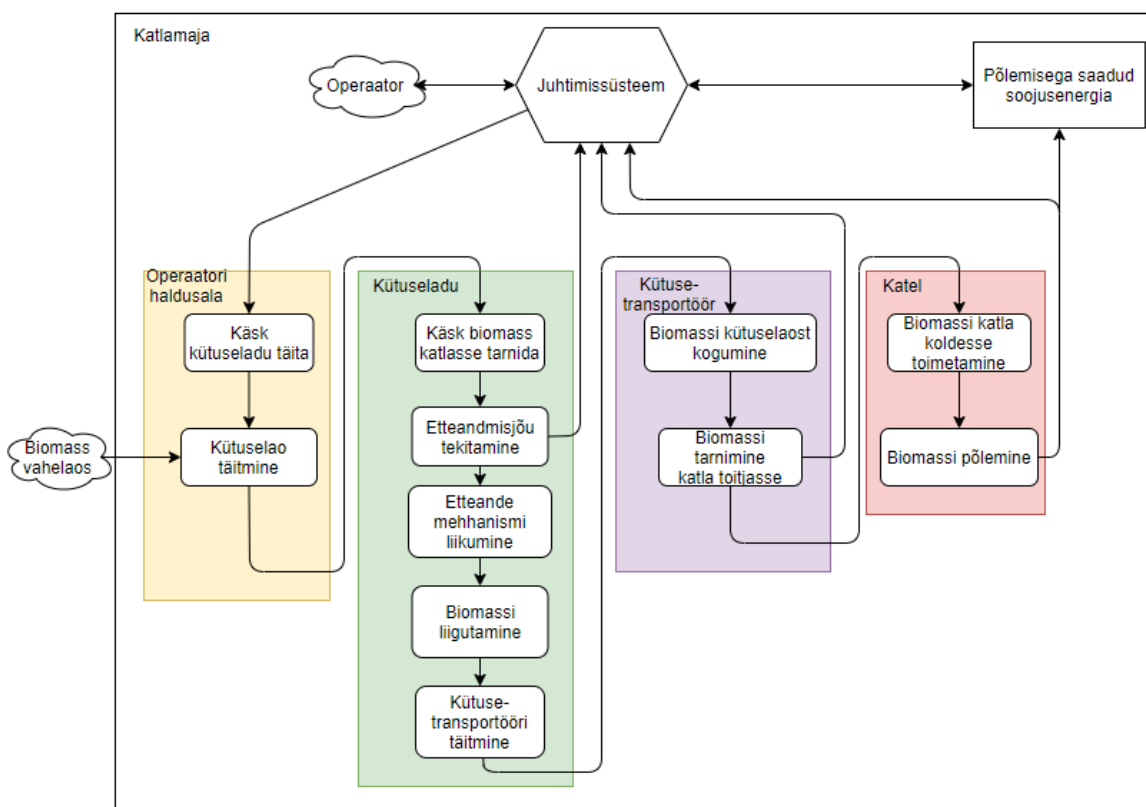
Projekteerimise lähteandmeteks on ära kaardistatud nõuded ja soovid. Peamiselt soovitakse olemasoleva silo ning masinaruumi mahtuvat lahendust. Allpool olevast nõuete loetelust Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nõuete loetelu

Spetsifikatsioon	Projekt: Biomassi kütusehoidla	Nõue	Soov
1. Funktsioon			
Kütusehoidla ladustab biomassi		X	
Kütusehoidla ettesöötja varustab kütusetransportööri automaatselt biomassiga		X	
2. Tehnilise protsessi tingimused			
• Biomassi kuhja kõrgus kuni 6 m		X	
• Biomassi kuhja laius 11,7 m		X	
• Biomassi kuhja pikkus 10 m		X	
• Biomass 65% puukoor, 35% hakkepuut		X	
• Biomassi niiskus on 60%		X	
• Biomassis võib harva esineda võõrkehi		X	
• Biomass sisaldab vähesel määral liiva ja kive		X	
• Biomassi fraktsioon 5-8 cm		X	
• Tootlus 36 m ³ /t		X	
• Tootlus peaks olema ühtlane		X	
• Tootlus on reguleeritav		X	
3. Käsitlemine			
• Ei tohiks jäätumisel probleeme esineda		X	
• Ettesöötja ummistuse korral on lihtne ummistusest vabaneda			X
• Ettesöötja transpordib materjali selle serval paiknevale olemasolevale kütusetransportööri		X	
• Ettesöötjat laaditakse frontaallaaduriga		X	
• Tehnoruum saab ainult paikneda kütusetransportööri poolisel alal		X	
• Lihtne hooldus		X	
4. Keskkond			
• Välistingimused		X	
• Kergelt abrasiivne		X	
• Kõrge niiskus		X	
• Ohutus		X	

2.2 Funktsioonistruktuur

Funktsioonistruktuuris kaardistatakse projekteeritava protsessi skoop kogu süsteemis, selle tegevused ning nende vahelised seosed. Eesmärk on veenduda, et kõikide etteandmise protsessidega seotud osadega on arvestatud. Kaardistatud funktsioonistruktuur on morfoloogilise maatriksi eelduseks. Funktsioonistruktuuri kaardil (vt Joonis 2.1) on projekteeritava süsteemi haldusalaks rohelisel taustal olevad funktsioonid.

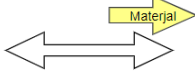
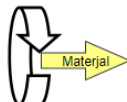
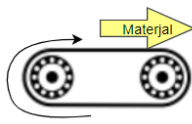
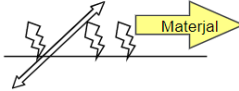
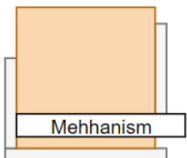

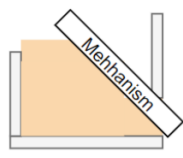


Joonis 2.1 Funktsioonistruktuuri kaart

2.3 Morfoloogiline maatriks

Morfoloogiline maatriks kaardistab potentsiaalsed funktsioonistruktuuris määratletud funktsioonide kandjad (Tabel 2.2). Selle abil tuuakse välja kõikvõimalikud mehhanismi sõlmed ja kombineeritakse erinevatest lahendustest moodustatud lahendusi, mida hakatakse võrdlema kasutades hindamisskeemi.

Tabel 2.2 Morfoloogiline maatriks

Osafunktsioonid		Lahendused			
1.	<u>Liikumine</u>	Lineaarne liikumine 	Pöördliikumine 	Ringliikumine 	Vibratsioon 
2.	<u>Ajam</u>	Elektrimootor	Pneumosilinder	Hüdmootor	Hüdrocilinder
3.	<u>Biomassi nihkumist iseloomustav jõud</u>	Hõõrdejõud	Surve- ja/või tõmbejõud	Gravitatsioon	Pöördemoment
4.	<u>Nihutava mehhanismi paiknemine</u>	Kuhja sees 		Kuhja all 	Kuhja peal 
5.	<u>Kulumis-kindluse tagamine</u>	Pinnakate		Eemaldatavad kuluosad	Materjali enda omadus
6.	<u>Mehhanismi toed</u>	Plastik	Laagrid	Teras	Betoon
7.	<u>Konstruktiooni materjal</u>	Plastik	Alumiinium	Teras	Betoon
8.	<u>Ohutus</u>	Koormusandur	Liikumisandur	Füüsiline tõke	Fotosilm

2.4 Lahendusvariandid

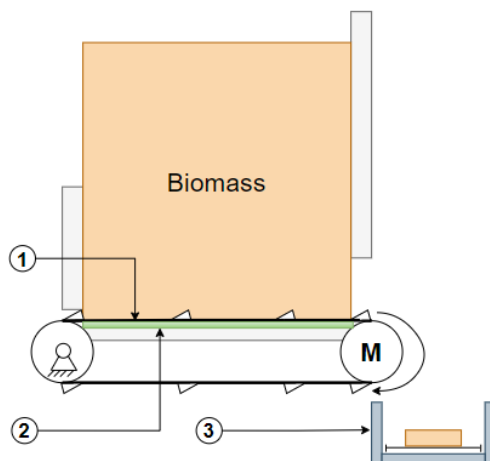
Morfoloogilise skeemi baasil leiatakse mõned potentsiaalsed lahendusvariandid. Selle tulemusena määratakse kütuselao etteandja sobivam lahendus, mis arvestab etteseadud kriteeriumitega. Oluline nõue on säilitada olemasolevat kütusetransportööri, seega peavad kõik lahendused võimaldama sellele materjali laadimist.

2.4.1 Lahendus 1

Esimene lahendus (Tabel 2.3) morfoloogilise maatriksi baasil oleks liigutada materjali kasutades ringliikumist. Mehhanism paikneks kuhja all. Seadmes liigutatakse mööda kindlat trajektoori materjali all olevat tugipinda, mis liikumise ajal hõõrdejõu abil haarab materjali biomassi kuhjast kaasa (vt Joonis 2.2). Tugipinnale lisatakse ka labad, mis haaraksid biomassi ning vähendaks potentsiaalset tugipinna kulumist vältimaks olukorda, kus biomass libiseb mööda tugipinda. Mehhanism toetub laagritele kui ka biomassi kuhja all paiknevatele plastist liugpindadele. Ajamina kasutatakse elektrimootorit, võimaldamaks muuta seadme tootlust läbi kiiruse muutmise. Muud seadme osad valmistatakse terasest ning kandvad osad tsingitakse või värvitakse, andmaks juurde korrosioonikindlust. Ohutuse tagamiseks varustatakse seade veel koormusanduritega, mis on võimelised tuvastama mehhanismi võimalikke rikkeid. Hoolduse või tehnilise kontrolli teostamiseks tuleb seade biomassi kuhja alt välja kaevata.

Tabel 2.3 „Lahendus 1“ maatriks

Osafunktsioon	Lahendus
1. Liikumine	Ringliikumine
2. Ajam	Elektrimootor
3. Biomassi nihkumis iseloomustav jõud	Hõõrdejõud
4. Nihutava mehhanismi paiknemine	Kuhja all
5. Kulumiskindluse tagamine	Eemaldatavad kuluosad
6. Mehhanismi toed	Plastik ja laagrid
7. Konstruktsiooni materjal	Teras
8. Mehhanismi ohutu	Koormusandur



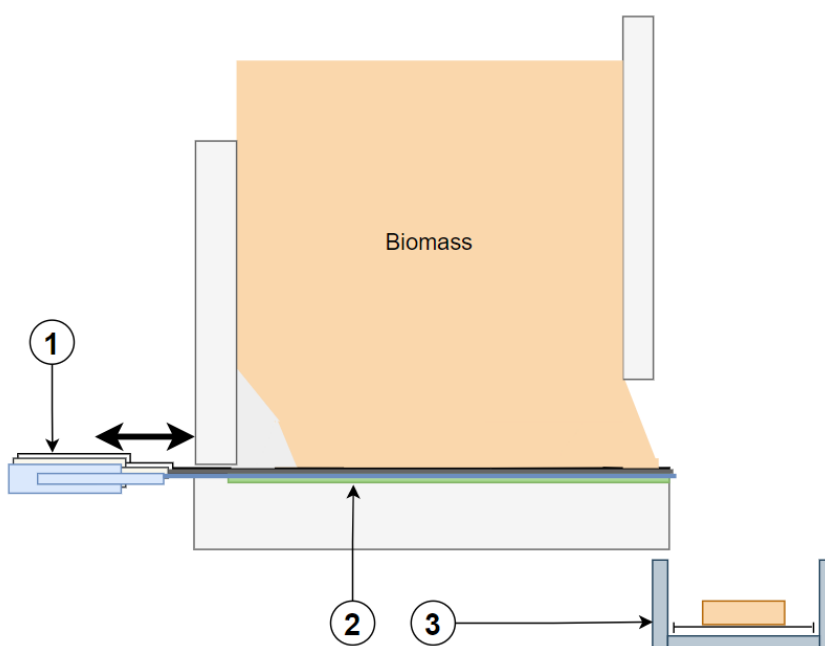
Joonis 2.2 „Lahendus 1“ skeem 1) Liikuv tugipind 2) Toetav liugpind 3) Kütuse transportöör

2.4.2 Lahendus 2

Teise lahendusvariandi mehhanism teeks ainult lineaarseid liigutusi, ehk liigub edasi-tagasi (Tabel 2.4). Liikumise ajamiks on hüdrocilindrid. Mehhanism paikneks osaliselt biomassi kuhja all. Biomassi liigutataks kuhja ning tugipinna vahelise hõõrdejõu abil. Tugipind oleks jaotatud gruppideks, kus ühe tugipinna grupi naabergruppe liigutavad erinevad hüdrocilindrid (vt Joonis 2.3). Hüdrocilindrite poolt tekitatud liikumine oleks sünkroniseeritud nii, et lükkikäigu ajal lükkavad kõik hüdrocilindrid tugipinda korruga, aga tõmbekäigu ajal liiguks ainult üks grupp tugipinna talasid algasendisse korruga. Seadme liikuvad osad oleks alumiiniumist, mis toetuvad plastmassist liugpindadele. Liugpinnad on fikseeritud terasest konstruktsiooni peale. Masina enda ohutuse tagamiseks kasutatakse koormusandurit ning vajadusel ka hüdroüsteemil ülerõhuklappi.

