



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut
Autotehnika õppetool

MEA70LT

Marion Meius

**KOMBAINI HEEDRI KAKSIKTEO
REMONDITEHNOLOOGIA**

Autor taotleb
tehnikateaduse magistri
akadeemilist kraadi

Tallinn
2016

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis lektor Janek Luppini juhendamisel

“11” jaanuar 2016 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”201....a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”201... a.

..... allkiri

TTÜ masinaehituse instituut

Tootmistehnika õppetool

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE

2015 aasta sügissemester

Üliõpilane: Marion Meius, 124453MATMM

Õppekava: MATM02/11 - Tootearendus ja tootmistehnika

Eriala: Transporditehnika

Juhendaja: lektor, Janek Luppin

MAGISTRITÖÖ TEEMA:

Kombaini heedri kaksikte remonditehnoloogia

Auger repair technology of combine header

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Teostada turuanalüüs	10.06.2015
2.	Anda ülevaade remonditava detaili ehitusest	05.08.2015
3.	Kaardistada deformatsiooni ulatus ja üldised kujuhälbed	05.08.2015
4.	Selgitada välja remondivõimalused ja kriteeriumid	20.09.2015
5.	Töötada välja õgvendusabinõu	15.10.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: selgitada probleemi aktuaalsus, määrata kohaliku turu suurus ja tõenäoline majanduslik mõõde. Uurida õgvendamise võimalusi ja määrata selle piirid.

Täiendavad märkused ja nõuded: -

Töö keel: eesti keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 14.12.2015

Töö esitamise tähtaeg 12.01.2016

Üliõpilane Marion Meius /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja Janek Luppin /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE	3
SISUKORD	4
EESSÕNA	6
1. SISSEJUHATUS	7
2. TURUANALÜÜS.....	11
2.1. Eesti kombainipark	11
2.2. Kahjujuhtumite sagedus	14
2.3. Kahjujuhtumite näited	15
2.3.1. Teraviljakombain Claas.....	15
2.3.2. Teraviljakombain New Holland	18
2.3.3. Teraviljakombain Rostselmash	20
2.4. Senine remondipraktika Eestis	21
2.5. Olemasolevad remonditehnoloogiad mujal maailmas.....	24
2.6. Huvigrupp uuele remonditehnoloogiale	27
2.7. Kindlustusseltside osa remondiprotsessis.....	27
3. REMONDIPROTSESS.....	29
3.1. Ettevalmistus	31
3.2. Ehitus	32
3.3. Plastsed deformatsioonid	34
3.4. Remonditehnoloogia.....	38
3.5. Mõõtmistööd.....	42
4. REMONDIVÕIMALUSED	51
4.1. Koormusolukord.....	51
4.2. Materjali omadused	53
4.3. Remontimise kriteeriumid	54
4.4. Remondiaeg	56
5. ÕGVENDUSABINÕU VÄLJATÖÖTAMINE.....	59
5.1. Prototüübid ja nõuded.....	59
5.2. Koormusolukord.....	62
5.3. Materjali valik.....	69
6. FINANTSARVESTUS	71
7. OHUTUSTEHNIKA.....	73
8. KVALITEEDIKONTROLL, GARANTII, KINDLUSTUS.....	75
KOKKUVÕTE.....	76

SUMMARY	80
KASUTATUD KIRJANDUS	84
LISAD	86
Lisa 1. A1 formaadis joonis Õgvendustald 1.	86
Lisa 2. A1 formaadis joonis Õgvendustald 2.	86
Lisa 3. A1 formaadis joonis Tugitald 1.	86

EESSÕNA

Eesti teraviljasektori tootmiskulude vähendamine, energia- ja keskkonna säästmine, äritegevuse efektiivsemaks muutmine läbi väiksemate kulude on need märksõnad, mis sai määravaks käesoleva töö valikul.

Teraviljakombaini heedri kaksikteole eksploatatsiooni käigus võõrkehade poolt tekitatud deformatsioonide õgvendamise remonditehnoloogia väljaarendamine ja selle praktikas rakendamine tõusis ideena päevakorda kuna see oleks kombainiomanike jaoks kiire-, alternatiivne- ja madalamat finantsressurssi nõudev remondivõimalus. Nimetatud remonditehnoloogia tähendab kaksikteo korpuse taastamist selliselt, et oleks võimalik selle edasine kasutamine.

Lõputöö teema on välja pakutud autori poolt. Töötades If P&C Insurance AS-is, kahjukäsitusosakonna ekspertgrupi juhi ametikohal, puutub autor oma igapäeva töös tihedalt kokku rasketehnikaga toimunud kindlustusjuhtumite lahendamise, mille käigus tuleb välja selgitada põhjendatud remondimaksumus ja hinnata põhjus-tagajärg vahelisi seoseid. Tavapärane on olukord, kus masina osa saab töö käigus kahjustuse, mille kõrvaldamine on tehnoloogiliselt võimalik, kuid väljaarendatud remonditehnoloogiad ja võimalused selleks Eestis puuduvad ning ainsaks lahenduseks on vahetamine kõrge hinnaga uue varuosa vastu. Eriti piiratud on pöörlevate masinaosade remont, kuna remondi teostamine on keerukam, eeldab kõrget kvaliteeti ja tegevus üldiselt on vastutusrikkam.

Töö koostamine ja algandmete kogumine toimus koostöös kombainide maaletoojatega, remondiettevõtetega, kombaini omanikega ning masina operaatoritega.

Lõputöö valmimisele on kaasa aidanud ja seda sisukamaks ning asjakohasemaks muuta Risto Sarv Tatoli ASist, Raul Orgmets ja Antti Kelner Mecro ASist, Peeter Kitsnik Vändra OÜst, Meelis Suurman ja Mati Viilup Konekesko ASist, Sandor Järvala Rodnas OÜst, Toomas Meier ja Tarvo Rahnik Agriland OÜst. Samuti on asjalike nõuannetega toetanud Henrik Herranen, Henri Lend, Priit Kulu, Priidu Peetsalu, Hans Rämmal, Janek Luppin TTÜst. Lõputöö retsensiooni kirjutas Märt Riisenberg. Autori sügav tänu neile!

1. SISSEJUHATUS

Käesolev teema on fookusseeritud kombainide kaksiktigude remondi võimaluste leidmisele, kuna uue varuosa maksumus on kõrge ja tihti on vahetamisele kuuluva kaksikteo vigastused kõrvaldatavad. Kaksiktigu on üks enim haavatavamaid masinaosaid teraviljakombainil, mille puhul võib töö seiskuda (vt sele 1.1.).



Sele 1.1. Vaade kombaini heedrile, tähistatud on kaksiktigu [1]

Eestis oli eelmisel aastal rasketehnika müüjate andmetel 18 kaksiktigude vahetamise juhtumit, mis on põhiliselt põhjustatud kivide sattumisest teo korpuse ja heedri vanni plaatide vahele. Kuivõrd Eestis kivide rohkus põldudel on teada kui igipõline probleem, siis võib sellest järeldada, et heedrite kaksiktigude kahjustumine on suure tõenäosusega jätkuv trend. Intervjuerides kombainide maaletoojaid ja masinaomanikke, siis selle tulemusena on remondivajadus olemas ning nemad on potentsiaalsete klientidena asjast huvitatud juhul, kui tööle garantii antakse. Maaletoojaid motiveerib huvi pakkuda oma klientidele taskukohast ja

laiade võimalustega teenust ning omanike huvi on hoida madalal masinate remondile ja hooldusele kuluvaid summasid.

Töö käigus vaadeldakse Eesti kombainiturgu ja selle dünaamikat, et teada kuhu suunas liigutakse ning milline on enimlevinud tootja.

Autori üldine soov on arendada remonditehnoloogiaid, mis aitavad säästa energiat ja keskkonda, leides lahendused suurte tootmiskuludega masinaosade taastamiseks, et kasutada lõpuni nende potentsiaalne ressurss. Töös uuritakse, millised võimalused kehtestab kaksikteo ehitus ja deformatsioonide olemus. Kindlasti tuleb teostada võimalikult täpsed mõõtmised nii deformeerunud kui ka uute kaksiktigude korpustega, et aru saada korpuse geomeetria hälvetest ja hinnata remondi käigus saavutatavat täpsust.

Terase tootmine on väga energiamahukas tootmisharu, mis tekitab palju aherainet, saastab õhku ja keskkonda. Kaevandused muudavad piirkonnad kasutuskõlbmatuks nii loomadele kui ka inimestele, tootmisprotsess mõjutab põhjavee kihte ja joogivee kvaliteeti. Ainuüksi terase taaskasutamisega saab säästa 80% energiast, mis kuluks rauamaagist terase tootmisele. Ühe kaksikteo tootmiseks vajaliku terase koguse tootmiseks kulub energiat sama palju kui ühe 160 m² eramu kütmiseks kolm kuud.[2]

Kombainide remondil põhiliseks probleemiks on piiratud aeg, sest õnnetused juhtuvad tavaliselt koristushooajal, siis kui kasutusintensiivsus on kõrge. Ajapiirangud seab ilm, mis omakorda mõjutab niiskusesisaldust ja ka koristamise mõtekust ning võimalikkust. Koristamiseks sobiv aeg on tihti piiratud päevadega ja vahest ka tundidega, seega on hooajal vajalik leida kiireim lahendus, et saaki oleks võimalik edasi koristada. Väiksemate vigastustega jätkatakse tööd deformeerunud kaksikteoga, suuremaid deformatsioone üritatakse õgvendada või vahetatakse tigu välja. Õgvendamist on kombainiomanike poolt praktiseeritud käepäraste vahenditega otse heedril ning suurema deformatsiooni korral ka demonteerituna. Kui deformatsioon on liiga suur või õgvendamine ei anna tulemust, siis ostetakse uus tigu koos vahetusteenusega sisse kombaini tootja kohalikul esindajalt. Hooajal on remonditehnikutel kiired ajad ja hoolimata pingutustest igale poole operatiivselt ei jõuta. See tekitab olukorra kus abi ootamine võtab aega ning masin seisab. Rasketehnika töökodade esindajate sõnul on aktuaalseks probleemiks ka masinaomanike võimekus ise remonditöid teha. Teraviljatootjad on keskendunud oma põhitegevusele ning ostavad remondi- ja hooldusteenused pigem sisse. Sellisele olukorra tekkimisele on hoogu andnud probleemid kvalifitseeritud tööjõuga, vajalike tööriistade-, oskuste- ja teadmiste puudumine.

Töö eesmärk on uurida võimalikke remonditehnoloogiaid, et vigastatud kaksikteoga oleks peale kiiret remonti võimalik jätkata koristamist või peale väljavahetamist seda remontida nii, et oleks

tagatud uuele osale sarnased omadused. Koristamise jätkamise võimaldamiseks peetakse silmas eelkõige kiirremonditehnoloogia rakendamise võimalusi kaksiktigu heedrilt eemaldamata, mida saaks kasutada just hooajal tekkinud avariitagajärgede kiireks kõrvaldamiseks. Avariilise kaksikteo väljavahetamisele järgnevat ulatuslikuma remonditehnoloogia rakendamise võimalusi uuritakse olukorras, kus kaksiktigu on heedrilt eemaldatud ja remonditud kaksikteo näol luuakse vahetusfond, et järgmisel korral oleks kiiresti vajalik varuosa võtta. Remondivõimalused on piiratud deformatsiooniulatusega ja materjali omadustest tulenevate õgvendamise iseärasustega, mille väljaselgitamisele tuleb selle töö käigus samuti keskenduda. Kaksiktigude remonditeenuse pakkumine otse heedrilt või vahetusfondi teo paigaldamine mõne tunni jooksul oleks kombainiomanikule uudne teenus, mis võimaldab suhteliselt kiiresti masina uuesti töökorda seada ja saagikoristamist jätkata. Parim argument on katse ja sellest tulenevalt tuleb läbi viia praktilised katsed reaalselt toimunud deformatsioonide õgvendamisega ning mõõta selleks kulunud aega. Töö eesmärki võib lugeda saavutatuks, kui väljatöötatud remonditehnoloogia võimaldab senise praktikaga võrreldes viia masin uuesti töökorda oluliselt ressursse säästvamalt ja väiksema ajakuluga.

Arvesse võttes kombaini maaletoojate info kohaselt eelmisel aastal vahetatud kaksiktigude hulka ja keskmist kaksikteo maksumust, siis ainuüksi vahetatud kaksiktigude maksumus oli kokku 145000.- eurot koos käibemaksuga. Siin ei arvestata vahetamise maksumust ja neid juhtumeid, millest masinaomanikud maaletoojate esindajaid ei informeerinud. Selleks, et hinnata remonditehnoloogia tasuvust tuleb läbi viia finantsanalüüs ja arvestada kokku tööd ja materjalid, mis kuluvad kaksikteo taastamiseks.

Täna kaksiktigude remonditeenust Eestis ei pakuta, siiani on neid käepäraste vahenditega remonditud omanike poolt, kuid spetsiaalse tehnoloogilise seadmestiku puudumise tõttu on remonditegevus vaevuline. Tihti ei ole tulemus olnud rahuldav, remonditud teo korpusesse tekivad eksploatatsiooni jooksul praod ning hiljem on kaksiktigu ikkagi uue vastu vahetatud. Põhiliseks probleemiks tigude remondi juures on väidetavalt selle terves pikkuses sirgeks rihtimine ja viskumise kõrvaldamine. Samuti on olnud probleemiks väntmehhanismi tugilaagrite purunemine kui kasutatakse lõplikult taastamata kaksiktigu.

Sama probleemi ees nagu kombainiomanikud on ka autor käesolevat tööd koostades, kuna puudub tehnoloogiline seadmeistik, millega kaksikteo korpust õgvendada. Sellest tulenevalt on vaja töö käigus lahendada ka see ülesanne ja leida lahendus suurte mõõtmetega õonesvõlliga opereerimiseks ning selle seina õgvendamiseks.

Kombainiomanike sõnul oli kunagi remonditeenust pakkunud Türi EPT, mis seisnes deformeerunud kaksikteo osa asendamises, kuid täna seda teenust enam ei pakuta. Tolleaegsete

kombainide põhiline vaenlane oli purunenud kaksikteo sõrm, mis purunes suvalise kohapealt ja kaksikteo pöörlemisel lõi murdunud sõrme jäänus sisuliselt korpuse pooleks.

Kombainide maaletoojate esindajate sõnul pakutakse kaksiktigude remonditeenust deformeerunud osade väljavahetamise teel Poolas ja Saksamaal, kuid konkreetseid ettevõtteid nimetada ei osatud. Internetis teostatud uuringu tulemusena pakutakse kaksiktigude remonditeenust USA-s, Kanadas ja Austraalias, kus samuti vahetatakse välja deformeerunud piirkond. Lisaks pakutakse USA turul abinõud, millega saab õgvendada sõrme avade deformatsioone ja kiirremondivõimalust, et pikendada võimalusel kaksikteo eluiga mingi aja võrra.

Analoogilisi töid ega projekte autor ei leidnud ja seega puudusid ka allikad, mida käesolevas töös vahetult kasutada.

Tänases Kehtna Majandus- ja Tehnoloogikoolis, mis kunagi oli Kehtna Näidissovhoostehnikum kaitses aastal 1986 Tarvo Rahnik diplomitöö, mis käsitles kombainide CK-5 ja CK-6 kaksiktigude remonditehnoloogiat Türi EPT-s. Autori sõnul kirjeldati töös Türi EPT-s kasutusel olnud kaksikteo tasakaalustus pinki ja remonditehnoloogiat, mille käigus vahetati teol sektsioon välja. Nimetatud töö on tänaseks kahjuks hävitatud ja abimaterjalina ning huvitava lugemisenä ei õnnestunud seda kasutada.

2. TURUANALÜÜS

Selles peatükis saame teada, et kombainipargi vanus on viimase kümne aasta jooksul noorenenud. Kombainiturg jaguneb kolmeks, põhiliselt kahe turuliidri ning ülejäänud turul tegutsejate vahel. Kombaini heedrisse kivi sattumine 2014 aastal on viinud kaksikteo vahetamiseni 18 korral, mis moodustab samal aastal Eestis registreeritud vastavat marki kombainide kogusest 30%. Arvestuslikult on eeltoodud numbrite põhjal kulunud kaksiktigude vahetamisele keskmiselt 145000.- eurot. Pilguheit reaalsesse kahjujuhtumitesse kaksiktigudega annavad hea ülevaate erinevatest olukordadest ja hinnaklassidest. Kaksiktigude remondivõimalustest on huvi olemas nii tootjate esindajate- kui ka kombainiomanike näol. Samuti on asjast huvitatud ka kindlustusseltsid, kelle soov on hüvitada minimaalsed põhjendatud remondiga seotud kulud. Väljaspool Eestit on uuringu põhjal senine remondipraktika põhiliselt kahjustatud sektiiooni väljavahetamine ja sõrmeavade õgvendamine patenteeritud abinõud kasutades. Kõigest sellest saab lähemalt ja detailidesse laskudes lugeda järgnevatest alapeatükkidest.

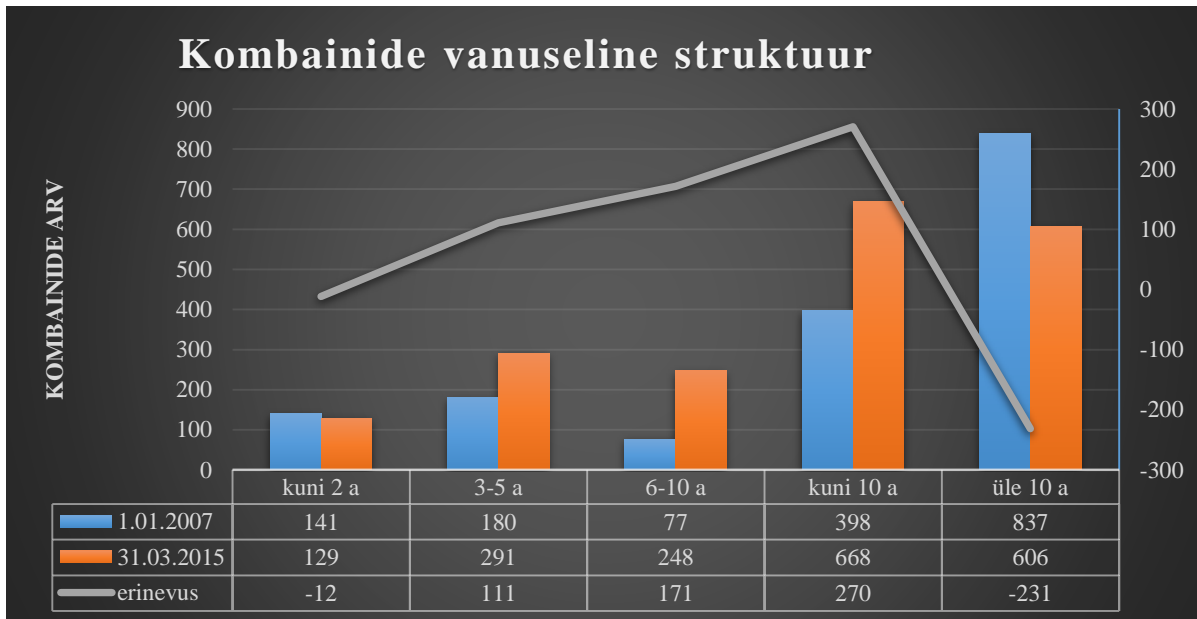
2.1. Eesti kombainipark

Kombainipargi vanus Eestis on viimastel aastatel noorenenud ja üldise mahu poolest vähesel määral suurenenud. Turg jaguneb kolmeks kahe suurima tootja- ning ülejäänud markide vahel. Kaksikteo korpuse remondi õnnestumise juures on oluliseks indikaatoriks selle vanus, sest vähekasutatud korpuse materjal ei ole amortiseerunud ja seda on lihtsam õgvendada. Kauem kasutuses olnud korpuses võib esineda tehnoloogiliste avade juures väsimuspragusid ja seinapaksus on kaksikteo keskosas õhemaks kulunud, mis teeb õgvendamise nendes piirkondades komplitseeritumaks. Keskmise kombaini vanus pidevalt väheneb ja seega on üha aktuaalsem kaksikteo remondivõimaluste arendamine. Potentsiaalsest töömahust ülevaate saamiseks on vajalik teada sihtgruppi kuuluvate kombainide arvu. Sihtgruppi valis autor kuni viie aasta vanused kombainid.

Kaksiktigude ehitus erineb kombaini tootjate lõikes ja sellepärast on remonditehnoloogia väljaarendamisel oluline teada milliste markide vahel turg põhiliselt jaguneb.

Maanteeameti statistika- [4] ja aastatel 2002-2006 koostatud sobivusuuringu andmete [3] põhjal koostati diagramm kombainide vanuselise struktuuri muutumise kohta tükiarvult, mis on toodud seel 2.1. Seisuga 31.03.2015 on Eestis arvel 1274 kombaini, mis on samas suurusjärgus

kaheksa aasta taguse ajaga kui oli arvel 1235 kombaini. Kaheksa aastaga on tõusnud kombainide arv 3-5 ja 6-10 aasta vanuste kombainide segmendis ning langenud on oluliselt üle kümne aasta vanuste kombainide osakaal. Kuni kümne aasta vanuseid kombainide arv on suurenenud 270 tüki ehk 68% võrra ja üle kümne aasta vanuste kombainide hulk on vähenenud 231 tüki ehk 28% võrra. Vanuse poolest valitakse potentsiaalseks sihtgrupiks kuni viie aasta vanused kombainid, kuhu kuulub Maanteeameti statistika põhjal 420 kombaini.



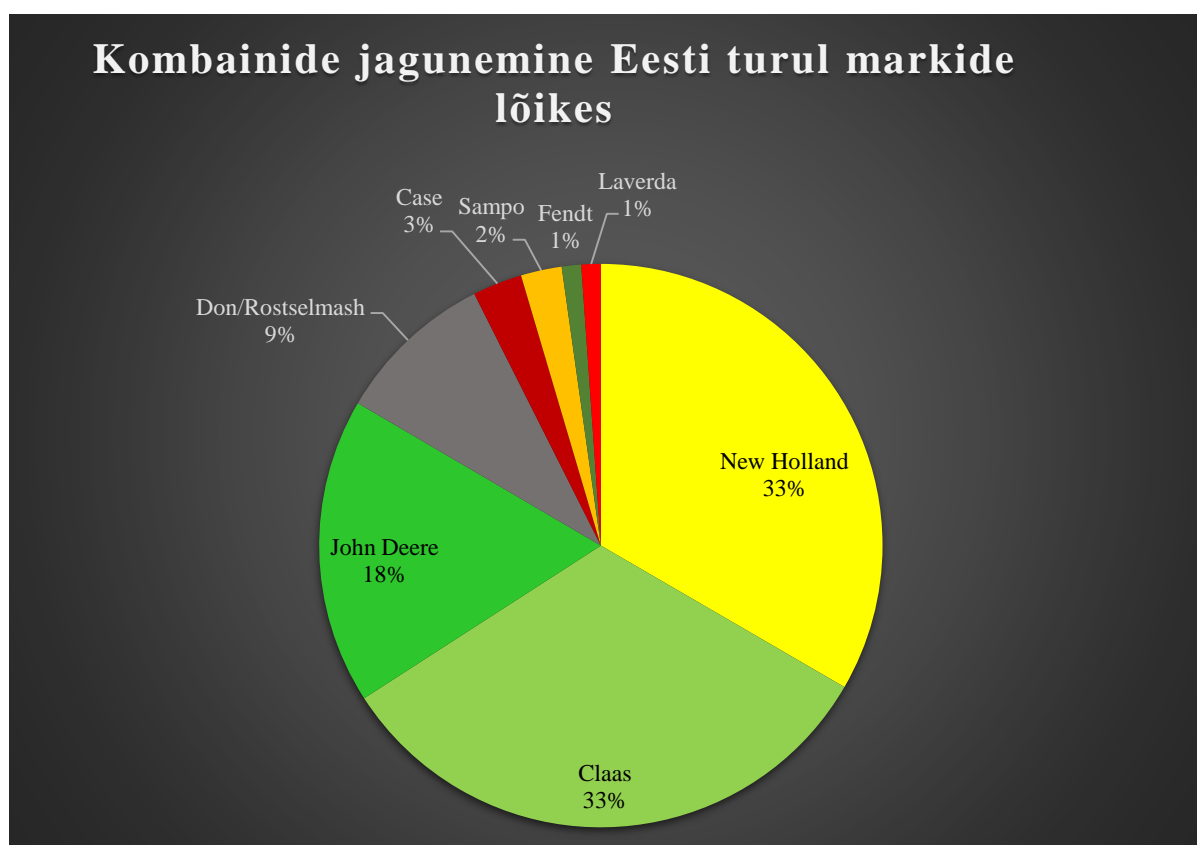
Sele 2.1. Diagramm kombainide vanuselise struktuuri võrdluse kohta. Halli joonega tähistatud erinevus toob ilmekalt välja kaheksa aasta turumuutuse kuni –ja üle kümne aasta vanuste kombainide osas [3; 4]

Maanteeameti statistika andmete [4] põhjal koostati tabel 2.1 ja diagramm seel 2.2 teraviljakombaini markide- ja ehitusaastate lõikes, et saada ülevaade turu jagunemisest. Turg jaguneb suurtes piirides kolmeks: New Holland, Claas ja ülejäänud margid. Sellest tulenevalt on mõistlik põhiliselt keskenduda kahele tootjale, mis moodustab turust 66%.

Tabel ja diagramm ei sisalda selguse huvides andmeid turult aastatega kadunud tootjate Deutz Fahri, Erntemeisteri ja Massey Fergussoni ning lisandunud Hemasi kohta, kuna nende kogused on tühised ja jäävad sihtgrupist välja. Rostselmashi tehas on Don kaubamärgi aja jooksul asendunud Rostselmashiga, seega on need näidatud andmed ühel real. Kaksiktigude remondi korraldamisel on mõistlik eelkõige lähtuda kahe turuliidri iseärasusi silmas pidades, sest kaksiktigude remondi vajaduse tõenäosus on nendel just kõige suurem. Margipõhisesse sihtgruppi kuulub seega 329 kombaini.

Tabel 2.1. Eesti registreeritud kombainide arv markide ja ehitusaastate lõikes seisuga 01.01.2015. Värvidega on tähistatud kaks põhilist turuliidrit. Punase joonega on märgitud sihtgruppi kuuluvad masinad [3; 4]

Kombaini mark	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	kokku
New Holland	11	11	20	48	25	17	19	43	48	28	270
Claas	19	12	16	25	17	21	22	45	55	31	263
John Deere	13	3	13	24	7	8	14	17	15	28	142
Don/Rostselmash	20	3	8	10	9	1	8	9	5	1	74
Case	1	0	0	6	0	0	2	6	4	4	23
Sampo	1	2	1	3	1	0	1	2	6	2	19
Fendt	0	0	3	1	4	0	0	0	0	1	9
Laverda	0	1	3	2	1	1	0	0	0	1	9
kokku	65	32	64	119	64	48	66	122	133	96	809



Sele 2.2. Kombainituru jagunemine tootjate lõikes viimase kümne aasta andmete põhjal [3; 4]

2.2. Kahjujuhtumite sagedus

Kivi sattumine kombaini heedrisse 2014 aastal on autori poolt teostatud küsitluse põhjal Eesti kombainimüüjate vahel viinud kaksikteo vahetamiseni 18 korral. Kui võtta aluseks eelmisel aastal Eestis registreeritud vastavat marki kombainide kogus, siis vahetati 30% registreeritud kombainide heedritel kaksiktigu (vt tabel 2.2).

Tõenäosus, et kombaini heedrisse satub kivi ja see seal kahju tekitab on Eesti oludes väga suur. Siinjuures tuleb arvestada asjaoluga, et küsitluse põhjal kogutud andmete puhul on tegu nende juhtumitega, mis on kombainimüüjatele teada. Kindlasti on ka neid juhtumeid, millest ei teatatud ja mis remonditi kasutajate endi oskuste ning vahenditega.

