



Mark Kušnarjov

MOBIILSE PUITLEHTEDE TÕSTUKI PROJEKTEERIMINE

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Masinaehituse eraiala

Juhendaja: Tavo Kangru

Tallinn 2026

SISUKORD

SISUKORD.....	2
SISSEJUHATUS.....	4
1. PROBLEEMI SELGITUS	5
1.1 Ettevõtte üldiseloostus	5
1.2 Repston OÜ tootmisüksuse analüüs.....	6
1.3 Tehnilised nõuded	7
2. TURU-UURING.....	8
2.1 Olemasolevate mobiilsete ja statsionaarsete vaakumtõsteseadmete ülevaade.....	8
2.2 Nende sobivus Repston OÜ töötingimustega	8
2.3 Turu-uuringu kokkuvõte	11
3. TÕSTUKI PROJEKTEERIMINE	12
3.1 Tõstuki üldine ehitus ja tööpõhimõte.....	12
3.2 Konstruktsiooni valik ja süsteemi osad.....	14
3.2.1 Kandev raam	14
3.2.2 Akumulaatori ja juhtmestiku kaitsekorpus.....	15
3.2.3 Vaakumseadme valik	16
3.2.4 Ostutoodete valik	17
3.3 Tugevusarvutused	20
3.4 Tööohutus ja ergonoomika.....	27
4. MAJANDUSLIK OSA	28
4.1 Materjalide ja komponentide maksumus	28
4.2 Seadme juurutamise kulu.....	31

4.3 Kavandatud lahenduse tasuvus ja efektiivsus	31
KOKKUVÕTE	33
SUMMARY	34
VIIDATUD ALLIKAD	35
LISAD	36
LISA 1. TÕSTUKI LÕPPKOOST	37
LISA 2. TÕSTUKI LÕPPKEEVISKOOST	39
LISA 3. ALAMKOOST 1 (KAHVEL)	41
LISA 4. ALAMKOOST 2 (POOM)	42
LISA 5. DETAILI JOONIS	43
LISA 6. RUUMI PLAAN	44

SISSEJUHATUS

Puit- ja mööblitööstuse tootmisüksustes on lehtmaterjalide käsitlemine igapäevane protsess, mis mõjutab otseselt tootmise efektiivsust, tööohutust ja töötajate füüsilist koormust. Suurmõõtmeliste puitlehtede käsitsi tõstmine ja positsioneerimine on ajamahukas ning võib põhjustada terviseriske, sealhulgas lihas- ja seljavigastusi. Lisaks on käsitsi käsitlemisel kõrgem materjalikahjustuste tõenäosus, mis omakorda suurendab tootmis- ja kvaliteedikulusid. Seetõttu on efektiivsete ja ergonoomiliste tõstesüsteemide kasutuselevõtt kaasaegses tootmiskeskkonnas üha olulisem.

Käesoleva lõputöö eesmärk on projekteerida mobiilne puitlehtede tõstuk, mis vastab Repston OÜ tootmisüksuse ruumilistele ja tehnoloogilistele nõuetele. Ettevõtte tööruum on piiratud ning ei võimalda kasutada statsionaarseid kraanasüsteeme ega laekinnitusega telfereid. Seetõttu peab tõsteseade olema madalaprofiilne, ratastel liigutatav ja iseseisev, võimaldades töötamist CNC töötlemiskeskuse piirkonnas, kus pingi kliirents on ainult 70 mm. Lisaks peab seade tagama puitlehtede ohutu ja stabiilse käsitlemise ning olema kasutatav ühe operaatori poolt.

Töö käigus viiakse läbi turu-uuring olemasolevate vaakumhaardega tõsteseadmete sobivuse hindamiseks ning analüüsitakse nende rakendatavust Repston OÜ tingimustes. Seejärel koostatakse tehnilised nõuded ja konstrueeritakse seadme raam ja tõstemehhanism. Projekteerimisel arvestatakse komponentide saadavust, konstruktsiooni stabiilsust, tööohutust ja hooldatavust. Lisaks hinnatakse seadme maksumust ning arvutatakse selle tasuvusaeg võrreldes manuaalse materjalikäsitlemisega.

Lõputöö tulemusena valmib kuluefektiivne ja praktiline tõsteseadme lahendus, mis vähendab töötajate füüsilist koormust, parandab tööohutust ja tõstab tootmisprotsessi efektiivsust. Kavandatud seade on skaleeritav ning seda on võimalik kohandada ka teiste sarnaste tootmiskeskondade vajadustele, kus seadme kliirents on madal.

1. PROBLEEMI SELGITUS

1.1 Ettevõtte üldiseloostus

Repston OÜ on sisustus-, välisisustus- ja mööblilahenduste tootmist ning projektijuhtimist pakkuv ettevõtte, mille tegevus hõlmab ka metalltoodete ning alates 2025. aastast puit toodete valmistamist oma tootmisüksuses. Lisaks põhitegevusele osutatakse metallitööde alltöövõtuteenuseid. Ettevõtte tegutseb aadressil Erma tee 32, Liivamäe, ning tootmishoone netopindala on ligikaudu 4000 m².

Ettevõtte tootmisprotsessides kasutatakse laia valikut kaasaegseid seadmeid, sealhulgas fiiberlaserlõikus, 3D-torupainutus, 3D-traadipainutus, lehtmetsa painutuspingid, pulbervärvimis osakond, manuaalse lihvimis ja poleerimis osakond, puidu töötlemis pingid, ning MIG/MAG- ja TIG-keevitusseadmed. Tootmises töödeldavad materjalid hõlmavad süsinikterast, roostevaba terast, messingit, vaske ja alumiiniumi.

Repston OÜ-s töötab ligikaudu 50 töötajat, kelle hulka kuuluvad juhtkond, projektijuhid (3), konstruktorid (4), tehnoloogid (2), tootmisjuht ning tootmistöölised. Ettevõtte tootearendus ja konstruktsioonide projekteerimine viiakse läbi 3D CAD keskkonnas *Solid Edge*, kusjuures tootmisesse edastatavad leht metall detailjoonised koostatakse 2D-formaadis programmi *Lantek Expert*, ning leht puit detailjoonised *Biesse B-Solid* abil.

Tootmise planeerimine toimub ERP-süsteemi *Eziil* vahendusel, samas kui detailsem töökorraldus põhineb paber kandjal tööülesannetel. Tootmises kasutatavad CNC-seadmed kalibreerivad end automaatselt või vastavate matriitside abil, vajadusel kasutatakse täiendava seadistamise jaoks *tool corrector* funktsioone. Igas tootmisosakonnas on kasutusel kalibreeritud mõõtevahendid, sealhulgas nihikud.

Kvaliteedikontroll viiakse läbi peamiselt visuaalsel meetodil, mis tuleneb toodete esteetilisest orientatsioonist mööbli- ja sisustusvaldkonnas. Reklamatsioonide käsitlemine sõltub tootmisprotsessi etapist, milles toode vea ilmnemise hetkel asub. Esmane eesmärk on võimalike lisakulude vältimiseks defekti tekkekohasese parandamise tagamine.

1.2 Repston OÜ tootmisüksuse analüüs

Repston OÜ tootmisüksuses käsitletakse suurmõõtmelisi puitlehti, mida kasutatakse mööbli ja sisustuselementide valmistamisel. Praegu toimub lehtmaterjali tõstmine ja paigutamine tööpinkidele käsitsi. Selline töökorraldus on ajamahukas, füüsiliselt koormav ning kujutab endast tööohutuse seisukohalt märkimisväärset riski, kuna materjalid on rasked ja nende käsitsi liigutamine suurendab vigastuste ohtu.



Pilt 1. Tööruum.

Tööruumi piiratud pindala (Lisa 6.) ei võimalda statsionaarsete tõstesüsteemide, näiteks kraanade või lakke kinnitavate telferite kasutuselevõttu. Samuti ei ole ettevõttel plaanis teha tootmishoone ehituslikke muudatusi, mis välistaksid konstruktsiooniliste tõstemehhanismide rajamise.

Seetõttu vajatakse mobiilset, madalaprofiilset ja iseseisvalt funktsioneerivat tõsteseadet, mis mahuks olemasolevasse tööruumi, võimaldaks suuremõõtmeliste puitlehtede ohutut ja ergonoomilist käsitlemist ning teenindaks mitut erinevat tööseadet. Sellise lahenduse kasutuselevõtt vähendaks töötajate füüsilist koormust, suurendaks tööohutust ning parandaks tööprotsessi efektiivsust.