Tabel 2.4 „Lahendus 2“ maatriks

Osafunktsioon	Lahendus
1. Liikumine	Lineaarne liikumine
2. Ajam	Hüdrocilinder
3. Biomassi nihkumis iseloomustav jõud	Hõõrdejõud
4. Nihutava mehhanismi paiknemine	Kuhja all
5. Kulumiskindluse tagamine	Materjali enda omadus
6. Konstruktsiooni materjal	Teras ja alumiinium
7. Mehhanismi toed	Plastik
8. Ohutus	Koormusandur



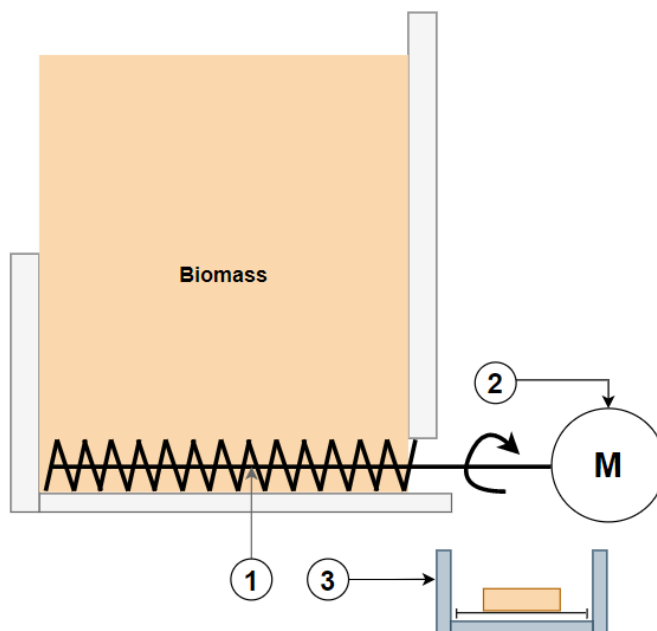
Joonis 2.3 "Lahendus 2" skeem 1) Hüdrocilindrite grupp 2) Statsionaarne liugpind 3) Küttetranspord

2.4.3 Lahendus 3

Kolmanda lahenduse tuumaks oleks materjali liigutamine pöördliikumise abil. Materjali liigutavaks seadme osaks oleks kruvivõll, mille ajamiseks on hüdro mootor. Mehhanism paikneks biomassi kuhja sees, sest biomass peab kruvivõlli ümbritsema. Kuna biomassis leidub ka vähesel määral kive ja liivateri, tuleb biomassiga kokkupuutuvad liikuvad ning oluliselt hõõrduvad osad katta abrasioonivastase pinnakattega. Seadme tugikonstruktsioonid oleksid terasest ja pöörlev võll toetuks laagritele. Operaatori ohutuseks tuleb paigaldada silo ümber füüsiline tõke ja fotosilm, et ei tekiks võimalust töötavasse seadmesse sattumiseks.

Tabel 2.5 "Lahendus 3" maatriks

Osafunktsioon	Lahendus
1. Liikumine	Pöördliikumine
2. Ajam	Hüdro mootor
3. Biomassi nihkumist iseloomustav jõud	Hõõrdejõud
4. Nihutava mehhanismi paiknemine	Kuhja sees
5. Kulumiskindluse tagamine	Pinnakate
6. Konstruktsiooni materjal	Teras
7. Mehhanismi toed	Teras ja laagrid
8. Ohutus	Koormusandur ja füüsiline tõke



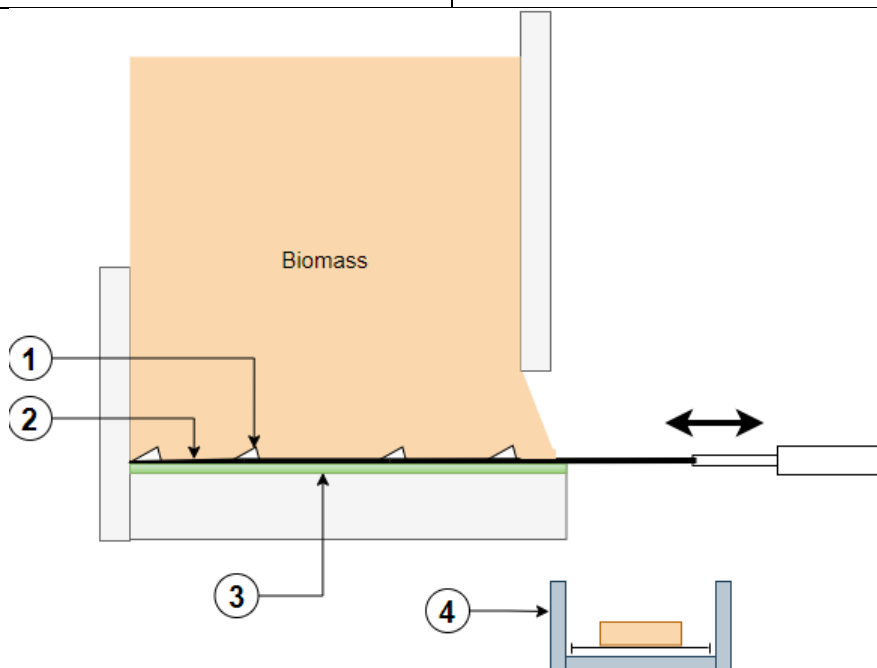
Joonis 2.4 "Lahendus 3" skeem 1) Kruvivõll 2) Hüdro mootori paiknemine 3) Kütusetransportöör

2.4.4 Lahendus 4

Neljas lahendus kasutab lineaarset liikumist, Idee on silo põhja paigaldada edasi-tagasi liikuvad terasest raamid, millel on kaldpinnad (Tabel 2.6). Nende kaldpindade geomeetria võimaldab biomassil silo põhjas liikuda ainult ühes suunas (vt Joonis 2.5). Selle mehhanismi juures arendavad metalli nihkumist tekitavat jõudu hüdrocilindrid. Kuna tegemist on kaldpindade ja raamidega, mis liiguvad abrasiivseid osakesi sisaldava biomassi sees, tuleb tagada raamide tugevus kulumise vastu. Seda saab saavutada eriterase ja/või pinnakatte kasutamisega, näiteks Hardox terase kasutamise või keraamilise pindamisega. Metallist raam toetuks plastikust liugpindadele. Hüdraulikasüsteemile paigaldataks seadme ohutuse tagamiseks koormusandurid ning ülerõhuklapid.

Tabel 2.6 "Lahendus 4" maatriks

Osafunktsioon	Lahendus
1. Liikumine	Lineaarne liikumine
2. Ajam	Hüdrocilinder
3. Biomassi nihkumist iseloomustav jõud	Surve- ja/või tõmbejõud
4. Nihutava mehhanismi paiknemine	Kuhja sees
5. Kulumiskindluse tagamine	Pinnakatte ja materjali enda omadused
6. Konstruktsiooni materjal	Teras
7. Mehhanismi toed	Plastik, teras ning betoon
8. Ohutus	Koormusandurid



Joonis 2.5 "Lahendus 4" skeem 1) Kaldpind 2) Raam 3) Liugpind 4) Kütusetransportöör

2.5 Hindamismaatriks

Hindamismaatriksi abil selgitatakse välja eelnevalt genereeritud potentsiaalsetest variantidest kõige perspektiivikam lahendus. Hindamismaatriksis vaadeldakse seadme nõuetele vastavust ning nende olulisuse rõhutamiseks määratakse hindepunktidele kaalud. Kõiki lahendusi hinnatakse skaalal 1 kuni 5, kus suurem hinne tähendab paremat sobivust. Parima koondtulemuse saavutanud lahendusega jätkatakse projekteerimist. Hindamismaatriksis pööratakse tähelepanu kaheksale olulisele lahenduse omadusele ning nende hinnangud on lahti kirjutatud järgnevalt.

2.5.1 Maksumus

Maksumuse juures arvestatakse lahenduse võimalikku kogumassi, detailide keerukust, ostutoodete hulka ja muid võimalikke tekkivaid kulusid. Parema hinnangu saavad lahendused, mis tuleksid massilt hinnanguliselt kergemad. Hinnangule mõjub negatiivselt erimaterjalide kasutamine.

2.5.2 Lahenduse keerukus

Lahenduse keerukuse juures tuleb vaadelda, milliseid liikumisi teeb mehhanism, kuidas mehhanismi vabadusastmeid piiratakse ning kuidas neid liikumisi esile kutsutakse. Selle kriteeriumi juures on selged võitjad lineaarsete liikumistega lahendused, kus liikumist kutsub esile hüdrocilinder.

2.5.3 Hoolduskulud

Hoolduskulude juures võetakse arvesse komponentide hulka, mis võivad tekitada purunemise korral seadme avarii ning põhjustada vältimatud remonditööd. Kõrgema hinnangu saavad lahendused, millel on vähem komponente, mis empiirilise hinnangu järgi võiksid puruneda. Vähem punkte saavad lahendused, mille ajutisteks remonditöödeks on tarvis seade lahti võtta.

2.5.4 Sobivus niiske biomassiga

Selle kriteeriumi allikaks on asjaolu, et parim lahendus peab töötama ka halvasti voolava materjali liigutamiseks, mis võib mehhanismi osade külge kleepuda ja ummistusi tekitada. Parema hinnangu saavad lahendused, millel on väiksem kokkupuute pindala biomassiga ning kus ei teki pinda, kus biomass saaks pikemalt paigal olla.

2.5.5 Jäätumine

Jäätumise kriteeriumi all hinnatakse, kui oluliseks probleemiks võib lahenduse korral osutada materjali jäätumine seadme mehhanismi külge või jäätunud materjali sattumine biomassi kuhjast seadme mehhanismi. Rohkem punkte saavad antud kriteeriumis lahendused, mis on võimelised jäätunud materjali purustama või millel on hinnanguliselt väiksem kontaktpindala niiske materjaliga.

2.5.6 Eluiga

Eluea omadusele antakse hindepunkte empiiriliselt. Uuritakse, kui palju analoogseid lahendusi on valdkonnas kasutusel ning mis ja kus on olnud nende probleemid. Siinkohal saavad rohkem punkte ka lahendused, kus on väiksem vajadus mehhanismi osi määrdega katta, et eluiga oleks seadmel pikem.

2.5.7 Ohutus

Ohutusel hinnatakse ohtu seadme operaatorile ning ka seadmele endale avarii korral. Oluliselt vähem punkte saavad lahendused, kus operaatori vea tõttu võib tekkida olulisi tervisekahjustusi või muude kütuselao seadmete rikkeid. Näiteks olukord, kus silo laadimise ajal laadurijuht tekitab ohtlikult suure koormuse mõnele mehhanismi osale.

2.5.8 Tootlikkuse reguleerimine

Antud hinnang puudutab lahenduse võimekust muuta seadme tootlikust kiiresti vastavalt katla nõudlusele. Lahendused, kus katlas biomassi puudujäägi korral etteandjad suudavad potentsiaalselt kiiremini kütusetranspordööri materjaliga varustada, saavad rohkem punkte.

2.6 Hindamismatriksi tulemus

Hindamismatriksi alusel on väljapakutud lahendustest parim „Lahendus 4“ (Tabel 2.7). Selle suurteks eelisteks on madal maksumus, lahenduse lihtsus, oluliselt väiksem komponentide kogus ning ohutuse tagamise lihtsus. Oluline osa detaile on valmistatud keevitamisega ning need ei oma väga täpseid mõõte võimaldades lukksepal seadet vajadusel ka kohapeal remontida. Lineaarse raami liikumise korral on liigutatav raam ja ajam otse omavahel ühenduses, ehk ei ole vaja jõuülekandeid kasutada. Eluea hinnangu uurimisel selgus ka, et enamus puukoore ja -hakke kütuseladusi töötabki analoogse mehhanismi baasil.