Kivi sattumist heedrisse mõjutavad põhiliselt järgmised asjaolud:

1. Eesti kliimale omaselt kergitab talvised miinuskraadid kivid põllu seest välja. Eriti ohtlikud on lumevaesed talved kui põllu pind külmub sügavamalt läbi, siis on ka külmakerked tõenäolisemad. Olukorrad tekkivad ka juhul, kui kivide koristamisega on aktiivselt tegeletud.
2. Ilmastikust tingitud vilja lamandumine, mis tingib vajaduse lõigata madalamalt, et maksimaalselt vilja saaks üles korjata. Kuid madalam heedri asetuse viib selle lähemale põllupinnal olevatele kividele.
3. Võõras põld kombainerile. Näiteks rendipõldude kasutamisel või uue tööjõu palkamisel.

Tabel 2.2. Tabelis on toodud 2014 aastal registreeritud kombainide hulk ja samal aastal vahetatud kaksiktigude hulk. Võrdlusena on välja toodud on protsentuaalselt vahetatud kaksikteod registreeritud kombainide kohta.

	Claas	New Holland	Rostselmash	Fendt	kokku
Registreeritud 2014	31	28	1	1	61
Vahetatud kaksiktigu	5	11	1	1	18
	Kaksiktigude vahetamise osakaal				30%

2.3. Kahjujuhtumite näited

Alljärgnevad kolm näidet annavad ülevaate toimunud reaalistest kahjujuhtumitest, mille käigus on kahjustatud kaksikteod välja vahetatud. Esimesel kahel juhul on tegu suhteliselt uude kaksiktigudega, millede korpused on remonditavad. Esimesel juhul asub vigastus ühel pool servas, teisel juhul teo keskmises piirkonnas. Kolmas on kauem kasutuses olnud ja selle vigastused ning sellele eelnev tehniline seisukord on nii halb, et remont ei tule kõne alla. Lisaks on remondi teostamise mõtekuse juures määrav ka uue analoogse varuosa maksumus, mis seab piirid remondimaksumusele.

2.3.1. Teraviljakombain Claas

Alljärgnevalt vaatleme kahjujuhtumit [5] kombainiga Claas Tucano 320 T4, ehitusaata 2013, töötundide arv 152 (vt sele 2.3). Kombainiga töötades sattus kaksikteo ja heedri juhtplekkide vahele kivi, mis deformeeris kaksikteo korpuse ja juhtplekid. Taastusremondi käigus vahetati komplektne kaksiktigu koos sõrmede ja väntmehhanismiga, varuosakataloogi joonis kaksikteo kohta on toodud seel 2.4.

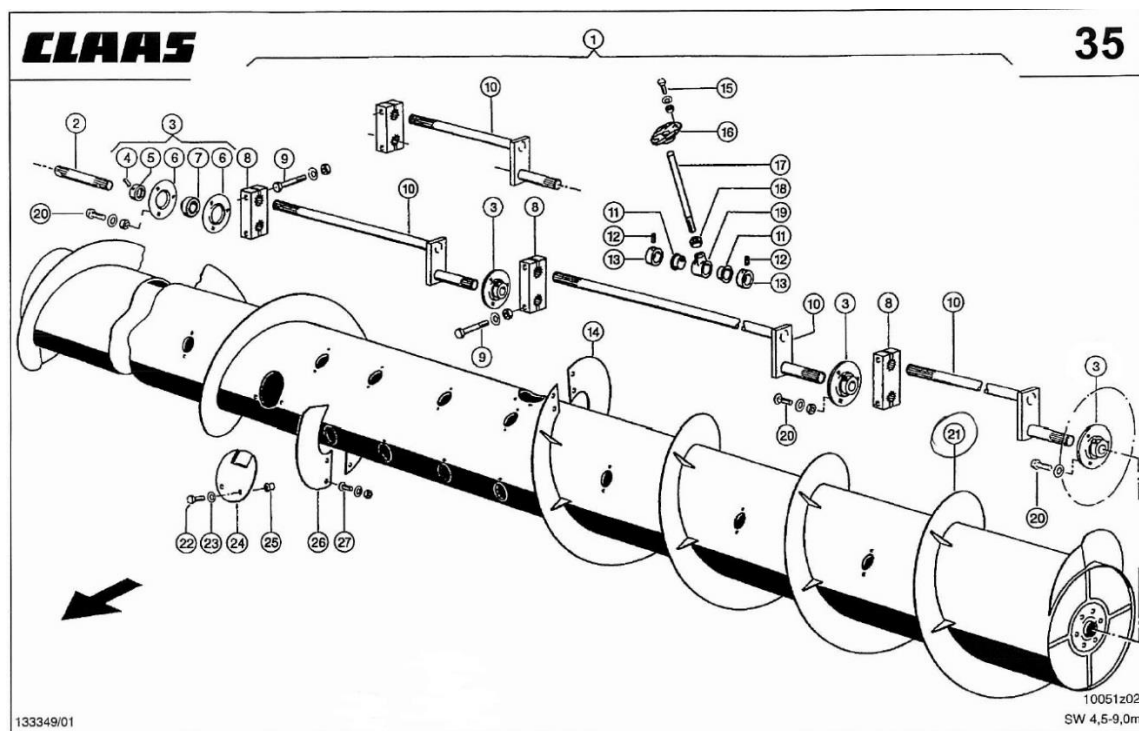


Sele 2.3. Vaade kombainile Claas Tucano 320 [6]

Kahjujuhtumi tagajärgede kõrvaldamiseks vajalik remondikalkulatsioon on toodud tabelis 2.3.

Tabel 2.3. Kombaini Claas Tucano 320 5,4m heedri remondikalkulatsioon [5]

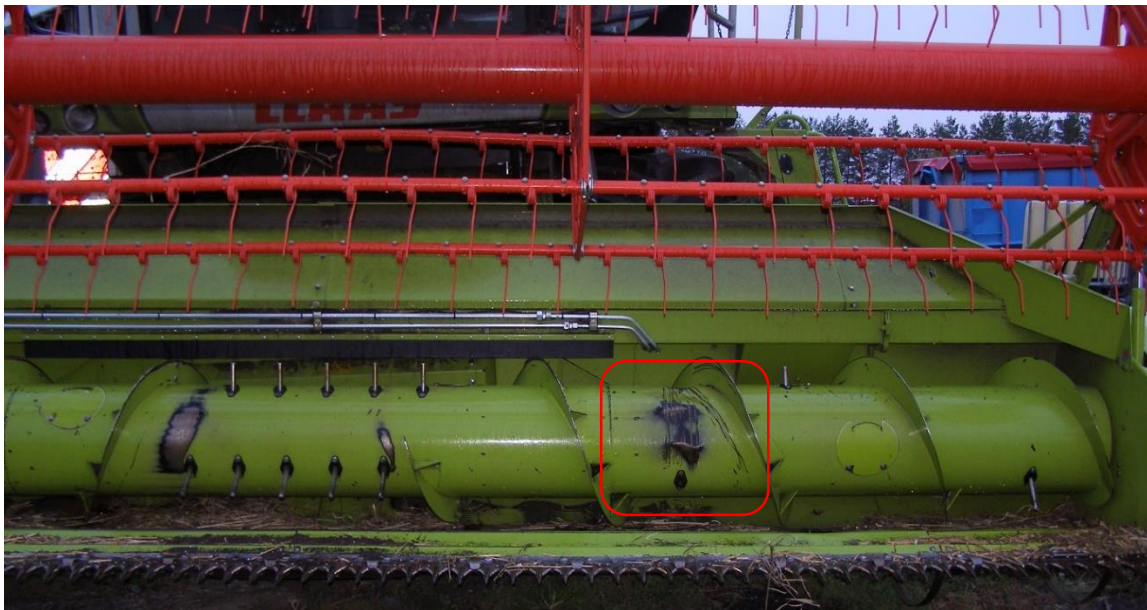
Nimetus	Kogus	Hind	Summa
Kaksiktigu 5,4m komplektne	1	10201,95	10201,95
Laager	1	39,76	39,76
Laagrikomplekt	1	30,77	30,77
Laagriflants	2	8,79	17,58
Sõrm kaksikteole	1	8,30	8,30
Juhtplekk	1	145,24	145,24
Juhtplekk	1	429,29	429,29
Kõrretõstja	5	9,65	48,25
Sõidukilomeeter	213	0,50	106,50
Kahjude hindamine	1	47,50	47,50
Sõidukilomeeter	213	0,50	106,50
Remonditöö	19	47,50	902,50
Summa kokku			12084,14
Käibemaks			2416,83
Summa koos käibemaksuga			14500,97



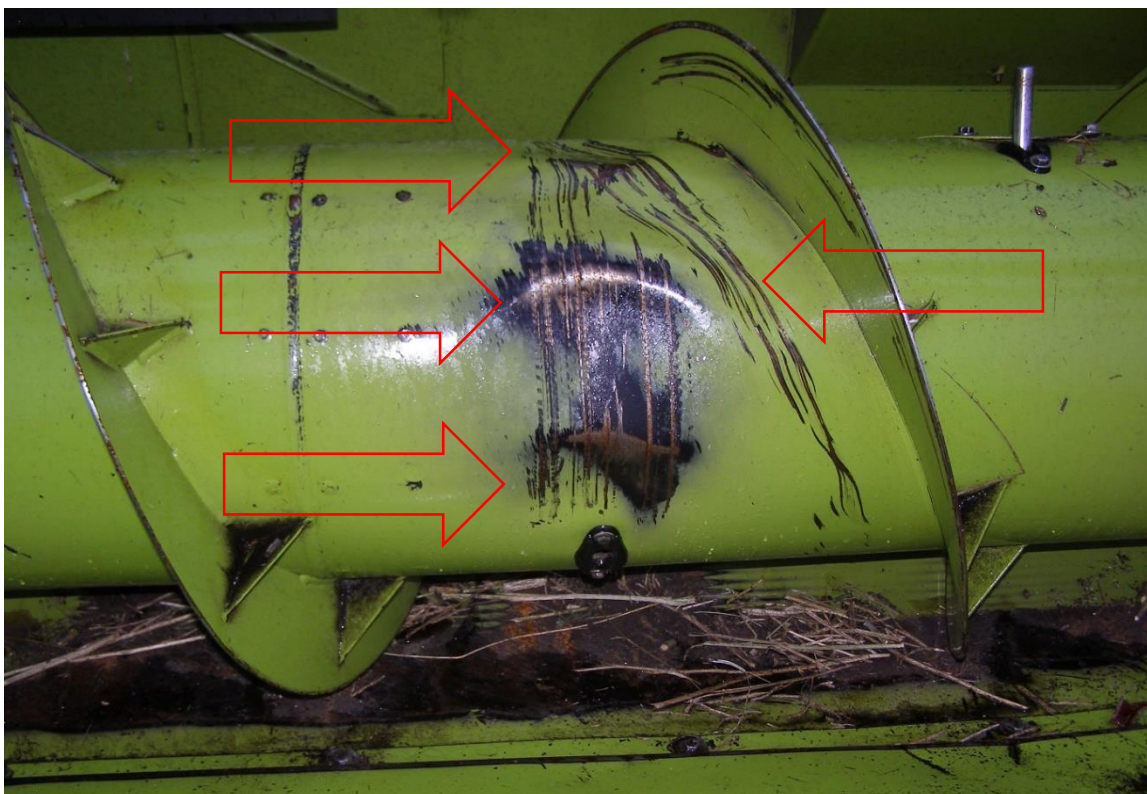
Sele 2.4. Varuosakataloogi joonis kaksikteole detailide kohta [5]

Kokkupuutes kiviga tekkisid teo korpusele mõlgid ja iseloomulikud abrasiivsed kraaped.

Kahjujuhtumi järgseid vigastusi iseloomustavad seledel 2.5 ja 2.6 toodud fotod.



Sele 2.5. Üldvaade deformeerunud kaksikteo korpusele, tähistatud on deformeerunud piirkond [5]



Sele 2.6. Lähivaade deformeerunud piirkonnale kaksikteo korpusel, tähistatud on mõlgid ja kraaped [5]

Järeldus: Vaatluse all oleva kaksikteo hind on kõrge, kombain on suhteliselt uus ja deformatsioonid on laused, seega on kaksikteo korpuse remont mõttekas. Deformatsioon asub kaksikteo vasakpoolsel otsast 1/3 kaugusel selle kogupikkusest. Korpuse seinamaterjali paksus on 2,5 mm.

2.3.2. Teraviljakombain New Holland

Alljärgnevalt vaatleme kahjujuhtumit [7] kombainiga New Holland CX8080 Elevation, ehitusaasta 2014, töötundide arv on teadmata. Kombainiga töötades sattus kaksikteo ja heedri juhtplekkide vahele kivi, mis deformeeris kaksikteo korpuse ja murdis mõned sõrmed (vt sele nr 2.8). Taastusremondi käigus vahetati kaksikteo korpus ja purunenud teo detailid, sisemine väntmehhanism demonteeriti vana teo korpuse seest välja ja monteeriti uude korpusesse.



Sele 2.7. Vaade kombainile New Holland CX8080 Elevation [8]

Kahjujuhtumi käigus tekkinud tagajärgede kõrvaldamiseks vajalik remondikalkulatsioon on toodud tabelis 2.4.

Tabel 2.4. Kombaini New Holland CX8080 Elevation 7,5m heedri remondikalkulatsioon [7]

Nimetus	Kogus	Hind	Summa
Hoidja	5	7,30	36,50
Kaksikteo sõrm	6	15,00	90,00
Mutter	10	4,60	46,00
12 Seib	8	0,05	0,40
Tigu 7,5 Varifeed	1	4305,00	4305,00
Teenustasu	20	43,20	864,00
Remondimaterjalid	2	7,50	15,00
	Summa kokku		5356,90
	Käibemaks		1071,38
	Summa koos käibemaksuga		6428,28



Sele 2.8. Vaade deformeerunud kaksikteo korpusele, nooltega on tähistatud mõlgid ja kraaped [7]

Järeldus: Vaatluse all oleva kaksikteo hind on kõrge, kombain on suhteliselt uus, deformatsioonide ulatus on suur, kuid siiski on mõttekas kaaluda kaksikteo korpuse remonti. Deformatsioonid asuvad korpuse keskosa piirkonnas, mis on otsalaagritest kõige kaugemal ja arvukate tehnoloogiliste avadega sõrmede läbiviikudeks. Seega on tegu korpuse üldise jäikuse seisukohalt nõrga piirkonnaga, kuna toetuspunkt on kaugel ja pingekontsentraatoritena töötavaid avasid palju. Korpuse seinamaterjal on 3 mm paksune.

2.3.3. Teraviljakombain Rostselmash

Alljärgnevalt vaatleme kahjujuhtumit [9] kombainiga Rostselmash Vector 420, ehitusaata 2008, töötundide arv teadmata (vt sele 2.9). Kombainiga töötades sattus kaksikteo ja heedri juhtplekkide vahele kivi, mis deformeeris kaksikteo korpuse ja väidetavalt tekitas sinna praod. (vt sele nr 2.10). Taastusremondi käigus vahetati komplektne kaksiktigu koos väntmehhanismiga ja teised vigastatud detailid.

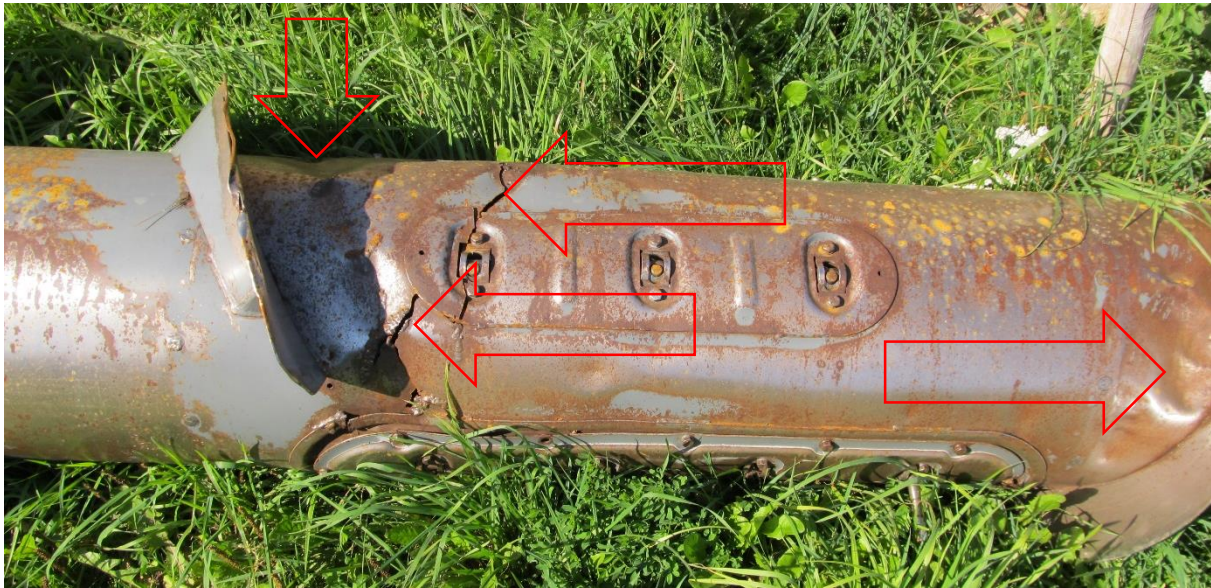


Sele 2.9. Vaade kombainile Rostselmash Vector 420 [9]

Kahjujuhtumi käigus tekkinud tagajärgede kõrvaldamiseks vajalik remondikalkulatsioon on toodud tabelis 2.5.

Tabel 2.5. Kombaini Rostselmash Vector 420 6m heedri remondikalkulatsioon [9]

Nimetus	Kogus	Hind	Summa
Kaksiktigu	1	1895,00	1895,00
Söötebiiter	1	872,00	872,00
Kaldtransportöör	1	325,64	325,64
Laager	1	8,80	8,80
Laagripesa	1	13,53	13,53
Tarvikud	1	6,50	6,50
Sõidukilomeeter	44	0,85	37,40
Töö	7	29,00	203,00
		Summa kokku	3361,87
		Käibemaks	672,37
		Summa koos käibemaksuga	4034,24



Sele 2.10. Vaade kaksikteo korpuse vigastustele, nooltega on tähistatud mõlgid ja praod [9]

Järeldus: Vaatluse all oleva komplektse, koos sõrmede väntmehhanismiga kaksikteo hind on madal, korpust on eelnevalt üritatud remontida, kuid tulemusteta. Kaksiktigu on jäänud eeldatavalt viskama täielikult kõrvaldamata plastse deformatsiooni tagajärjel, mis on kaasa toonud väsimuspragude tekkimise korpuse materjalis. Nimetatud kaksikteo korpuse seina materjali paksus on 1,5 mm, mis eelnevate näidetega võrreldes on oluliselt väiksem. Korpuse seisukord on äärmiselt halb ja kombain on kaheksa aastat vana, seega ei ole mõttekas kaksikteo korpust remontida.

2.4. Senine remondipraktika Eestis

Korpuseid ja komplektseid kaksiktigusid on alternatiivide puudumise tõttu siiani põhiliselt vahetatud.

Praktika põhjal on tootjate esindajate remonditöökodadel väljakujunenud harjumus pigem vahetada komplektne kaksiktigu koos väntmehhanismiga, mitte vigastatud korpus, mis on tegelikult kahjustatud. Väntmehhanismi vanast korpusest demonteerimine ja uude korpusesse monteerimine on aega- ja oskusi nõudev töö. Selle tegevuse puuduseks on pikaajalisem remondiprotsess ja suurenev eksimise võimalus monteerimisel. Samas oleks remondiettevõttel võimalik müüa nii rohkem oma meeskonna töötunde, mille tulemusel jääks raha selle tegevuse puhul Eestisse.

Põhjus, miks pigem müüakse komplektseid varuosi kohapeal monteerimise asemel on garantiis ja tootjate müügisurves. Tootjatehases komplekteeritud koostu eksimused kuuluvad tehase

vastutusalasle aga kohapeal kokku monteeritud vead peab kõrvaldama kohalik töö teostanud töökoda. Tarbimisühiskonnale kohaselt on oma osa tootjatehaste müügisurves, et müüdaiks võimalikult palju varuosi. Varuosade müügi pealt teenivad kasumit maaletoojad ja vahendajad, kuid põhiline raha liigub Eestist välja, mille kokkuvõttes maksab kinni kohalik rahapuuduses vaevlev põllumees.

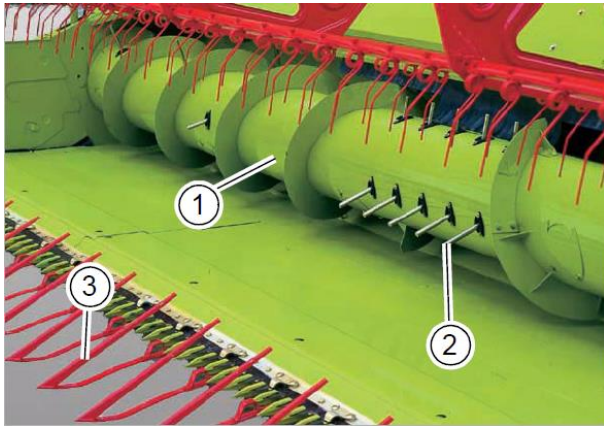
Kombainide maaletoojate seas läbiviidud küsitluse tulemusel varieeruvad komplektsete kaksiktigude maksumused vastavalt tootjale ja teo pikkusele vahemikus 2274...16800 eurot. Kaksiktigude korpuste hinnad jäävad vahemikku 2880...10800 eurot. Mõned tootjad pakuvad ainult komplektseid kaksiktigusid, mis sisaldavad väntmehhanismi koos laagrite, sõrmede ja juhikutega. Kaksikteo komplekteerimine võtab keskmiselt aega 22 töötundi ja olenevalt töötunni hinnast kujuneb selle keskmiseks maksumuseks 1100 eurot. Kaksikteo vahetamine heedril võtab aega keskmiselt 5 töötundi, seega kujuneb selle töö maksumuseks 250 eurot. Eestis enamlevinud kombainide kaksiktigude vahetamise keskmised hinnad sisalduvad tabelis 2.6. Kõik hinnad on toodud koos käibemaksuga.

Tabel 2.6. Kaksiktigude vahetamised maksumused

Kaksiktigu	Keskmine hind	Komplekteerimine	Vahetamine	Kokku
Korpus	6700	1100	250	8050
Komplektne	13800	0	250	14050

Kuivõrd käesoleva töö käigus keskendutakse eelkõige kaksikteo korpuse vahetusele, siis tuleb aluseks võtta keskmiselt 8050 eurot maksev vahetus.

Kaksikteo vahetamise kriteeriumid ei ole kombainide tootjate poolt konkreetselt sätestatud. Vahetuse vajadus tuleneb kasutusjuhendist [10; 11; 12], kus on sätestatud teo keerme kaugus heedri põhjast ja puhastusplaatidest. Kauguse reguleerimine sõltub koristatavast kultuurist. Kaksikteo keermega transporditakse koristatud kultuur mööda heedri põhja teo keskele kokku, kust see edasi kaldtransportöörile ette söödetakse. Kui kaksiktigu ei ole võimalik selle viskumise tõttu piisavalt ligidale reguleerida heedri põhjale ja puhastusplaatidele, siis mähkub transporditav kultuur ümber teokorpuse ja sellisel juhul ei ole võimalik sellega enam koristamist jätkata. Kaksikteo keerme kaugus heedri põhjast varieerub vastavalt kombaini tootjale, koristatavale kultuurile ja selle mahule 10...20mm ning puhastusplaadid peavad olema reguleeritud kaksikteo spiraalile võimalikult ligidale. Reguleerimise näide on toodud seledel 2.11; 2.12; 2.13.



	Tähis
1	Sissetõmbetigu
2	Sissetõmbeteo sõrmed
3	Kõrretõstjad

Sele 2.11. Väljavõte Claas Varioheedrite kasutusjuhendist, heedri üldvaade [10]

Kaksiktigu nimetatakse tootjate lõikes erinevalt nagu sissetõmbetigu, tigu ja kaksiktigu. Kuna kaksiktigu on enamlevinud väljend, siis otsustas autor kasutada seda terminit. Samuti nimetatakse erinevalt ümber korpuse kulgevat plekist keeret nagu spiraal, teo laba või teokeere. Kuna keere on samuti leidnud kõige enam kasutust, siis otsustas autor kasutada seda terminit.

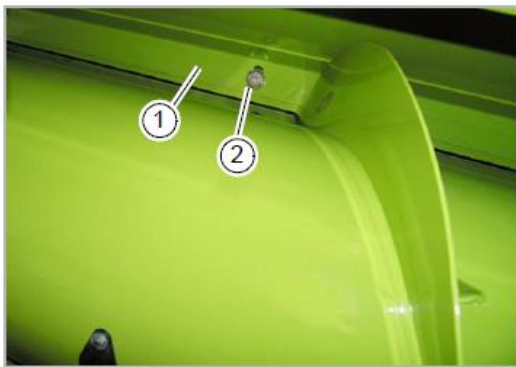
10.4 Sissetõmbeseade

32619

10.4.1 Puhastusprofiili seadistamine

Puhastusprofiilid (1) asuvad sissetõmbeteo taga.

Puhastusprofiilid (1) peaksid olema seadistatud sissetõmbeteole võimalikult lähedale.



8368

7



Ettevaatust!

Ebaõigesti seadistatud puhastusprofiilid.

Sissetõmbeteo vigastused.

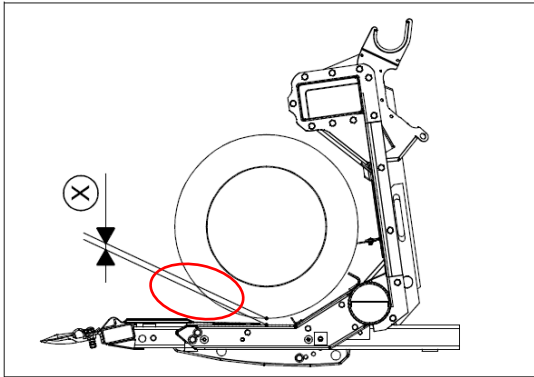
- Puhastusprofiilid ei tohiks puutuda vastu sissetõmbeteo spiraali või sissetõmbesõrmi.
- Tehke seadistamine iga kord pärast sissetõmbeteo asendi seadistamist.

Sele 2.13. Väljavõte Claas Varioheedrite kasutusjuhendist, kaksikte seadistamine [10]

10.4.2 Sissetõmbeteo asendi muutmine

Vahekaugus (X) peaks sissetõmbeteo kogu pikkuse ulatuses olema umbes 20 mm.

Väga raskete vaalude ja suuremõtmelise ning murduva pekstava materjali korral seadistage sissetõmbetigu kõrgemale.



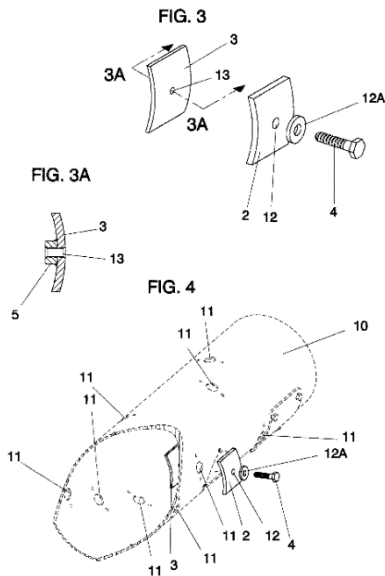
8

Sele 2.13. Väljavõte Claas Variocomb kasutusjuhendist, kaksikteo seadistamine. Punase ovaaliga on kujutatud kivi asukoht avariilukorras [10]

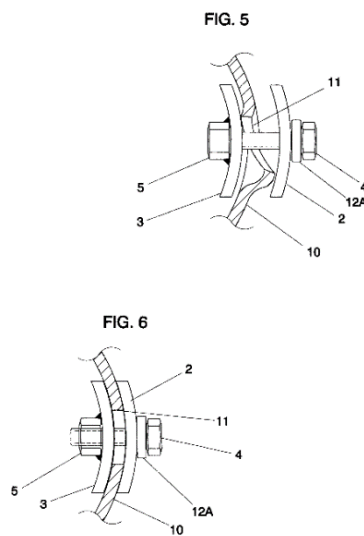
2.5. Olemasolevad remonditehnoloogiad mujal maailmas

Käesolevas töös arendatavat või selle sarnast remonditehnoloogiat kasutusest ei leitud. Interneti vahendusel on leitav USA-s, Kanadas ja Austraalias tegutsevaid ettevõtteid, kes pakuvad kaksiktigude remonditeenust deformeerunud sektsioonide väljavahetamise teel [13; 14; 15]. Lisaks on saadaval ka patenteeritud abinõu kaksikteo sõrme avade deformatsioonide õgvendamiseks [18], mille kaks joonist on toodud seel 2.14.