1.3 Tehnilised nõuded

Repston OÜ on määratlenud projekteeritavale tösteseadmele tehnilised ja funktsionaalsed nõuded, mis tulenevad tootmisruumi eripäradest ning käsitletavate puitlehtede mõõtudest ja massist. Kavandatava seadme eesmärk on võimaldada kuni 100 kg kaaluvate puitlehtede ohutut ja ergonoomilist käsitlemist tootmisprotsessi erinevates etappides. Seadme kogutõstevõime peab olema 220 kg, hõlmates ka kuni 90 kg kaaluvat riputatavat vaakumseadet ning arvestuslikku lisavaru.

Ettevõtte seatud põhinõuded on järgmised:

Tõstevõime: seade peab võimaldama käsitleda puitlehti massiga kuni 100 kg.

Käppade kõrgus: konstruktsioon peab sobima töötamiseks CNC pingi Rover A 1542 all, järgides olemasolevat kliirensi 70 mm.

Mobiilsus: tösteseade peab olema ratastel ja vabalt liigutatav tootmisruumis.

Haaramismehhanism: materjali kinnitamine peab toimuma vaakumhaardega, tagades kindla ja kahjustusvaba käsitluse.

Ühe kasutaja poolt opereeritav seade: tösteseadet peab olema võimalik ohutult käsitseda ühe töötaja poolt.

Stabiilsus ja töökindlus: konstruktsioon peab olema koormus- ja kulumiskindel ning stabiilne nii liikumisel kui töstmisel.

Ergonoomilisus ja tööohutus: seade peab vähendama töötajate füüsilist koormust ning vastama kehtivatele tööohutuse ja tervishoiu nõuetele.

Püsipaigaldust mittevajav lahendus: seadme kasutuselevõtt ei tohi eeldada hoone konstruktsioonide ümber ehitamist.

Nõuete eesmärk on tagada, et kavandatav tösteseade sobituks olemasolevasse tootmiskeskonda ning parandaks tööprotsessi ohutust, ergonoomilisust ja efektiivsust ilma täiendavate investeeringuteta hoone infrastruktuuri.

2. TURU-UURING

2.1 Olemasolevate mobiilsete ja statsionaarsete vaakumtõsteseadmete ülevaade

Turu-uuringu eesmärgiks oli välja selgitada, millised turul olevad puitlehtede käsitlemiseks mõeldud tõsteseadmed võiksid sobitada Repston OÜ tootmisüksuse töötingimustega. Uuring viidi läbi 2025. aasta novembris veebipõhise turu-uuringu vormis. Analüüsi käigus võrreldi nii mobiilseid vaakumtõstukeid (näiteks Manut-LM GM Panels 120) kui ka vaakumhaardesüsteeme, mis eeldavad kraanamasti või tõstukit (näiteks ANVER FTA haaramissüsteemid ning Schmalz Ergo 85 Vacuum Lifter koos Gorbel jib-kraanaga).

2.2 Nende sobivus Repston OÜ töötingimustega

Manut-LM GM Panels 120 [1] sobib funktsionaalselt suurmõõtmeliste lehtmaterjalide käsitlemiseks. Siiski ületab selle konstruktsiooni kõrgus tööruumis nõutud kliirentsi, mis peab võimaldama töötamist CNC-pingi Rover A 1542 all (70 mm). Seetõttu ei ole nimetatud seadet võimalik kasutada ilma olemasoleva töökoha ümberkorralduseta. Lisaks ei ole seade Eesti turul laialdaselt saadaval ning selle maksumus ja tarneaeg suurendaksid investeeringu riski.



Pilt 2. Manut-LM GM Panels 120 tõsteseade.

ANVER FTA [2] vaakumhaardesüsteemid on töökindlad ja modulaarse ehitusega, kuid nende kasutamine eeldab kahveltõstukit või laekonstruktsioonile kinnitatud telferit. Repston OÜ tootmisruumi pindala- ja kõrguspiirangud ei võimalda selliste abiseadmete paigaldamist ning ettevõtte ei soovi hoone konstruktsioone ümber ehitada. Seetõttu ei ole neid süsteeme võimalik rakendada ilma oluliste ruumiliste ja ehituslike muudatusteta.



Pilt 3. ANVER FTA tõsteseade.

Schmalz Ergo 85 [3] vaakumtõstusüsteem koos Gorbel jib-kraanaga pakub hea ergonoomia ja ohutustasemega lahendust suurmõõtmeliste paneelide käsitlemiseks. Samas kuulub see pöördkraanade kategooriasse, mis kinnitatakse kas: põrandale betoonvundamendi abil või laekonstruktsiooni külge.



Pilt 4. Schmalz Ergo 85 tõsteseade.

Repston OÜ tootmisüksuse ruumilisest paigutusest tulenevalt ei ole põrandale kinnitatud kraanamasti võimalik paigaldada materjali liikumistee lähedusse, ilma et see takistaks transporti või tööpinkide kasutust. Laekonstruktsioonile kinnitamine ei ole võimalik ettevõtte otsuse tõttu vältida ehituslikke sekkumisi. Seega ei vasta annab lahendus ettevõtte paigaldusvabaduse põhinõudele.

2.3 Turu-uuringu kokkuvõte

Analüüsi tulemusena selgus, et turul ei ole lahendust, mis üheaegselt vastaks järgmistele nõuetele:

- madal konstruktsioon (töö võimaldamiseks 70 mm kliirentsi all),
- ratastel mobiilsus ja iseseisvus ilma lisatõstevahenditeta,
- paigaldusvabadus (ei eelda kraanamaste ega telfersüsteeme),
- kõrge tõstevõime (kuni 220 kg),
- kohalike komponentide saadavus ja hooldusvõimekus.

Seetõttu on põhjendatud projekteerida Repston OÜ tootmisruumi tingimustest lähtuv kohandatud mobiilne tõsteseade, mis kasutab madalaprofiilset konstruktsiooni ja vaakumhaaret, võimaldab materjali käsitlemist ühe operaatori poolt, ning suurendab tööohutust ja ergonoomikat.

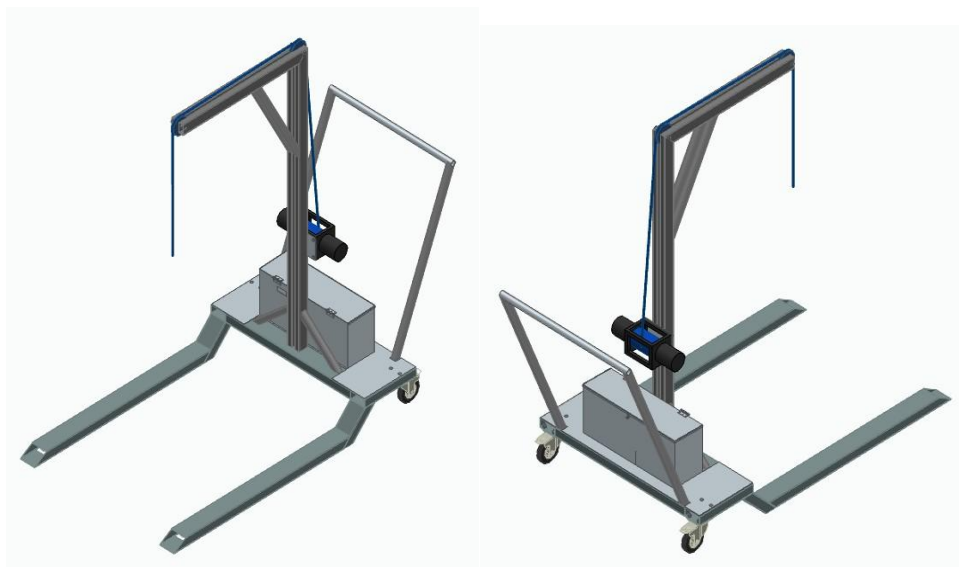
3. TÕSTUKI PROJEKTEERIMINE

3.1 Tõstuki üldine ehitus ja tööpõhimõte

Projekteeritud tõsteseadme kinemaatika põhineb vertikaalsel tõsteahelal, mis koosneb elektrilisest vintsist, trossist, ülemisest poomist ning vaakumhaardeseadmest. Tõsteliikumine toimub vintsist edastatava pöördemomendi abil, mis liigutab trossi lineaarse liikumena ja võimaldab puitlehe tõstmist ning langetamist kontrollitud kiirusega. Trossi liikumine suunatakse ülemise poomi kaudu vaakumseadme kinnituspunkti, kust koormus kantakse üle puitlehele.