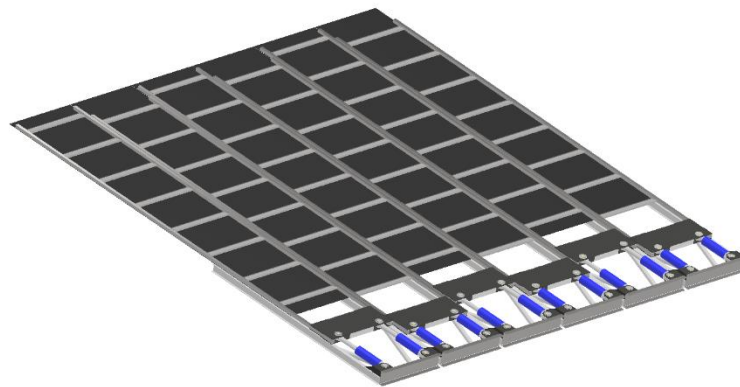
Tabel 2.7 Hindamismatriks

Omadus (Kaal)	Lahendus 1	Lahendus 2	Lahendus 3	Lahendus 4
1. Maksumus (5)	$3 * (5) = 15$	$3 * (5) = 15$	$3 * (5) = 15$	$5 * (5) = 25$
2. Lahenduse lihtsus (2)	$3 * (2) = 6$	$5 * (2) = 10$	$3 * (2) = 6$	$5 * (2) = 10$
3. Hoolduskulud (3)	$2 * (3) = 6$	$4 * (3) = 12$	$3 * (3) = 9$	$4 * (3) = 12$
4. Sobivus niiske biomassiga (3)	$5 * (3) = 15$	$5 * (3) = 15$	$5 * (3) = 15$	$3 * (3) = 9$
5. Jäätumine (4)	$3 * (4) = 12$	$3 * (4) = 12$	$2 * (4) = 8$	$3 * (4) = 12$
6. Eluiga (3)	$3 * (3) = 9$	$4 * (3) = 12$	$3 * (3) = 9$	$4 * (3) = 12$
7. Ohutus (2)	$3 * (2) = 6$	$4 * (2) = 8$	$1 * (2) = 2$	$5 * (2) = 10$
8. Tootlikkuse reguleerimine (4)	$5 * (4) = 20$	$3 * (4) = 12$	$5 * (4) = 20$	$2 * (4) = 8$
Summa:	89	96	84	<u>98</u>

3 KONSTRUKTSIOONI PROJEKTEERIMINE

Etteande seadme projekteerimist alustati projekteeritavale raamile mõjuvate jõudude kaardistamisega erinevates olukordades. Vestlusest inseneriga, kes on projekteerinud sarnaseid seadmeid üle viiekümne aasta leiti, et raamil olevate labade geomeetria projekteerimine nõuab täpseid andmeid liigutatava biomassi voolavusomaduste kohta. Nende andmete hankimiseks on tarvis läbi viia rida katseid konkreetse biomassikuhja osade seguga. Kasutades saaduid andmeid saanuks teostada biomassi voolavussimulatsiooni, mille tulemusena selguvad kõik biomassikuhja poolt rakenduvad jõud. Selle ajamahuka protsessi vältimiseks otsustati kasutada olemasoleva seadme laba geomeetriat ning seda veidi modifitseerida.

Muu raami geomeetria osas projekteeriti esmane lahendus (vt Joonis 3.1) ning seejärel tehti arvutused uurimaks, mis lahenduse osade muutmine oleks tarvilik nii jõudude kui ka koostamise poolelt.



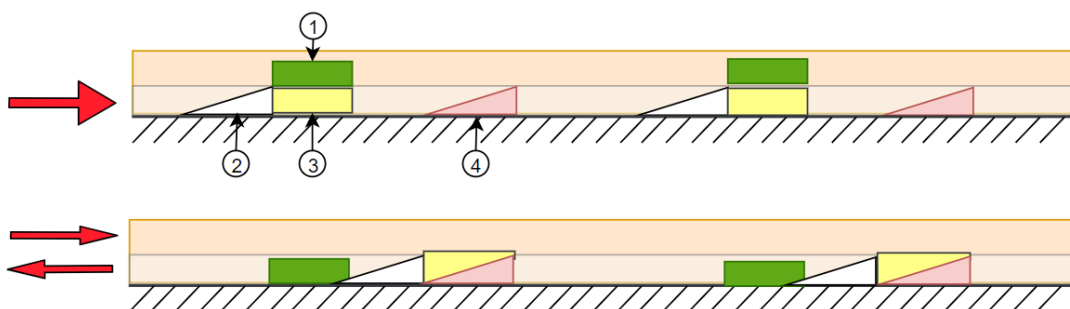
Joonis 3.1 Esialgne lahendus

3.1 Materjali nihutamine

Käesolevas alapeatükis leitakse, millised jõud mõjuvad projekteeritava lahenduse osadele. Lihtsustamise mõttes vaadeldakse ühe raami liikumist biomassi kuhja all.

3.1.1 Raami tõmbekäik

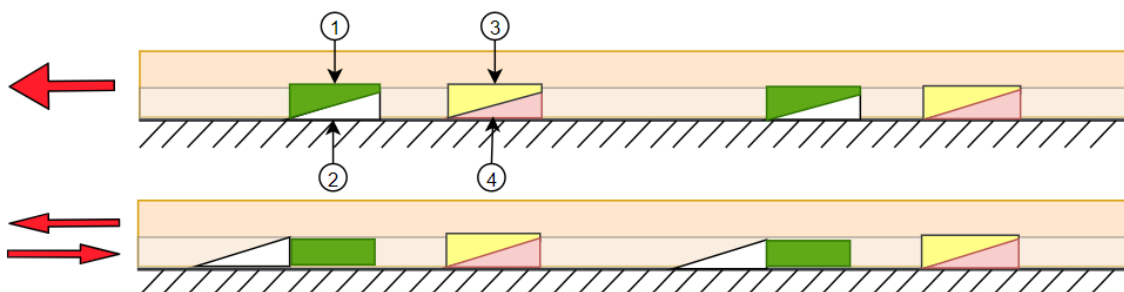
Tõmbekäigu ajal tõmmatakse raami vahel olevate labadega biomassi kütusetransportööri poole. Sellest kaugemal olevad labad aga tõmbavad materjali üle põrandale fikseeritud labade, mis takistavad lükkekäigu ajal materjalil ebasoositud suunas liikumist. Mobiilsete labade liikutes seisvate labade poole lõigatakse ära tervest biomassi kuhjast väiksem hulk biomassi, mida liigutatakse labaga. (vt Joonis 3.2). See surutakse statsionaarse laba peale. Kui mobiilne laba jõuab tõmbekäigu äärmisesse punkti, on eelnevalt äralõigatud biomassi kuhja asemele tekkinud tühimik, kuhu variseb kuhjast uus osa biomassi, mis satub mobiilse laba trajektoorige.



Joonis 3.2 Tõmbekäik. Punased nooled vasakul näitavad mobiilsete labade liikumise suunda. 1) Vaadeldav kuhjaosa 2) Mobiilne laba 3) Varisev biomass 4) Statsionaarne laba

3.1.2 Raami lükkekäik

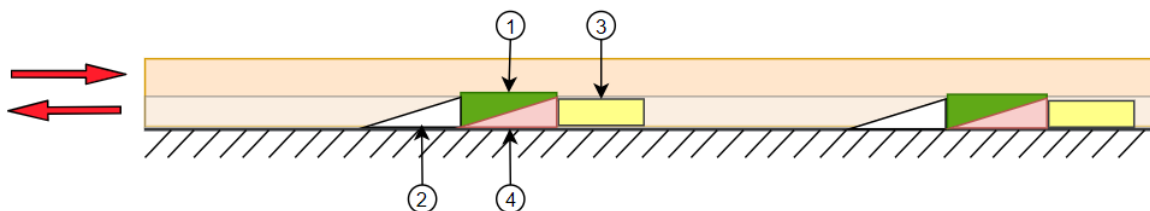
Lükkamise käigu ajal nihkub eelnevalt allavarisenud biomass üle mobiilse laba ning variseb laba käigu ajal tekkinud tühimikku (vt Joonis 3.3). Laba jõudes lükkekäigu äärmisesse punkti, algab taaskord tõmbekäik.



Joonis 3.3 Lükkekäik. Punased nooled vasakul näitavad labade liikumise suunda. 1) Varisenud biomass 2) Mobiilne laba 3) Vaadeldav kuhjaosa 4) Statsionaarne laba

3.1.3 Materjalikuhja edasiliikumine

Pärast lükkekäiku algab taaskord tõmbekäik, kus surutakse eelnevalt varisenud materjal statsionaarse laba kohal oleva materjali vastu, kergitades seda statsionaarse laba taga oleva biomassi kohale (vt Joonis 3.4). Käikude kordudes nihkub vaadeldav biomassi kuhi edasi tõmbekäikude abil kuni jõuab kütusetranspordööri.



Joonis 3.4 Materjali liikumine. Mobiilne laba jõuab tõmbekäigu äärmisesse punkti ja alustab lükkekäiguga. 1) Eelnevalt varisenud biomass 2) Mobiilne laba 3) Vaadeldav kuhjaosa 4) Statsionaarne laba.

3.2 Labale mõjuv jõud liigumise tsüklite ajal

Raamide biomassi all tõmbamise ja lükkamise ajal mõjuvad liikuvatele erinevad jõud. Tõmbekäigu vältel hõõrdub materjal ka põrandaga, lükkekäigu ajal seda olulisel määral ei toimu. Järgnevalt leitakse jõud, mis mõjuvad labale siis, kui laba tõmbab materjali ning seejärel leitakse jõud olukorras, kui biomass libiseb üle laba.

Kõikides järgnevestes arvutustes on oluline biomassi poolt arendatav survejõud liikuvatele osadele. See on kasutades valemit (3.1).

$$p = \frac{a_{silo} * b_{silo} * h_{silo} * \rho_{biomass}}{a_{silo} * b_{silo}}, \quad (3.1)$$

Kus: a_{silo} – silo pikkus, m

b_{silo} – silo laius, m

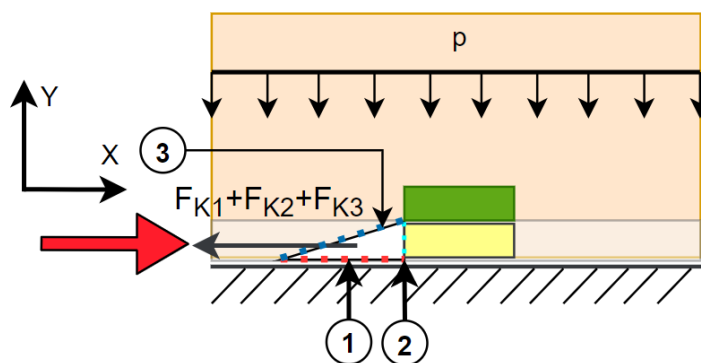
h_{silo} – silo kõrgus, m

$\rho_{biomass}$ – biomassi tihedus (niiskus 60%) [12], $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

$$p = \frac{10 * 11,7 * 6 * 470}{10 * 11,7} \left(\frac{\text{m} * \text{m} * \text{m} * \text{kg}}{\text{m} * \text{m} * \text{m}^3} \right) = 2820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3.2.1 Tõmbekäigul liikuvale labale mõjuvad jõud

Tõmbekäigul määrame ära kõik X- ja Y-telgede sihilised jõud, mis labale mõjuvad. Laba liikumist takistavad jõud kontaktides „1” ja „2”. Kontaktis „1” on hõõrdejõud, mis on tingitud biomassi enda survest ning laba enda raskusjõust, kontaktis „2” toimub laba takistamine liigutatava biomassi hõõrdejõu abil ning kontaktis „3” takistab laba kohal oleva ning laba vaheline hõõrdumine laba nihkumist (vt Joonis 3.5).



Joonis 3.5 Kontaktid tõmbekäigul lükkavale labale mõjuvate jõudude korral. Punane nool näitab laba liikumise suunda.