U.S. Patent Aug. 1, 2000 Sheet 2 of 3 6,094,963



U.S. Patent Aug. 1, 2000 Sheet 3 of 3 6,094,963



Sele 2.14. Vaade patenteeritud abinõu joonistele, millega õgvendatakse kaksikteo sõrme ava deformatsioone [18]

Õgvendamise põhimõte seisneb kahe suures seibis, mille raadius on kaksikteo korpuse läbimõõdule vastav. Üks seib paigaldatakse kaksikteo toruseina sisse ja teine välja ning läbi ava paigaldatakse polt, millega seibid keeratakse tihedalt üksteise vastu (vt sele 2.15). Sisemise seibi külge on keevitatud ka mutter, mis lihtsustab abinõu paigaldamist ja kasutamist.



Sele 2.15. Vaade sõrme avasse paigaldatud „Tru Tube“ abinõule [16]

Järgnevatel Seledel 2.16 ja 2.17 on toodud näiteks USA-s tegutsevas ettevõttes Barnes Welding Inc remondis oleva- ja remonditud kaksikteo korpused

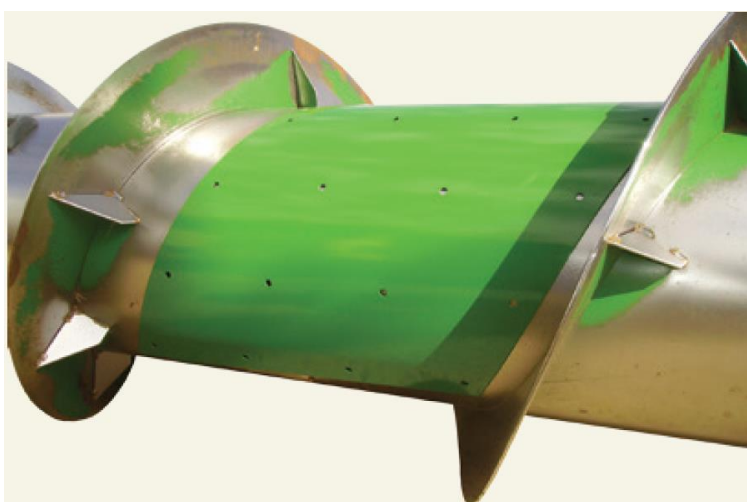


Sele 2.16. Vaade ettevõttesse Barnes Welding Inc remonti toodud kaksikteost enne remonti [19]



Sele 2.17. Vaade ettevõttes Barnes Welding Inc väljavahetatud keskmise sektsiooniga kaksikteole peale remonti [19]

Järgenval seel 2.18. on toodud näiteks USA ettevõtte Midwest Ag Parts pakutud kiirremondilahendus kaksikteo korpuse ajutiseks remondiks. Lahendus kujutab endast teo korpusele vastava kumerusega terasplekist perforeeritud plaati, mis kinnitatakse isepuurivate kruvidega kaksikteo korpuse deformeerunud alale. Kiirlahenduse eesmärgiks on tagada kaksikteo korpuse vastupidavus ja vähendada purunemise võimalust ning võimaldada jätkata- või lõpetada viljakoristamine olukorras kus deformatsioonid ei ole takistuseks teo pöörlemisel. Lahendus on sobiv kiirremondiks arvestades viljakoristushooajal piiratud aega.



Sele 2.18. USA ettevõtte Midwest Ag Parts poolt pakutud kiirremondilahendus kaksikteo korpuse ajutiseks remondiks [14]

2.6. Huvigrupp uuele remonditehnoloogiale

Käesoleva töö remonditehnoloogia põhineb kaksikteo korpuse plastsete deformatsioonide õgvendamises terve korpuse ulatuses selliselt, et oleks võimalik lõpuni kasutada juba toodetud masinaosa potentsiaalne ressurss. Remonditehnoloogia huvigrupp on kombainiomanikud ja tootjate esinduste kohalike turuliidrite remonditöökodjad, kes soovivad oma klientidele pakkuda alternatiivseid ning soodsamaid võimalusi kaksiktigude remondiks.

Kombainide maaletoojate hulgas läbiviidud küsitluse ja kombainiomanike hulgas pistelise küsitluse tulemusena võib teha järelduse, et huvi sellise teenuse vastu on turul olemas juhul, kui pakutava teenuse tulemus on kvaliteetne ja tööle antakse garantii. Omal käel on korpuseid remontida proovitud nii remonditöökodades kui ka omanike seas aga kuna juhtumeid on ühe ettevõtte lõikes vähe, siis puudub professionaalsus ja spetsialiseerumine. Remondi protsessil on põhiprobleemiks väidetavalt viskumise kõrvaldamine ja korpuse tasakaalustamine. Samuti on probleemiks aeg ja oskustöölise puudumine, kuna hooajal on mõlemad ressursid piiratud.

Eestis enamlevinud kombainimüüjate vahel läbiviidud küsitluse põhjal remonditeenust ei pakuta, kuna tegutsetakse tehase esindajatena ja selleks väljatöötatud tehnoloogiat ei ole. Garantiitingimuste järgi annavad tootjate esindused oma tööle 6 kuulise garantii aga õgvendatud kaksikteole ei saa tootjapoolse tehnoloogia puudumisel garantiid anda.

2.7. Kindlustusseltside osa remondiprotsessis

Kindlustusseltside huvi on maksta kahjujuhtumi toimumisel hüvitis põhjendatud remondimaksumuse eest, et hoida kontrolli all kahjuväljamaksete suurus ja olla kindlustusturul oma toodetega konkurentsivõimeline.

Sellest tulenevalt on seltsidel huvi remontida- või äärmisel juhul vahetada korpus ning jätta kahjustamata detailid vahetamata. Seltside poolne surve teostada põhjendatud remont kannab endas kokkuvõttes õilist eesmärki jätta remondile kuluv raha Eestisse ja pigem maksta mahukama töö eest, mis tuleb ikkagi kokkuvõttes soodsam, kui vahetada kallihinnalisi komplektseid varuosade kooste.

Praktikas on kombaini soetamine seotud suurte väljaminekutega, millele on vajalik leida finantseerija. Finantseerija üks kindel tingimus on masina kindlustamine, mis tingib olukorra, et kindlustatakse just uusi ja vähekasutatud masinaid. Peale finantsasutusega lepingu lõppemist üldjuhul enam omaniku enda initsiatiivil masinaid ei kindlustata.

Eesti kindlustusturul on levinud suhtumine, kus kindlustatud masinaga juhtunud avarii korral nõuab omanik võimalikult suures koguses vigastatud varuosade vahetamist uute vastu. Sellise olukorra võib tingida kindlustusperioodi ajal makstud kõrged kindlustuspreemiad ja kahjujuhtum võib tunduda võimalusena makstud raha tagasi saada. Pikemas perspektiivis on tegu lühinägeliku tegevusega, sest mida kõrgemad on väljamaksed seda kõrgemate hindadega on vastav kindlustustoode. Samas kui tegu on kindlustamata masinaga, mille puhul on remondi eest tasujaks masinaomanik ise, siis pigem kahjustatud varuosad remonditakse kui vahetatakse ja leitakse muu soodsam lahendus. Mittekindlustatud masinate puhul on esinenud olukordi, kus kahjustatud varuosa remontimise otsus kvalifitseerub äärmustesse kalduvaks kompromissiks. Pigem aitab igas olukorras mõistlik suhtumine nii remondi kui kindlustuskaitsete hindasid alandada ja muutuda tarbijale rohkem taskukohasemaks. Põhjendatud väljamaksete kontrolli all hoidmisega tegeleb kindlustusseltsis kahjukäsitusosakond kelle tegelikku osatähtsust suures pildis klientide poolt tihti ei mõisteta. Eelpool toodu tingib olukorra, kus soodsamate lahenduste leidmisel on initsiatiiv just kindlustusseltside kahjukäsitusosakondade töötajatel.

3. REMONDIPROTSSESS

Selles peatükis kirjeldatakse praktikas läbiviidud kogu remondiprotsessi, osade kaupa. Remonditehnoloogia valiti deformatsiooni tekkemehhanismist lähtudes, mis ennast igati õigustas. Praktilises osas väljatöötatud ajutised lahendused ja töövõtted aitasid saavutada oodatud tulemust. Mõõtmistöõde käigus selgitati välja tootmistolerantsid ja korpuse geomeetria kujuhälbed enne- ning peale õgvendustöid. Arvutusmoodulist kujunes välja asjalik tööriist kujuhälvetest selge ülevaate saamisel. Korpuse tootmistolerantsid seadsid piirid õgvendustäpsusele ja optimeerisid seega ka töödele kulutatava aega. Kogu remondiprotsessi on kindlasti võimalik muuta kiiremaks ja sujuvamaks, kuid see eeldab pikemat praktilist kogemust reaalsete situatsioonide lahendamisel.

Väljaarendatava ja reaalsuses kasutatava remonditehnoloogia juures on praktikas läbi viidud katsed möödapääsmatud. Selleks, et vältida liigseid tegevusi remondiprotsessil ja leida optimaalseim lahendus on vaja aru saada remonditava varuosa ehitusest, deformatsioonide olemusest ja nende mõjust selle üldisele geomeetrialet.

Nimetatud teemadest ülevaate saamiseks alustati praktilist osa vaatluse ja uuringuga, mille läbiviimiseks valiti katsekehaks reaalses kahjujuhtumises vigastatud kaksikteo korpus. Nimetatud korpusest oli eelpool juttu alajaotises 2.3.1. (vt ka sele 3.1).

Uuringu käigus otsustati koguda järgmised andmed:

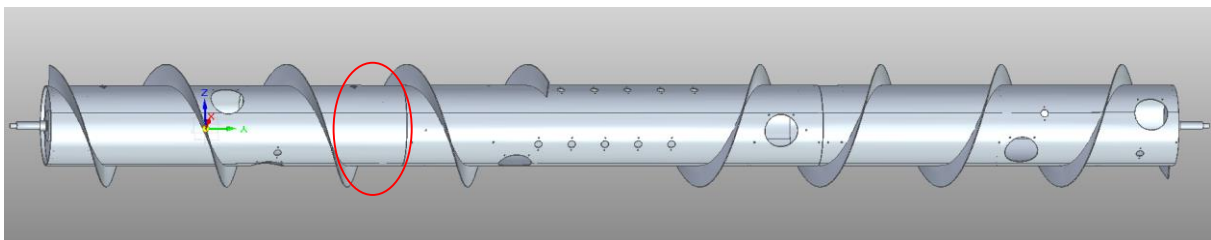
- korpuse mõõtmed – on vajalikud tööruumi-, abinõude- jms vajalike abivahendite dimensioonimiseks;
- vigastuste asukoht, iseloom ja ulatuse määramine
- kaksikteo korpuse ehitus – aitab parmini mõista deformatsiooni tekkimise ja kõrvaldamise iseloomu;
- remonditehnoloogia ja selle rakendamise tulemused.

Andmete kogumiseks paigaldati kaksiktigu ajutistele puidust pukkidele, kus oli võimalik seda mugaval töökõrgusel ümber oma telje pöörata (vt sele 3.1; 3.3).



Sele 3.1. Vaade katsekehaks välja valitud kaksikteole, tähistatud on deformatsiooni asukoht

Kuna kaksiktigu on mõõtmetelt suur, siis modelleeriti programmis Solid Edge kaksikteo mudel, mida kasutatakse töös parema visualiseerimise eesmärgil.



Sele 3.2. Vaade programmis Solid Edge koostatud mudelile, tähistatud on deformatsiooni asukoht

3.1. Ettevalmistus

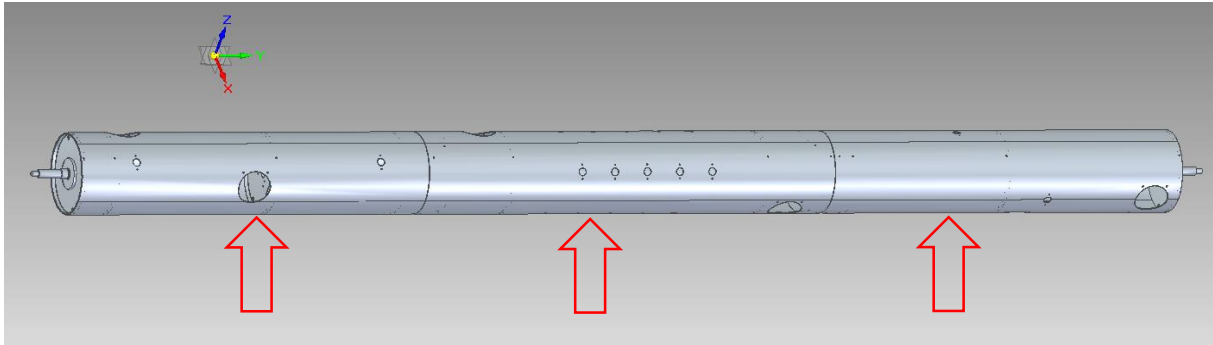
Uuringu teostamiseks paigutati kaksiktigu piisava suurusega ruumi, kus ehitati võimalikult väikese maksumusega ajutine stand, et ligikaudu 300kg raskust ja suurte mõõtmetega kaksiktigu oleks võimalikult mugav eesmärgipäraselt käsitleda. Stendile paigaldatud kaksikteo korpus on toodud seel 3.3. Puidust stendile paigaldati ujuvlaagritega laagripukid, millele toetusid kaksikteo otsa paigaldatud tugipuksid. Stend ehitati käepärasest puitmaterjalist, et kaksiktigu jääks mugavalt töökõrgusele. Kaksikteo otsa tsentrite kindla asendi tagamiseks oli vaja välistada nende liikumine kujutletava x, y ja z telje sihis (vt seel 3.3). Stendi spetsiaalne ehitus tagab kindla kontakti aluspinnaga, välistab kaksikteo pöörlemisel pukkide ümbermineku ning raskuse all pukkide kokku vajumise. Kaksikteo tsentriga paralleeli saamiseks kinnitati stendi külge laud mille vahele tõmmati pingule müürinöör. Vajalike mõõtmete kiireks lugemiseks kinnitati ka laudade vahele mõõdulint.



Sele 3.3. Vaade ajutisele stendile, tähistatud on kujutletavad teljed

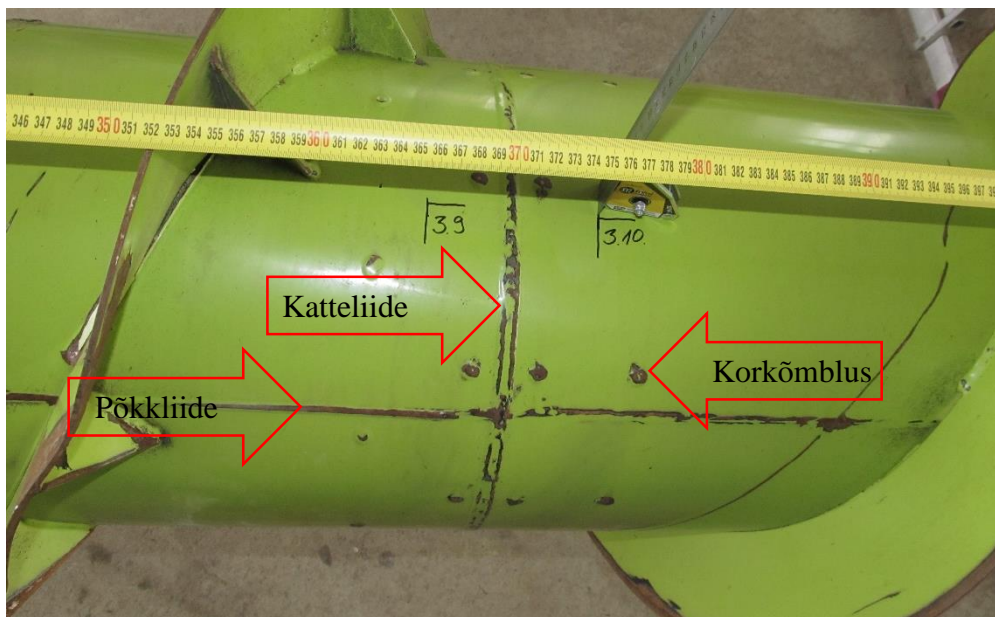
3.2. Ehitus

Kaksikteo 5420 mm pikkune korpus koosneb omavahel kokku keevitatud kolmest torust, millest üks 2000 mm pikkune osa paikneb keskel ja kaks 1710 mm pikkust otses (vt sele 3.4).



Sele 3.4. Vaade programmis Solid Edge modelleeritud mudelile, nooltega on tähistatud torud

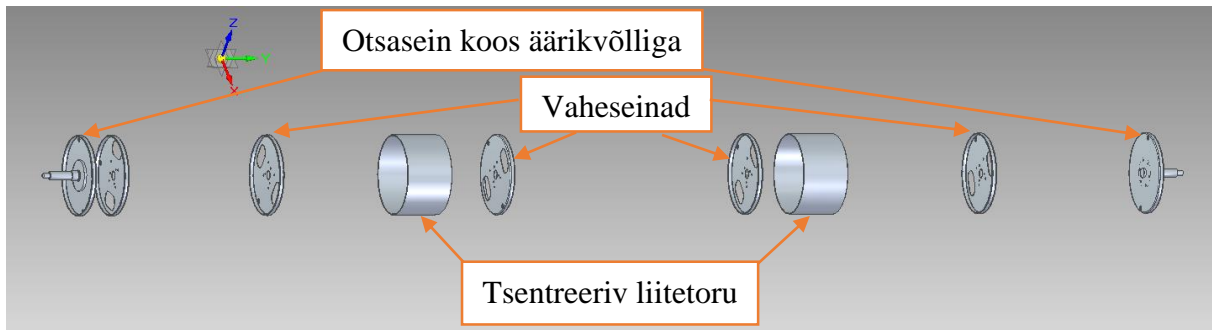
Torud on painutatud 2,5 mm paksusest lehtmaterjalist, mille keskmine läbimõõt on 382,4 mm. Lehtmaterjal on piki toru kokku keevitatud kasutades põkkliidet ja torude omavaheliseks ühendamiseks on kasutatud katteliidet ning korkõmblust (vt sele 3.5).



Sele 3.5. Vaade torude liitekohale väljast, tähistatud on keevisliidet

Korkõmblus on keevitatud läbi korpuse kahte toru omavahel tsentreeriva liitetoruni, mis hõlbustab korpuse tootmisprotsessi (vt sele 3.6; 3.7). Kaksikteo mõlemas otsas on otsasein, mille külge kinnitatakse poltliitega äärikvõll ja sisemise vāntmehhanismi väljuva võlli laagri kinnitusvõru. Äärikvõll toetub heedri raami külge kinnitatud laagrile, mille peal tigu pöörleb.

Programmis Solid Edge mudelile modelleeriti korpuse mõlemasse otsa lihtsustamise huvides äärikvõll, kuna vântmehhanismile käesolevas töös ei keskenduta. Lisaks otsaseintele on korpuses neli vaheseina mille külge kinnitatakse poltliitega sõrmede vântmehhanismi laagri kinnitusvõrud. Otsaseinad ja vaheseinad on toruga ühendatud keevisõmblusega kasutades korkliidet. Eelpool nimetatud korpuse sisemised detailid on samuti modelleeritud ja toodud seel 3.6.

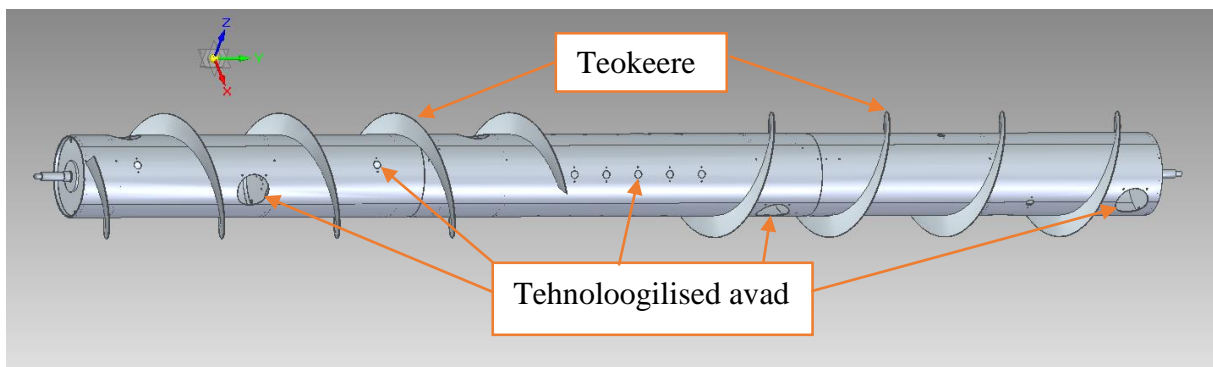


Sele 3.6. Vaade programmis Solid Edge modelleeritud mudeli detailidele



Sele 3.7. Vaade tsentreerivale liitetorule

Toru ümber on keevis- ja poltliitega paigaldatud teokeere (vt sele 3.8; 3.10). Kaksikteo toru seinas on tehnoloogilised avad sõrmede juhtpuksidele ja vântmehhanismi paigaldamiseks, hooldamiseks või remondiks (vt sele 3.8; 3.10).



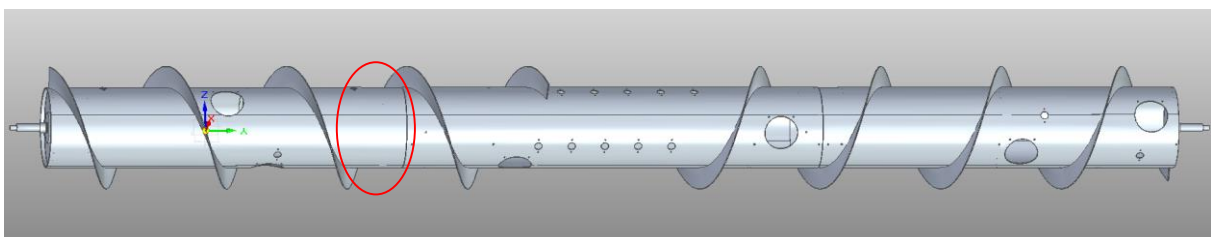
Sele 3.8. Vaade programmis Solid Edge modelleeritud mudelile, tähistatud on teokeere ja tehnoloogilised avad

3.3. Plastsed deformatsioonid

Visuaalsel vaatlusel koosneb põhideformatsioon, mille pärast kaksiktigu vahetati, viiest suuremast mõlgist. Üksikuid väiksemaid vigastusi esineb ka mujal piirkondades, mis seisnevad sõrmede murdumise käigus tekkinud juhtpuksi avade- ja teokeerme deformatsioonis. Kuna väiksemad vigastused ei põhjusta kaksikteo korpusele olulisi kujuhälbeid, siis nende olemusele selles töös ei keskenduta ja tähelepanu suunatakse põhideformatsioonile.

Põhideformatsiooni ulatus väljendub alljärgnevas:

1. Plastse deformatsiooni keskkohkt asub korpuse vasakpoolsest otsast 1460mm kaugusel;
2. Plastse deformeerunud piirkond jääb korpuse otsast piki suunas 1240-1670mm vahelisele alale (vt sele 3.9; 3.10);



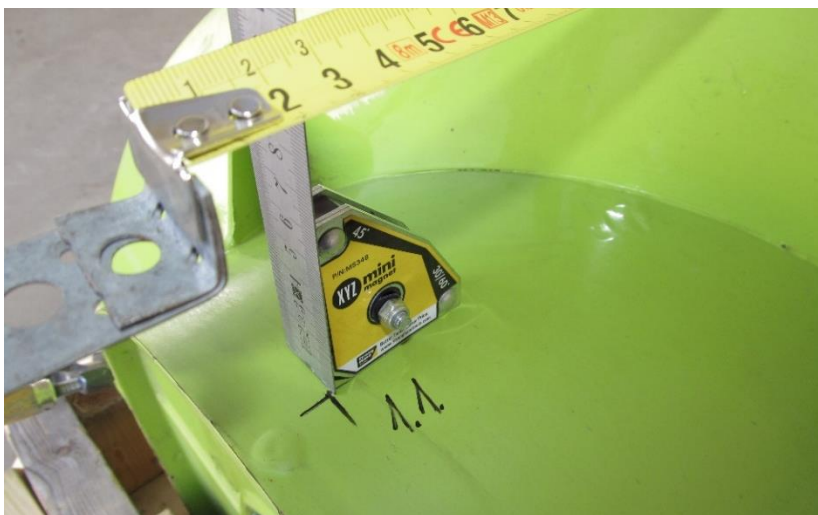
Sele 3.9. Vaade programmis Solid Edge modelleeritud mudelile, tähistatud on plastse deformatsiooni asukoht



Sele 3.10. Vaade korpuse plastselt deformeerunud alale

Kaksikteo korpuse mõõtmine ja vigastuste positioneerimine süstematiseeriti kahe parameetri järgi:

1. Mõõtepunkt - kaksikteo korpuse otsast kaugus (mm). Seel 3.11 toodud näite puhul märgitud mõõtepunkti number 1.1. liini nr 1 ja mõõtepunkti nr 1.
2. Liin - määrab korpuse asendi mõõtmise ajal. Neli kujutletavat liini kulgevad piki kaksikteo korpuse välist pinda ja asetsevad üksteise suhtes 90° nurga all. Liinide asendid on märgitud korpuse otsaplaadile numbritega (vt sele 3.12).



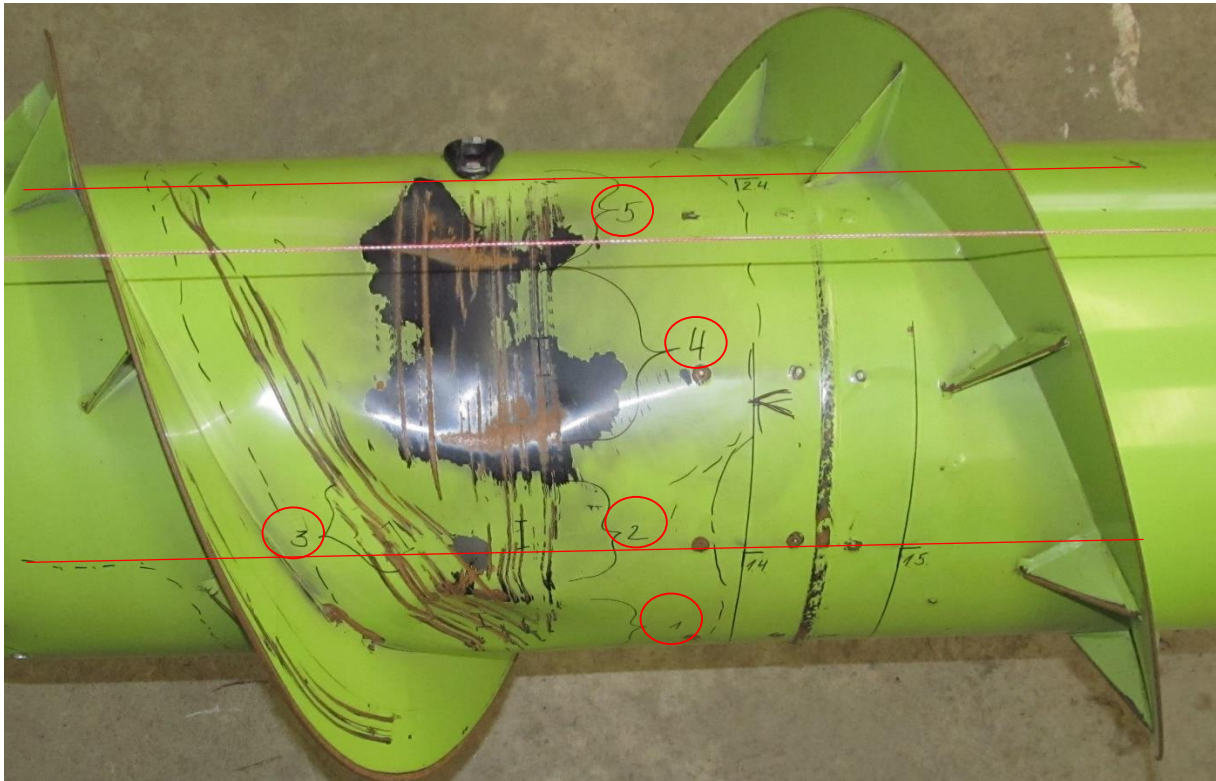
Sele 3.11. Vaade mõõtepunktile.