Vaakumhaare tekitab koormuse hoidmiseks alalise alarõhu, mis tagab puitlehe kinnitumise haardepaneelile kogu tõstesükli. Haardumine toimub enne tõstmist staatilises asendis, mis tagab ohutu materjalivõtu. Materjali vabastamine toimub alles siis, kui piirlüliti annab teada, et element on paigutatud ohutusse ja stabiilsesse asendisse tööpingil või laolattis. Seadme konstruktsioon võimaldab tõstmist kuni 1.5 m kõrgusele, mis vastab CNC pingiga töötamise ning riulitele asetamise nõuetele.

Seade liigub ratastel, mis võimaldab operaatoril positioneerida seadme puitlehe ja tööpingi suhtes täpselt. Rattad võimaldavad liikumist ka kitsastes töökoridorides (Lisa 5.), kus ruumipuudus ei võimalda statsionaarsete tõsteseadmete kasutamist. Haarade 55 mm kliirents võimaldab sõita puitlehe alusele alt sisse ilma materjali käsitsi tõstmiseta, mis vähendab oluliselt töötajate füüsilist koormust.



Pilt 5. Tõstuki lõppkoost.

Tõsteseade koosneb kolmest põhialamsüsteemist:

1. **Kandev raam** – kannab kogu konstruktsiooni ja tagab stabiilsuse tõstmisel ning liikumisel.
2. **Tõste- ja liikumismehhanism** – koosneb elektrivintsist, trossidest ja poomist, mis edastavad tõstejõu puitleheni.
3. **Vaakumhaardesüsteem** – tagab materjali kindla ja ohutu kinnitumise tõsteotses ajal.

Raami geomeetria ja rataste paigutus võimaldavad seadmel liikuda puitlehe aluse alla ilma käsitsi tõstmiseta. Haarade ja rataste kliirents on 55 mm, mis vastab CNC pingi aluse ≤ 70 mm kõrgusnõudele ning võimaldab materjali laadimise ja tõstmise teostamist ühe operaatori poolt.

Kuna seade peab töötama kitsastes liikumiskoridorides, on konstruktsiooni välismõõtmed ja pöörderaadius määratud ruumiproovide ja töövoosimulatsioonide alusel, et vältida liikumistakistusi ja tagada ohutu töö.

Konstruktsiooni jäikuse ja töökindluse tagamiseks viiakse enne lõplikku valmistamist läbi tugevusarvutus, mille tulemuste põhjal täpsustatakse vajadusel osade ristlõikeid ja seina paksusi.

Töotsükkel on järgmine:

1. Seade positioneeritakse puitlehe aluse kohale.
2. Vaakumhaare langetatakse materjalini.
3. Vaakum aktiveeritakse ja koormus kinnitub iminappade külge.
4. Vints tõstab puitlehe vajalikule kõrgusele.
5. Seade liigutatakse soovitud töökohta.
6. Puitleht asetatakse tööpingile ja vaakum vabastatakse.

Kinemaatilise süsteemi projekteerimisel lähtutakse maksimaalsest tõstevõimest 220 kg, mis määrab vintsi ajami, trossi, poomi ristlõike ja konstruktsiooni vajaliku jäikuse.

3.2 Konstruksiooni valik ja süsteemi osad

3.2.1 Kandev raam

Kavandatud tõsteseadme konstruktsioon on projekteeritud nelikanterastorudest keevitatud raamstruktuurina, mille eesmärk on tagada seadme jäikus, stabiilsus ja ohutus puitlehtede käsitlemisel. Konstruktsiooni materjaliks on valitud S335JR konstruktsioonteras, mis on laialdaselt kasutatav masinate ja kandvate konstruktsioonide valmistamisel. Materjali valiku aluseks on selle hea keevitavus, piisav tugevus, soodne kättesaadavus ning madalam maksumus võrreldes suurema tugevusega sulamitega. S335JR tagab konstruktsioonile vajaliku jäikuse ka 220 kg maksimaalse tõstevõime juures, mis vastab tootmisüksuse praktilistele koormusnõuetele.



Pilt 6. Tõstuki raam.

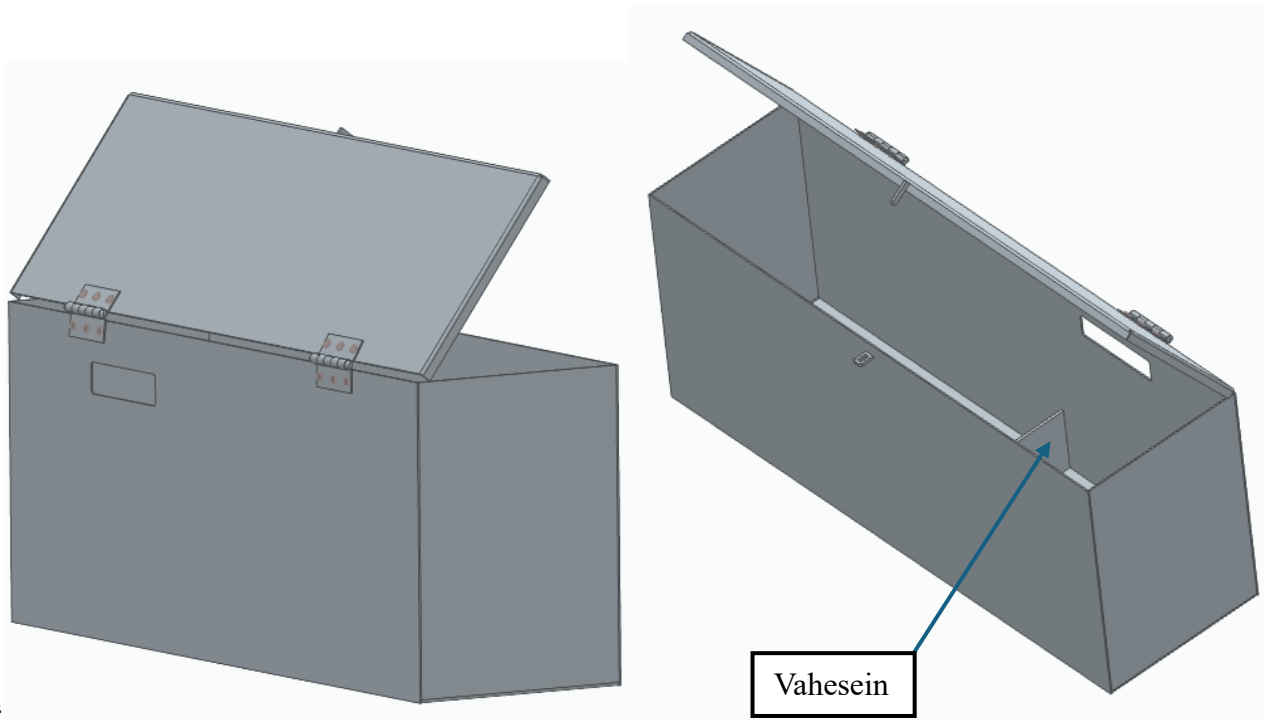
Raami ja haarade geometria on määratud seadme kasutuskoha ruumiliste piirangute alusel. Seadme raami kogulaius on 1050 mm ning haarade omavaheline vahe 850 mm, mis võimaldab seadet positioneerida nii tavaliste EUR-aluste (1200 × 800 mm) kohale kui ka 1500 × 3000F mm puitlehtede aluste alla. Haarade kliirents koos ratastega on 55 mm, mis vastab nõudele töötada CNC-tööpingi all, kus pingi alusraami ja põranda vaheline kliirents ei ületa 70 mm. Seadme kogukõrgus 1860 mm võimaldab operaatoril töötada seistes, ilma et nähtavus või liikumisulatus oleks häiritud. Ülemise poomi etteulatus 790 mm tagab piisava tööulatuse materjali haaramiseks ja paigutamiseks.

3.2.2 Akumulaatori ja juhtmestiku kaitsekorpuse

Akumulaatori ja juhtmestiku kaitseks projekteeriti eraldiseisev kaitsekorpuse. Korpus on valmistatud DC01 külmaltsitud lehtterasest, kasutades tootmistehnoloogiatena lehtmestalli painutamist ja keevitamist. Valitud lahendus tagab akumulaatori ja elektripaigalduse mehaanilise kaitse tootmiskeskkonnas esinevate löökide, mustuse ja juhuslike vigastuste eest ning võimaldab samal ajal lihtsa ja kuluefektiivse valmistamise.

Korpuse sisemusse on projekteeritud keevitatud vahesein, mille asukoht on määratud käesolevas töös valitud akumulaatori mõõtmete alusel. Samas on konstruktsioon kavandatud selliselt, et ettevõttel on vajaduse korral võimalik vaheseina tootmise või koostamise käigus ümber paigutada või eemaldada, võimaldades kasutada ka teistsuguse mõõdu või mahutavusega akumulaatorit.