Kontaktile „1” mõjuvad jõud on leitud järgmise valemi (3.2) abil.

$$F_{K1} = (a_{laba} * b_{laba} * p + m_{laba}) * g * \mu_{teras-teras}, \quad (3.2)$$

Kus: a_{laba} – Laba laius, m

b_{laba} – Laba pikkus, m

m_{laba} – Laba mass, kg

$\mu_{teras-teras}$ – Terasest detailide vaheline hõõrdetegur

F_{K1} – Kontaktis "1" rakenduv jõud

$$F_{K1} = (1,735 * 0,21 * 2820 + 55) * 9,81 * 0,8 \left(m * m * \frac{kg}{m^2} * \frac{m}{s^2} \right) \approx 8,5 \text{ kN}$$

Kontaktile „2” mõjuvad jõud tulenevad tõmmatava biomassile mõjuva survejõu toimel, mis tekitab hõõrdejõudu biomassi ning terase vahel. Labale tõmbavad jõud peavad ületama biomassile mõjuva hõõrdejõu, mis on leitud valemiga (3.3).

$$F_{K2} = a_{laba} * l_{käik} * p * \mu_{biomass-teras} * g, \quad (3.3)$$

Kus: $l_{käik}$ – Liikuva laba käik, m

$\mu_{biomass-teras}$ – Teras ja biomassi vaheline hõõrdetegur

F_{K2} – Kontaktis "2" rakenduv X teljelise jõud, kN

$$F_{K2} = 1,65 * 0,5 * 2820 * 0,7 * 9,81 \left(m * m * \frac{kg}{m^2} * \frac{m}{s^2} \right) \approx 15,98 \text{ kN}$$

Kontaktis „3” toimub hõõrdumine suruva biomassi ning liikuva laba vahel. Selle jõu väärtus on leitud kasutades valemit (3.4)

$$F_{K3} = a_{laba} * b_{laba} * p * g * \mu_{biomas-teras} \quad (3.4)$$

$$F_{K3} = 1,735 * 0,21 * 2820 * 9,81 * 0,7 \approx 7,06 \text{ kN}$$

3.2.2 Tõmbekäigul statsionaarsele labale mõjuvad jõud

Tõmbekäigu ajal tõmmatakse biomass üle statsionaarse laba (Joonis 3.2). Siinkohal kergitatakse massi laba kõrguse võrra. Massi kergitamine toimub tõmbava laba pinnal tekkiva reaktsioonijõu mõjul. Vaadeldava kuhjaosa nihkumiseks peab soovitud liikumise suunalised jõud olema suuremad kui seda takistavad jõud (vt Joonis 3.6).

$$F_{LB} > F_{Hbio} \quad (3.5)$$

$$F_{LB} = F_{LT} * \cos(\alpha) \quad (3.6)$$

$$F_{Hbio} = (N_p + N_{LT}) * \mu_{biomass-teras} \quad (3.7)$$

Kus: F_{LB} – Liikuva laba poolt tekkiva jõu komponent, mis liigutab biomassi soovitud suunas, kN

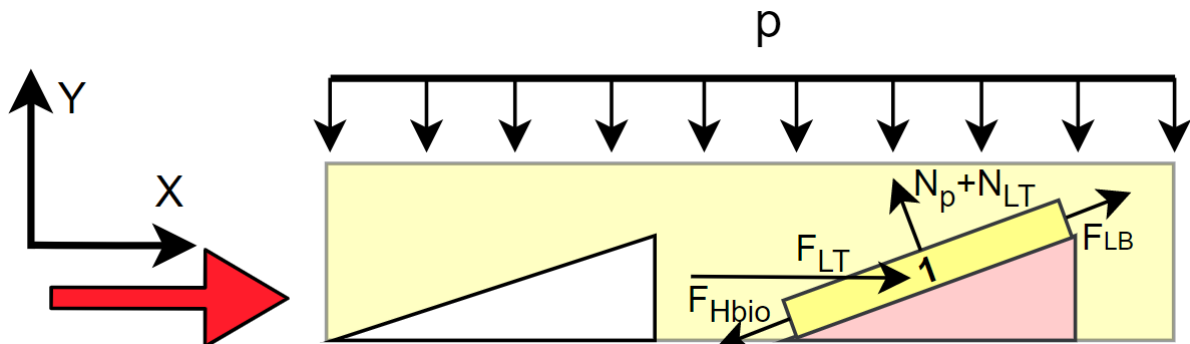
F_{Hbio} – Hõõrdejõud kuhjaosal, mis takistab biomassi liikumist soovitud suunas, kN

F_{LT} – Liikuva laba poolt tekitatav reaktsioonijõud vaadeldavale kuhjaosale, kN

N_p – Toereaktsiooni komponent, mis rakendub biomassikuhja surve tõttu, kN

N_{LT} – Toereaktsiooni komponent, mis rakendub liikuva laba surve tõttu, kN

α – laba kaldenurk, °



Joonis 3.6 Biomassi libisemine üle laba. Punane nool näitab mobiilse laba liikumise suunda. Numbriga 1 on märgitud vaadeldav biomassi kuhjaosa.

Toereaktsiooni komponent N_p , mis rakendub surve p tõttu on leitud kasutades valemit (3.8).

$$N_p = a_{laba} * b_{laba} * p * g * \cos(\alpha) \quad (3.8)$$

$$N_p = 1,735 * 0,21 * 2820 * 9,81 * \cos(15^\circ) \approx 9,74 \text{ kN}$$

Komponent N_{LT} , mis rakendub tulenevalt laba mobiilse laba liikumisest vastu biomassi, mis paigalseisva laba peal

$$N_{LT} = F_{LT} * \sin(\alpha) \quad (3.9)$$

Kombineerides valemid (3.5) kuni (3.9) saab lahendada järgmise võrrandi (3.10).

$$F_{LT} * \cos(\alpha) > (N_p + N_{LT}) * \mu_{biomass-teras} \quad (3.10)$$

$$F_{LT} * \cos(15^\circ) > (F_{LT} * \sin(15^\circ) + 9,74 \text{ (kN)}) * 0,7$$

$$F_{LT} > \mathbf{9,64 \text{ kN}}$$

3.2.3 Lükkekäigul labadele mõjuvad jõud

Lükkekäigule ülemines vahetuvad statsionaarsete ja liikuvate labade roll: Statsionaarsed labad hoiavad biomassi paigal kuni see üle liikuva laba libiseb (vt Joonis 3.3). Liikuvatele labadele ei mõju enam jõud, mis tulenesid biomassi kuhja hõõrdumisest põrandaga, mis arvutati eelnevalt punktis 3.3.1, valemiga (3.4).

Biomassi lükkamise käigu ajal mõjub labadele sarnane hõõrdejõud, mis arvutati valemiga (3.2). Sealsele toereaktsioonile tuleb aga lisada valemiga (3.9) leitud komponent. Seega on lükkekäigul tekkiv labale mõjuv hõõrdejõud leitud valemiga (3.11).

$$F_{LH} = F_{K1} + F_{K3} + F_{LT} + N_{LT} * \mu_{teras-teras} \quad (3.11)$$

Kus F_{LH} – Lükkekäigu ajal ühele labale mõjuv hõõrdejõud

$$F_{LH} = 8,5 + 7,6 + (9,64 * 0,26) * 0,8 \approx \mathbf{18,10 \text{ kN}}$$

3.3 Raamile mõjuvad jõud

Raam koosneb kahest nelikantlatist, mille vahele on risti paigaldatud labad. Raami liikumist takistab peamiselt hõõrdumine põrandaga, mis on tingitud raami oma raskusjõust ning selle kohal oleva biomassi kuhja survest. Uurides võimalikku inertsipoolt rakenduvat takistavat jõudu raami liikumisele selgub, et raami massi ning arvatava kiirenduse korrutis on tühine võrreldes muude mõjuvate jõududega.

CAD mudelist leiti, et kahe raamitala (nelikant latid) mass $m_{2nkt} = 1000 \text{ kg}$ ning raamitalade biomassi kandepindala $S_{2nkt} = 1,6 \text{ m}^2$. Raamile mõjuv hõõrdejõud on leitav valemiga (3.12).

$$F_{RH} = (m_{2nkt} * g + S_{2nkt} * p * g) * \mu_{teras-teras} + (S_{2nkt} * p * g * \mu_{biomass-teras}) \quad (3.12)$$

$$F_{RH} = (1100 * 9,81 + 1,6 * 2820 * 9,81) * 0,8 + (1,6 * 2820 * 9,81 * 0,7) = \mathbf{75,3 \text{ kN}}$$

Tõmbekäigul raamile töötab kaheksa liikuvat laba olukorrale, kus biomassi tõmmatakse mööda põrandat. Lisaks on liigutataval biomassil takistuseks seitse statsionaarset laba, mis töötavad biomassi kergitamise režiimis. Raami liigutamiseks kuluv jõud tõmbekäigul on leitud valemiga (3.13).

$$F_{tõmme} = F_{RH} + n_{liikuv} * (F_{K1} + F_{K2} + F_{K3}) + n_{stats} * F_{LT} \quad (3.13)$$

Kus : n_{liikuv} – liikuvate labade arv

n_{stats} – statsionaarsete labade arv

$$F_{tõmme} = 75,3 + 8 * (8,5 + 15,98 + 7,06) + 7 * 9,64 \text{ (kN)} \approx \mathbf{395,1 \text{ kN}}$$

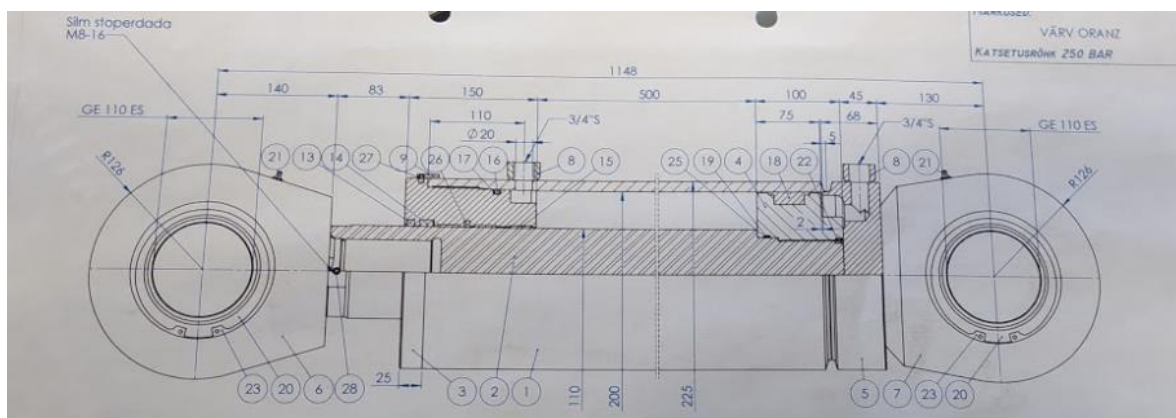
Lükkekäigul töötavad liikuvad labad materjali tõstmise režiimis ning statsionaarsed labad takistavad biomassil liikumist. Selles töörežiimis kogu raamile mõjuvad jõud on leitud valemiga (3.14).

$$F_{lüke} = F_{RH} + n_{liikuv}(F_{LH} + F_{LT}) \quad (3.14)$$

$$F_{lüke} = 75,3 + 8 * (12,44 + 5,9) = \mathbf{297,2 \text{ kN}}$$

3.4 Jõuarvutuste kontroll

Kontrollimaks eelnevalt tehtud arvutusi, uuriti töötaval seadmel mõjuvate jõudude suurusi. Selle uurimiseks vaadeldi seadme hüdroüsteemi rõhku olukorras, kus samade mõõtmega silo üks biomassi liigutav raam töötas. Vaatluse ajal oli biomassikuhja kõrgus hinnanguliselt kolm meetrit ning hüdroüsteemi rõhk tõmbekäigu ajal maksimaalselt 100 bar ning lükkekäigu ajal 70 bar. Kasutusel oleva hüdrosilindri kolviläbimõõt on 200 mm ning varre läbimõõt 110 mm



Joonis 3.7 Kasutuselolev hüdrosilinder

Kahe hüdro silindri poolt tõmbekäigu ajal arendatud jõud leiti valemiga (3.15).

$$F_{2sil_{tõmme}} = 2 * \rho_{sil_{tõmme}} * (A_{kolb} - A_{vars}), \quad (3.15)$$

Kus: F_{2sil} – Kahe silindri poolt arendatav jõud, N

$\rho_{sil_{tõmme}}$ – Hüdro süsteemi suurim rõhk töökäigu ajal, Pa

A_{kolb} – Silindri kolvi pindala, m²

A_{vars} – Kolvivarre pindala, m²

$$F_{2sil_{tõmme}} = 2 * 10 * 10^6 * \left(\pi \left(\frac{0,200}{2} \right)^2 - \pi \left(\frac{0,110}{2} \right)^2 \right) \approx 440 \text{ kN}$$

Analoogselt arvutatakse ka kahe hüdro silindri lükkekäigu ajal arendatud jõud, kasutades valemit (3.15), kus kolvivarre pindala arvestatakse nulliks (3.16).

$$F_{2sil_{lũke}} = 2 * \rho_{sil_{lũke}} * A_{kolb} \quad (3.16)$$

$$F_{2sil_{lũke}} = 2 * 7 * 10^6 * \pi * 0,01 \approx 440 \text{ kN}$$

Arvutatakse vastavalt valemitele (3.01) kuni (3.14) hüdro silindrite teoreetiline jõuvajadus olukorras, kus biomassi kuhja kõrgus on kolm meetrit. Arvutuste kiiremaks teostamiseks kasutati tabelarvutustarkvara Excel(vt Joonis 3.8).