Sele nr 3.12. Vaade kaksikteo korpuse otsaplaadile, kuhu on märgitud liini numbrid

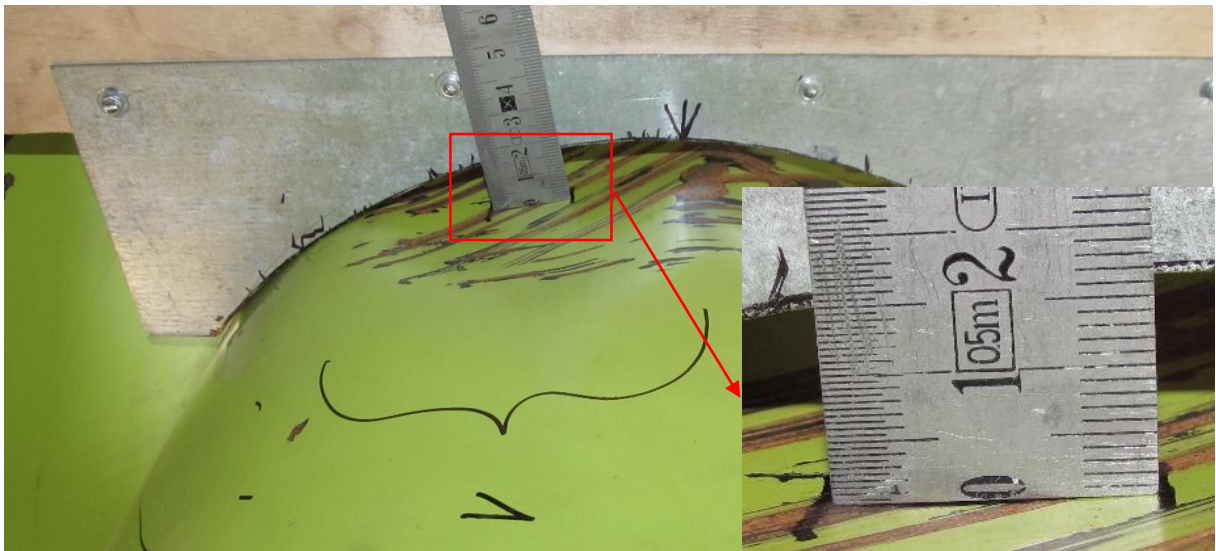
Vastavalt kasutatud mõõtmise süsteemile paiknevad korpuse põhilised plastsed deformatsioonid järgmiselt:

1. Ristisuunas asub deformatsiooni ala põhiliselt liinide 1 ja 2 vahelisel alal ulatudes üle liini 1 suunaga liini 4 poole 100 mm;
2. Deformatsiooni pindala on 430x620 mm;
3. Deformeerunud alal on viis eristatavat mõi (vt sele 3.13):
 - a. Mõlk nr 1 asub liinist nr 1 suunaga liini 4 poole 100 mm, pindalaga 100x120 mm, sügavusega 16,5 mm;
 - b. Mõlk nr 2 asub liinil nr 1, pindalaga 170x110 mm, sügavusega 9 mm;
 - c. Mõlk nr 3 asub liinil nr 1, pindalaga 80x100 mm, sügavusega 9,5 mm;
 - d. Mõlk nr 4 asub liini nr 1 ja liini nr 2 vahelisel alal, pindalaga 220x130 mm, sügavusega 12 mm;
 - e. Mõlk nr 5 asub Liinil 2, pindalaga 200x100 mm, sügavusega 9 mm;



Sele 3.13. Vaade deformeerunud piirkonnale, sirgetega on tähistatud liinid ja ringidega mõlkide numbrid

Mõlkide sügavuse mõõtmiseks valmistati vastav šabloon, mis vastab korpuse välisele kujule (vt sele 3.14)



Sele 3.14. Vaade šablooniga kujuhälvete mõõtmisele. Mõlk nr 1 mõõtmine

Eelpool loetletud deformatsioonide poolt tekitatud varjatud kujuhälbeid kaksikteo korpusele kirjeldavad peatükis 3.5 läbiviidud mõõtmise tulemused.

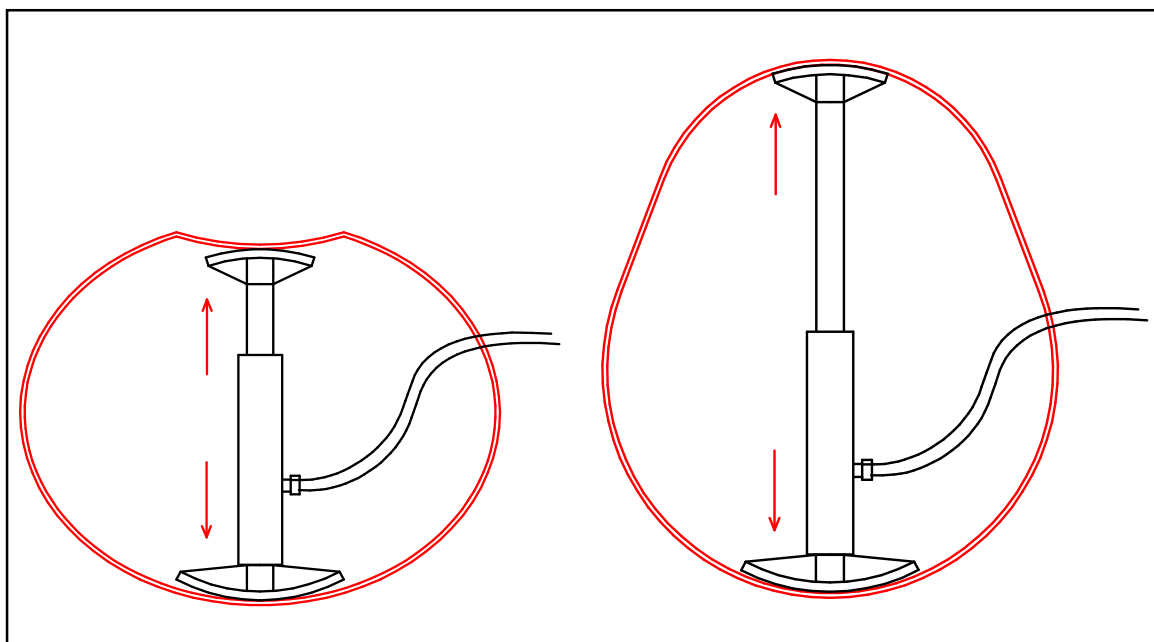
3.4. Remonditehnoloogia

Remonditehnoloogia meenutab oma olemuselt venitusvormimist. Kaksikteo korpuse sisse paigaldatakse hüdrauliline silinder, mille otstes on toru sisemisele raadiusele vastavad tallad (vt sele 3.15 ja 5.2). Hüdraulilise silindri väljasurumisel surutakse tallad vastu korpuse seina sisemist pinda. Õgvendustallad erinevad pindala poolest vastavalt, kas tegu on tugitallaga või õgvendustallaga. Tugitald on õgvendustallast kolm korda suurema pindalaga. Kuna hüdraulilise silindri pikenemisel surutakse silinder mõlemas suunas välja täpselt ühesuguse jõuga, siis määrab suuremate pingete tekitamise asukohta väiksem pindala.

Pinge suunamise põhimõte tugineb lihtsal tugevusõpetuses tuntud definitsioonil, mille järgi sõltub pinge materjalis pindalaühikule mõjuva välise jõu suurusel. Antud juhul reguleerimegi taldade pindalade erinevusega hüdraulilise silindri väljasurumisel suuremate pingete tekkimise suunda.

Väiksema pindalaga õgvendustallaga tekitatakse plastse deformatsiooni alas korpuse seina materjalis paindepingeid suunaga seest välja ehk vastupidiselt võõrkehaga kokkupuutel tekkinud suunale. Deformatsioon surutakse seest välja mitme siirdega, järk järgult, et vältida materjali väljavenitamist. Sellest tulenevalt on tegu täpsust-, kannatlikkust- ja kogemusi nõudva tööoperatsiooniga. Õgvendamise eesmärk on taastada korpuse esialgne kuju. Õgvendamise käigus kasutatakse väiksema raadiusega deformatsioonide õgvendamiseks ka vasara abi. Vasaraga õgvendamisel kasutatakse keskmise suurusega õgvendustalda, mis on mõõtmelst suurem ja massi poolest raskem, et õgvendustöö oleks efektiivsem. Vasaraga töötades kasutatakse alasile- ja alasilt möödalöömise tehnikat [22], kus alasi osa täidab õgvendustald. Tehnika peab õgvendama korpuse seina paindedeformatsioonid, vältida tuleb materjali mahulist vähendamist. Pingule venitatud materjal on õgvendustalla pinnal ja selle kõrval kergemini õgvendatav. Tuleb olla väga ettevaatlik, et materjali välja ei venitata, sest selle hilisem kahandamine on aeganõudev protsess, mis ei pruugi õnnestuda.

Venituspainutusega sarnaneb remonditehnoloogia selle poolest, et materjal tõmmatakse kahe talle vahel pingule, mille käigus toimub soovimatute plastsete deformatsioonide välja surumine. Remonditehnoloogia erineb venituspainutusest selle poolest, et materjali plastset venitamist välditakse igal juhul kuna see toob endaga kaasa soovimatuid üldisi kaksikteo korpuse geomeetria muutusi.

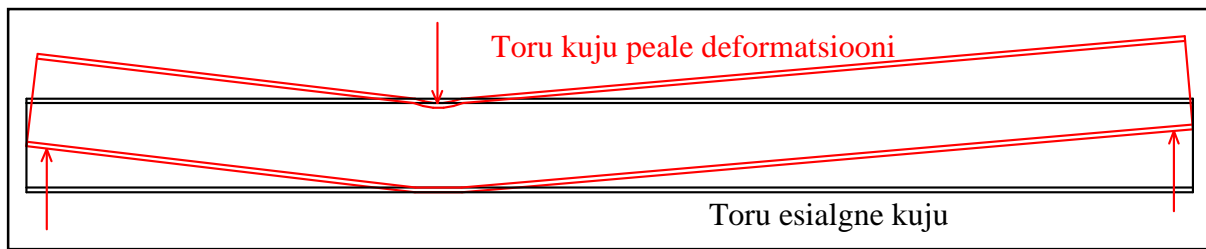


Sele 3.15. Vaade õgvendusprotsessile, kujutised on paremini visualiseerimise eesmärgil esitatud ülivõrdes

Õgvendamiseks vajaliku tööriistakomplekti ei ole võimalik teadaolevalt valmistoodanguna kaubandusvõrgust hankida, siis sellest tulenevalt tuleb vajalik tööriist ise projekteerida ja valmistada (vt ptk 5). Õgvendusabinõu väljatöötamisel on oluline valida vastavalt toru läbimõõdule õige raadius. Arvestama peab materjali elastsusest tingitud järelmõjuga kus silindriga surutud deformatsiooni paindenurk suureneb peale surve alt vabastamist.

Avarii käigus kaksikteo korpuse deformeerumisel toimub lehtmaterjali sisse surumine võõrkeha poolt, mis tekitab korpusele visuaalselt vaadeldava mõlgi. Mõlgi tekkimist saab käsitleda paindedeformatsioonina. Kuna korpuse puhul on tegu toruga, siis pikki toru on lehtmaterjal sirge ja risti toru painutatud kindla raadiusega. Vaadeldes deformatsiooni pikki toru suunal, siis tekivad plastse deformatsiooni alas tõmbepinged, mis toovad endaga kaasa kujuhälbeid terve kaksikteo korpuse ulatuses (vt sele 3.16). Toru ei saa peale deformeerumist selle pikisuunal enam võrrelda kujutletava sirgega. Deformatsiooni tekkimisest- ja selle põhjuslikust seosest arusaamine lihtsustab oluliselt selle kõrvaldamist. Plastse deformatsiooni olemasolu tekitab elastse deformatsiooni – seega plastse deformatsiooni kõrvaldamine elimineerib elastse deformatsiooni.

Selel 3.16 on kujutis toodud ülivõrdes, et deformatsioon oleks paremini nähtav.

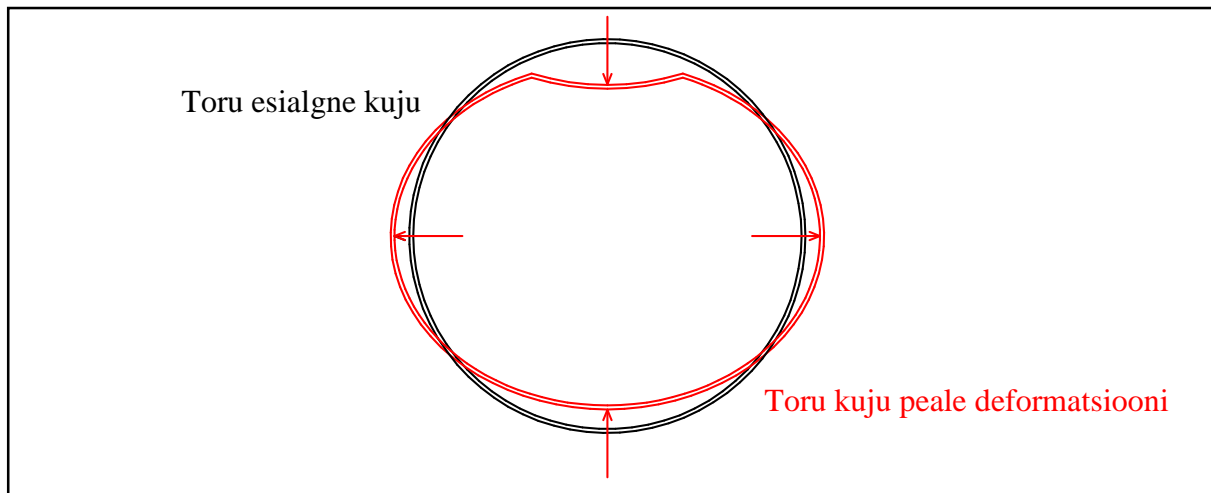


Sele 3.16. Vaade kujutatud korpuse deformatsiooni põhimõtteskeemile

Selel 3.16 on punasega tähistatud võõrkeha poolt põhjustatud plastne deformatsioon, mis tõi endaga kaasa kaksikteo korpuse üldine elastse deformatsiooni, nooltega on tähistatud deformeerumise suund.

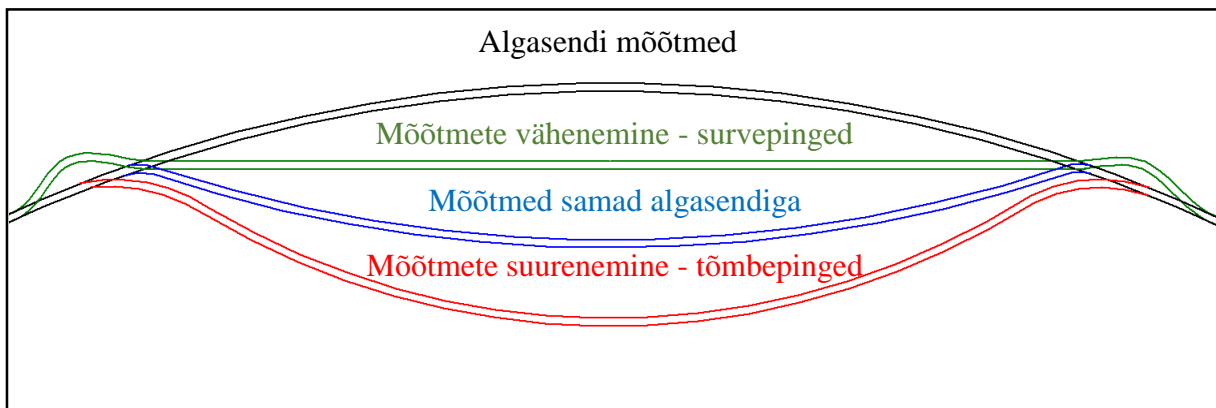
Korpuse üldise geomeetria kujuhälbed seisnevad selle elastses deformatsioonis, mille põhjustab plastselt deformeerunud ala. Kujuhälbed muudavad korpuse pöörlemisel selle raskuskeset ja tekitavad viskumist, sest pöörlemistelg ja raskuskeskme telg on üksteise suhtes nihkes. Tasakaalustamata kaksikteoga töötamine toob kaasa vibratsiooni ja olulise koormuse tõusu tugilaagritele. Samuti ei saa selliselt deformeerunud kaksiktigu kasutada sihtesmärgipäraselt, kuna kujuhälbe tõttu ei ole võimalik seda piisavalt täpselt reguleerida heedril paiknevate puhastusplaatide ja heedri põhja suhtes. Koristatud kultuur hakkab ümber korpuse mähkuma (vt alajotis 2.4) või ei toimu selle transportimist keerme ja heedri põhja vahel. Lisaks tekitab tasakaalustamata pöörlev kaksikteo korpuse plastse deformatsiooni alas liigseid pulseerivaid surve- ja tõmbepingeid. Pulseerimine saab toimuma kaksikteo korpuse omakaalu ja tsentrifugaaljõu mõjul.

Vaadeldes deformatsiooni toru läbilõikes, siis selle tagajärjel toimub samuti toru üldine deformeerumine, mille tagajärjel ei ole ristlõike tasapinnas tegu enam kujutletava rõngaga vaid see sarnaneb ellipsiga. Toruristlõikekuju muutus on toodud selel 3.17, kus punasega on tähistatud võõrkeha poolt põhjustatud kaksikteo korpuse üldine deformatsioon ja nooltega on tähistatud deformeerumise suund.



Sele 3.17. Vaade korpuse läbilõike põhimõtteskeemile mõlgi asukohas

Deformatsiooni ulatusest sõltub kas tegu on pleki kokku surumisega või välja venitamisega. Kaksikteo korpuse deformatsioonide erinevate astmete kujutamine on toodud seel 3.18. Kui korpuse välisel pinnal on visuaalselt võimalik tuvastatav deformatsioon, siis tegelikult alles väga ulatuslikud on sellist tüüpi deformatsioonid mille juures tekib materjali venimine.



Sele 3.18. Vaade erinevate deformatsiooni astmete põhimõtteskeemile läbilõikepinnas

Pingete tekkimine plastse deformatsiooni piirkonnas sõltub lehtmaterjali mõõtmetest peale jääkdeformatsiooni. Kui ala mõõtmed vähenevad, siis kutsus see materjalil esile survepingeid, kui suureneb, siis tõmbepingeid.

Avarii käigus tekkiva deformatsiooni ulatust ei saa ette prognoosida, kuna see sõltub eelkõige kombaini liikumiskiirusest, kaksikteo pöörlemise kiirusest, kokkupuutekohast ja võõrkeha mõõtmetest ning kujust, operaatori reageerimiskiirusest jms. Deformatsiooni ulatust saab tagant järgi määrata peale avarii toimumist ja sellest lähtudes võtta vastu otsus kasutatava remonditehnoloogia osas.

Eriti väikeste painderaadiustega deformatsiooni puhul tuleb tähelepanu pöörata asjaolule, et see mõjutab rohkem välimisi materjalikihte, kuhu võivad tekkida praod. Pragude tekkimise oht just välimistesse kihtidesse mõjutab materjali voolepiir, mis on metallide puhul tõmbel alati mõnevõrra väiksem kui survele [23]. Pragude teket mõjutab lehtmaterjali tootmisel valtsimise suund ja materjali plastsus. Alljärgnevalt mõõtmistööde käigus tuvastatakse reaalselt toimunud avarii tagajärjel plastsetest deformatsioonidest sõltuvad kujuhälbed.

3.5. Mõõtmistööd

Mõõtmistööde käigus saadud tulemused annavad ülevaate kaksikteokorpuse kujust ja selle hälvetest, mis annab võimaluse võrrelda neid tootmistolerantsidega ja hinnata hiljem töö tulemust.

Ettevalmistus hõlmas endas enne mõõtmistöödega alustamist kaksikteokorpuse visuaalset vaatlust ja tootmistolerantside hindamist, et määrata ligikaudne mõõtevahendite täpsusklass.

Mõõtmisel kasutatud abivahendite loetelu ja nende otstarve on alljärgnev:

1. optiline nivelliir Sokkia C4₁ koos kolmjalg statiiviga, millega looditi teo toetuspunktid ja loeti joonlaualt kõrgusnäite;
2. müürinööri tekitati visuaalne teo keskkoha paralleel, et lihtsustada mõõtmistel mõõtevahendite positsioneerimist;
3. mõõdulindiga määrati mõõtmispunktide asukohad teo piki- ehk edaspidi y-teljel;
4. metalljoonlaudadega mõõdeti korpuse pinnalt kõrgus nivelliiri objektiivini;
5. magnetilised keevitusnurgikuid kasutati mõõtevahendite fikseerimiseks korpuse välispinnal;
6. loodiga looditi joonlaud korpuse ristipinna ehk edaspidi z-telje suhtes;
7. kahest nurgikust ja keevitusnurgikutest tehti tööriist, millega mõõdeti kaksikteokorpuse väline läbimõõt;
8. šabloon korpuse toru välimise pinna hälvete tuvastamiseks valmistati 1mm paksusest plekist ja vineerist, millega kontrolliti korpuse toru välispinna kujuhälbeid;
9. lisaseadmeteks olid kolmnurk redel, marker, fotoaparaat, paber ja pliiats.



Sele 3.19. Vaade tööasendis nivelliirile Sokkia C41

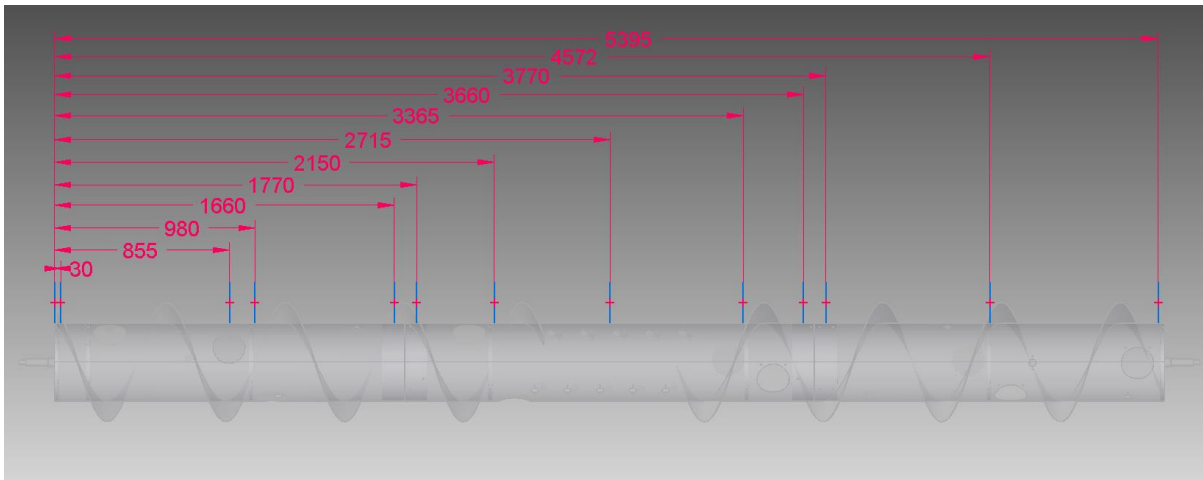
Kuna optilist nivelliiri ei liigutatud vaid looditi paika ja kasutati ainult sirge saamiseks ning näitude lugemiseks, siis seadme tehnilist spetsifikatsiooni mõõtetäpsuse määramisel ei arvestatud ja võeti mõõtmise täpsusklassiks joonlaual olevate näitude vahe 0,5mm. Nivelliiri kasutamine tööasendis on toodud seel 3.19, kus vasakul on deformeerunud kaksikteo mõõtmisel ajutises stendis ja paremal uue analoogilise kaksikteo mõõtmisel järelhaagisel asetseval heedril.

Arvestades esialgsel visuaalsel vaatlusel ja mõõtmistel saadud tulemusi on valitud mõõtetäpsus vajaliku uuringu teostamiseks piisav. Stendis mõõtmisel looditi kõigepealt omavahel laagripukid, millele kaksiktigu toetub ja seejärel töötati välja süsteemne mõõtmisprotsess, et saada ülevaade deformatsiooniga kaasnenud kujuhälvetest

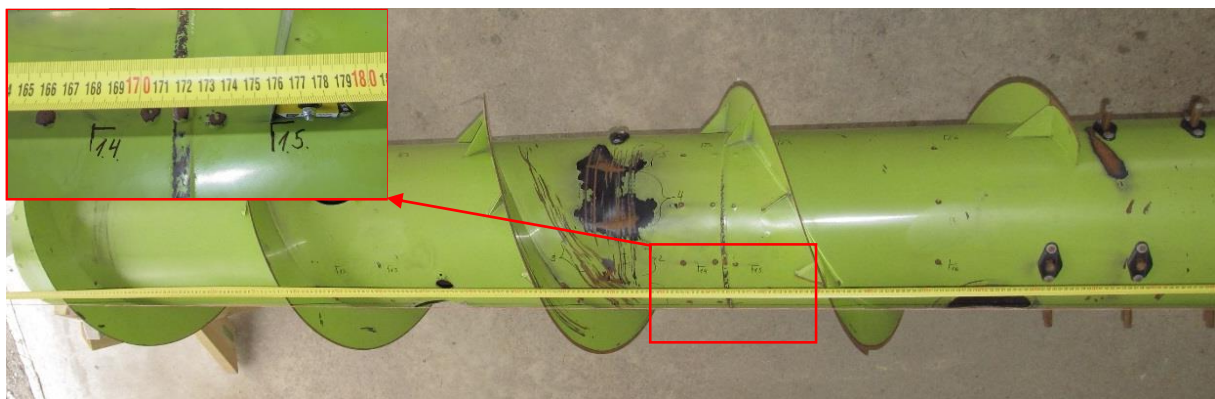
Kaksikteo korpuse kujuhälbed vastavad alajaotises 3.4 sarnaselt välja toodud deformatsioonidele ja üldistele kujumuutustele. Võõrkehaga kokkupuute tagajärjel tekkinud plastne deformatsioon on mõjutanud kogu kaksikteo geometriat. Väljatöötatud remonditehnoloogiat kasutades saavutati uuele sarnasele tootele vastav täpsusklass.

Kaksikteo korpuse väline kuju mõõdeti kokku 48 punktist, mis andis kujuhälvetest piisava ülevaate. Mõõtmine toimus neljal liinil, mis asetsesid üksteise suhtes 90° nurga all. Igal liinil

oli 12 mõõtepunkti, mille asukoht vailiti strateegiliselt olulistes kohtades nagu toru keskkoh, torude liitekoht, vaheseina asukoht, otsaseina asukoht (vt sele 3.20).