Kaitsekorpuse kinnitub tõsteseadme aluskonstruktsiooni külge kahe poltühenduse abil, mis tagab kindla kinnituse ning võimaldab vajaduse korral korpuse lihtsat demonteerimist hooldus- või muudatustöödeks. Korpuse kaas on varustatud neetidega kinnitatud hingedega, mis võimaldavad kaane avamist hooldustööde teostamiseks. Kaane suletud asendi fikseerimiseks kasutatakse splinti, mis tagab lihtsa ja töökindla lukustuse ning välistab kaane soovimatu avanemise.



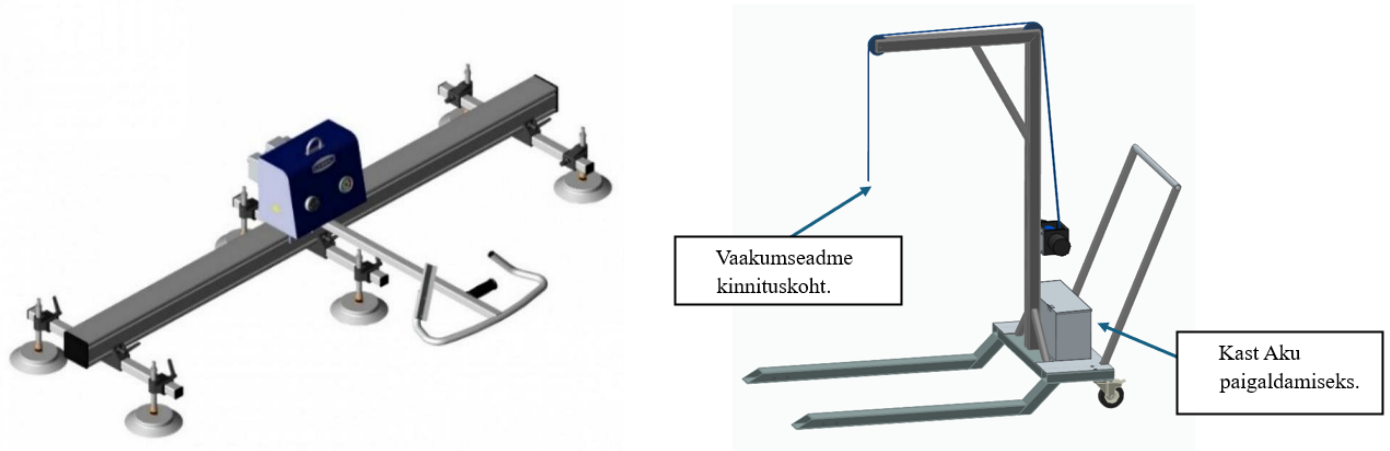
Pilt 7. Kaitsekorpuse

3.2.3 Vaakumseadme valik

Konstruksioon on projekteeritud selliselt, et selle gabariitmõõdud ja kinnituslahendused võimaldavad kasutada erinevaid vaakumhaardeseadmeid, vintsilahendusi ja rataste konfiguratsioone ilma konstruktsiooni põhimõttelist ümberkujundamist nõudmata. Keevisühendused on kavandatud viisil, mis väldib pingekontsentratsioonide teket koormust kandvates sõlmpunktides, eelistades täisõmblusi ja diagonaaltugevdusi.

Konstruksiooni lõplikud ristlõikemõõdud ja seina paksused täpsustatakse tugevusarvutuste põhjal. Arvutuse eesmärk on hinnata konstruktsiooni lubatud pingeid, võimalikku paindet, jäikust ning külgstabiilsust tüüpiliste tõste- ja liikumistsüklike ajal. Vajaduse korral tehakse arvutuste tulemuste põhjal konstruktsioonis muudatusi, et tagada ohutusvaru vastavalt standardsetele projekteerimisnõuetele.

Kuna ettevõtte plaanib tulevikus valida ja soetada vaakumhaardeseadme vastavalt oma muutuvatele vajadustele ja finantsvõimalustele, on käesolevas töös valitud analüüsi aluseks hinnanguliselt sobivaim lahendus. Selleks on Schmalz VACUMASTER BASIC [4], mis kuulub keskmisse hinnaklassi ning on varustatud seadmesse integreeritud vaakumpumbaga. Seadme akutoide on lahendatud eraldiseisva toiteallikana.



Pilt 8. Schmalz VACUMASTER BASIC vaakumseade.

3.2.4 Ostutoodete valik

Köisvints

Köisvintsiks valiti Goldwinch GT 300 [5], kuna selle maksimaalne tõstevõime on 300 kg ning tõstekiirus 4.2 m/min, mis tagab sujuva ja kontrollitud tõstmisprotsessi. Seadet juhitakse juhtmevaba puldi abil ning toiteallikana kasutatakse 12 V akumulaatorit.



Pilt 9. Goldwinch GT 300 köisvints.

Plokirattad

Plokiratasteks valiti Certex tüübi 7100 plokirattad [6], mille maksimaalne lubatud koormus on 550 kg. Konstruktsioonis on kasutusel kaks plokiratast, mis vastavad masinagrupi 1Bm nõuetele ning sobituvad kasutatava köisvintsi 5 mm läbimõõduga kõiega.



Pilt 10. Certex tüübi 7100 plokiratas.

Tagumised rattad

Tagumisteks ratasteks valiti plaatkinnitusega pöörlevad rattad Tente 3477ITP125P62 [7]. Ühe ratta maksimaalne lubatud koormus on 250 kg ning konstruktsioonis kasutatakse kahte ratast, mis tagab piisava kandevõime. Rattad on varustatud piduritega, mis võimaldavad seadme liikumise fikseerimist töö ajal. Kuna antud rattad on Repston OÜ laos juba olemas, ei ole nende kasutuselevõtt seotud tellimisest tuleneva ooteajaga.



Pilt 11. Tente 3477ITP125P62 pöörlev, piduriga ratas.

Esimesed rattad

Esimesteks ratasteks valiti Heart Supply Even 99A rularattad [8] koos Tempish ABEC 5 laagritega [9]. Valitud rataste läbimõõt on 50 mm ning ühe ratta lubatud kandevõime on 100 kg. Konstruktsioonis kasutatakse kokku kaheksat sellist ratast, neist neli mõlemal poolel, mistõttu on antud rattalahendus kavandatava konstruktsiooniga hästi sobiv.



Pilt 12. Heart Supply Even 99A rularattad.



Pilt 13. Tempish ABEC 5 laagrid.

Akumulaator

12 V akumulaatoriks valiti Qoltec 53705 (LiFePO₄) 100 Ah, 100 A [10], kuna selle tehnilised näitajad sobituvad valitud köisvintsi ja tagavad Repston OÜ kasutustingimustes piisava arvu töötütsükleid. Konstruktsioon on projekteeritud selliselt, et vajaduse korral on Repston OÜ-l võimalik väheste muudatustega paigaldada ka suurema mahutavusega akumulaator.

Töötütsükli arvu hindamiseks kasutati järgmist seost valemi abil (1):

$$N = \frac{C * k_{DoD}}{I * \left(\frac{t}{60}\right)} \quad (1)$$

kus N – töötütsükli arv ühe laadimise kohta;

C – aku nimimaht (100 Ah);

k_{DoD} – aku kasutatav osa (0,8);

I – vintsi voolutarve (40 A);

t – ühe töötütsükli kestus (1min).

Arvutuskäik:

$$N = \frac{100 * 0.8}{40 * \left(\frac{1}{60}\right)} \approx 120$$

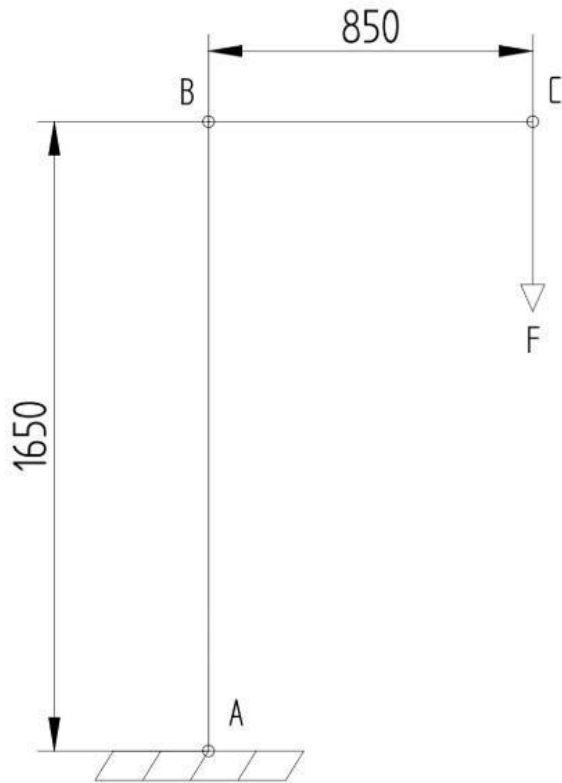
Seega võimaldab valitud 12.8 V / 100 Ah LiFePO₄ aku hinnanguliselt umbes 120 töötütsükli ühe laadimisega, mis katab ligikaudu viis 8-tunnist töövahetust, arvestades pingi 20-minutilist töötütsükli ja 1-minutilist vahepealset materjali laadimisaega.