Sisendid					
Raami geometria	Väärtus	Labageometria	Väärtus2	Biomassi kuhja omadused	Väärtus3
Mass (kg)	517	Nurk (deg)	17,75	Hõõrdetegur	0,7
Laius (m)	0,1	Laius (m)	1,665	Tihedus (@ 60% niiskus) (kg/m3)	470
Pikkus kuhja all (m)	10	Pikkus (m)	0,173	Laius (m)	10
Hõõrdetegur	0,8	Kõrgus (m)	0,058	Pikkus (m)	11,7
		Seisvate kogus	7	Kõrgus (m)	3
		Liikuvate kogus	8		
		Hõõrdetegur	0,8		
		Käik (m)	0,5		
		Mass (kg)	71		
Vahearvutused					
Kuhja arvutused	Väärtus	Raami arvutused (1 tala)	Väärtus2	Labaarvutused	Väärtus3
Surve (kg)	1410	Pindala (m2)	1,0000	Labapindala (m2)	0,29
Surve (N/m2)	13832	Surve raamitalale (N)	13832	Labale mõjuv surve (N)	3984
Liikuv osa (m3)	0,048	Raskusjõud (N)	5072	Labaraskusjõud (N)	696,51
Liikuv osa pindala (m2)	1	Hõõrdejõud raami-põranda vahel(N)	15123	Labahõõrdejõud F_k1x	3745
Liikuva osa raskusjõud (N)	223	Hõõrdejõud raami-kuhja vahel(N)	9682	Labahõõrdejõud kuhja suhtes	2789
Liikuva osa surve(N)	11515	Raami hõõrdejõu sum	24806	Labataktiv hõõrdejõu SUM	6534
Liikuva osa hõõrdejõud(N) F_k2x	8216				
Tulemused					
Tõmbekäigu arvutused	Väärtus	Lükkekäigu arvutused	Väärtus2		
Surve toereaktsioon	3795	Lükkekäigu jõud (2 hõõrdumist + surve)	8847		
Statsionaarse laba surve (F_LT)	4102				
Statsionaarse laba surve toereaktsioon	1251				
Vahekordaja laba surve (cos nurk - sin nurk)	0,65				
Vahekordaja laba surve (F_hbio osa survest)	2656				
TOTAL liikuvate labasi takistav jõud	146715	TOTAL lükkekäigul mõjuvad jõud	92089		
Total jõud (labad+raam) (N)	196326		141700		

Joonis 3.8 Tabelarvutuse tulemus kolme meetrise biomassi kuhja korral. Kollased lahtrid on muutunud parameetrid võrreldes projekteerituga.

Konservatiivselt valitud hõõrdeteguritega tehtud arvutuste kohaselt tarbiks olemasolev analoogne seade maksimaalselt 196 kN jõudu ühe raami kohta. Reaalsuses aga kasutab üks raam ligi 440 kN jõudu, mis on üle kahe korra rohkem.

Sedalaadi seadme töö toimimise huvides tasuks valida samad hüdrosilindrid, mis samade mõõtudega seadmel juba töötavad ning projekteerida seadme osad arvestamaks vähemalt jõududega, mida silinder saavutab maksimaalse reguleeritud tööõhu saavutades.

3.5 Seadme tootlikkus ja töötsükkel

Seadme tootlikkuse all vaadeldakse, kui palju materjali seade biomassi kuhjast transpordib kütusetransportööri. Iga tõmbekäigu ajal nihutatakse kütusetransportööri poole vähemalt laba poolt läbitud ruumi mahus biomassi. Kuna seadme tootlikuseks on nõutud 36 kuupmeetrit materjali tunnis, tuleb leida vastav tsükliperiood seadmel, mis antud nõuet täidaks. See on leitud valemiga (3.17).

$$t_{tsükkel} = \frac{a_{laba} * h_{laba} * l_{käik} * n_{raamid} * 3600}{2 * X_{tootlikus}} \quad (3.17)$$

Kus: $t_{tsükkel}$ – tsükli aeg raami käikude tegemiseks, s

n_{raamid} – liikuvate raamide kogus

$X_{tootlikus}$ – soovitud tootlikus $\frac{m^3}{h}$

$$t_{tsükkel} = \frac{1,735 * 0,055 * 0,5 * 6 * 3600}{2 * 36} \approx 14,3 \text{ s}$$

Arvutuse kohaselt peab projekteeritud lahenduses liikuv raam tegema ühe tsükli minimaalselt 14,3 sekundiga, et soovitud tootlikkuse nõuet täita. Reaalne tootlikkus selgub aga katsete teostamisega antud seadmel. Arvutatud tsüklikiirus arvestab ainult liikuva laba ette valgunud biomassi nihutamise, kuid mitte samal ajal selle kohal kaasaliikuva biomassiga.

3.6 Kulumine

Biomassi kuhjas leidub vähesel määral liiva, mis kutsub esile kulumise hõõrduvatel pindadel. Nende pindade kulumiskindluse tõstmiseks kasutatakse tavalise konstruktsiooniterase S355 asemel Hardox plaate, mis on oluliselt vastupidavamad kulumisele [13]. Olulisemad hõõrdumispinnad, kus kasutatakse eelnimetatud plaate on laba kaldpinnad ning raamitalade sisemised pinnad, mille vastas materjal nihkub töö

käigus. Konkurendi töötavat liikuvpõranda lahendust uurides selgus, et neil on samamoodi Hardox plaadid kasutusel ning kulumisega seoses pole probleeme esinenud.

3.7 Jäätunud materjal

Olemasoleva lahenduse jäätumise probleem tulenes sellest, et biomassi kuhja pealmine kiht jäätus ning muutus oluliselt tahkemaks. Langedes liikuva raami peale ei valgunud jäätunud materjal kuhja labade ette, jäädes talade peale toetuma ega liikunud raamikäikude ajal edasi kütusetransportööri poole

Lahenduseks projekteeriti olulisemalt madalamad raamitalad. Madalama tala korral vajuks sildunud ning paigal seisev materjal liikuva laba ette ning laba saaks jäätunud biomassi kaasa haarata liigutades biomassi edasi kütusetransportööri poole.

3.8 Tugitalad

Hüdrocilindrite fikseerimiseks ehitise külge otsustati projekteerida tugitalad, mis on valatud ning ankurdatud betooni. Need tugitalad paiknevad liikuvate raamide metallpõranda all. Lisaks läbivad tugitalad kütusetransportööri nii, et selle kett on liigub nii tala kohalt kui ka tala alt läbi. Tugitalade eesmärk on suunata raamide liigutamisel tekkiv reaktsioonijõud kütuselao põrandasse. Selle eesmärk on kaotada hoone betoonmüüri nihkumine, mida on märgata olemasoleval lahendusel, kui raam biomassi sees teeb töökäike. Tugitalad projekteeriti arvestusega, et maksimaalne silindrite poolt arendatav jõud on 800 kN ning selle ületades lülitatakse hüdraulikasüsteem seadme automaatika poolt välja.



Joonis 3.9 Tugitaladele jõuskeem. 1) Silindri-raami kinnitus 2) Hüdrosilindri-tugitala kinnitus 3) Tugitala-betoonpõranda kinnitus

Tugitalad peavad olema fikseeritud betoonpõrandasse arvestusega, et tala konsoolse osa servel (vt Joonis 3.9 punkt 3) oleks tagatud tugevus pöördemomendile M_{3+} , mis on leitud valemiga (3.18) ning vastavalt ka silindri maksimaalsetele jõududele F_{sil+} , mis leitud valemiga (3.19).

$$F_{sil+} = 0,7 * F_{sil} \quad (3.18)$$

$$M_{3+} = F_{sil+} * l_{y2-y3} \quad (3.19)$$

Kus, M_{3+} – Punktis 3 mõjuv pöördemoment, Nm

F_{sil+} – Silindri maksimaalne jõud X + sihis

l_{y2-y3} – Punktide 2 ja 3 vahekaugus Y – telje sihis, m

X – Silindri kolvi ning kolvivarre pindalade suhe

$$F_{sil+} = 0,7 * 800 = 560 \text{ kN}$$

$$M_{3+} = 0,7 * 800 \text{ kN} * 0,173 = 560 \text{ kN} * 0,173 \approx 97 \text{ kNm}$$

Nendele jõududele vastupidamine tagab selle, et hüdrosilinder ei oleks võimeline tugitalasid betooni seest välja tõmbama.

3.9 Seadme turvalisus

Projekteeritud seadmeosade säilimise jaoks tuleb piirata jõudu arendavate hüdrosilindrite töö rõhku. Seadme osade juures on arvestatud, et maksimaalne arendatud jõud hüdrosilindrites on 800 kN, mis rakendub lükkekäigu ajal. Selle piiramiseks kasutatakse automaatikat, mis lülitab hüdraulikasüsteemi välja olukorras, kui töö rõhk ületab 125 bar. Lisaks tuleb lisada süsteemi ülerõhuklapp, mis piirab mehaaniliselt rõhku väärtuseni 125 bar.

4 TUGEVUSANALÜÜS

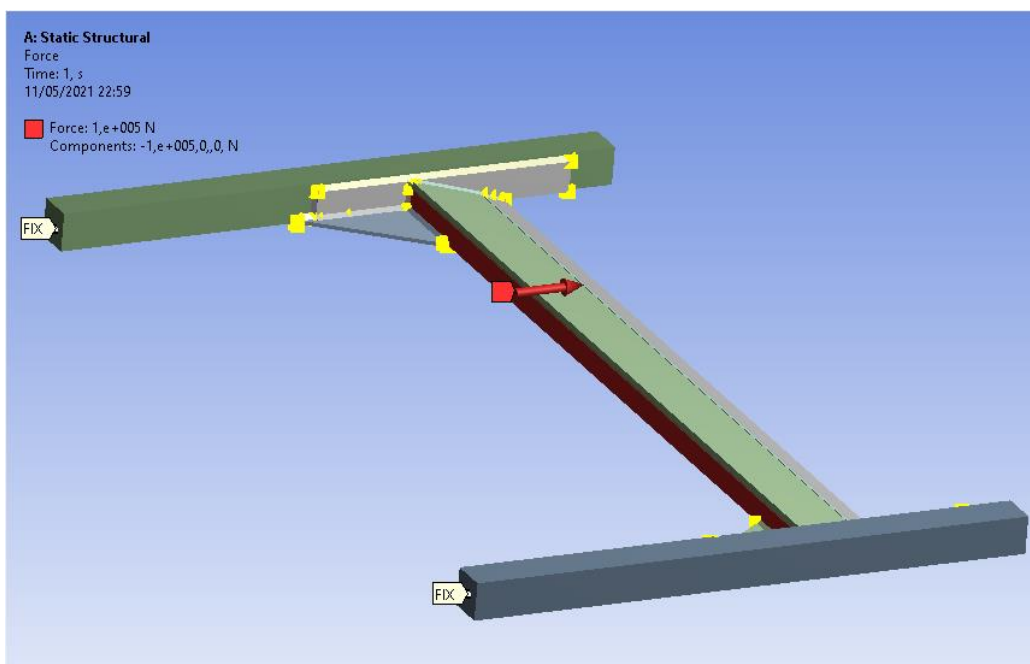
Tugevusanalüüsid tehakse seadme liikuva raami siirde uurimiseks, raamil olevate labade kinnituse kohta ning ka hüdrotsilindrite ankurdamiseks projekteeritud toele. Tugevusanalüüse tehti tarkvaraga Ansys 2019 R2. Kõikide analüüside sihiks seati, et pinge materjali sees tohib olla maksimaalselt 160MPa. See tagaks põhilistele detailidele vähemalt varuteguri 2. Analüüsis lähenetakse pingekonsentraatoritele individuaalselt, hindamaks, kas tegemist võib olla arvutusmudeli veaga. Vea korral ei arvestata saadud pinget konsentraatoris tõeseks.

Kõikides analüüsid on määratud keevisliited seotud kontaktideks (ingl *bonded contact*) ning detailide vahelised kontaktid eraldusvabadeks (ingl *no separation contact*)

4.1 Raami laba

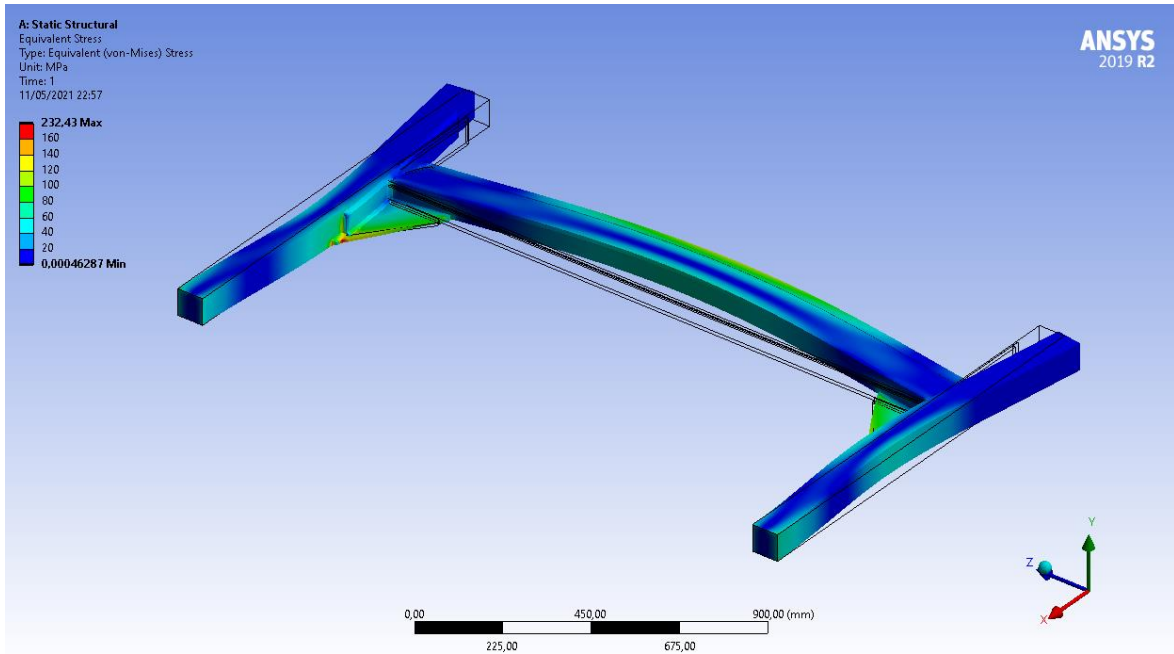
Raami laba analüüsimiseks tehti eeldus, et kõikide biomassis liikuvate labade vahel on pinged jaotunud võrdselt. Kuna raamil on kaheksa laba, mõjub ühele labale 100 kN jõudu (vt Joonis 4.1). Punktis 3.1 vaadeldud materjali nihutamise skeemide järgi võib eeldada, et suurim jõud mõjub laba vertikaalsele pinnale, seega analüüsis rakendatakse sellele pinnale jõud ühtlaselt.