Sele 3.20. Vaade programmis Solid Edge kujutatud kaksikteo mõõtmispunktidele



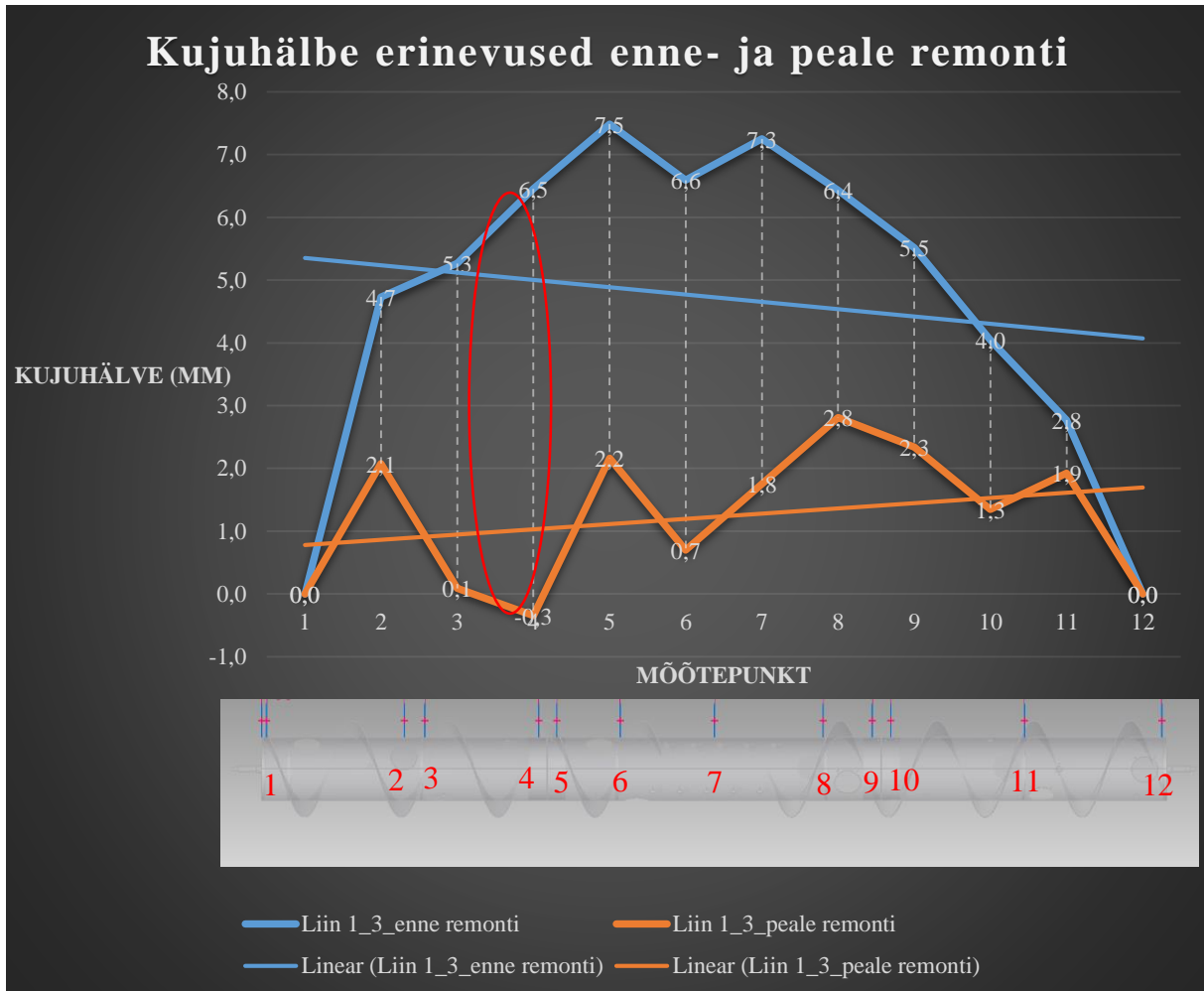
Sele 3.21. Vaade korpuse välispinnale märgitud mõõtmispunktidele 1.4. ja 1.5

Üksteise suhtes vastastiku asetsevate liinide mõõtmistulemuste vahe toob kõige parmini välja tegeliku korpuse geometria ja selle kujuhälbed. Sellest lähtudes esitatakse tabelis mõõtude vahe, mis lihtsustab kujuhälvetest arusaamist.

Tabelites 3.1 ja 3.2 on toodud mõõtmistulemuste vahed enne ja peale remonti liinidel 1 ja 3 ning 2 ja 4. Seledel 3.22 ja 3.23 toodud graafikud kujutavad hästi kaksikteo korpuse üldise geometria muutumist peale plastse deformatsiooni õgvendamist, mis on tähistatud ovaaliga.

Tabel 3.1. Mõõtmise tulemuste vahed enne- ja peale remonti liinidel 1 ja 3

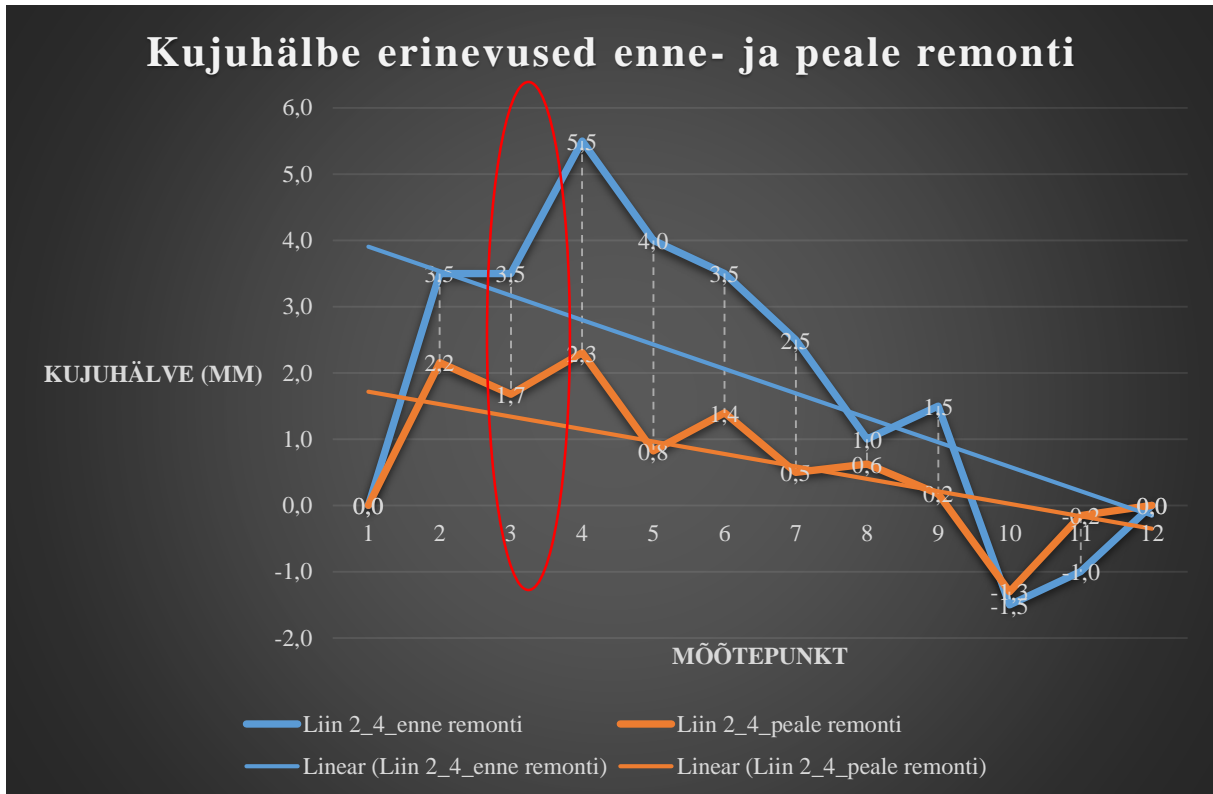
liin/punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Liin 1_3_enne remonti	0,0	4,7	5,3	6,5	7,5	6,6	7,3	6,4	5,5	4,0	2,8	0,0
Liin 1_3_peale remonti	0,0	2,1	0,1	-0,3	2,2	0,7	1,8	2,8	2,3	1,3	1,9	0,0



Sele 3.22. Mõõtmise tulemuste vahed enne- ja peale remonti liinidel 1 ja 3, ovaaliga on tähistatud plastse deformatsiooni asukoht

Tabel 3.2. Mõõtmise tulemuste vahed enne- ja peale remonti liinidel 2 ja 4

liin/punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Liin 2_4_enne remonti	0,0	3,5	3,5	5,5	4,0	3,5	2,5	1,0	1,5	-1,5	-1,0	0,0
Liin 2_4_peale remonti	0,0	2,2	1,7	2,3	0,8	1,4	0,5	0,6	0,2	-1,3	-0,2	0,0

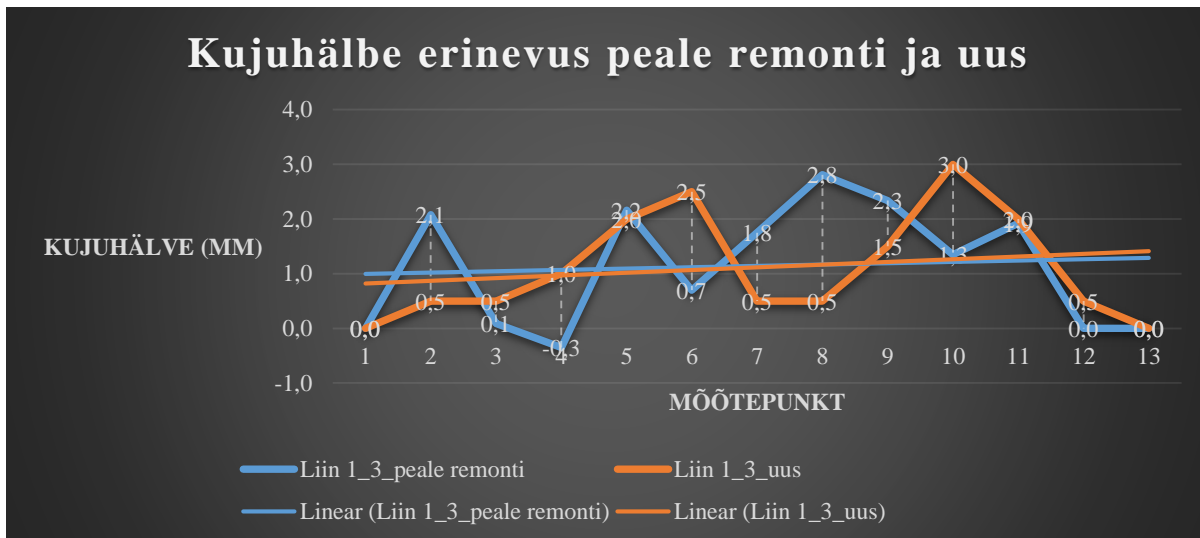


Sele 3.23. Mõõtmise tulemuste vahed enne- ja peale remonti liinidel 2 ja 4, ovaaliga on tähistatud plastse deformatsiooni asukoht

Remondi käigus plastse deformatsiooni õgvendamise järgselt kadus suures osas ka elastne deformatsioon. Remondikvaliteedi hindamiseks mõõdeti uue sama tootja kaksikteo korpus sama mõõtmisprotsessi järgi. Uue ja remonditud kaksikteo korpuse mõõtmistulemusi on võrreldud järgnevas tabelites 3.3 ja 3.4 ning seledel 3.24 ja 3.25. Võrreldud andmete põhjal võib öelda, et remondiprotsessiga saavutatud kvaliteet tagab korpuse piisava sirgjoonelisuse, mis mahub tootmistolerantsidesse.

Tabel 3.3. Mõõtmise tulemuste vahed peale remonti ja uuel korpusel liinidel 1 ja 3

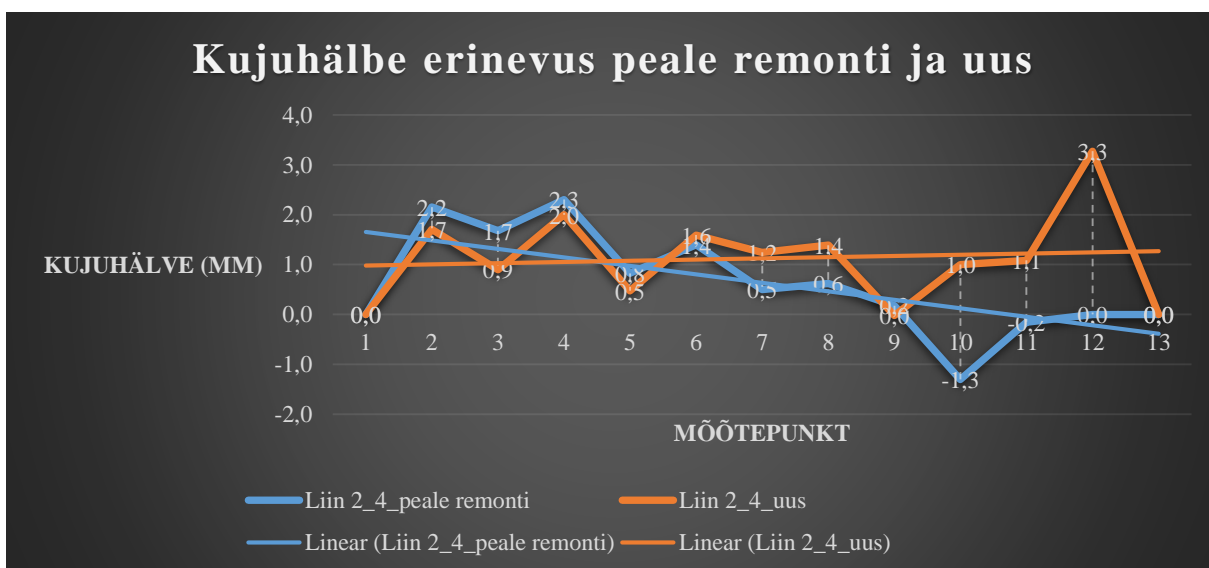
Liin/Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Liin 1_3_peale remonti	0,0	2,1	0,1	-0,3	2,2	0,7	1,8	2,8	2,3	1,3	1,9	0,0	0,0
Liin 1_3_uus	0,0	0,5	0,5	1,0	2,0	2,5	0,5	0,5	1,5	3,0	2,0	0,5	0,0



Sele 3.24. Mõõtmise tulemuste vahed enne- ja peale remonti liinidel 1 ja 3

Tabel 3.4. Mõõtmise tulemuste vahed peale remonti ja uuel korpusel liinidel 2 ja 4

Liin/Punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Liin 2_4_peale remonti	0,0	2,2	1,7	2,3	0,8	1,4	0,5	0,6	0,2	-1,3	-0,2	0,0	0,0
Liin 2_4_uus	0,0	1,7	0,9	2,0	0,5	1,6	1,2	1,4	0,0	1,0	1,1	3,3	0,0

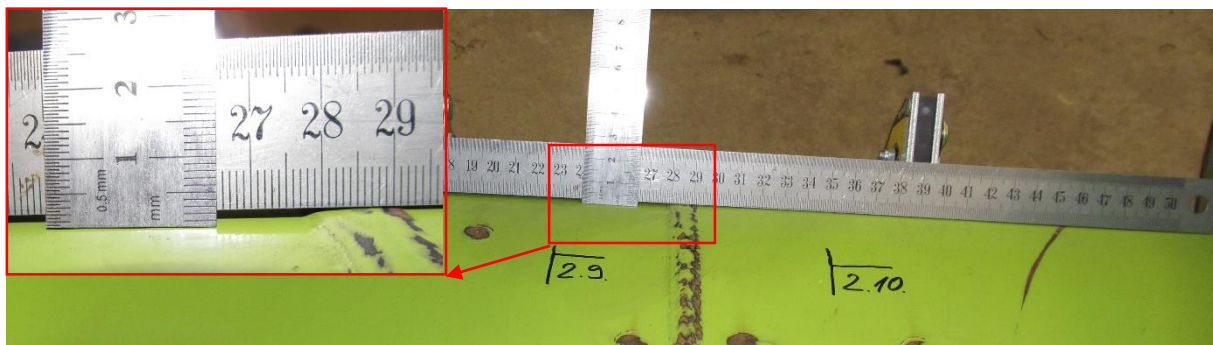


Sele 3.25. Mõõtmise tulemuste vahed enne- ja peale remonti liinidel 2 ja 4

Kaksikteo koostamise kvaliteeti hinnates oli tähelepanuväärne torude omavaheline koostamise täpsus, kus torude otsad olid üksteise suhtes silmaga nähtavalt erineval kõrgusel kokku keevitatud. Näitena on seledel 3.26 ja 3.27 toodud liinil 2 paiknevad mõõtmispunktid 9 ja 10.



Sele 3.26. Vaade mõõtepunktile 9 ja 10 liinil 2



Sele 3.27. Lähivaade mõõtepunktile 9 ja 10 liinil 2

Korpuse läbimõõdud erinesid üksteisest 0,5...2 mm võrra, mis oli ootuspärane. Üldise trendina täheldati läbimõõtude vahe 0,8mm, mis viitab painutatud toru tootmistolerantsile.

Korpuse mõõtmismoodul osutus mõõtmistöde juures heaks abivahendiks, mille kasutuselevõtmine vähendab töömahtu ja lihtsustab arusaamist reaalsest kaksikteo kujust. Mooduli väljatöötamise kasutuselevõtu tingis asjaolu, et mõõdetavad kaksikteod ei olnud alati loodis. Mõõtmistöde läbiviimiseks oli vajalik modelleerida baaspinnana kujutletav sirge, mille suhtes hinnata korpuse kujuhälbeid. Samasugune olukord on täiesti oodatav ka tulevikus, reaalses situatsioonis kaksikteo kõverust mõõtes, seega on mõõtmismooduli tutvustamine asjakohane. Moodulit saab kohandada vastavalt kaksikteo pikkusest tulenevale mõõtepunktide arvule. Moodulisse tuleb sisestada mõõtmispunkti kaugus nullpunktist ja kõrgusmõõt kaksikteo pinnast mõõtevahendini. Mõõtevahendiks kasutati käesoleva töö käigus optilist nivelliiri, kuid selleks võib kasutada ka lasernivelliiri, millega on eeldatav töömaht väiksem. Kujutletav sirge modelleeritakse arvutusmoodulis esimese ja viimase mõõtepunkti vahele ning vastavalt kaugusele esimesest punktist saadakse sirgel asetsev punkti tõenäolise asukoha kõrgusmõõt. Kui mõõt ei vasta arvatud tõenäolisele tulemusele, siis kuvatakse lahtrisse vastavalt pluss või miinusmärgiga näit. Andmete kogumisel ja sisestamisel tuleb olla täpne, sest ainult sellisel juhul on ka tulemus tõsiseltvõetav ja hiljem võrreldav.

Mõõtepunkti kõrguse positsioneerimise valem sirgel:

$$h_l = \frac{h_{min} - h_{max}}{l_{max} - l_{min}}, \quad (3.1.)$$

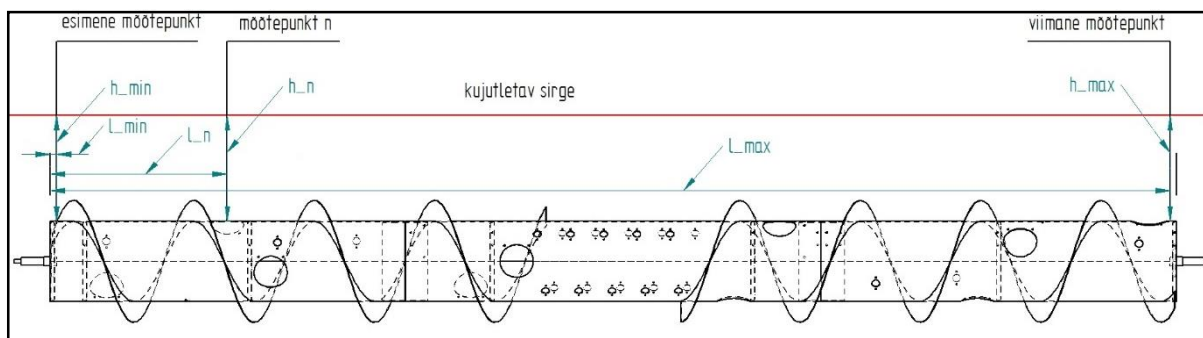
kus h_{min} – esimese mõõtepunkti kõrgus sirgest,
 h_{max} – viimase mõõtepunkti kõrgus sirgest,
 l_{max} - viimase mõõtepunkti kaugus kaksikteo otspinnast,
 l_{min} – esimese mõõtepunkti kaugus kaksikteo otspinnast.

Mõõtepunkti kõrvalekalde valem positsioneeritud punktist:

$$l_{\pm} = h_{min} + (l_n - l_{min}) \cdot h_l - h_n, \quad (3.2.)$$

kus l_n - valitud mõõtepunkti kaugus kaksikteo otspinnast,
 h_n – valitud mõõtepunkti kõrgus sirgest.

Valemites sisalduvad mõõdud on toodud seel 3.28.



Sele 3.28. Vaade arvutusmoduli valemities kasutatud mõõtepunktile

Reaalses olukorras näiteks põllul või töökoja ees kaksikte kõverust mõõtes tuleb tabelis 3.5 rohelistesse lahtritesse sisestada mõõtepunkti kaugus vasakpoolsest otsast ja kollastesse lahtritesse punkti kõrgusmõõt korpuse pinnast nivelliiri kiireni. Tabeli 3.5 punasesse lahtrisse on sisestatud valem 3.1, mis annab vastaval liinil näidu mitu mm muutub kõrgus ühe pikkus mm kohta. Tabeli 3.6. sinistesse lahtritesse on sisestatud valem 3.2, mis annab vastava mõõtepunkti reaalse kõrvalekalde sirgest. Paremaks visualiseerimiseks võib saadud andmete põhjal luua diagrammi, mis toob sarnaselt eelnevalt välja toodud mõõtmistulemustele korpuse kuju hästi välja (vt sele 3.22...3.25).

Tabel 3.5. Arvutusmoodulisse sisestatavate andmete lahtrid

Valem: kõrgus pikkuse kohta	punkt / liin	Siia sisesta kaugusmõõt											
		30	855	980	1660	1770	2150	2715	3365	3660	3770	4572	5395
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0,00009	1	258,5	259,5	258,5	259,0	259,5	259,0	259,0	259,0	259,0	259,0	259,0	259,0
-0,00009	2	259,0	260,0	260,0	260,0	259,0	260,0	259,0	259,0	259,5	259,0	258,5	258,5
0,00019	3	258,0	257,0	258,0	259,0	257,0	258,0	257,0	256,0	256,5	257,5	257,0	259,0
0,00009	4	258,0	257,0	257,5	257,0	257,5	258,0	258,0	258,0	259,0	260,0	258,5	258,5
		Siia sisesta kõrgusmõõt											

Tabel 3.6. Arvutusmoodulist saadud kujuhälvete mõõdud

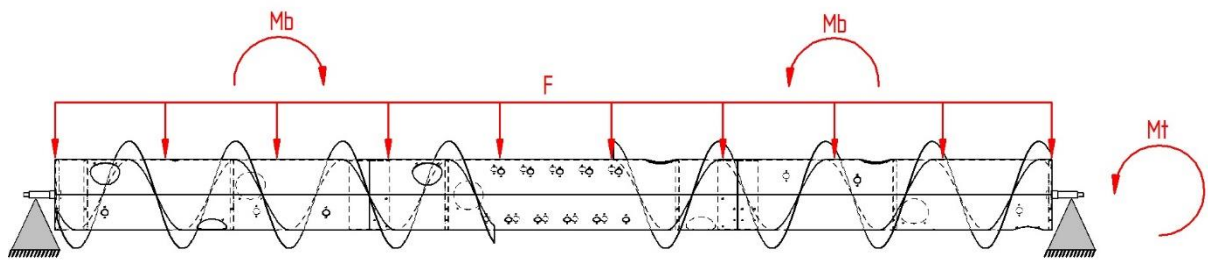
liin/punkt	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0,0	-0,9	0,1	-0,3	-0,8	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	0,0
2	0,0	-1,1	-1,1	-1,2	-0,2	-1,2	-0,3	-0,3	-0,8	-0,3	0,1	0,0
3	0,0	1,2	0,2	-0,7	1,3	0,4	1,5	2,6	2,2	1,2	1,8	0,0
4	0,0	1,1	0,6	1,2	0,7	0,2	0,3	0,3	-0,7	-1,7	-0,1	0,0
		Kujuhälve (mm) valemi põhjal										

4. REMONDIVÕIMALUSED

Remonditehnoloogia eesmärk on säilitada maksimaalne osa algsest, juba toodetud varuosast ja selle materjalist. Turul juba eksisteerivaid, alternatiivseid remondivõimalusi oleme eelpool käsitleanud alajaotises 2.5, kuid siin peatükis keskendutakse kaksikteo korpuse toru seinaga õgvendamise piiride otsimisele, et oleks tagatud remonditud osaga masina häireteta töö. Kaksikteo korpuse deformatsiooni kvaliteetse kõrvaldamise remondivõimalused piirab selle koormusolukord, materjali omadused ja deformatsiooni ulatus. Deformatsiooni ulatust paraku mõjutada ei saa ja koormusolukord esitab remondikvaliteedile kõrged nõudmised. Samas korpuse materjali omadused soosivad igati kvaliteetse õgvendustöö õnnestumist selliselt, et õgvendatud piirkond ei kujuta endast ohtu.

4.1. Koormusolukord

Kombaini kaksikteo korpuse puhul on tegemist laagritele toetuva õõnesvõlliga, mis normaalolukorras töötab väände ja paindele. Korpus kannab üle pöördemomenti ning on koormatud painde- ja väändemomentidega. Paindekoormuse suunaga ülevalt alla põhjustab normaalolukorras komplektse kaksikteo omakaal, mis mõjub ühtlaselt kogu kaksikteo pikkuses. Painde puhul normaalolukorras mõjuvad kaksikteo ülemises kiht pidevalt survepinged ja alumises kihis pidevalt tõmbepinged. Paindemomenti mõjutab kaksikteo pikkus, sellest tulenev omakaal ja tugilaagrite kaugus üksteisest. Väändemomendi üle terve kaksikteo tekitab normaalolukorras koristatud kultuuri transportimine äärtest keskele teo keerme vahendusel, mis sõltub teokeerme, heedri põhja ja kultuuri massi vahelisest hõõrdejõu ületamisest. Väändepinged tekivad kogu korpuse ja ajami vahele jäävates detailides. Maksimaalne väändemoment on erinevate tootjate lõikes, olenevalt kaksikteo mõõtmetest piiratud siduriga vahemikus 800...1450 N·m [10;11;12]. Võõrkeha sattudes korpuse ja heedri raami vahele põhjustab see paindekoormuse normaalolukorrast vastupidise suunaga ehk alt üles. Väändekoormus suureneb järsult võõrkeha ja ajami vahelises osas paiknevates detailides. Seel 4.1. toodud koormusskeemil on F kaksikteo omakaal, M_b on omakaalust tingitud paindemoment ja M_t on väändemoment, mis on tingitud teokeerule mõjuva kultuurimassi transportimisel mõjuvast hõõrdejõust.



Sele 4.1. Vaade kaksikteo korpuse koormusskeemile normaalolukorras

Kaksikteo deformeerudes kokkupuutes võõrkehaga ületatakse normaalolukorras mõjuvad omakaalust tingitud jõud ja paindemomendid. Väändemomenti ületades rakendub sidur ja kaksiktigu seiskub.

Tugevusõpetusest on teada, et nii painde- kui väändepinged on maksimaalsed just detaili materjali pinnakihtides. Võllide purunemise põhiliseks põhjuseks on läbi aegade väsimuspurunemine [20;21]. Kuna väsimust mõjutavad eelkõige detaili välispinna kvaliteet, kalestumise aste ja pingekontsentratsioonid, siis see seletab ka olukorra miks purunevad täielikult õgvendamata kaksikteod just väsimuspragude tagajärjel. Samuti põhjendab see nõuet, miks peab korpuse plastse deformatsiooni taastamisel pöörama erilist tähelepanu taastamise kvaliteedile. Normaalolukorras töötavad pingekontsentratsioonitena kaksikteo korpuse seina materjalis olevad tehnoloogilised avad, mis on sõrmede juhtpuksidele ja väntmehhanismi paigaldamiseks. Nimetatud avade läbimõõt ja nende paigutus on eeldatavalt võlli projekteerinud inseneri poolt kindlaks määratud. Samuti töötavad pingekontsentratsioonitena õgvendamata plastsed deformatsioonid, mida insener ei ole võlli projekteerides arvestanud. Deformeerunud kaksikteo pöörlemisel pinged koonduvad deformatsiooni alasse üldise geomeetria muutumisest põhjustatuna, mille tulemusel toimub materjali ümberpaiknemine ja kaasneb viskumine. Väsimuspragude tekkeks plastse deformatsiooni piirkonnas eriti soodne asukoht on tehnoloogiliste avade vahetusläheduses. Korrektselt taastamata kaksikteo pöörlemisest tingituna on tegu tsükliliselt muutuvate pingeamplituudidega, mis võivad jääda isegi alla projekteerimisel arvestatud piirpingete, kuid võivad ajas arenedes viia selle väsimuspurunemiseni. Ajas arenev võib tähendada miljoneid pöördeid, mis sõltub taastamata deformatsiooni suurusest ja sellest tuleneva pinge suurusest. Alljärgneva kaksikteo tsüklite arvestuses selgub, et kaksiktigu teeb hooajal keskmiselt 3 570 000 tsüklit. Seega ei ole välistatud, et hooaja jooksul tekkinud- ja õgvendamata deformatsiooniga kaksiktigu puruneb enne hooaja lõppu.