Pilt 14. Qoltec 53705 akumulaator.

3.3 Tugevusarvutused

Ettevõtte tingimus oli, et seade peab suutma tõsta kuni 100 kg kaaluvad puitlehed. Uurimuse käigus selgus, et olemasolevad vaakumseadmed kaaluvad maksimaalselt 90 kg, millele tuleb lisaks arvestada ka 1.3 ühikut varu.



Kogumassi m (kg) väärtus jõu määramiseks saadakse valemist (1) [11].

$$m = m_1 * m_3 + m_2 \quad (1)$$

kus m_1 – tõstevõime, 100 kg;

m_2 – tõstemehhanismi kaal (maksimaalne), 90 kg;

m_3 – varu; 1.3.

Kogumass (1) jõu määramiseks on:

$$m = 100 * 1.3 + 90 = 220kg$$

Arvutustest selgus, et kogumass on 220kg

Poomile rakenduv jõud F (N) määratakse valemiga (2) [11].

$$F = m * g \quad (2)$$

kus m – kogumass, kg;

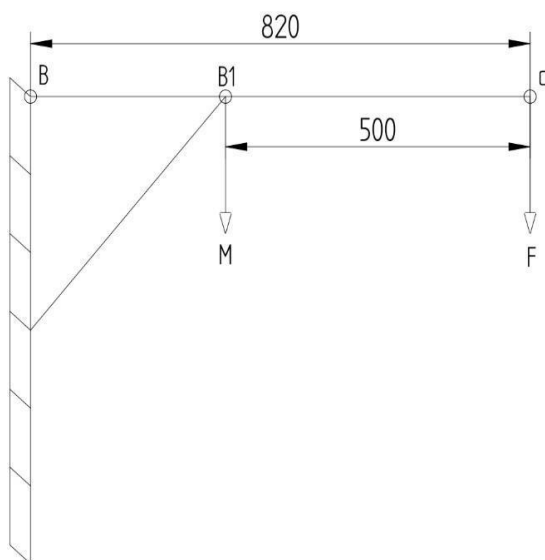
g – raskuskiirensud, $9.8m/s^2$

Poomile mõjuv jõud (2) on:

$$F = 220 * 9.8 = 2156N$$

Arvutustest selgus, et poomile mõjuv jõud on 2156N

Arvutusskeemi (Skeem 1) alusel määratakse torudele AB ($60 \times 30 \times 2$, S355JR) ja BC ($60 \times 30 \times 2$, S355JR) mõjuvad jõud. Torule BC ($60 \times 30 \times 2$, S355JR) mõjub jõud $F = 2156$ N (2). Selle väärtuse põhjal kontrollitakse, kas valitud $60 \times 30 \times 2$, S355JR profiil tagab vajaliku tugevusvaru. Kuna toru on toetatud alatoega, kujuneb suurim pingepunktis B1.



Punkti B1 juures tekkiv paindemoment M_{B1} (N×mm) määratakse valemi (3) [11] abil.

$$M_{B1} = F * l_1 \quad (3)$$

kus F – Jõud, N;

l_1 – Kaugus punktist C punkti B1, 0.5m

Paindemoment (3) punktis B1 on:

$$M_{B1} = 2156 * 0.5 = 1078 \text{ N} * \text{m}$$

Arvutustest selgus, et punktis B1 tekkiv paindemoment on 1078 N*m.

Ühe profiilitoru vastupanumomendi W_{z1} (mm^3) z-telje suhtes arvutamine valemi (4) [11] abil.

$$W_{z1} = \frac{b * h^2}{6} - \frac{b_1 * h_1^2}{6} \quad (4)$$

kus h – Toru välimine kõrgus, 60 mm;

b – Toru välimine laius, 30 mm;

h_1 – Toru sisemine kõrgus, 56 mm;

b_1 – Toru sisemine laius, 26 mm.

profiilitoru vastupanumoment (4) on:

$$W_{z1} = \frac{30 * 60^2}{6} - \frac{26 * 56^2}{6} = 4410.7 \text{ mm}^2$$

Arvutustest selgus, et ühe toru vastupanumomendi väärtus on 4410.7 mm^3 .

Vaheseina vastupanumomendi W_{z2} (mm^3) z-telje suhtes arvutamine valemi (5) [11] abil.

$$W_{z2} = \frac{b_2 * h_2^2}{6} \quad (5)$$

kus h_2 – Vaheseina kõrgus, 3 mm;

b_2 – Vaheseina laius, 19 mm.

Vaheseina vastupanumoment (5) on:

$$W_{z2} = \frac{19 * 3^2}{6} = 28.5 mm^3$$

Arvutustest selgus, et vaheseina vastupanumomendi väärtus on $28.5 mm^3$.

Kogu poomi ristlõike vastupanumomendi W_z (mm^3) z-telje suhtes arvutamine valemi (6) [11] abil.

$$W_z = 2 * W_{z1} + W_{z2} \quad (6)$$

Kus W_{z1} – Ühe toru vastupanumoment, mm^3 ;

W_{z2} – Vaheseina vastupanumoment, mm^3 .

Kogu poomi ristlõike vastupanumoment (6) on:

$$W_z = 2 * 4410.7 + 28.5 = 8849.9 mm^3$$

Arvutustest selgus, et kogu tala vastupanumomendi väärtus on $8849.9 mm^3$.

Järgnevalt määratakse punktis B1 tekkiv maksimaalne paindepinge σ_p (MPa) valemi (7) [11] abil.

$$\sigma_p = \frac{M_{B1} * 10^3}{W_z} \quad (7)$$

kus M_{B1} – Paindemoment punktis B1, N*m;

W_z – Kogu poomi vastupanumoment, mm^3 .

Punktis B1 tekkiv maksimaalne paindepinge (7) on:

$$\sigma_p = \frac{1078 * 10^3}{8849,9} = 121.8 \text{ MPa}$$

Arvutustest selgus, et punktis B1 tekkiv maksimaalne paindepinge on 121.8 MPa.

Määratakse poomi S355JR terasele vastav varutegur S valemi (8) [11] abil.

$$S = \frac{355}{\sigma_p} \quad (8)$$

kus 355 – S355JR terase minimaalne voolavuspiir;

σ_p – Punktis B1 tekkiv maksimaalne paindepinge.

S355JR terasele vastav varutegur (8) on:

$$S = \frac{355}{121.8} = 2.91$$

Arvutuste põhjal selgus, et poomi varutegur on 2.91, mis on konstruktsiooniterasele piisav, arvestades et tavakoormuste korral loetakse nõutavaks varuteguriks vähemalt 1.3 – 2.0.

$$2.91 \geq 1.3 \dots 2.0$$

Arvutustest selgus, et valitud S355JR poom, mis koosneb kahest 60×30×2 profiilitorust, vastab tugevusnõuetele ja sobib kasutamiseks. Projekteerimise käigus kaaluti ka teisi võimalikke lahendusi, kuid kuna S355JR teras osutus varuteguri poolest kõige sobivamaks ning ettevõttel olid need torud sobivas mõõdus laos olemas, otsustati poomi valmistamiseks kasutada just seda varianti.

Postile mõjuva paindemomendi M_p (mm) arvutamine valemi (9) [11] abil.

$$M_p = F * l_2 \quad (9)$$

kus F – Jõud, N;

l_2 – Vahemaa jõu F rakenduspunktist posti tsentrisse, 820 mm.

Postile mõjuva paindemoment (9) on:

$$M_p = 2156 * 0.82 = 1768 \text{ N} * m$$

Arvutustest selgus, et postile mõjuv paindemoment on 1768 N * m

Suurima posti paindepinge σ_p (MPa) leidmine valemi (10) [11] abil.

$$\sigma_p = \frac{M_p * 10^3}{W_z} \quad (10)$$

kus M_p – Postile mõjuv paindemoment;

W_z – Kogu posti vastupanumoment, 8849.9 mm³.