Analüüsi eesmärk on veenduda laba ning raami vahelise kinnituse tugevuses vältimaks olukorda, kus laba raamitalade vahelt ära murdub.

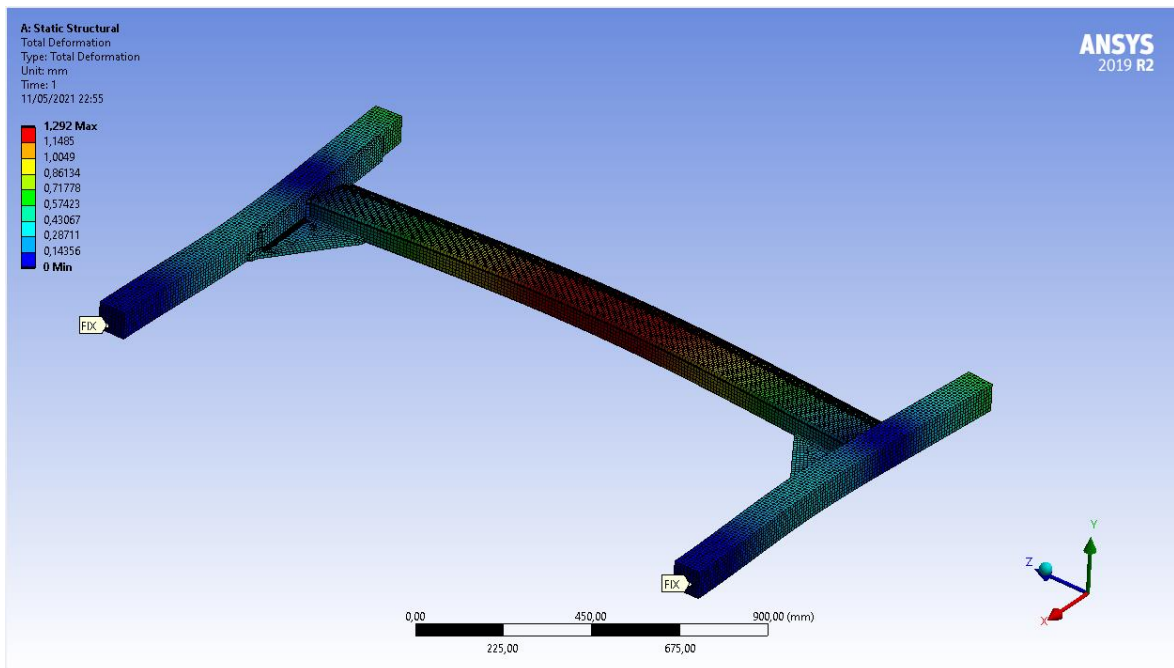


Joonis 4.1 Laba analüüsi ettevalmistus. Jõud on rakendatud punasele pinnale, laba osa on toetatud *frictionless* pinnaga alt ning ühe poole otsmised pinnad on jäigalt paigal.

Analüüsist selgub, et suurim pinge väärtusega 232 MPa paikneb pingekonsentraatoris (vt Joonis 4.2) ning keskmiselt on pinge 26 MPa. Suurim läbipaine toimub ootuspäraselt laba keskel, milleks on ligikaudu 1,3 mm (vt Joonis 4.3). Arvestades, et laba ise on üle 1,7 m pikk, siis analüüsiga leitud läbipaine on lubatav.



Joonis 4.2 Laba pingepilt

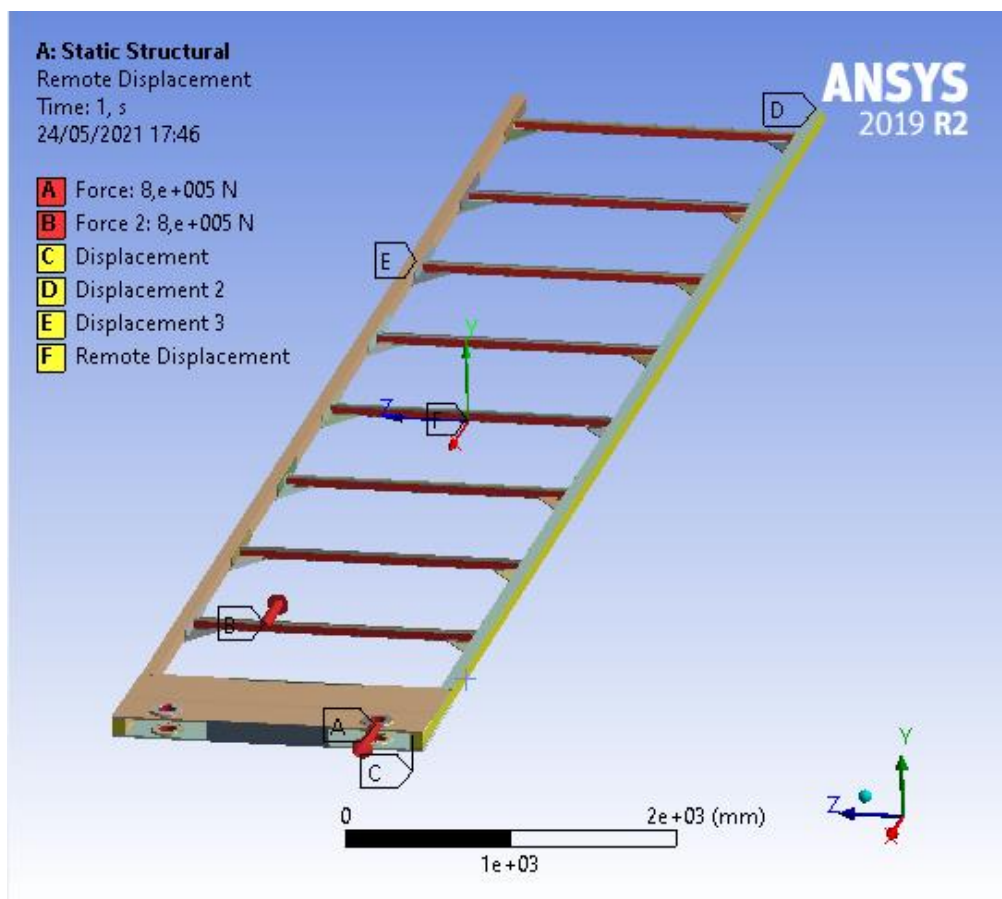


Joonis 4.3 Laba läbipaine

4.2 Raami talad

Liikuv raam koosneb kahest ligi 12 meetri pikkusest talast, mis on omavahel risti ühendatud labadega. Arvestuse põhjal, et raamile mõjuv jõud töökäikude ajal on kuni 800 kN ning seda kantakse edasi 80x80 mm ristlõikega terasest taladega, tasub uurida nende talade külgsuunalist siirdumist liikumise ajal.

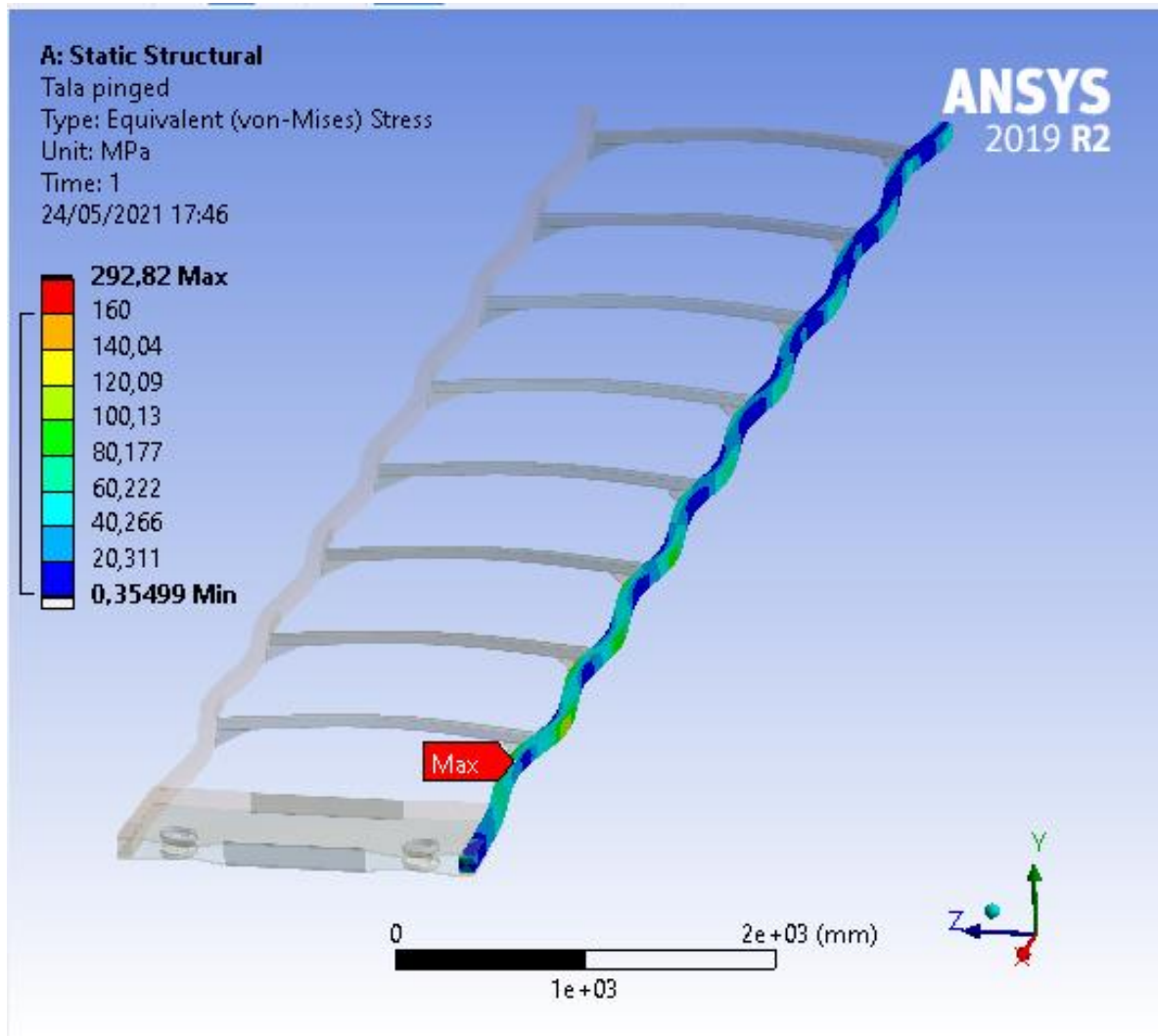
Analüüsi seadistuse poolepealt on mudelile rakendatud *mesh'i* suurus 10 mm ning pikkadel taladel on see 20 mm. Kogu mõjuv jõud suurusega 800 kN on rakendatud silindri puksidele. Mudelis on jõud rakendatud silindri puksidesse ning selle vastassuunaline jõud on määratud võrdselt talasi ühendavatele labadele, kus igale labale mõjub jõud -100 kN. Konstruktsiooni X-teljeline liikumine on piiratud puksidest *displacement* rajatingimusega. Y-teljeline liikumine on piiratud talade ning labade alumisel pinnal samamoodi *displacement* rajatingimusega. Kogu koostu Z-teljeline liikumine on piiratud *remote displacement* rajatingimusega koostu sümmetriatelje suhtes.