Kaksikteo tsüklite arv:

1. kaksiktigu pöörleb 135...204 p/min, $\approx 170 n_{p/min}$ [10; 11; 12];
2. kombaini arvestuslik kasutuse aeg uuringu [1] põhjal on keskmiselt 350 tundi aastas, mis teeb 21000 minutit aastas, T_{min} ;
3. kombaini elueaks arvestatakse 15 aastat, T_{aasta} ;

$$N_{tsükkel} = n_{p/min} \cdot T_{min} \cdot T_{aasta} = 170 \cdot 21000 \cdot 15 = 53\,550\,000 \text{ tsüklit}$$

Ühe hooaja jooksul teeb kaksiktigu 3 570 000 tsüklit.

4.2. Materjali omadused

Materjalide keemiline koostis, -mark ja -tunnusnumber määrati teenustööna TTÜ Mehaanika ja metroloogia katselaboris kolme erineva tootja kaksikteo korpusel. Konkreetseid marke ja keemilist koostist tootjate kaupa välja ei tooda ja katseprotokolle lisana ei esitata, kuid kirjeldatakse taastamise seisukohalt olulisi materjalide omadusi ja keemilisi ühendeid.

Materjale iseloomustavad järgmised ühised nimetajad [22; 23]:

- Mittelegeerteras;
- Kvaliteetne konstruktsiooniteras;
- Madal süsinikusisaldus $C \leq 0,12\%$;
- Väga hästi külmsurvetöödeldav, sügavtõmmatav;
- Katkevenivus, minimaalne pikenemine $A = 29...38\%$;
- Tõmbetugevus $R_m < 400 \text{ N/mm}^2$;
- Voolepiir $R_e 140-210 \text{ N/mm}^2$;
- Keevitatav, värvitav;

Materjali tõmbekatsed viidi läbi ühe tootja kaksikteo korpuse küljest lõigatud katsekehadega. Tõmbekatse eesmärk oli tuvastada võimaliku materjali kalestumisest tingitud struktuurimuutusi ja sellest tulenevat plastsuse vähenemist, kuid katsete tulemused seda fakti ei kinnitanud.

Katsekehadega imiteeriti avariisituatsioonis võõrkehaga kokkupuutes toimunud deformatsioonide tekkimist ja selle õgvendamist. Katseseeriaid oli kolm, igas seerias oli kolm katsekeha. Kõigepealt deformeeriti katsekehi plastselt, painutades neid ühest ja samast kohast 135° nurga alla, nurga raadiusega $\sim 10 \text{ mm}$. Peale deformeerimist õgvendati katsekehad kasutades alasit ja vasarat selliselt, et katsekehade materjali maht õgvendatud piirkonnas ei

muutuks. Painderaadius ja painutusnurk valiti sarnaselt õgvendatud kaksikteol esinenud mõlkide servadele, kus olid need näitajad kõige kriitilisemad.

Katseseeriad olid järgnevad:

1. Esimese seeria katsekeha ei olnud läbinud deformeerimise ja õgvendamise tsükleid;
2. Teise seeria katsekehad olid deformeerimise ja õgvendamise tsüklid läbinud kolm korda;
3. Kolmanda seeria katsekehad olid deformeerimise ja õgvendamise tsüklid läbinud viis korda;

Katsete tulemused:

1. Kõikide katsete korral jäi tõmbetugevus R_m vahemikku 338...361 MPa;
2. Suhteline pikenemine A_{80mm} jäi vahemikku 15,4...19,2 %.

Katsetulemustes vastavalt deformeerimise ja õgvendamise tsüklite arvule üheselt tuvastatavaid trende ei esinenud.

Tõmbekatse ei ole parim viis kalestumise tuvastamiseks kuna katkevenivus võib aset leida kalestunud piirkonna kõrvalt ja sama kehtib tõmbetugevuse seisukohalt. Samas on omadustest lähtudes tegu sügavtõmmatava materjaliga, mille juures painutamine ja õgvendamine ei pruugi struktuuri nii piisavalt mõjutada, et kalestumine aset leiaks. Kalestumise tuvastamiseks on parem tsükliline väsimuskatsetamine, kuid ressursimahukuse tõttu seda teostatud.

4.3. Remontimise kriteeriumid

Kaksiktigude korpuste õgvendamise võimalused piirab avarii olukorras tekkinud plastsete deformatsioonide ulatus. Mida ulatuslikum on plastne deformatsioon, seda väiksem on painutusnurk ja seda väiksem on suure tõenäosusega painutusraadius. Kui raadius on väiksem materjali paksusest, siis suure tõenäosusega on materjali välimestes, tõmmatud kihtides tekkinud rebendid ja selle ala õgvendamisel võivad tekkida praod. Sisemistes surutud kihtides on ohtlike deformatsioonide tõenäosus väiksem, kuna voolepiir survele on natuke kõrgem. Väikese painderaadiuse korral liigub neutraalkiht sisemiste, surutud kihtide poole ja seda suurem osa materjalist allub tõmbepingetele. Suurema tõenäosusega võivad rebendid tekkida väikese painderaadiustega deformatsioonidele, mis asetsevad kaksikteo korpusega risti (piki kombaini liikumise suunda). Suurem tõenäosus tuleneb pleki valtsimise suunast, mille käigus võib tekkida anisotroopne struktuur ja selle tõttu valmistatakse painutatavad detailid risti valtsimise suunaga [25]. Eelpool kirjeldatud olukord on samuti remonditav tugevduslapi

paigaldamisega või kõrvaldatav deformeerunud sektsiooni väljavahetamisega, kuid käesolev töö on keskendunud korpuste õgvendamisele ja sellepärast sellel teemal rohkem ei peatuta. Reaalses situatsioonis võib tekkida vajadus remontida eelnevalt õgvendatud kaksikteo korpust, mille puhul on oluline eelnev remondikvaliteet. Üldjuhul tehakse esialgne remont olukorras, kus on vaja hooaeg lõpetada ja seega on väga vähe aega. Alljärgnevalt mõned võimalikud variandid osaliselt õgvendatud korpuste kohta:

1. Alaõgvendatud – korpuse mõlkidega alas on kõrvaldamata plastseid deformatsioone, esineb vähene viskumine:
 - 1.1. Alaõgvendatud või õgvendamata kaksikteoga töötades tekkinud väsimuspraod on toodud seel 4.2;
 - 1.2. Remontides on kindlasti vajalik teostada pragude kontroll ja nende olemasolul võtta vastu otsus edasise remonditehnoloogia osas.
2. Õgvendatud – suuremad mõlgid on kõrvaldatud, esinevad vähesed pinnakonarused. Eemaldada on vajalik väikesed ebatasasused.
3. Üleõgvendatud – korpuse seinad on välja venitatud, läbimõõt on suurem kui õgvendamata alal, vähene viskumine (vt seel 4.2):
 - 3.1. Üleõgvendatud korpuse materjal on väljavenitatud ja selle kahandamine on võimalik vähesel määral ja lokaalselt;
 - 3.2. Kahandamise ebaõnnestumise korral tuleb väljaveninud sektsioon välja vahetada.



Sele 4.2. Vaade korrektselt õgvendamata kaksikteole, mille materjal on arenenud väsimuspraod kuni purunemiseni



Sele 4.3. Vaade üleõgvendatud korpusele, suurendatud on väljavenitatatud piirkond

4.4. Remondiaeg

Kombainide kordaseadmiseks kuluv aeg erineb vastavalt valitud tehnoloogiale. Võrdluses on välja toodud ka vahetamisele kuluvad ajad. Kõige vähem aeganõudvam on komplektse kaksikteo vahetus või heedril korpuse remondi teostamine. Reaalses olukorras sõltub kogu remondiaeg kindlasti ka ooteajast ja varuosade tarneajast, mida antud võrdluses ei arvestata ehk eeldatakse, et töödega saab alustada kohe ja varuosad on laos olemas. Samuti vaadeldakse siin ainult aega ja ei arvestata materjalide maksumust, mis mõjutab realselt vastuvõetavaid otsuseid.

Kaksiktigude korpuste remondiks on põhiliselt kaks varianti, milleks on remont heedril või remont stendil.

1. Remont heedril:

- 1.1. Remont toimub kombainiomaniku asukohas;
- 1.2. Vastavalt kombaini asukohast kaugusest tuleb arvestada sõiduajaga;
- 1.3. Heeder on kombaini küljest eemaldatud ja paigaldatud järelkärule;
- 1.4. Haspel on üles tõstetud, toestatud ja kaksiktigu on võimalik pöörata;
- 1.5. Teostatakse esmane mõõtmine;
- 1.6. Õgvendatavast piirkonnast on eemaldatud tehnoloogiliste avade katted ja sõrmed koos juhikutega;

- 1.7. Remondimugavus on väiksem kui stendil, mis vastavalt vajab ka rohkem aega tööde teostamiseks;
- 1.8. Teostatakse kontrollmõõtmine;
- 1.9. Võimalik on hilisem põhjalikum remont peale hooaja lõppemist.

2. Remont stendil:

- 2.1. Remont toimub remondiettevõtte ruumides;
- 2.2. Kaksiktigu eemaldatakse heedrilt ja hiljem paigaldatakse. Väntmehhanismi koos sõrmedega ei eemaldata;
- 2.3. Vastavalt kombaini asukohast tuleb arvestada sõiduajaga, millele lisandub ka laadimise aeg;
- 2.4. Kaksiktigu paigaldatakse stendile ja teostatakse esmane mõõtmine;
- 2.5. Õgvendatavast piirkonnast on eemaldatud tehnoloogiliste avade katted ja sõrmed koos juhikutega;
- 2.6. Käesoleva lõputöö praktilise näite käigus õgvendatud kaksikteo deformatsioonide kõrvaldamiseks stendis kulus neli tundi tööaega.
- 2.7. Teostatakse kontrollmõõtmine;
- 2.8. Kaksiktigu eemaldatakse stendilt ja valmistatakse ette transpordiks;
- 2.9. Transport töökojast kombainini;
- 2.10. Kaksikteo paigaldamine heedrile.

Tabel 4.1. Kombaini töökorda seadmiseks kuluv aeg vastavalt tehnoloogiale

Tööde nimetus	Remont heedril (h)	Remont stendil (h)	Komplekti vahetus (h)	Korpuse vahetus (h)
Varuosa tellimine	0	0	?	?
Heedri asetamine järelkärule	0,5	0	0	0
Komplektne vahetus	0	5	5	5
Korpuse vahetus	0	0	0	22
Transport	2,5	3	3	3
Paigaldamine stendile	0	1	0	0
Ettevalmistus, mõõtmine	1	1	0	0
Õgvendamine	5	4	0	0
Mõõtmine, komplekteerimine	2	2	0	0
Eemaldamine stendilt	0	1	0	0
Transport	2,5	3	0	0
Kokku	13,5	20	8	30

Vahetuse korral on samuti kaks varianti, milleks on komplektse kaksikteo või ainult korpuse vahetus.

3. Komplektse kaksikteo vahetus:

- 3.1. Kaksikteo vahetus toimub kombainiomaniku asukohas;
- 3.2. Varuosa transport laost kombainini;
- 3.3. Komplektse kaksikteo vahetus.

4. Kaksikteo korpuse vahetus:

- 4.1. Kaksikteo vahetus toimub kombainiomaniku asukohas või remonditöökojas;
- 4.2. Varuosa transport laost kombainini või heedri transport töökotta;
- 4.3. Kaksikteo eemaldamine heedrilt;
- 4.4. Kaksikteo komplekteerimine – väntmehhanismi ümbertõstmise vana korpuse seest uue korpuse sisse ja reguleerimine;
- 4.5. Kaksikteo paigaldamine heedrile;
- 4.6. Heedri transport töökojast omanikule.

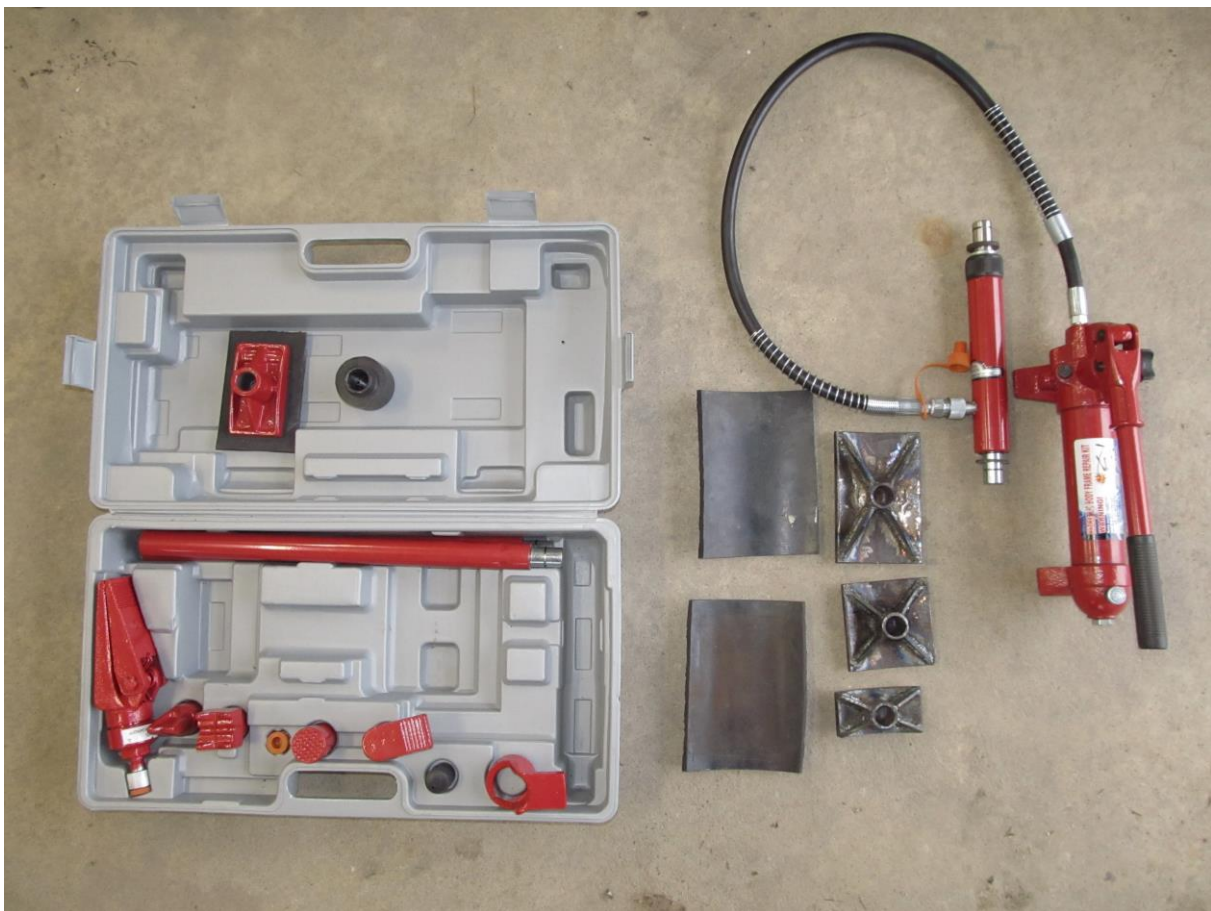
Ajavõrdluse tabelist tuleb hästi välja, et kiireim lahendus on komplektse kaksikteo vahetus, mille puhul on kindlasti varuosade hind kõige kõrgem. Vahetamise vajaduse korral on võimalus kasutada ka n.ö. vahetusfondi osasid, kuid selleks tuleb vastav fond tekitada. Vahetusfond muudaks kiire vahetuse hinna soodsamaks, kuid see vajab pikemat etteplaneerimist. Ajaliselt ja rahaliselt on mõistlikum, kui kombainiomanikul endal on avariisituatsiooniks olemas komplekteeritud kaksiktigu vastavalt olemasoleva kombaini ja heedri margile, mudelile. Vahetusfondiks uue komplektse kaksikteo soetamine on kulukas ja finantsvahendid pannakse teadmata ajaks kasutult seisva osa alla kinni. Vahetusfondi tekitamise peale võib mõelda olukorras, kui kaksiktigu saab eksploatatsiooni käigus vigastada ja see vahetatakse. Sellisel juhul on mõistlik deformeerunud korpusega kaksiktigu remontida ja säilitada see järgmise avariisituatsiooni tarbeks. Samuti võidetakse oluliselt ajas juhul, kui komplektse kaksikteo saab vahetada olemasoleva meeskonnaga ja remonditeenust ei pea sisse ostma.

Alternatiivne vahetusfondi võimalus oleks tekitada see kaksiktigude korpuste remondiga tegeleva ettevõtte juurde, kuid kombainide ja heedrite erinevaid marke ning mudeleid arvestades, eeldab see ressursse fondi tekitamiseks, õgvendustöödeks, ladustamiseks, transpordiks jms, mille tasuvusaeg võib kujuneda pikaks. Samas kombainiomaniku seisukohalt on oluline hajutada riske vastava varuosa saadavuse ja transpordile kuluvat aja seisukohalt, et hooajal asuks vajalik varuosa kombaini ligidal.

5. ÕGVENDUSABINÕU VÄLJATÖÖTAMINE

5.1. Prototüübid ja nõuded

Deformatsioonide kõrvaldamise seadmena kasutati sõidukite kere rihtimiseks mõeldud tööriistakomplekti, mis koosneb manuaalsest hüdraulilisest pumbast ja hüdraulilisest survesilindrist koos erinevate otsikutega (vt sele 5.1). Tööriista komplekti valik tehti vastavalt hüdraulilise silindri pikkusele, mis vastaks kaksikteo sisemisele läbimõõdule.



Sele 5.1. Vaade hüdraulilisele pumbale, silindrile ning õgvendusabinõudele

Survesilinder paigaldati kaksikteo korpuse toru sisse tehnoloogilise ava kaudu (vt sele 5.2). Tööriistakomplektiga kaasas olnud otsikud ja abinõud olid enamalt jaolt kandilised, mis ei liibu mööda toru sisemist pinda. Kaksikteo korpuse deformatsiooni õgvendamiseks on vajalikud spetsiaalsed toru seinajärgivad tallad. Kuna vastavalt õgvendatava kaksikteo korpuse toru raadiusele sobivaid õgvendusabinõusid ei olnud komplektiga kaasas ja seda ei olnud võimalik hankida kaubandusvõrgust, siis praktilise osa läbiviimiseks koostati vajalikud kolm erineva

pindalaga õgvendusabinõu prototüüpi. Õgvendusabinõu prototüübi materjali ja mõõtude valikul lähtuti kererihimise kompleksis sisalduva tasapinnalise otsiku mõõtudest ja geometriast. Prototüübid valmistati keeviskonstruktsioonina, olemasolevast terasest S235J2. Tald koosneb 8 mm paksusest toru seina kuju jälgivast plaadist, mis painutati vastava raadiusega manuaalse hüdraulilise pressi all. Plaadi keskele keevitati vastava läbimõõduga toru, mille sisse paigaldatakse silindri juhik. Toru ja talla nurkadesse keevitati tugevdusribid, et vältida plaadi paindumist õgvendusprotsessi käigus. Koostatud taldade prototüübid on toodud seel 5.1; 5.2 ja 5.3.



Sele 5.2. Vaade töösendis silindrile koos õgvendusabinõudega



Sele 5.3. Vaade prototüüpidena koostatud õgvendusabinõudele

Õgvendusabinõu komplekti koostati kolme erineva suurusega talda, millest kaks väiksemat on õgvendustallad ja üks suurem on toetustald. Õgvendustallad on plaadi mõõtudega 50 mm x 100 mm ja 100 mm x 100 mm, ning tugitald on mõõtudega 100 mm x 150 mm. Nimetatud taldade kohta on koostatud ka käesoleva töö lisadena A1 formaadis joonised.

Silindri alumise tugitala toru seinaga kontakteeruv pindala peab olema suurem kui õgvendamiseks kasutatava talla pindala, et õgvendamine toimuks soovitud suunas. Samuti peab õgvendamiseks mõeldud tööotsiku raadius olema ~80% toru seinaraadiusest [22]. Raadius on vajalik selleks, et talda alasina kasutades kooldub korpuse seinaraadius materjal väiksema raadiusega toetuspinna suunas. Samuti toru deformeerides muudab kuju, siis talla kontaktpind suureneb sujuvalt, vastavalt kui palju deformeerub korpuse toru kuju. Täpsel korpuse sisemist raadiust järgiva talla servad hakkaks toru seinale tekitama soovimatuid plastseid deformatsioone. Samas peab tald olema piisavalt jäik, et hüdrosilindriga avaldatud surve tagajärjel otsik ei deformeeruks. Lisaks on vajalik kasutada tööotsikut alasina toru raadiuse taastamisel kasutades erinevaid tehnikaid vasaraga materjali õgvendades.

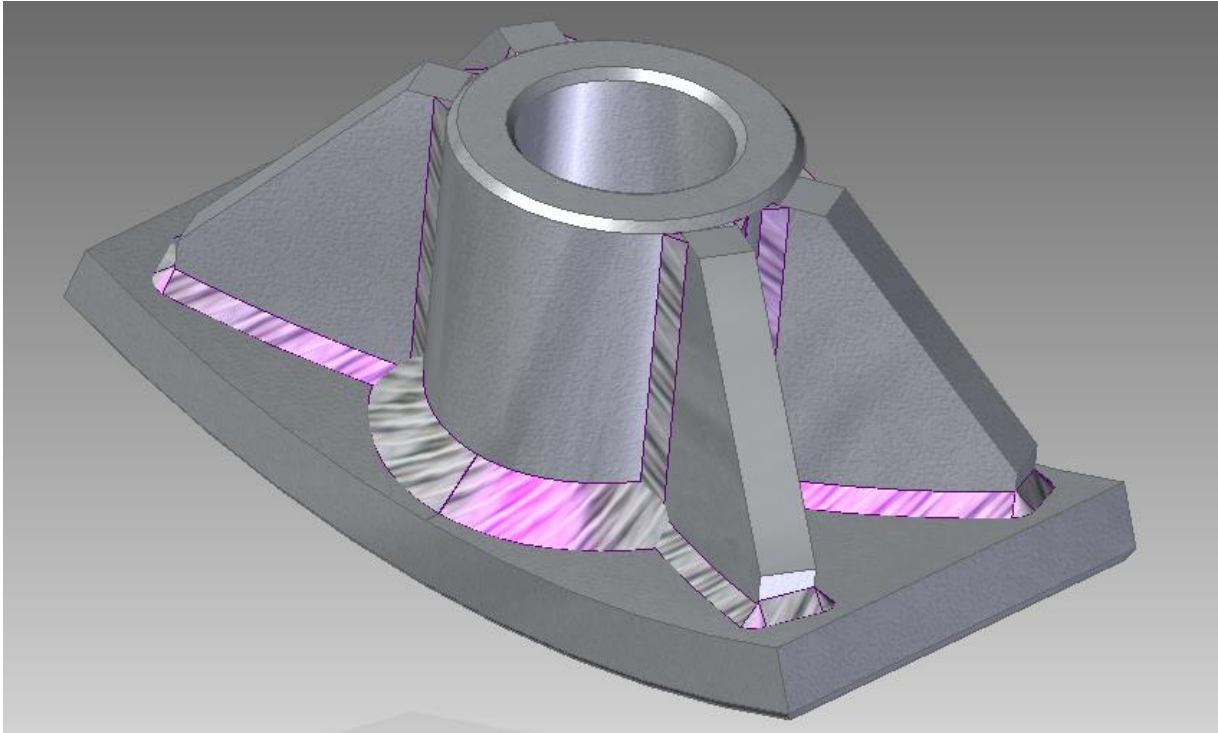
Eeltoodust tulenevalt esitatakse vajalikule tööriistale järgmised nõudmised:

- Piisavalt jäik, et oleks tagatud tööriista geomeetria säilimine ja toru seinade deformeerumine;
- Piisavalt massiivne, et oleks tagatud alasina töötamine;
- Piisavalt kõva pinnaga, et suurte kontaktpingete korral oleks tagatud talla pinna säilimine.
- Piisavalt sitke, et oleks välistatud löökkoormuste korral talla plaadist kildude eraldumine;
- Taskukohane hind ja materjali kättesaadavus, kuna vajalik on tööriista tootearendus;
- Tööriista valmistamise kiirus, -paindlikkus, et oleks vastavalt vajadusele valmistada ise vajalik tööriist.

Tugitald paigaldati silindri alumise otsa ja toru seinade vahele, lisaks kasutati ka 8 mm paksust neopreenist vahekihti pinnakonaruste kompenseerimiseks (vt sele 5.2.). Tugitala plaat painutati šabloonijärgi ~90% toru raadiusest, et vältida töö käigus pingekontsentraatorite teket, sest toru deformeerub alati, kui silindriga survet avaldada suunaga seest välja.

Keskmise suurusega õgvendustald on mõeldud väikeste pinnadefektide taastamiseks lõppviimistluse käigus ja kasutamiseks alasina. Sellepärast on ka selle talla plaadi painderaadius samuti ~90% toru sisemisest raadiusest, kuna õgvendamisel surutakse tald lihtsalt vastu toru seinade ja õgvendamine toimub vasaraga suunaga väljast sisse. Tööolukorras on mõeldud plaadi ja toru seinade vahel kasutada üldjuhul 8mm neopreenist vahekihti.

Kõige väiksema pindalaga tööotsiku raadius on ~80% toru seina raadiusest eelpool kirjeldatud eesmärgil (vt sele 5.2). Talla kasutamisel tööolukorras kasutatakse talla ja toru seina vahel samuti 8 mm neopreenist vahekihti, et vältida pinnakonaruste erinevusest tingitud soovimatuid plastseid deformatsioone. Talda kasutatakse suuremate mõlkide väljasurumisel ja väiksemate mõlkide kõrvaldamisel alasina. Väikese raadiusega mõlgi servadel, kus on vajalik suurem kontaktsurve, asuvate deformatsioonide õgvendamiseks neopreenist vahekihti ei kasutata.



Sele 5.4. Vaade programmiga Solid Edge modelleeritud õgvendusabinõu mudelile

5.2. Koormusolukord

Maksimaalse koormuse arvutamisel võetakse aluseks hüdraulilise silindri võimekus, sest koormusolukorrad kaksikteo korpuse deformatsiooni asukohast lähtudes võivad varieeruda. Tugevusarvutustest selgub, et abinõu konstruktsioonis tekkivad pinged paindel on 5,7 korda suuremad korpuse materjalis tekkivatest pingetest, seega on maksimaalsel koormusel abinõu vastupidavus garanteeritud. Ohutustegurina ületab 5,7 dünaamilisel koormusel töötavate masinaosadele esitatavaid nõudeid, mis on väikese riskiteguriga tööriista kohta liiga palju. Kuna õgvendusabinõu peab töötama ka alasina, mille juures on vajalik massiivsus, et vähendada silindrile langevaid löökkoormusi, siis on üle dimensionimine aktsepteeritav.

Ansys R16.2 (edaspidi Ansys) programmis läbiviidud koormusolukord toob välja pingete kontsentreerumise asukohad ja piirulukordades tekkivad deformatsioonid.

Avariideformatsioonide õgvendamise puhul on tegu materjali tagasipainutamisega algasendisse. Tugevusülesande olukorra lihtsustamiseks võeti aluseks, et deformatsioon asub 100 mm läbimõõduga ringikujulisel alal ja õgvendatav materjal on servadest kinnitatud.