Suurima posti paindepinge (10) on:

$$\sigma_p = \frac{1768 * 10^3}{8849.9} = 199.78 \text{ MPa} \quad (10)$$

Arvutustest selgus, et posti suurim paindemoment on 199.78 MPa

Määratakse posti S355JR terasele vastav varutegur S valemi (11) [11] abil.

$$S = \frac{355}{\sigma_p} \quad (11)$$

Posti S355JR terasele vastav varutegur on:

$$S = \frac{355}{199.78} = 1.78$$

Arvutuste põhjal selgus, et posti varutegur on 1.78, mis jääb konstruktsiooniterase puhul tavakoormuste korral nõutavaks peetava vahemiku 1.3–2.0 sisse ning on seetõttu piisav.

$$1.3 \leq 1.78 \leq 2.0$$

Arvutuste tulemused näitavad, et kahest 60×30×2 profiiltorust koosnev S355JR post vastab tugevusnõuetele ja on kasutamiseks sobiv. Samuti paikneb arvutatud varutegur just selles vahemikus, mis tagab konstruktsioonile piisava, kuid mitte ülemäärase tugevusvaru, vältides nii aladimensioonimist kui ka liigset üledimensioneerimist.

3.4 Tööohutus ja ergonoomika

Projekteeritud tõsteseadme kasutamisel on keskse tähtsusega tööohutus ja ergonoomiline materjalikäsitlus. Seadme konstruktsioon ja töösükkel on kujundatud selliselt, et vähendada töötajate füüsilist koormust ning vältida võimalikke vigastusi ja materjalikahjustusi.

Tõsteseade võimaldab suurmõõtmeliste puitlehtede käsitlemist ühe operaatori poolt, ilma vajaduseta materjali käsitsi tõsta või kallutada. Vaakumhaardesüsteem vähendab koormuse hoidmiseks vajaliku jõu rakendamist ning välistab ootamatud materjali libisemised, eeldusel et vaakumtasel jälgitakse visuaalselt või automaatse indikaatori abil. Tõstmine toimub kontrollitud kiirusega, mis vähendab ohtu materjali löökoormusest tulenevatele kahjustustele.

Seadme haarade kliirents 55 mm võimaldab materjali kättesaamist aluse alt ilma operaatoreid füüsiliselt pingutamata. See vähendab alaselja- ja õlavöö piirkonna koormust, mis on käsitsitõstmisel kõige enam mõjutatud. Seadme kogukõrgus 1860 mm sobib töökõrgusega, mis võimaldab enamikul operaatoritel töötada sirge kehahoiakuga, vältides küürutamist ja üleulatusi.

Ohutuse tagamiseks tuleb järgida järgmisi kasutusjuhiseid:

- Koormus peab olema alati täielikult vaakumiga kinnitatud enne tõstmist.
- Vaakumhaardeseadet tuleb regulaarselt kontrollida vastavalt tootja nõuetele, hinnates selle kulumist ja hermeetilisust.
- Trossi seisukorda, vintsimehhanismi ja koormapidurit tuleb regulaarselt kontrollida, näiteks visuaalse kontrolliga, veendumaks et tross ei narmendu ega ole nähtavalt kulunud.
- Töötajal peab olema ülevaade tööalast, et vältida takistusi ning vältida seadme külgsuurt koormuse all.

Lisaks varustatakse seade mehaanilise ohutuspiirajaga, mis takistab koormuse kontrollimatut langemist vintsisüsteemi rikke korral. Vajadusel saab lisada visuaalse vaakumtaseme indikaatori, mis annab töötajale kohese info haarde tugevusest.

Ergonoomika ja ohutusanalüüs kinnitavad, et projekteeritud seade vähendab töötajate koormust, tõstab tööohutust ja parandab materjalivoo sujuvust tootmisüksuses.

4. MAJANDUSLIK OSA

4.1 Materjalide ja komponentide maksumus

Tõsteseadme maksumus koosneb konstruktsioonimaterjalidest, ostetavatest mehhaanilistest komponentidest ja projekteerimise töömahust. Konstruktsioonis kasutatakse S355JR terast, sealhulgas nelikanttoru jäikust tagavateks kandvateks profiilideks, ümartoru käepideme jaoks ning lehtmetaili kinnitus- ja tugevdusplaatide valmistamiseks. Selline materjalide kombinatsioon võimaldab saavutada konstruktsiooni stabiilsuse, madala massi ja hea valmistatavuse.

Ostetavate komponentide hulka kuuluvad rattad, elektriline vints ja akumulaator. Vaakumhaardesüsteemi (vaakumpump, ventiilid, iminapad ja voolikud) ettevõtte hetkel ei soeta, kuna nende konfiguratsioon sõltub kasutatavate puitlehtede pinnaviimistlusest ja mõõtudest. Need komponendid hangitakse tulevikus vastavalt tootmisvajadustele ning nende maksumus ei ole lisatud käesolevasse kuluarvestusse.

Tabel 1. Materjalide maksumus [12].

KULU	KIRJELDUS	MAKSUMUS (€)
S355 torumaterjal (ümar + profiilitoru)	Raami, poomi ja käepideme konstruktsioon	49.65 €
DC01 ja S355JR Lehtmetail (1, 1.5, 3 ja 5mm)	Kinnitusplaadid ja tugevdused	37.93 €
		KOKKU: 87.58 €

Projekti teostamisel kasutatakse ettevõttes tekkivaid materjalijääke, mida käesoleval ajal tootmisprotsessis ei kasutata. Materjalikulu arvestamisel on hinnanguliselt arvesse võetud 10% materjalikadu.

Tabel 2. Ostutoodete maksumus.

KULU	KIRJELDUS	MAKSUMUS (€)
Vints	Tõsteajam	340
Rattad/laagrid	Esimesed ja tagumised rattad	94.8
Plokirattad	Köie ülekandeks	40
Akumulaator	Toitesüsteem	219
Poldid/mutrid	kinnitusvahendid	15
		KOKKU: 708.8 €

Tabel 3. Tööprotsesside maksumus.

KULU	KIRJELDUS	MAKSUMUS (€)
Projekteerimise tööjõukulu	~15h	600
Laserlöikus	~2.5h	227
Painutamine	~1h	43
Keevitamine	~3.5h	91
Värvimine	~2h	58
Koostamine	~2h	30
		KOKKU: 1049 €

Tabelis esitatud hinnad võivad muutuda vastavalt töö tegelikule kestusele.

Protsessikuludesse on ettevõtte poolt arvestuslikult kaasatud tehase üldkulud. Üldkulud jagunevad konstantseteks ja muutuvateks kuludeks. Konstantsed üldkulud tulenevad tootmishoone kommunaalkuludest ning kontori administratiivkuludest. Muutuvad üldkulud on seotud konkreetsete tootmisseadmete tööga ning hõlmavad tööjõukuluseid ja tootmisprotsessis tarbitavaid kommunaalkuluseid, näiteks elektrienergiat.

Tabel 4. Omahinna arvestus.

KULU	MAKSUMUS (€)
Materjalid	87.58
Ostutooted	708.8
Tööprotsessid	1049
	KOKKU: 1 845.38 €

Seadme valmistamine ettevõttes toimub standardsete tootmisprotsesside alusel, mille hulka kuuluvad laserlõikus, vajadusel painutamine, keevitamine, värvimine ja koostamine. Kuna kasutatavad materjalid ning tootmisvahendid on ettevõttes juba olemas, puudub vajadus täiendavate seadmete või tehnoloogiliste investeeringute järele.

Käesolevas töös kajastatud maksumusarvestus hõlmab valmis põhikonstruktsiooni ja mehhaanilise tõstemehhanismi omahinda, mis on ligikaudu 1 845 €, ning ei sisalda vaakumhaardesüsteemi. Juhul kui ettevõtte otsustab kasutada töös analüüsi aluseks toodud vaakumseadet, lisandub kogumaksumusele vaakumhaardeseadme ligikaudne maksumus ~6 000 € ning täiendav akumulaator hinnangulise maksumusega ~200 €, mille tulemusena kujuneb süsteemi kogumaksumuseks ligikaudu 8 045€.

Võrdluseks jääb turul pakutavate analoogsete mobiilsete vaakumtõsteseadmete hinnavaheemik ligikaudu 15 000–20 000 €, mis kinnitab kavandatud lahenduse majanduslikku põhjendatust ja sobivust ettevõttesisese kasutuse jaoks.