Joonis 4.4 Raami analüüsi seadistus

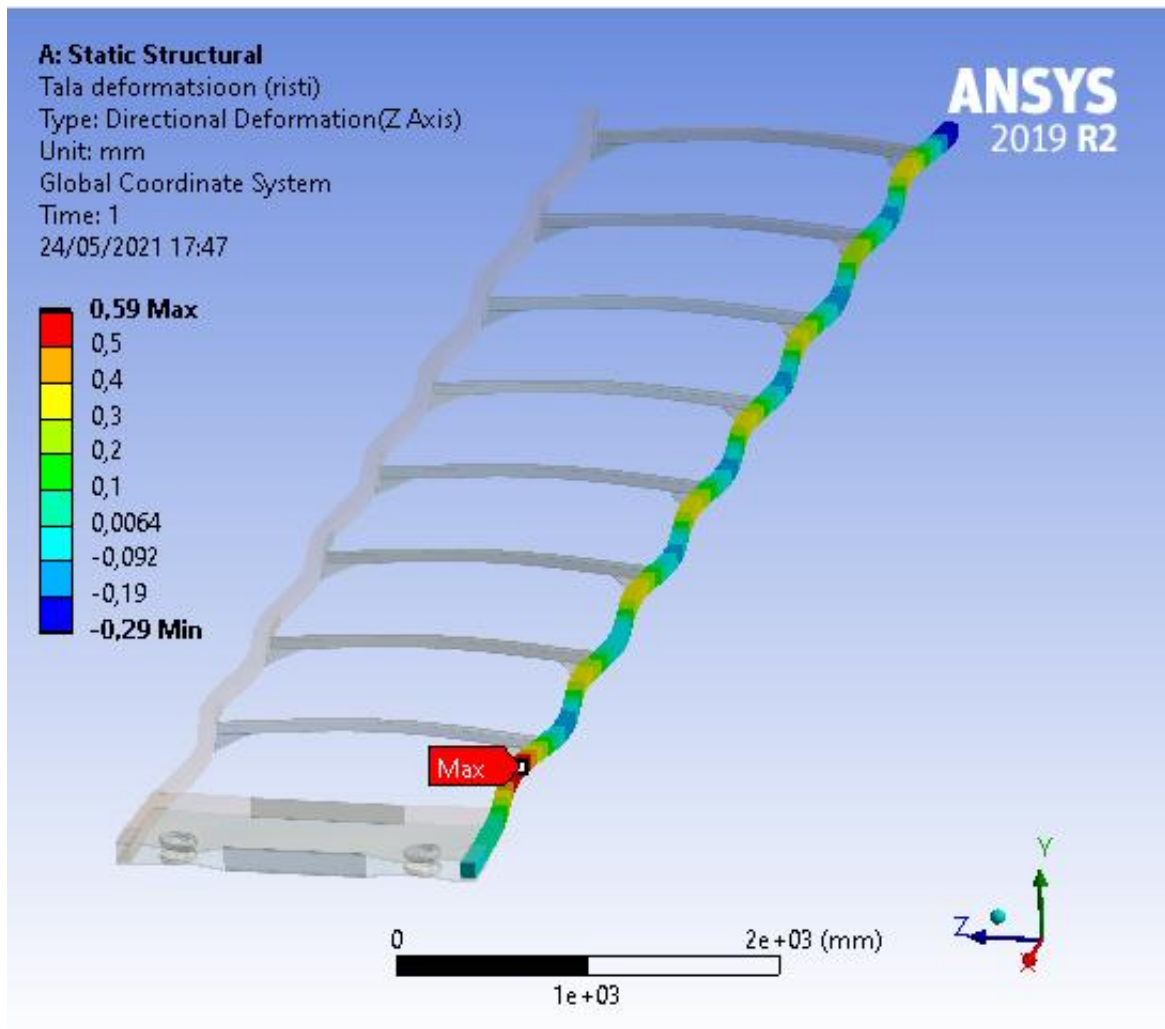
Uuritavateks objektideks selles analüüsis on pigem roobi talad, siis vaadeldakse järgnevalt pingeid ja siirdumist ainult roobitalade ulatuses.

Analüüsi tulemusena selgub, et raami talale mõjub kõige suurem pinge ~ 294 MPa, kuid lähemal vaatlusel veenduti, et tegemist on arvutuse singulaarsusega.



Joonis 4.5 Tala pingete analüüsi tulemus.

Tala siirdumist uuriti analüüsi mudeli Z-telje suhtes. Tulemuse järgi näeb ära vahemiku, kui palju jõudude mõjul tala selles sihis siirdub ning kui palju peab vaba ruumi tuleb vähemalt jätta talade vahelisse piirkonda (vt Joonis 4.6). Esialguses disainis on ette nähtud 25 mm ruumi kahe liikuva tala pindade vahele, mis on oluliselt suurem kui leitud tala Z-telje sihiline siirdumine.



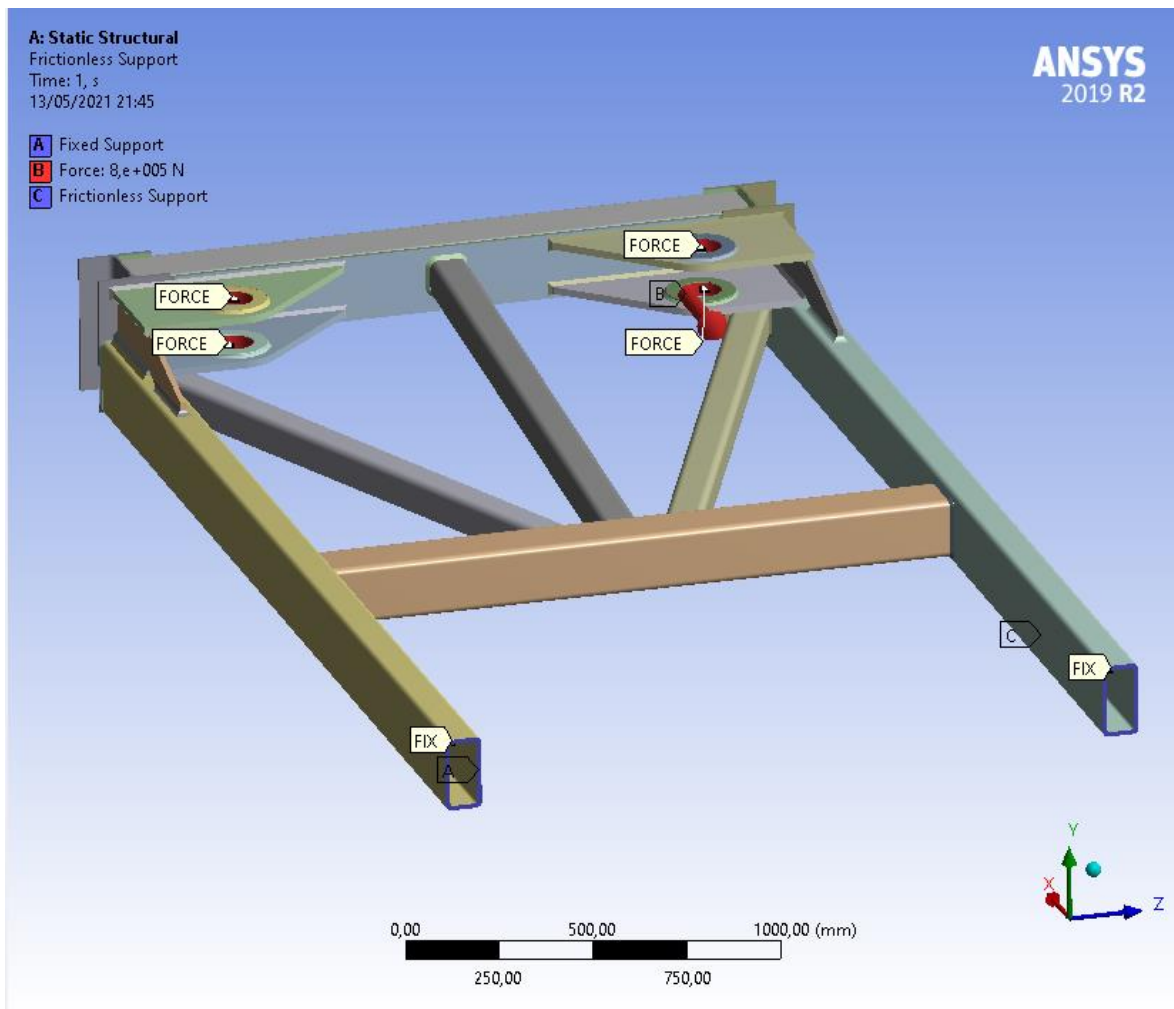
Joonis 4.6 Tala siirdumine Z-telje sihis.

Analüüsis rakendati ka sama jõud vastupidises suunas ning sellega pinged ning läbipainded oluliselt ei muutunud.

4.3 Alustugi

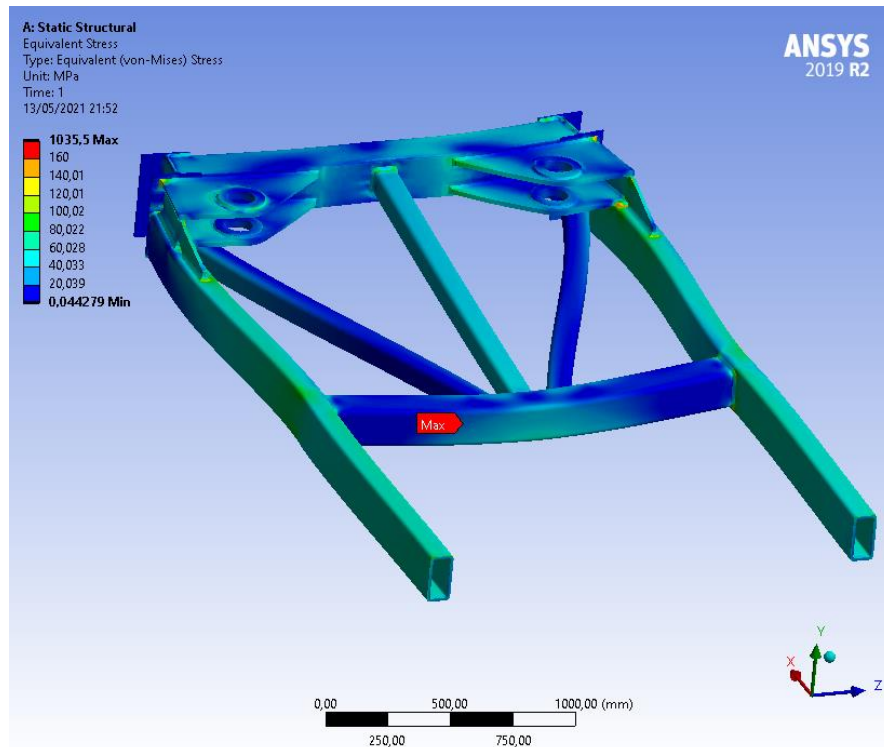
Seadme kõige komplektsem keeviskoost on alustugi. Sellele toele mõjuvad samamoodi hüdrosilindri poolt rakendatud jõud. Alustugi seob omavahel tugitalad hüdrosilindritega. Seadme konstruktsioonist tulenevalt paiknevad tugitalad hüdrosilindritest madalamal, mõjub konstruktsioonile oluline pöördemoment, millega kaasneb väändumine profiilides. Alustugi koosneb erinevatest toruprofiilidest, I-taladest ning plaatidest.

Analüüsi keerukuse tõttu rakendati seadistamisel *adaptive mesh'i*, kus suurimaks elemendi suuriuseks määrati 20 mm ning väiksemaks 0,1 mm. Jõud 800 kN rakendati silindri jõude toeraamile edasikandvatele puksidele, mis on keevitatud plaatide külge. Tugi on konsoolselt fikseeritud ristküliktalade ristlõikest ning *frictionless* kontaktiga tugiraami alumiselt küljelt, mis toetuks realsuses betooni peal (vt Joonis 4.7).

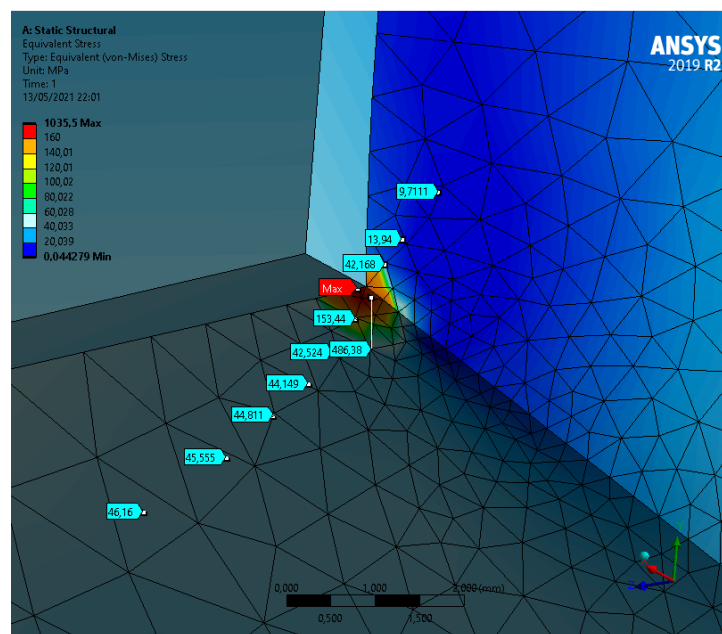


Joonis 4.7 Tugiraami seadistus analüüsiks

Analüüsi tulemusena selgus, et tugiraamil esinevad pinged vastavad seatud nõuetele. Keskmiselt on pinge konstruktsioonis ~40MPa ning pinge on talades enamvähem ühtlane (vt Joonis 4.8). Tehtud analüüs sisaldas vähesel määral pingekonsentraatoreid, kuid need arvati ebaolulisteks, sest konsentraatori piirkonna naaberelementidel pinge oli oluliselt madalam.