Õgvendustallale esitatud nõuetest lähtudes tuleb lahendada selle projekteerimisel järgmised ülesanded:

1. Survekoormus:

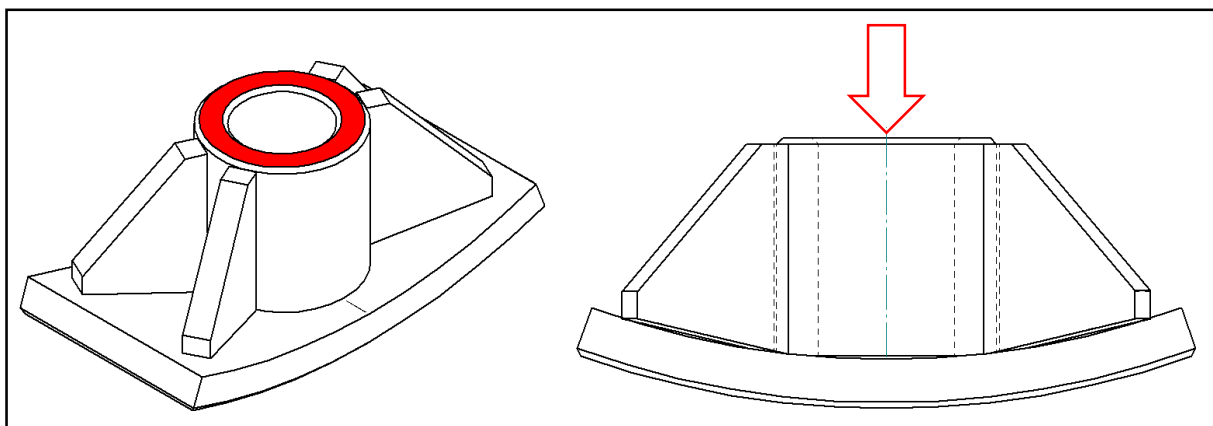
Abinõu paigaldatakse hüdraulilise silindri otsa ja asetatakse kaksikteo korpuse sisse. Hüdraulilise silindriga surutakse tald vastu korpuse sisepinda. Silindri juhiku serv avaldab survekoormust abinõu juhiku servale.

1.1. Survekoormus hüdraulilise silindri poolt juhiku toru otsale on $19620N$, mis tuleneb alljärgnevast:

Hüdrauliline silinder arendab rihtimiskomplekti juhendis toodud näitude järgi survejõudu 4 t. Kuna silinder surub mõlemas suunas ühesuguse jõuga, siis õgvendus- ja toetustalla toru juhiku servale langeb võrdne koormus:

1.1.1. Õgvendustalla juhiku otspinnale üle kantav silindri survejõud

$$F_{sil} = \frac{m \cdot a}{2} = \frac{4000kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{2} = 19620N \quad [23](5.1)$$



Sele 5.5. Vaade õgvendusabinõu mudelile, punasega on tähistatud juhiku serva pind aksonomeetrilisel kujutisel. Noolega on tähistatud jõumõju suund

1.1.2. Survepinged ühele õgvendustalla juhiku otspinnale on keskmiselt $44 \frac{N}{mm^2}$,
tuleneb alljärgnevast:

1.1.2.1. Survepinge

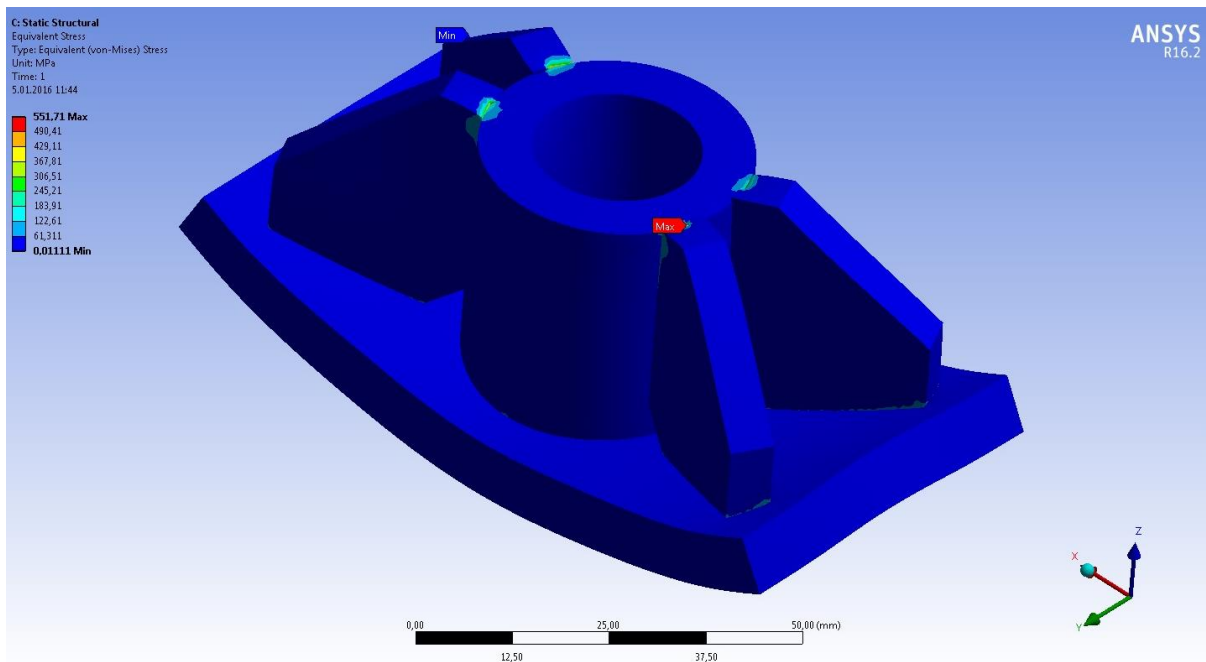
$$\sigma_c = \frac{F_{sil}}{A_{juhik}} = \frac{19620 N}{448 mm^2} = 44 \frac{N}{mm^2} \quad [23] (5.2)$$

1.1.2.2. Hüdraulilise silindri juhikute otsa pindala on serva faasist tulenevalt sisemise läbimõõduga 24,2 mm ja välimise läbimõõduga 34 mm,

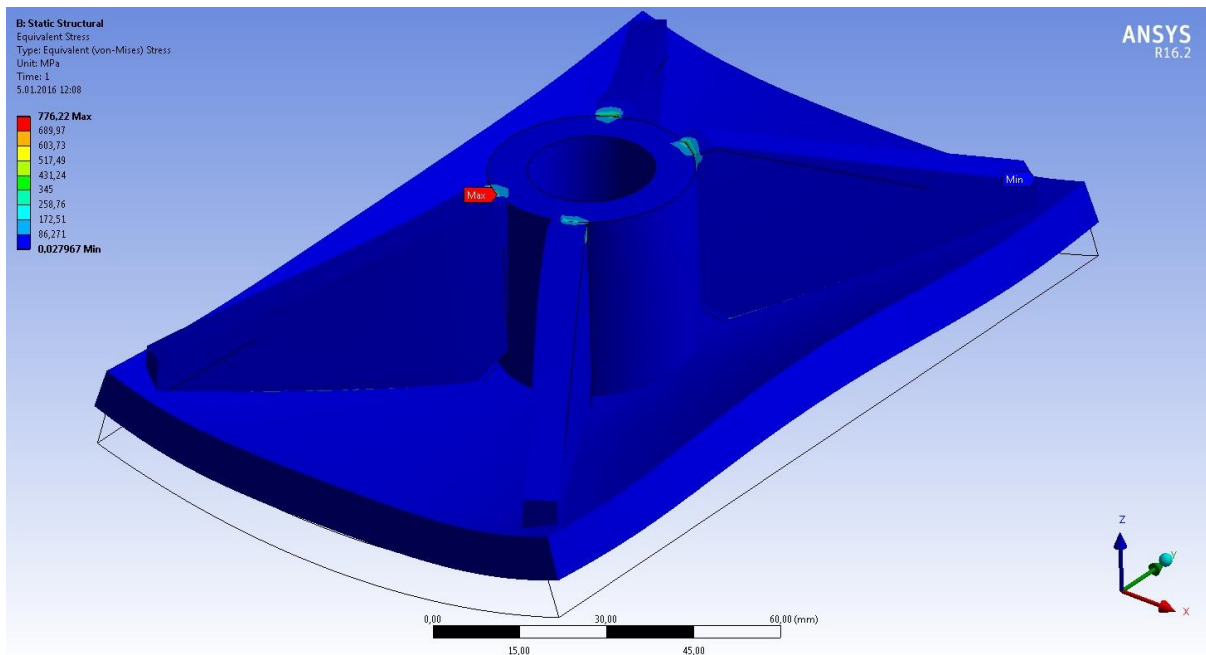
$$A_{juhik} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi}{4} \cdot (34^2 - 24,2^2) = 448 mm^2 \quad [23] (5.3)$$

kus D^2 - juhiku välimine läbimõõt,
 d^2 - juhiku sisemine läbimõõt.

Programmis Ansys tehtud koormusanalüüsi tulemus on esitatud seel 5.6, mille põhjal tekivad maksimaalsed pinged tugevdusribide ja juhiku liitekohtadesse selle otspinna ligidal. Tegu on plaadilt ribidele ülekantava koormusega, mis avaldub kontaktpinges 552 MPa. Suurimad pinged nimetatud piirkonnas saavad tekkida kõige suurema plaadi mõõtmetega toetustallal, mida tõendas ka analüüs seel 5.7, sest jõuõlg on sellisel juhul kõige pikem. Pinged tugitalla samas piirkonnas on kuni 776 MPa. Põhiline osa koostu materjalis esinevatest pingetest jäävad vahemikku 0,01...86 MPa.

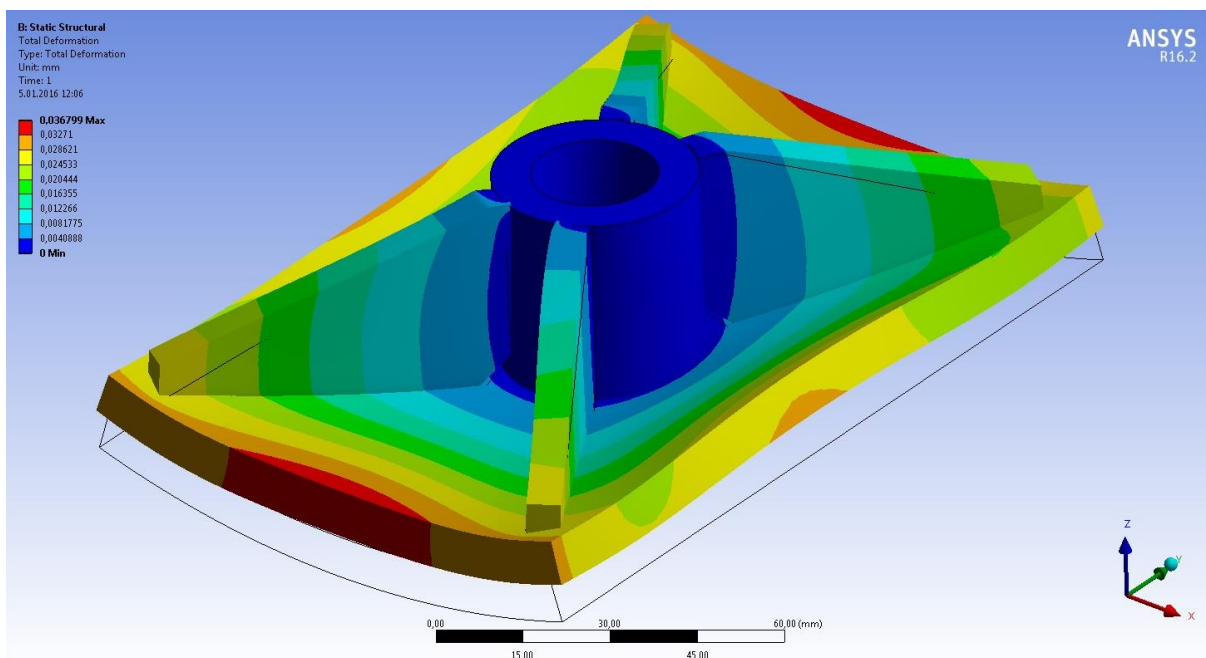


Sele 5.6. Vaade programmis Ansys R16.2 tehtud õgvendustalla koormusanalüüsi tulemusele



Sele 5.7. Vaade programmis Ansys tehtud toetustalla koormusanalüüsi tulemusele

Programmis Ansys vaadeldi ka taldadele tekkivaid tõenäolisi deformatsioone, mille ulatus on tühine (vt sele 5.8). Kõige suurema deformatsiooniulatusega 0,04 mm oli arusaadavalt toetustald, kuna selle jäikusribide vahelina ala oli kõige suurem.



Sele 5.8. Vaade programmis Ansys tehtud toetustalla deformatsiooni tulemusele, musta raamiga on tähistatud talle esialgne kuju. Deformatsioon on välja toodud parema visualiseerimise eesmärgil ülivõrdes

1.2. Survepinged õgvendustalla plaadile jaotatud koormuse korral on $4 \frac{N}{mm^2}$, mis tuleneb alljärgnevalt:

1.2.1. Survepinge

$$\sigma_c = \frac{F_{sil}}{A_{plaat}} = \frac{19620 N}{5000 mm^2} = 4 \frac{N}{mm^2}$$

1.2.2. Plaadi pindala

$$A_{plaat} = a \cdot b = 50 \cdot 100 = 5000 mm^2 \quad [23] (5.4)$$

1.3. Survepinge õgvendustalla plaadile koondatud koormuse korral $196 \frac{N}{mm^2}$, mis tuleneb alljärgnevalt:

1.3.1. Survepinge

$$\sigma_c = \frac{F_{sil}}{A_{ala}} = \frac{19620 N}{100 mm^2} = 196 \frac{N}{mm^2}$$

1.3.2. Kontaktpindala

$$A_{ala} = a \cdot b = 10 \cdot 10 = 100 mm^2$$

2. Paindekoormus:

Deformatsioonide õgvendamisel on vajalik painutada hüdraulilise silindriga kaksikteo korpuse seina materjali, mille maksimaalne voolepiir on $310 \frac{N}{mm^2}$. Hüdraulilise silindri poolt arendatava jõu tulemusena on võimalik avaldada kaksikteo korpuse seina materjalile survet $750 \frac{N}{mm^2}$, mis tuleneb alljärgnevalt:

2.1. Paindepinge korpuse seina materjalis koondatud koormusega ehk õgvendusprotsessi alguses

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{245250}{327} = 750 \frac{N}{mm^2} \quad [23] (5.5)$$

kus σ_b – paindepinge,

M_b – paindemoment,

W – ristlõike telgvastupanumoment.

2.2. Paindepinge korpuse seina materjalis ühtlase koormusjaotusega ehk õgvendusprotsessi lõpus

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{163500}{327} = 500 \frac{N}{mm^2}$$

2.2.1. Korpusematerjali paindemoment koondatud koormuse korral

$$M_b = \frac{F \cdot l}{8} = \frac{19620 \cdot 100}{8} = 245250 \frac{N}{mm} \quad [23] (5.6)$$

kus l – kinnituspunktide kaugus üksteisest, siin on võetud 100 mm, mis vastab õgvendustalla laiusele

2.2.2. Korpusematerjali paindemoment ühtlase koormuse korral jaotusega

$$M_b = \frac{F \cdot l}{12} = \frac{19620 \cdot 100}{12} = 163500 \frac{N}{mm} \quad [23] (5.7)$$

2.2.3. Korpuse materjali telgvastupanumoment 100 mm läbimõõduga mõlgi puhul

$$W = \frac{w \cdot h^2}{6} = \frac{314 \cdot 2,5^2}{6} = 327 \text{ mm}^3 \quad [23] (5.8)$$

kus w – materjali laius, on võetud 100 mm ringi ümbermõõt $C = \pi \cdot d$,

h - materjali kõrgus.

2.3. Paindekoormus avaldub õgvendustalla plaadile juhikutoru kõrval, kus lihtsustatult vaatleme olukorda kui ühest otsast kinnitatud tala, millele jõud mõjub ühtlaselt jaotatult. Koondatult mõjub koormus ainult õgvendusprotsessi alguses, mida õgvendatakse põhiliselt talla selle osaga, mis jääb juhikuga ühele sihile ja millele seetõttu mõjuvad põhiliselt survekoormus. Seega vaadeldakse ainult olukorda, kui koormus jaotub ühtlaselt, mille korral paindepinge talla plaadis on $295 \frac{N}{mm^2}$, mis avaldub alljärgnevas:

2.3.1.1. Paindepinge

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{156960}{533} = 295 \frac{N}{mm^2}$$

2.3.1.2. Paindemoment

$$M_b = \frac{F \cdot l}{2} = \frac{9810 \cdot 32}{2} = 156960 \frac{N}{mm}$$

2.3.1.2.1. Maksimaalne hüdraulilise silindri poolt arendatav jõud, mis mõjub õgvendustalla ühele poolele

$$F_{sil} = \frac{4000 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}}{4} = 9810 \text{ N}$$

2.3.1.3. Telgvastupanumoment

$$W = \frac{w \cdot h^2}{6} = \frac{50 \cdot 8^2}{6} = 533 \text{ mm}^3$$

Korpuse seina materjalis mõjunud paindepinged $500 \frac{N}{mm^2}$ on õgvendustalla plaadis mõjuvatest pingetest 1,7 korda väiksemad.

2.4. Paindekoormus avaldub õgvendustalla jäikusribile juhikutoru kõrval. Tugevusarvutused viidi läbi kahte erinevat mõõtu materjaliga. Paindepinged erineva paksusega materjalist ribides avalduvad alljärgnevas:

2.4.1. Tugevdusribi 6 mm

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{235440}{1089} = 216 \frac{N}{mm^2}$$

2.4.1.1. Telgvastupanumoment

$$W = \frac{w \cdot h^2}{6} = \frac{6 \cdot 33^2}{6} = 1089 \text{ mm}^3$$

2.4.1.2. Tugevdusribi painemoment toru kõrval

$$M_b = F \cdot l = 9810 \cdot 24 = 235440 \frac{N}{mm}$$

2.4.2. Tugevdusribi 4 mm

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{235440}{726} = 324 \frac{N}{mm^2}$$

2.4.2.1. Telgvastupanumoment

$$W = \frac{w \cdot h^2}{6} = \frac{4 \cdot 33^2}{6} = 726 \text{ mm}^3$$

2.5. Plaadi ja jäikusribide konstruktsiooni paindepinge, arvestatud ei ole keevisest tulenevat jäikust.

2.5.1. Plaat 8 mm ja kaks 6 mm paksusest materjalist jäikusribi

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{235440}{2 \cdot 1089 + 533} = \frac{235440}{2711} = 87 \frac{N}{mm^2}$$

2.5.2. Plaat 8 mm ja kaks 4 mm paksusest materjalist jäikusribi

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W} = \frac{235440}{2 \cdot 726 + 533} = \frac{235440}{1985} = 119 \frac{N}{mm^2}$$

Arvestades korpuse seinamaterjalis tekkivaid minimaalseid pingeid $500 \frac{N}{mm^2}$ maksimaalsel silindri survejõu korral on abinõu materjalis tekkivad pinged ligi kuus korda väiksemad.

3. Löötkoormus:

Õgvendusabinõu materjal peab taluma lööke, seega ei tohi materjal olla liiga habras ega liiga sitke. Liigse hapruse korral võib löökide mõjul hakata sealt kilde eralduma ja liigse plastsuse korral võib see deformeeruda. Löötkoormusi peab õgvendustald taluma väga harvadel juhtudel, kui on tarvis õgvendada väiksema raadiusega deformatsioone. Korpuse seinamaterjali õgvendatakse vasaralöökidega selle välispinnale, sellisel juhul töötab abinõu alasina. Üldjuhul kasutatakse abinõu plaadi ja korpuse sisepinna vahel neopreenist kihti, mis leevendab otseste löökide mõju. Harvadel juhtudel õgvendatakse ilma neopreenist vahekihita. Vasara löök ei tohi muuta õgvendatava korpusematerjali mahtu, vaid peab

aitama kaasa väikese raadiusega deformatsioonide painutamisele. Kasutatakse ka pingutatud materjalil vasaraga alasist möödalöömise meetodit. Löökkkoormuse olukorras on abinõu õgvendamise lõppetapis kui enamuse korpuse sisepinnast on liibunud vastu abinõu plaati.

4. Massiivsus:

Tööriista projekteerimise juures on oluline arvestada ka selle massiivsust alasina töötades, sest sellisel juhul langeb hüdraulilisele silindrile väiksem löökkkoormus.

5.3. Materjali valik

Tööriista materjali valiku juures on põhiline selle valmistamise kiirus, koostamise lihtsus, materjalide hind. Arvestades õgvendustegevuse vähest praktikat ja sellest tulenevat tõenäolist tootearenduse vajadust, siis on mõistlik valida materjal selliste omadustega, millest on võimalik väikese energiakuluga valmistada uus vajalike mõõtmetega tööriist. Vastavalt enimmüüdud kombainide kaksiktigude korpuste läbimõõdule on esialgu vajalik nelja erineva raadiustega abinõu komplektide kogus, kuid vastavalt vajadusele on võimalik neid lihtsate vahenditega juurde toota.

Õgvendusabinõu materjaliks valiti S355J0 või S355J2, kuna tegu on laialt kättesaadava kvaliteetse konstruktsiooniterasega. Materjalid erinevad üksteisest ainult külmhaprus lävi poolest, kus purustustöö 27 J on esimesel juhul 0°C ja teisel juhul -20°C juures [23]. Kuna tööriista kasutatakse ainult plusskraadidel, siis ei ole see materjali omadus kriteeriumiks. Materjali mehaanilised omadused nagu sitkus ja hapra purunemise kindlus täidavad hästi alasina töötavale tööriistale esitatavaid nõudeid. Samuti on materjal hästi keevitatav, mis on üks põhilisi nõudmisi keeviskonstruktsiooni projekteerimisel.[23]

Tugevusarvutuste tulemused on toodud tabelis 5.1, kus on võrreldud maksimaalseid pingeid väljapakutud materjali voolepiiriga. Valitud materjali voolepiir täidab maksimaalsetest pingetest tulenevaid nõudeid. Tabelis toodud korpuse seina materjalis tekkivate pingete puhul on näha, et need ületavad voolepiiri, seega on paindedeformatsioonide õgvendamine võimalik ka arvutuslikult.

Tabel 5.1. Tugevusarvutuste tulemused, tähistatud on valitud konstruktsioon

Pinge liik	Detail	Maksimaalne pinge	Materjali voolepiir	Pinge ja voolepiiri erinevus
		N/mm ²	N/mm ²	
Paine	Korpuse sein, koondatud koormusel	750	210	0,3
Paine	Korpuse sein, jaotatud koormusel	500	210	0,4
Surve	Juhiku otspind	44	355	8
Surve	Õgvendustalla plaat jaotatud koormusel	4	355	88,8
Surve	Õgvendustalla plaat koondatud koormusel	196	355	1,8
Paine	Plaat juhiku toru kõrval	295	355	1,2
Paine	Jäikusribi 6mm	216	355	1,6
Paine	Jäikusribi 4mm	324	355	1,1
Paine	Konstruktsioon: plaat + 6 mm jäikusribi	87	355	4,1
Paine	Konstruktsioon: plaat + 4 mm jäikusribi	119	355	3,0

Keeviskonstruktsioonina on abinõu lihtsalt valmistatav, mis täidab paindlikud tingimused tootearenduse käigus. Abinõu plaat painutatakse hüdraulilise pressi all vajaliku raadiusega ja teised detailid lõigatakse välja statiivil asetseva ketaslõikuriga. Abinõu toodetakse keeviskonstruktsioonina kasutades kaksik- ja ühekordset HY õmblusi [23]. Kuna koost on väike, siis õnnestub kõik õmblused sooritada töölaual, mugavas-, alumises nurkasendis PB [23]. Ettevalmistatud detailid liidetakse kaarkeevitusega aktiivkaitsegaasis M21-M24 või C1 [23]. Keevitustraadiks valiti G46 4 m G3Si1, mis sobib omadustelt valitud terasega [23].

Materjalid on sobivates mõõtudes saadaval laokaubana Eesti metallimüüjatelt. Plaadi ja jäikusribi materjal on saadaval sobiva paksuse ja laiusega 6 meetriste lattidena, millest saab hõlpsasti lõigata vajaliku pikkusega detaile. Juhiku materjaliks sobivate mõõtudega paksuseinaline toru välise läbimõõduga 36 mm ja sisemise läbimõõduga 20 mm on saadaval pikkusega 4-7m. Torust lõigatud tükid treitakse sisemiselt läbimõõdult vajalikku mõõtu ja varustatakse vastavate faasidega.

Peale tootearendust ja selle käigus kogutud andmetele tuginedes võib hiljem vastavalt valmistatavate ühikute arvule materjali valikut või tootmise tehnoloogiat muuta.

6. FINANTSARVESTUS

Kaksiktigude taastamise maksumuse võrdlemisel on kõige parema aja ja hinna suhtega korpuse remont, kuna tehnoloogia ei sisalda varuosade kulu. Sealjuures odavaim on korpuse remont heedril, sest see ei sisalda heedrilt eemaldamise- ja paigaldamise- ning stendile paigaldamise- ja eemaldamise- kulusid. Kõige suurema aja ja hinna suhtega on komplektse kaksikteo vahetamine, kuna hind sisaldab kõrge hinnaga varuosa maksumust. Töötunni hinnaks on võetud turul keskmine töötunni maksumus koos käibemaksuga. Transpordi tasuks on arvestatud sõiduajale kulumise töötunnihind, kuigi suurte mõõtmetega varuosa transport on eeldatavalt kulukam ja ajamahukam. Tulemused on toodud alljärgnevas tabelis 4.1.

Tabel 4.1. Erinevate remonditehnoloogiate maksumuste võrdlused

Kulutused/remondilahendus	Remont heedril	Remont stendil	Komplekti vahetus	Korpuse vahetus
Tööd kokku (h)	13,5	20	8	30
Töötunni hind (€)	50	50	50	50
Tööde maksumus (€)	675	1000	400	1500
Varuosad (€)	0	0	13800	6700
Remont kokku (€)	675	1000	14200	8200
Aja ja hinna suhe (€/h)	50	50	1775	273

Õgvendusabinõu komplekti maksumus arvutati isikliku kogemuse põhjal prototüüpi valmistades, seega võib tulevikus oskuste süvenedes või teenustööna sisse ostes komplekti hind muutuda. Komplekti omahinna juures moodustab põhilise osa abinõu valmistamisele kuluv aeg. Abinõu komplekti kuulub kolm erineva suurusega talda: kaks õgvendustalda ja üks toetustald. Vajaliku materjali õgvendusabinõude valmistamiseks müüakse kuue meetriste lattide kaupa, mille kogumaksumuseks kujuneb 96 eurot koos käibemaksuga. Lattide küljest lõigatakse vajaliku suurusega detailid. Plaadi materjali kuue meetrisest latist saab vajalikud detailid 19 komplektile, jäikusribi latist 30 komplektile ja juhiku latist 50 komplektile. Sellest tulenevalt ei ole tootearendusele tehtavad investeeringud kuigi suured. Ühe õgvenduskomplekti materjali maksumus on 3,87 eurot, mis muudab mõttetuks materjali kokkuhoiu eesmärgil tehtavad tootearendused. Olenemata näiteks kasutatava jäikusribi materjali paksuse valikust kas 4 mm, 6 mm või 8 mm jääb komplekti koostamise kulu samasse suurusjärku, mis moodustab põhilise osa komplekti lõppmaksumusest.

Tabel 4.22 Õgvendusabinõu komplekti hinnaarvestus

Tööd, materjalid	Ühik	Kogus	Hind (€)	Summa (€)
Plaadi materjal, ribateras 8x100, S355	kg	1,9	1,21	2,30
Jäikusribi materjal, ribateras 6x30, S355	kg	1,1	1,21	1,33
Juhiku materjal, paksuseinaline toru 36x20, S355	kg	0,2	1,21	0,24
Lõikekettad terasele	tk	1	3,00	3,00
Keevitraat G3Si1	kg	0,6	1,50	0,90
Kaitsegaas M21	kg	30	1,65	49,50
Lõikamine	tund	1	50,00	50,00
Painutamine	tund	1	50,00	50,00
Treimine	tund	1	50,00	50,00
Keevitamine	tund	1	50,00	50,00
Värvimine	tund	1	50,00	50,00
Summa kokku				307,27

7. OHUTUSTEHNIKA

Kaksiktigude korpuste remonditööde teostamisel opereeritakse suuremõõtmeliste ja suure massiga masinaosadega, millega töötades peab olema äärmiselt ettevaatlik, et vältida võimalikke tööõnnetusi. Õnnetuste korral võidakse ohtu seada inimeste tervislik seisund või elu. Tööõnnetuste vältimiseks tuleb järgida ohutustehnika eeskirju. Alljärgnevalt on kirjeldatud vastavalt kaksikteo korpuse remonditegevuse järjekorrale võimalikke ohuolukordi, millele tuleb kindlasti tähelepanu pöörata.