4.2 Seadme juurutamise kulu

Juurutamise kulud:

- töötajate lühike juhendamine seadme kasutamiseks (1–2 h),
- seadme katsetamine ja reguleerimine,
- tööohutuse instruktaaz.

Täiendavat tootmise seadistuskulu ega ruumipaigutuse muutmist ei teki, sest seade on mobiilne ja ei vaja pöranda- ega laekinnitusi.

Seega on seadme juurutamise kogukulu ligikaudu võrdne seadme kogumaksumusega, ehk ~1845€.

4.3 Kavandatud lahenduse tasuvus ja efektiivsus

Kavandatud mobiilse puitlehede tõsteseadme kasutuselevõtt mõjutab tootmisprotsessi otseselt tööjõukulusid, tööohutust ning materjali käsitlemise efektiivsust. Lähteseisus käsitleti suurmõõtmelisi puitlehti käsitsi, mis nõudis kahe töötaja samaaegset panust ning tekitas suure lihas- ja seljakoormuse. Tõsteseadme kasutamisel on võimalik sama tööprotsess teostada ühe operaatoriga, mis vähendab tööjõukulu ning ühtlasi parandab tööergonoomikat.

Lisaks tööjõukulule väheneb ka materjalikahjustuste risk. Käsitsi tõstmisel esineb sagedamini puitlehede servakahjustusi ja mehaanilisi mõlke, eriti viimistletud pindade puhul. Vaakumhaardesüsteem tagab ühtlase ja kontrollitud surve ning vähendab vigastuste tekkimise tõenäosust. Seetõttu on seadmel lisaks otsesele tööjõukulude kokkuhoiule ka kaudne mõju praagi- ja remondikulu vähenemise näol.

Tabel 5. Tööjõu säästu hinnang

PARAMEETER	ENNE	PÄRAST
Töötajate arv materjali käsitlemisel	2	1
Aeg ühe lehe tõstmiseks	≈ 3–5 min	≈ 1–2 min
Mehaanilise pingutuse tase	Kõrge	Madal

Enne tõsteseadme kasutuselevõttu vajas puitlehtede käsitlemine kahe töötaja samaaegset osalust. Seadme kasutuselevõtu järel on tööprotsess korraldatav ühe operaatori poolt, mille tulemusena väheneb tööjõuvajadus hinnanguliselt 0,5–1 täistööaja koormuse võrra kuus. See tähendab ettevõtte jaoks ligikaudset tööjõukulude kokkuhoidu 300–450 € kuus, sõltuvalt töötajate tunnitasust ja töökoormusest.

Sellest tulenevalt saab hinnata seadme tasuvusaega:

$$\text{Tasuvusaeg} = \frac{\text{Seadme kogumaksumus}}{\text{Kuuline tööjõusääst}} = \frac{8\,045\text{€}}{300 - 450\text{€}} \approx 18\text{--}27 \text{ kuud}$$

Seega on kavandatud lahendus majanduslikult tasuv ning investeeringu tasuvusaeg on suhteliselt lühike. Lisaks otsesele kulusäästule paraneb ka tööprotsessi ohutus ja ergonoomia ning väheneb töötajate füüsiline koormus, mis omakorda vähendab tööõnnetuste ja terviseriskide esinemise tõenäosust.

Kokkuvõtlikult võib järeldada, et kavandatud mobiilne tõsteseade:

- vähendab tööjõukulusid,
- parandab tööohutust ja ergonoomikat,
- vähendab materjalikahjustuste riski,
- tagab protsessi ühtlasema ja kontrollituma kulgemise,
- omab 18–27 kuu pikkust tasuvusaega.

Seega võib lahendust pidada efektiivseks ja ettevõtte tootmise seisukohalt põhjendatud investeeringuks.

KOKKUVÕTE

Käesolevas lõputöös projekteeriti mobiilne puitlehtede tõstuk Repston OÜ tootmisüksuse vajadustest ja ruumilistest piirangutest lähtudes. Töö eesmärk oli töötada välja tehniline lahendus, mis võimaldaks suurmõõtmeliste puitlehtede ohutut, ergonoomilist ja efektiivset käsitlemist keskkonnas, kus statsionaarsete tõsteseadmete kasutamine ei ole võimalik.

Töö käigus analüüsiti ettevõtte tootmisprotsessi ning hinnati turul pakutavate vaakumtõsteseadmete sobivust. Analüüsi tulemusena selgus, et olemasolevad lahendused ei vasta samaaegselt madala konstruktsiooni, mobiilsuse, paigaldusvabaduse ja vajaliku tõstevõime nõuetele. Sellest tulenevalt projekteeriti ettevõtte tingimustele vastav erilahendus.

Projekteeritud tõsteseade põhineb ratastel liigutataval keevitatud terasraamil ning kasutab elektrilist köisvintsi ja vaakumhaardesüsteemi. Seade võimaldab kuni 100 kg kaaluvate puitlehtede käsitlemist, kusjuures arvestuslik kogutõstevõime on 220 kg. Konstruktsioon on projekteeritud nii, et haarade kliirents on 55 mm, võimaldades töötamist CNC-tööpinkide all. Seade on kasutatav ühe operaatori poolt ning võimaldab materjali tõstmist ja positsioneerimist kontrollitult ja ohutult.

Teostatud tugevusarvutused kinnitasid valitud S355JR terasprofiilidest konstruktsiooni vastavust tugevus- ja stabiilsusnõuetele ning piisavat ohutusvaru kandvate elementide puhul. Tööohutuse ja ergonoomika seisukohast vähendab kavandatud lahendus töötajate füüsilist koormust ning materjalikahjustuste ja tööõnnetuste riski.

Majandusliku analüüsi põhjal on seadme hinnanguline kogumaksumus ligikaudu 1800 eurot, mis on oluliselt madalam võrreldes turul pakutavate analoogsete lahendustega. Tööjõukulu vähenemise ja tööprotsessi efektiivsuse paranemise tulemusena on investeeringu tasuvusaeg hinnanguliselt 18–27 kuud.

Kokkuvõttes võib järeldada, et projekteeritud mobiilne puitlehtede tõstuk on tehniliselt põhjendatud, majanduslikult tasuv ning sobiv Repston OÜ tootmiskeskonda, pakkudes praktilist ja rakendatavat lahendust puitlehtede käsitlemise tõhustamiseks.

SUMMARY

This thesis presents the design of a mobile lifting device intended for handling large wooden panels in the production facility of Repston OÜ. The work was motivated by the need to improve occupational safety, ergonomics, and efficiency in a workspace with limited floor area and low clearance beneath CNC machines, where stationary lifting systems cannot be applied.

An analysis of the existing production process and a market review of available vacuum lifting solutions showed that no commercial product met all required criteria, including a low-profile fork design enabling access beneath CNC machines, mobility, installation-free operation, and sufficient lifting capacity. Therefore, a custom solution was developed based on the specific constraints of the production environment.

The designed lifting device consists of a wheeled, welded steel frame equipped with an electric wire winch and a vacuum gripping system. It enables the handling of wooden panels weighing up to 100 kg, with a total calculated lifting capacity of 220 kg. The low fork clearance allows the device to be positioned directly under CNC machines, and the system can be safely operated by a single user.

Structural strength calculations confirmed the adequacy of the selected S355JR steel profiles, while ergonomic and safety considerations indicate a significant reduction in physical workload and handling risks. An economic assessment showed that the device is cost-effective, with an estimated payback period of 18–27 months. Overall, the proposed solution provides a practical and efficient improvement to material handling in the production process.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] ANVER. FTA tõstukikinnitused ja manipulaatorid – vaakumtõsteseadmed. Kättesaadav: anver.com/vacuum-lifters/fork_lift_attachments_manipulators/ (vaadatud 08.10.2025).
- [2] Schmalz. Ergo 85 vaakumtõsteseade. Kättesaadav: wsimachinery.com/products/schmalz-ergo-85 (vaadatud 08.10.2025).
- [3] Schmalz. VACUMASTER BASIC vaakumtõsteseade. Kättesaadav: schmalz.com/en/products/manualhandling-309305/vacuum-lifting-device-vacumaster-309313/vacuum-lifting-devices-vacumaster-basic-733008 (vaadatud 08.10.2025).
- [4] Goldwinch. GT 300 elektriline tõstevints. Kättesaadav: winch-shop.eu/goldwinch-gt-300kg-sy-24-vdc-14-m-electric-lifting-winch-radio-remote-control-winch-rope-security-ip-67.html (vaadatud 02.11.2025).
- [5] Certex. Plokiratas tüüp 7100. Kättesaadav: certex.ee/tooted-e-pood/terastrossid-ja-tarvikud/abivahendid/plokid-ja-plokirattad/plokiratas-tuup-7100-p62546 (vaadatud 02.11.2025).
- [6] Tente. Pöörlev ratas Tente 3477ITP125P62. Kättesaadav: etra.ee/et/ratas-125mm-plaatkinnitus-10360043739 (vaadatud 03.11.2025).
- [7] Heart Supply. Even 99A rularattad. Kättesaadav: skatepro.ee/200-40870.htm?stockcode=HS120201809A50MM (vaadatud 03.11.2025).
- [8] ABEC 5. Laagrid. Kättesaadav: skatepro.ee/27-14523.htm?stockcode=10100042 (vaadatud 03.11.2025).
- [9] Qoltec. 53705 akumulaator (LiFePO₄ 100 Ah). Kättesaadav: frog.ee/et/product/2438343-qoltec-53705-soidukiaku-liitiumraudfosfaat-lifepo4-100-ah-128-v-100-a-auto (vaadatud 15.11.2025).
- [10] Gomeringer, R., Heinzler, M., Kilgus, R., Menges, V., Oesterle, S., Rapp, T., Scholer, C., Stenzel, A., Stephan, A., Wieneke, F. *Mehaanikainseneri käsiraamat*. Tallinn: TTÜ Kirjastus, 2021 (vaadatud 26.11.2025).
- [11] Materjalide hinnad ja tooteinfo. Kättesaadav: tibnor.ee (vaadatud 26.11.2025).