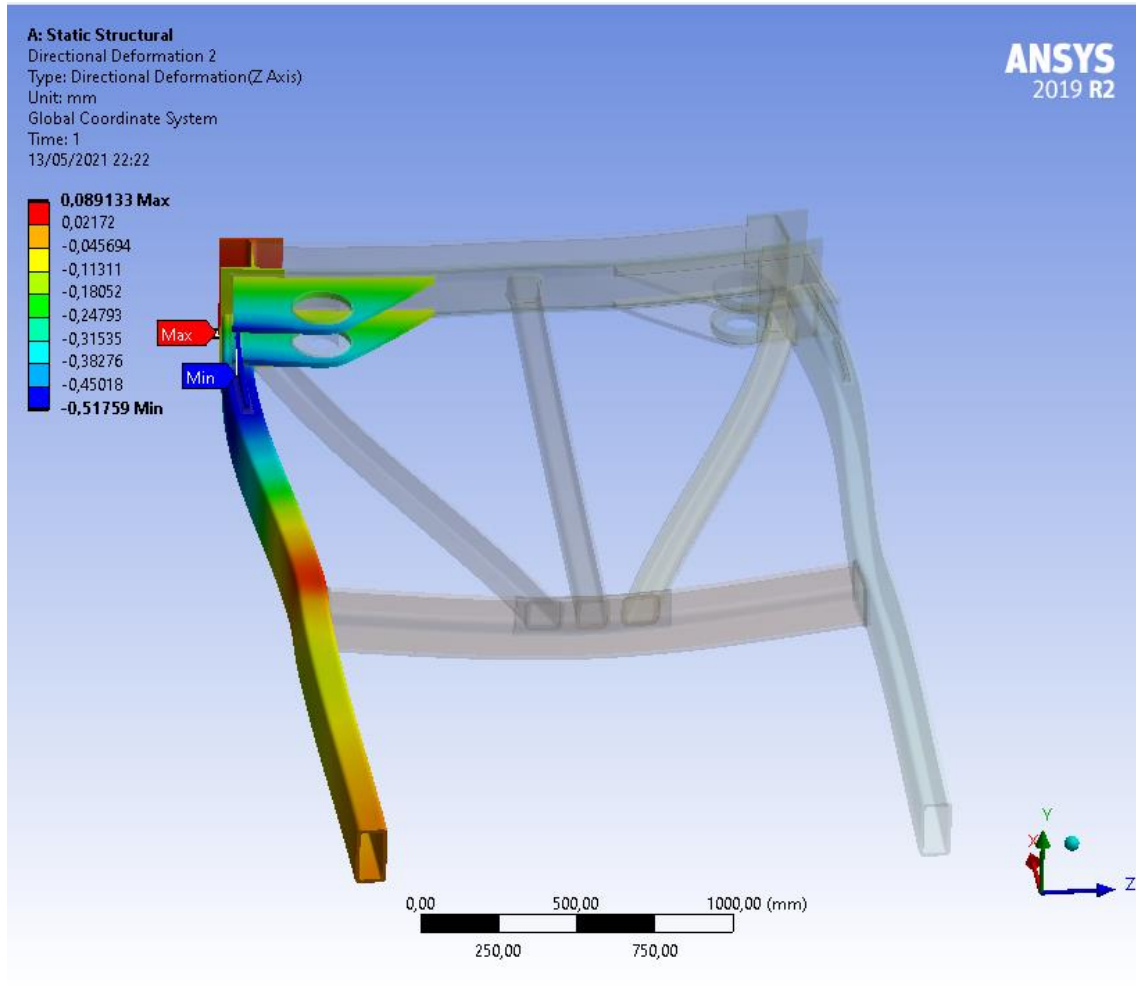


Joonis 4.8 Tugiraami pingepilt



Joonis 4.9 Pingekonsentraator

Alustoe läbipainde analüüsi eesmärk on veenduda, et ristküliku profiilides ei toimuks olulist siirdumist Z-telje sihis. Projekteeritud konstruktsiooni kohaselt paiknevad tugiraamid kõrvuti 25 mm vahedega. Saadud analüüsi tulemuse põhjal saab veenduda, et töökäikude ajal tugiraamid ei puutu omavahel kuidagi kokku.



Joonis 4.10 Tugiraami deformatsioon

Lisaks teostati ka sama analüüs vastassuunalise jõuga ning selles kriitilisi erinevusi konstruktsioonis esinevate pingete osas ei ilmenud.

5 KOKKUVÕTE

Käesoleva töö eesmärk oli analüüsida erinevaid lahendusvariante biomassi etteandmiseks kütuselaost kütusetransportöörile. Analüüsi teel leitud kõige perspektiivikam lahendus disainiti eelprojekti mahus, kus projekteeriti lahendus, tehti baasarvutused mõjuvate jõudude osas ning uuriti konstrueeritud lahenduse tugevust töötsükli erinevatel hetkedel.

Töö eesmärgi täitmiseks vaadeldakse esimeses peatükis erinevaid puistematerjalide liigitamise ja kokkukorjamise seadmeid. Tehakse esmane võrdlus erinevate seadmete lahendusvariantide vahel.

Järgmises peatükis määratakse töös projekteeritava seadme nõuded, töötingimused ning parameetrid. Seejärel kaardistatakse funktsioonistruktuur ja morfoloogiline maatriks, mille abil genereeritakse erinevad lahendusvariandid. Parima lahendusvariandi leidmiseks valmistatakse hindamismaatriks ning tutvustatakse hinnangute andmise tausta. Peatüki lõpuks selgub parim genereeritud lahendusvariant ning jätkatakse selle projekteerimisega.

Konstruksiooni projekteerimise peatükis tutvustatakse lahendust ning materjali nihutamist lähemalt. Kaardistatakse seadmeosadele mõjuvad jõud, arvutatakse nende suurused ning näidatakse ära eelnevalt püstitatud nõuetele vastavust ning nõudeid seadme automaatikale, et tootlikus ja ohutus oleks täidetud.

Neljandas peatükis tehakse põhilised tugevusanalüüsid eelnevalt projekteeritud konstruksiooni osadele. Analüüside käigus veendutakse, et konstruksioon on piisavalt tugev arvestades projekteerimise peatükis selgunud jõududega.

Käesolev magistritöö täitis püstitatud eesmärgi. Läbi olemasolevate etteandemehhanismide analüüsi ja erinevate lahendusvariantide hindamise selgus perspektiivne lahendus olemasoleva seadme probleemide lahendamiseks. Parim leitud lahendus biomassi ettesöötmiseks kütuselaost on liikuv põrand. See on konstruksiooni poolst kõige lihtsam ning omab vähe liikuvaid osi. Projekteeritud konstruksiooniosadel puuduvad poltliited ning enamik detaile on valmistatavad laserlõikust, painutuspinki ning keevitust kasutades.

Põhiprojekti osas tuleks projekteeritud konstruksiooni detaile optimeerida tootmise lihtsustamise suhtes, ning uurida seadme vastupidavust tõstmise hetkedel.

Lisaks tehes konkreetse kasutatava biomassiga erinevaid selle kuhja kirjeldavaid katseid, on võimalik saada parameetreid voolavussimulatsiooni tegemiseks etteandemehhanismile. Selle abil saab potentsiaalselt kaardistada veelgi seadme kitsaskohti ning teha edasisi optimeeringuid.

6 SUMMARY

The aim of this work was to analyze different solutions for feeding biomass from a fuel storage to a fuel conveyor. The most promising solution found by the analysis was designed in the scope of the preliminary design, where the solution was designed, basic calculations were performed in terms of acting forces, and the strength of the designed solution at different moments of the work cycle was studied.

In order to fulfill the purpose of the work, the first chapter looks at various devices for moving and collecting bulk materials. An initial comparison is made between the different device solutions.

The next chapter defines the requirements, operating conditions and parameters of the equipment to be designed in the work. The function structure and morphological matrix are then mapped to generate different solutions. In order to find the best solution, an evaluation matrix is prepared and the background of evaluations is introduced. By the end of the chapter, the best generated solution will be determined and its design will continue.

The chapter on structural design introduces the solution and material displacement in more detail. The forces acting on the parts of the equipment are mapped, their quantities are calculated and compliance with the previously set requirements and requirements for the automation of the equipment are indicated in order to meet the productivity and safety.

In the fourth chapter, the basic strength analyzes are performed for the pre-designed structural parts. The analyzes make sure that the structure is strong enough considering the forces revealed in the design chapter.

This master's thesis fulfilled the set goal. Through the analysis of the existing feed mechanisms and the evaluation of different solutions, a promising solution for solving the problems of the existing device was revealed. The best solution found for feeding biomass from a fuel storage is a push floor mechanism. It is the simplest in construction and has few moving parts. The designed components do not have bolted joints and most parts can be made using laser cutting, bending machine and welding.

With regard to the main design, the details of the designed structure should be optimized for the simplification of production, and the durability of the device during lifting

moments should be investigated. In addition, by performing various experiments describing this heap with the specific biomass used, it is possible to obtain parameters for performing a flow simulation on the feed mechanism. This potentially allows to further map device bottlenecks and make further optimizations.

7 KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „KE062: Kütuse tarbimine tegevusala ja kütuse liigi järgi,“ 02 10 2020. [Võrgumaterjal]. Available: https://andmed.stat.ee/et/stat/majandus__energeetika__energia-tarbimine-ja-tootmine__aastastatistika/KE062.
- [2] Screw Conveyor Corporation, „www.screwconveyor.com,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://screwconveyor.com/wp-content/uploads/2018/08/Engineering_Catalog_1-2010.pdf?dl=1. [Kasutatud 25 04 2021].
- [3] I. PLC, „Powder & Bulk Solids,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.powderbulksolids.com/feeders/handle-cohesive-products-live-bottom-screws>. [Kasutatud 26 04 2021].
- [4] V. LLC, „SB 400 Screw discharger,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.vecoplanllc.com/sb-400-screw-discharger>. [Kasutatud 26 04 2021].
- [5] A. OY, „Biomass storage and reclaiming systems,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.andritz.com/products-en/group/pulp-and-paper/power-generation/biomass-handling-systems/biomass-storage-reclaiming>. [Kasutatud 26 04 2021].
- [6] Saxlund, „Tubfeeder biomass reclaiming,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.saxlund.co.uk/en/products/tubfeeder-biomass-reclaimer>. [Kasutatud 26 06 2021].
- [7] R. T. Gist, „Walking Floors“. Ameerika Ühendriigid Patent 5,560,472, 24 05 1995.
- [8] Saxlund, „Optimum Discharge Machine for Rectangular Bunkers,“ Saxlund International Limited, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.saxlund.co.uk/en/products/pushfloor-discharger>. [Kasutatud 27 04 2021].
- [9] S. AB, „Push Floors,“ Saxwerk AB, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.saxwerk.com/push-floors/>. [Kasutatud 27 04 2021].
- [10] G. Mills, „Understanding Conveyor Systems,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thomasnet.com/articles/materials-handling/understanding-conveyor-systems/>. [Kasutatud 27 04 2021].
- [11] Röttgers Ketten Iserlohn, „Scraper floor chains,“ Röttgers Ketten GmbH & Co. KG, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.roettgersketten.de/en/products/convey/scraper-floor-chains#J>. [Kasutatud 27 04 2021].
- [12] A. B. T. Z. A. L. Kristaps Gruduls, „Characteristics of wood chips from logging residues and quality influencing factors,“ *Research for rural develepoment 2013, volume 2*, kd. 2, pp. 49-54, 2013.
- [13] M. S. W. M. S. M. T. H. Mirosław Szala, „Abrasion Resistance of S235, S355, C45, AISI 304 and Hardox 500 Steels with Usage of Garnet, Corundum and Carborundum Abrasives,“ *Advances in Science and Technology Research Journal*, kd. 13, nr 4, pp. 151-161, 2019.

- [14] W. A. G. Michael Rackl, „Experimental investigation on the influence of different grades of wood chips on screw feeding performance,“ Mai 2016. [Võrgumaterjal]. Available:
https://www.researchgate.net/publication/300082710_Experimental_investigation_on_the_influence_of_different_grades_of_wood_chips_on_screw_feeding_performance
. [Kasutatud 30 04 2021].

8 GRAAFILINE OSA

- 1. A000 (Liikuvpõrand, formaat A2)**
- 2. A001 (Raam, formaat A3)**
- 3. A002 (Alustugi, formaat A3)**
- 4. A003 (Liikuva laba keeviskoost, formaat A4)**
- 5. A004 (Liikuv laba, formaat A4)**
- 6. P006 (Liikuva laba kaldpind, formaat A4)**
- 7. P007 (Liikuva laba põhi, formaat A4)**
- 8. P008 (Raami plaat, formaat A4)**
- 9. P014 (NKT 100x100 L1661 t=10, formaat A4)**
- 10. P018 (Tugiplaat, formaat A4)**
- 11. P028 (Puks, formaat A4)**