Kaksikteo korpuse õgvendamisel heedril:

1. tuleb kasutada tugevast materjalist tööriietust ja kaitsekindaid ning kaitsekiivrit, et vältida võimalikke kehavigastusi masinaosade teravate servadega kokkupuutumisel;
2. tuleb kasutada metallist ninaga turvajalatseid, et kaitsta jalgu raskete esemete kukkumise korral;
3. remondi teostamisel peab olema kindlasti heeder kombaini eest lahti ühendatud ja paigaldatud järelhaagisele või muule kindlale alusele, välistatud peab olema heedri löikavate või pöörlevate mehhanismide võimalik tööle hakkamine remondi teostamise ajal;
4. töötamisel haspli all tuleb see seadistada ülemisse asendisse ja alla langemise kindlustamiseks kasutada ohutusriive. Ohutusriivid asuvad mõlemal heedri küljel;
5. haspli all töötades on oht selle piidega vigastada peapiirkonda, selleks tuleb kanda kaitsekiivrit ja kaitseprille;
6. töötatakse löiketerade vahetusläheduses, millega on suur võimalus kontakteeruda. Kuna terad võivad vigastada ka läbi tööriiete, siis selle vältimiseks tuleb kasutada löiketerade kaitseid. Kaitseid tuleb küsida kombaini omanikult. Kaitsete puudumisel saab need valmistada laudadest;
7. vajadusel redelit kasutades veenduge, et see oleks paigaldatud kindlalt, tasasele pinnasele kukkumisohu vältimiseks;
8. kaksikteo korpuse pööramisel vajalikku asendisse kindlustage see kindlasti iseenesliku pöördumise vastu kasutades lukustatavaid näpitsaid, millega saab fikseerida korpuse asendi sõrmede suhtes;
9. töötatakse vahest sundasendis põlvele toetudes, kasutage põlvekaitseid hilisemate tervisekahjustuste vältimiseks;
10. korpuse õgvendamisel võib tekkida tugev müra. Kasutage kõrvaklappe või kõrvatroppe kuulmisorganite kahjustuste vältimiseks.

Kaksikteo korpuse õgvendamisel stendis:

1. tuleb kasutada tugevast materjalist tööriietust, kaitsekindaid ning kaitsekiivrit, et vältida võimalikke kehavigastusi masinaosade teravate servadega kokkupuutumisel;
2. tuleb kasutada metallist ninaga turvajalatseid, et kaitsta jalgu raskete esemete kukkumisel korral;
3. töötatakse tõsteseadmetega tõste seadmetega, tuleb järgida kindlasti tõsteseadmete ohutuse eeskirju;
4. tõstetakse suurte mõõtmega ja raskeid esemeid. Selle juures tuleb tähelepanelikult jälgida tõsteseadmete korrasolekut, kinnitusi ja nende paigaldamise korrektsust.
5. kunagi ärge seiske ülestõstetud kaksikteo all;
6. oht on vigastada ennast masinaosade teravate servadega, selleks kasutage kaitsekindaid ja tugevast materjalist tööriietust;
7. kaksikteo korpuse pööramisel vajalikku asendisse kindlustage see kindlasti iseenesliku pöördumise vastu kasutades lukustatavaid näpitsaid, millega saab fikseerida korpuse asendi sõrmede suhtes.
8. võib tekkida tugev müra korpuse õgvendamisel. Kasutage kõrvaklappe või kõrvatroppe kuulmisorganite kahjustuste vältimiseks.

8. KVALITEEDIKONTROLL, GARANTII, KINDLUSTUS

Kaksikteo korpuse õgvendamisjärgne kvaliteedikontroll seisneb kontrollmõõtmise teostamises, mille käigus saadakse ülevaade õgvendamistööde tulemuslikkusest. Vajadusel õgvendatakse täiendavalt, kui esmase õgvendamise järgselt, ei mahu korpuse üldine geomeetria selle tootmistolerantsidesse.

Väikese raadiusega deformatsioonide õgvendamise järgselt kontrollitakse piirkond praotuvastusvärvidega juhul, kui on pragude tekkimise oht. Samuti on vajadus pagude kontrolliks juhul, kui õgvendamata kaksikteoga on enne õgvendamisprotsessi eelnevalt töötatud ja oht on väsimuspragude tekkeks materjali kalestumise tulemusel. Praotuvastusvärve kasutatakse keevisõmbluste kvaliteedikontrollis ja neid on võimalik hankida keevitustarvetega tegelevatest ettevõtetest.

Väga plastsetest materjaliomadustest lähtudes on õgvendatud piirkonna tagasitõmbamine külmvormimise järgselt ebatõenäoline. Sellest tulenevalt ei ole õgvendamisele garantii andmine põhjendatud. Pigem on oht uute plastsete deformatsioonide tekkeks kokkupuudetes võõrkehadega. Garantii on oluline kombainiomanike jaoks, kes soovivad oma riske maandada. Sellest tulenevalt planeeritakse remonditud kaksiktigude kvaliteediseiret õgvendatud kaksiktigudele peale hooaja lõppu, mis seisneb praotuvastusvärvidega pragude otsimises õgvendatud piirkonnas. Samuti on oluline koostöö kombainiomanikuga ja masinaoperaatoriga, et osataks õgvendatud alale tähelepanu pöörata. Õgvendatud ala värvitakse heleda tooniga värviga, mis teeb pragude märkamise masina igapäevahoolduse käigus lihtsaks. Kõige äärmuslikumal juhul arenevad õgvendatud piirkonnas väsimuspraod, mille tulemusel kontakteerub kaksiktigu heedri raamiga.

Tegevuse riskide maandamiseks sõlmitakse kindlustusseltsis vastutuskindlustuspoliis, mis korvab ebakvaliteetsest remondist või remonditeostaja eksimustest põhjustatud kulud.

KOKKUVÕTE

Kindlustusseltsi kahjukäsitluses töötades silma hakanud probleemistik, mis seisneb pealtnäha tühiste vigastustega masinaosade vahetamises uute ja kõrgehinnaliste vastu, on tavapärase olukord. Ressursi raiskamisena tundunud tegevus ajendas seda valdkonda uurima ja olukorraga kurssi viima. Käesoleva töö näol on asjaga algust tehtud, et otsida lahendusi ebamõistlike kulutuste piiramisele ja seeläbi anda oma panus keskkonna säästmisele. Valik, millise pöörleva masinaosa taastamise teemal töö kirjutada oli alguses laiem, kuid arutelus juhendajaga langetati otsus kombaini kaksiktigude kasuks.

Selge on see, et kaksiktigude kahjustumine tulevikus jätkub, sest senisele praktikale tuginedes ei ole Eesti põldudel kivid kuhugi kadunud. Iseküsimus on selles, et millisel meetodil kivide poolt lõhutud masinaid remontida.

Uuringut alustati turuolukorra väljaselgitamisest, et teada orienteeruvat töömahtu millega tuleb üldse kokku puutuda. Selleks uuriti kombainipargi hetkeseisu ja arengut viimaste aastatega. Aeg näitab, et mida uuemaks muutuvad masinad seda laiemaks muutuvad heedrid ja seda rohkem on operaatoril jälgimist, et kallihinnalisi tööorganeid kividest säästa. Samamoodi nagu heedri mõõtmed, kasvavad ka nende varuosade hinnad. Hoolimata mitmete kombainimarkide turul eksisteerimisest on see jagatud praktiliselt võrdselt kahe suurima tegija vahel, mis teeb olukorra lihtsamaks antud teema kontekstis.

Statistika põhjal toimub keskmiselt iga kolmanda registrisse kantud uue kombainiga kahjujuhtum, mille tagajärjel on vajalik vahetada deformeerunud kaksiktigu. Selline kogus on muljetavaldav, kusjuures tegelik kahjustustatud kaksiktigude hulk on teadmata. Reaalsete kahjujuhtumite näidete põhjal saab öelda, et vaadeldud kolmest juhtumist on remonditavad kaks. Kaksiktigude remondiga tegelev ettevõtte Eestis puudub, kuigi remondihuvi on olemas tootjate esindajate- ja kombainiomanike näol. Kindlustusseltside osa ei saa samuti jätta tähelepanuta, kuna uued kombainid on kõik kindlustatud ja seltside soov on hoida remondiga seotud kulud põhjendatud tasemel. Uuringu põhjal on seni teadaolevad väljaspool Eestit praktiseeritud remont põhiliselt keskendunud kahjustatud sektsiooni väljavahetamisele ja deformeerunud sõrmeavade õgvendamisele. Sellises mahus õgvendustöid nagu antud remonditehnoloogia ette näeb ei ole autori poolt tehtud küsitluse ja internetiotsingu põhjal leitud. Väljapakutud remonditehnoloogia näol on tegemist võimalusega kasutada lõpuni juba toodetud masinaosa ressursid selliselt, et oleks tagatud remonditud häireteta töö. Turuanalüüs tõi selgelt välja, et kahjujuhtumite näol on olemas remondivajadus ja garanteeritud

remondimahud ning andis suuna, millistele markidele keskenduda. Siiani ei ole nimetatud teenust välja reklaamitud ega ühtegi kaksiktigu remonditud teenustöona, kuid puhtalt majanduslikust aspektist lähtudes peaks sellisest teenusest olema kombainiomanikud huvitatud just aja ja raha vahelist seost arvestades.

Töö praktilise osa käigus eksperimenteeriti mitmete tehnoloogiliste lahendustega alates ajutise stendi visandamisest ja lõpetades õgvendusabinõu väljatöötamisega. Olukorra kutsus esile just see asjaolu, et arendatakse tehnoloogiat, mille puhul puudub võimalus osta kaubandusvõrgust selleks tegevuseks ettenähtud tööriistad ja abivahendid. Peab tunnistama, et tegu oli aeganõudva, kuid huvitava ja arendava tegevusega mida kroonis autori hinnangul edukas tulemus. Ligikaudu 300 kg kaaluva ja 5,4 m pikale kaksikteole leiti mugaval kõrgusel tööasend, et läbi viia mõõtmistööd kaksikteo korpuse kujuhälvete tuvastamiseks. Tööasendi saavutamiseks koostati ajutine stand, millel sai kaksiktigu ümber oma telje pöörata. Väljatöötatud mõõtmisprotsessi käigus loodi arvutusmoodul, mis aitab kõrgusnäitude sisestamisel kergesti hoomatavaks teha üldise kujuhälbe. Arvutusmoodulist kujunes välja asjalik tööriist, mille kasutamine leiab kindlasti kasutamist praktikas ka hiljem. Stendil katsetatud mõõtmise loogikat rakendati ka uute, analoogsete kaksiktigude tootmistolerantside määramiseks, mille põhjal määrati õgvendustäpsus. Stendil viidi läbi ka kogu korpuse õgvendamine. Kaksikteo korpuse ehituse ja plastsete deformatsioonide tekkemehhanismi süvenemine aitas aru saada elastsete deformatsioonide olemusest. Arusaamine lihtsustas deformatsioonide kõrvaldamist ja üldise kujuhälbe kadumist. Mõõtmistulemused tunnistavad eduka õgvendamise tulemust, kus kohati ületati uue kaksikteo tootmistäpsust.

Remonditehnoloogia eesmärk on säilitada maksimaalne osa algsest, juba toodetud masinaosast ja selle materjalist, et vältida asjatut energiakulu uue korpuse tootmisele. Praktilises osas õgvendatud kaksikteo korpuse esialgne, avariielne kuju taastati nelja tunniga. Tegu on reaalse katsega, mille tulemus tõendab, et masinaosa on jälle valmis selleks ettenähtud ülesannet täitma. Loomulikult ei ole kõik deformatsioonid sama ulatusega, sest see oleneb kivi kujust ja liikumise kiirusest.

Kaksiktigude läbivatest materjaliomadustest lähtudes on tegu väljapakutud remonditehnoloogiat igati toetava olukorraga. Tegu on süsinikuvaese, väga plastsete omadustega, külmvormitava terasega mida kasutatakse sügavtõmbamise käigus valmivate detailide tootmisel. Jällegi realselt korraldatud deformeerimise katsed ei avaldunud kuidagi ühise trendina katsekehadega läbiviidud tõmbekatsetes, mis annab kindluse deformatsioonide õgvendamisel.

Probleemiks võib kujuneda õgvendamata või piisavalt õgvendamata kaksikteoga töötamine, mis tekitab plastsete deformatsioonide piirkonnas pingekontsentratsiooni asukohta, kus võib materjalis hakata arenema väsimuspragu. Olukorda saab ennetada piirkonnale tähelepanu pööramisega ja vajadusel korpuse sisse tugevdusvõru lisamisega, mis ei ole paraku käesoleva töö teema.

Väljapakutud remonditehnoloogia valiti deformatsiooni tekkemehhanismist lähtudes ja on sellega suunalt vastupidine. Teisisõnu, kui kiviga kokkupuutes surutakse kaksikteo korpus suunaga väljast sisse, siis õgvendamisel surutakse see suunaga seest välja. Spetsiaalse tehnoloogilise seadmestiku puudumisel kasutati sõiduauto kerevenituskomplekti, mis valiti seal sisalduva hüdraulilise silindrid sobivate pikkusmõõtmete poolest. Komplektis sisalduvate otsikutest ei sobinud ükski, seega valmistati spetsiaalselt kõnealuse kaksikteo jaoks vastava raadiusega õgvendustaldade prototüübid. Prototüüpidega õgvendatigi praktilises osas katsekehana käsitletav kaksikteo korpus. Tallad valmistati erineva suurusega, millega saab valida suuremate pingete tekkimise suuna ja seega silindri jõudu kasutada just deformatsiooni õgvendamiseks, mitte lisadeformatsioonide tekitamiseks.

Õgvendustaldade tugevusarvutused näitavad, et taldade konstruktsioon võiks olla koostatud väiksemate tugevusnäitajatega materjalist kui seda on teras S355. Samuti võiksid olla kasutatud materjalid säästlikumate mõõtmetega, kuid samas ei taga see alasile omast vajalikku massiivsust. Õgvendusabinõude finantsarvestus muudab tugevusarvestuse materjalisäästmise sisukohalt mõttekuks, kuna kulutatav ressurss on võrreldes tööriista tootmiseks vajaliku tööjõukuluga tühine. Samas säästlikemate mõõtmetega materjalivalik ei vähenda tööjõukulusid.

Lähtudes eelkõige kõnealuse töö käigus käsitletud remonditavate masinaosade suurtest mõõtmetest ja suurest massist on vältimatu ohutustehnika meelespidamine ja -reeglitest kinnipidamine. Tarbida tuleb isikukaitsevahendeid, et oleks tagatud turvaline töökeskkond.

Võimaliku remondiettevõtte loomiseks ei piisa eksperimendi käigus loodud ajutistest töövahenditest, vaid selleks tuleks sisustada terve töökoda, kus oleks võimalik remontida maksimaalsete mõõtmetega kaksikteo korpuseid. Tagatud peaks olema tõstmisvõimalused, tasakaalustuspink, sektsioonide vahetamise abinõud jne. Töökoja asutamise majanduslikku mõttekust ja investeeringute tasuvuse aega tuleb käsitleda selle mahust lähtudes eraldi teemana. Kindlasti ei ole käesolevas töös kirjeldatud remonditehnoloogia mõeldud ainult teenustööna väljamüümiseks, vaid tarbimiseks kõikidele kombainide korrasolekuga seotud isikutele, kes asja vastu huvi tunnevad.

Töö eesmärgi saab autori arvates lugeda saavutatuks, kuna väljatöötatud remonditehnoloogia võimaldab senise praktikaga võrreldes viia masin uuesti töökorda kaksteist korda finantsressursse säästvamalt ja kaks korda väiksema ajakuluga. Komplektse kaksikteo vahetamiseks kuluva summa saab teraviljatootja vahetada keskmiselt 37,4 ha koristatud viljalt teenitud kasumi eest, seevastu remondi saab tehtud 2 ha koristatud viljalt teenitud kasumi eest. Koostatud töö tulemust hindab autor kõrgelt, selle käigus läbi viidud praktiliste katsete ja eksperimenteeritud lahenduste osas. Autor tunneb rahulolu töö tulemuse näol loodud lisaväärtuse üle, mille rakendamine aitab säästa keskkonda ja arendada mõistlikku lähenemist masinate remondil.

SUMMARY

Having worked in claims department for an insurance company, I noticed that a fairly usual problem was replacing machine parts that had seemingly trivial damage with new and high-value parts. This activity seemed to be nothing more than a fruitless waste of resources, but it made me want to study the matter in more depth. This work marks the beginning of this study, which aims to look for a solution that will help to limit unreasonable expenses and thereby contribute towards the preservation of the environment. The range of machine parts that needed to be covered in this work was initially wide but, after some discussion with my supervisor, a decision was made to concentrate on header augers for combines.

It is clear that more header augers will be damaged in the future, since stones and rocks will not simply disappear from Estonian fields. The question is which method should be used to repair machines that have been damaged by such rocks.

The study commenced by outlining the market situation in order to measure the approximate scope of the work. With this in mind, the current state of the combine park and the developments that have taken place in the past few years were studied. Statistics shows that the newer a machine may be, the wider its headers become, and the more its operators have to be careful to ensure that no expensive equipment is damaged by rocks. Along with the growth of header dimensions, the price for their spare parts has been increasing. Despite the fact that various combine makes are available on the market, those makes are almost equally divided between the two largest manufacturers, which makes the situation simpler in the context of this topic.

Statistics demonstrate that, on average, each third-registered combine suffers from insurance-related losses, and as a result of such losses it becomes necessary to replace deformed header augers. Such statistics are impressive, but consider the fact that the actual number of damaged header augers is unknown. Based on actual cases of damage, one can say that of every three cases that are reviewed, two are repairable. There is no company in Estonia that deals with header augers repairs, even though the demand for such repairs certainly exists among representatives of manufacturers and combine owners. In addition, the part played by insurance companies cannot be ignored, since all new combines are insured and those insurers want to keep repair-related expenses at reasonable levels. The research shows that, so far, any repairs that are carried out at a location that is not in Estonia are focused mainly on replacing damaged sections and straightening deformed finger holes. No straightening work within the scope that has been presumed by this level of repair technology were discovered by the author on the basis of questionnaires or an internet search. The proposed repair technology provides an option to

use the resource of previously manufactured machine parts until they have been depleted in a manner that ensures the reliable operation of repaired elements. Market analysis clearly demonstrates the need for repairs, as well as guaranteed repair scopes in cases involving damage, and indicates the direction that should be focussed upon. Until now the service required in this area has not been advertised, and not a single header auger was repaired under the conditions of providing service work while, based on purely economic aspects, combine owners should be interested in such services precisely for the reason of the time taken to carry out such repairs in relation to the costs involved.

In the practical area of this work, experiments were carried out with several technological solutions - from drafting temporary stands to the development of straightening methods. The situation was caused by the fact that there have been some very useful technological developments in this area, but no option exists in which the necessary tools and instruments can be purchased through sales networks. One must admit that it is a time-consuming but interesting and still-developing activity which - in the opinion of the author - may be crowned by successful results. For a replacement part that weighed around 300kg and which had a length of 5.4 metres, a working position at a convenient height was found so that measurements could be carried out to discover any possible deformations in header auger cases. In order to achieve this working position, a temporary stand was designed so that the header auger was able to revolve around its axis. During the development work on the measurement process, the calculation module was created to allow the easily detecting of any general deformations after the height data had been entered. This module proved to be a very useful tool, and one that will certainly find more use in the future. The measurement calculations that were used on the stand were also used when determining manufacturing tolerances for new header augers (based on which factor straightening accuracy is determined). Straightening the entire case was also carried out on the stand. A deeper study of the construction of the header auger case and the mechanisms behind creating any plastic deformation provides an understanding of the nature of elastic deformation in general. Such an understanding simplifies the elimination of deformations and general deviations. Measurements confirm successful straightening results - at times even the production accuracy of new header augers was exceeded. The goal for the repair technology is to preserve an already manufactured part and its materials to the maximum extent in order to avoid unreasonable energy loss during the manufacture of a new case. In practice the initial shape was restored to header augers in the space of four hours. These were actual tests, and the results confirmed that the part in question was once again ready to carry out its designed function. However, it is a certainty that not all deformations are of the same scope - they

depends very much upon the shape of the rock that was struck and the speed of movement for the combine.

Based on the properties of materials that are being used in header augers, it is possible to state that the proposed repair technology will indeed be helpful. The materials are low-carbon, highly-plastic, cold-formed steel, which is used in the production of components that employ the deep drawing process. Again, actual deformation tests did not reveal a common trend during elongation, which provides a degree of certainty that deformations can be straightened out.

Problems may arise when working with header augers that have not been straightened or which have been insufficiently straightened for which, in place of plastic, a deformation stress area is created and materials fatigue may start to develop. Such a scenario can be prevented by paying proper attention to the respective areas and, where necessary, by strengthening the case from the inside (something that is not covered by this work).

The repair technology on offer was chosen by using as a basis the mechanism behind the creation of deformation and any work that may be contrary to this desire. In other words, in situation in which, as the result of striking a rock, a header auger case is deformed inwards, the work of straightening it is carried by moving it outwards. In the absence of special technological equipment a body straightening kit for passenger cars was used, which was selected due to the suitable length of the hydraulic cylinders. None of the nose-pieces from the kit fitted, so special prototypes were manufactured for respective diameters. Using the prototypes, the case for the header auger was straightened out. Bottom pieces of different sizes were also manufactured that allowed the direction of the greatest levels of stress to be selected, and thereby the force of the cylinders could be used to straighten out any deformation whilst not creating any new deformations.

Strength calculations in regard to bottom pieces demonstrated that the same structure of pieces could be achieved with materials that were not as strong when S355 steel was used. At the same time, while materials of lesser dimensions can be used, these will not provide the necessary mass. From the point of view of saving materials, a financial analysis of straightening methods becomes pointless, since the required resource is insignificant in comparison with the labour expenses that are required to produce the tool in the first place. The selection of materials of lesser dimensions will also not lower labour expenses.

Due to large dimensions and the large weight of repaired machineparts, it is absolutely necessary to comply with work safety requirements. The use of personal protective equipment is necessary in order to ensure a safe working environment. Temporary tools that were used during the experiment were not sufficient to allow the establishment of a potential repair

workshop. Other equipment will be required for a workshop that would allow for the repair of header augers at the maximum dimensions. Lifting equipment, a balancing bench, methods for replacing sections, and other means should be provided. The economic viability of establishing such a workshop and the time taken to pay for its construction and equipping should be addressed separately. The repair technology that has been described in this work is certainly not designed solely for selling servicing work, but is also to be used by all interested parties that are connected with combines maintenance.

The author believes that the goal of the work has been achieved since, in comparison with existing practice, the repair technology that has so far been developed allows machines to be brought back into working order whilst making savings on financial expenses of up to twelve times, as well as halving the time required. Replacing header augers will cost a grain producer a figure that is approximately equal to the profit that can be made on 37.4 ha of grain, whilst the cost of repairs will equal the expected profits of two hectares of grain. The author highly estimates results of the current work with regard to practical tests and experiments performed. The author is satisfied with the improved value that has been created as a result of the work, and its implementation will help to preserve the environment and develop a reasonable approach to machine repairs.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. CLAAS Group kodulehekülg [WWW] <http://www.claas-group.com/press-public-relations/media/picture-archive> (10.06.2015).
2. Eesti kaubandus tööstuskoda kodulehekülg [WWW] <http://www.koda.ee/ettevotjate-esindamine-2/majanduspoliitika/kasulik-teave/euroopa-energiamahukast-toostusest/> (26.12.2015).
3. Kallas, A., Karjane, I., Viil, P., Bogun, G., Haabpiht, J., Siim, J., Vösa, T., Jõgeva, V., Loko, V., Koik, E., Tamm, K., Vettik, R., Kadaja, J., Saue, T. (2002-2006). Projekti “Põllukultuuride ja heintaimede viljelustehnoloogiate ja vastavate viljelusmasinate Eesti oludele sobivuse uurimine ja nende arvuliste vajaduste selgitamine nii tootmisüksuse kui Eesti seisukohalt tervikuna” lõpparuanne [WWW] http://www.pikk.ee/upload/files/Teadusinfo/Lopparuanne_112_2002-2006.pdf (4.04.2015).
4. Arvel olevad liikurmasinad seisuga 31.03.2015 <http://www.mnt.ee/index.php?id=10797> (30.04.2015).
5. Kindlustusseltsi kahjutoimiku nr E42142876T materjalid.
6. Kombaini Claas Tucano 450, 440, 430, 420, 320 brošüür. CLAAS Group kodulehekülg [WWW] <http://www.claas.co.uk/blueprint/servlet/blob/363814/9d0729dd79af7e9e51177bbae380b9e8/224874-dataRaw.pdf> (02.05.2015).
7. Kindlustusseltsi kahjutoimiku nr E42143305T materjalid.
8. New Holland kodulehekülg [WWW] [http://agriculture.newholland.com/us/en/Products/Harvesting-Equipment/CX8000_Elevation/Pages/products_medialogallery.aspx#gallery\[WebPartZone1_0\]/0/](http://agriculture.newholland.com/us/en/Products/Harvesting-Equipment/CX8000_Elevation/Pages/products_medialogallery.aspx#gallery[WebPartZone1_0]/0/) (02.05.2015).
9. Kindlustusseltsi kahjutoimiku nr E42143057T materjalid.
10. CLAAS Hungaria KFT (2006). Claas V1050-V540 Kasutusjuhend.
11. New Holland, Trükinumber 604.63.361.00, 1' väljalase, English (10/05). New Holland High-Capacity teraviljaheeder, Extra-Capacity teraviljaheeder, Varifeed teraviljaheeder kasutusjuhend.
12. New Holland Agriculture, Print No. 84272650, 3.rd edition, Estonian 11/09. Kasutusjuhend 760CG Viljaheeder.

13. Penno's Machining & Manufacturing Ltd. Kodulehekülg [WWW]
<http://www.pennosmachining.com/tableauger.html> (02.05.2015).
14. Midwest Ag Parts kodulehekülg [WWW]
http://www.midwestagparts.com/index.php?main_page=page&id=71 ja tootekataloog
[WWW] <http://www.midwestagparts.com/media/E-Catalog2013.pdf> (02.02.2015).
15. Catford Engineering kodulehekülg [WWW]
http://www.catford.com.au/images/prod_images/HDRFRONT.pdf (04.05.2015).
16. CFC Distributors, Inc. kodulehekülg [WWW] <http://www.cfcdist.com/shopping/trutube-for-16-augers-p-1515.html?zenid=78375d35a646c8ed322e98d7e162039f> (02.05.2015).
17. Poly Tech Industries, Inc. kodulehekülg [WWW]
http://www.polyskid.com/index.php?cPath=21_165_32 (02.05.2015).
18. Kaksikteo toru remondi tööriista patent [WWW]
<http://www.google.com/patents/US6094963> (02.05.2015)
19. Barnes Welding, Inc. kodulehekülg [WWW] <http://www.barnesweldinginc.com/gallery>
(02.05.2015)
20. Tiidemann, T. Teljed ja Völlid: Tallinn, „Valgus“, 1981
21. Neville Sachs is a Senior Consulting Engineer with the Sachs Salvaterra & Associates division of Applied Technical Services, Inc. (2012). Failure Analysis of Machine Shafts. –
<https://www.maintenancetechnology.com/2012/07/failure-analysis-of-machine-shafts/>
(30.12.2015)
22. Autoplekksepa õpik ametikoolidele. SA Innove koduleht [WWW]:
http://www.innove.ee/UserFiles/Kutseharidus/%C3%95ppe-%20ja%20juhendamaterjalid/plekksepp/7._APO_OPPEMOODUL_5_-_autokere_kosmeetiliste_osade_ogvendamine_ja_lehtmetallide_tootlemine.pdf
(11.05.2015)
23. Mehhaanikainseneri käsiraamat. TTÜ kirjastus 2012.
24. European Steel and Alloy Grades/Numbers kodulehekülg [WWW].
http://www.steelnumber.com/en/search_form_eu.php (30.12.2015)
25. Kulu, P., Kübarsepp, J., Laansoo, A., Veinthal, R. Materjalitehnika II
Konstruktsioonimaterjalide Tehnoloogia: TTÜ kirjastus, Tallinn 2015

LISAD

Lisa 1. A1 formaadis joonis Õgvendustald 1.

Lisa 2. A1 formaadis joonis Õgvendustald 2.

Lisa 3. A1 formaadis joonis Tugitald 1.