LISAD

LISA 1. TÕSTUKI LÕPPKOOST

LISA 2. TÕSTUKI LÕPPKEEVISKOOST

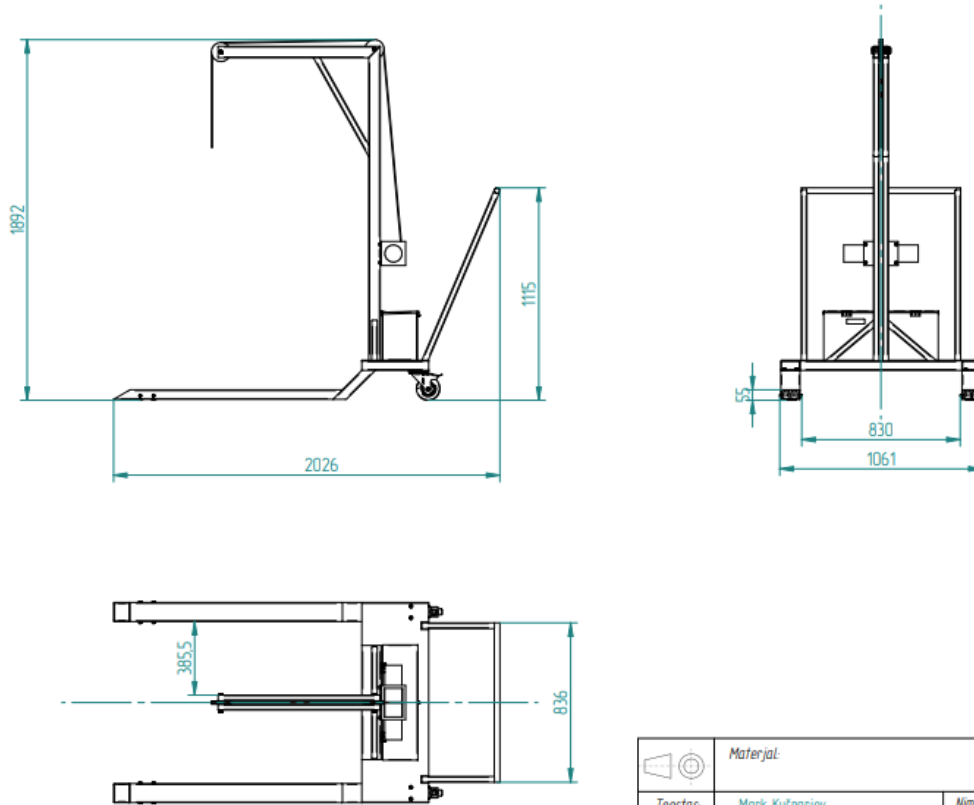
LISA 3. ALAMKOOST 1 (KAHVEL)

LISA 4. ALAMKOOST 2 (POOM)

LISA 5. DETAILI JOONIS

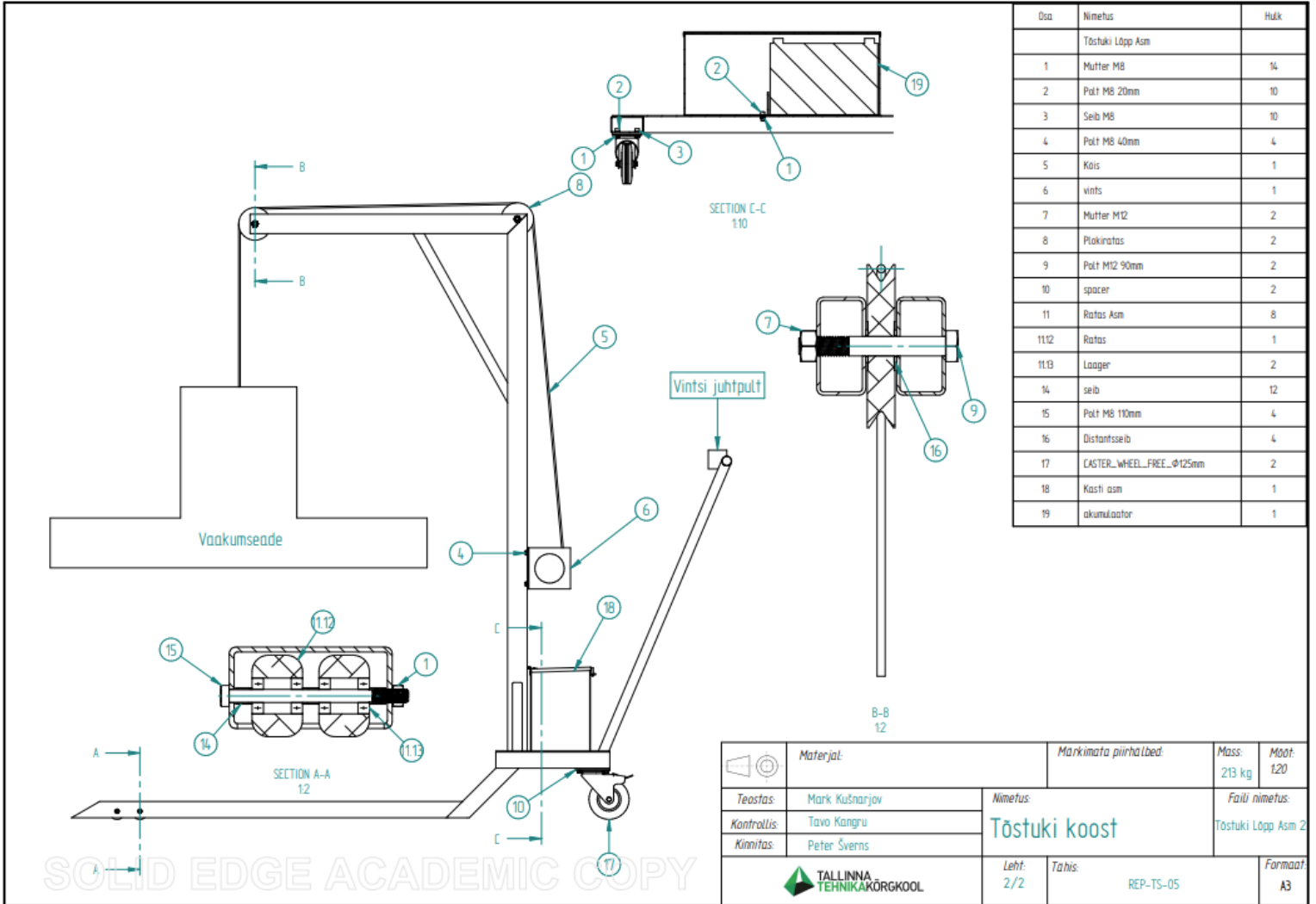
LISA 6. RUUMI PLAAN

LISA 1. TÕSTUKI LÕPPKOOST



	Materjal:	Markimata piirhaalbed:	Mass: 213 kg	Moot: 120	
Teostas:	Mark Kušnarjov	Nimetus:	Tõstuki koost		
Kontrollis:	Tavo Kangru	Faali nimetus:			Tõstuki Lõpp Asm
Kinnitas:	Peter Šverns				
		Leht: 1/2	Tahis: REP-TS-05	Formaat: A3	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



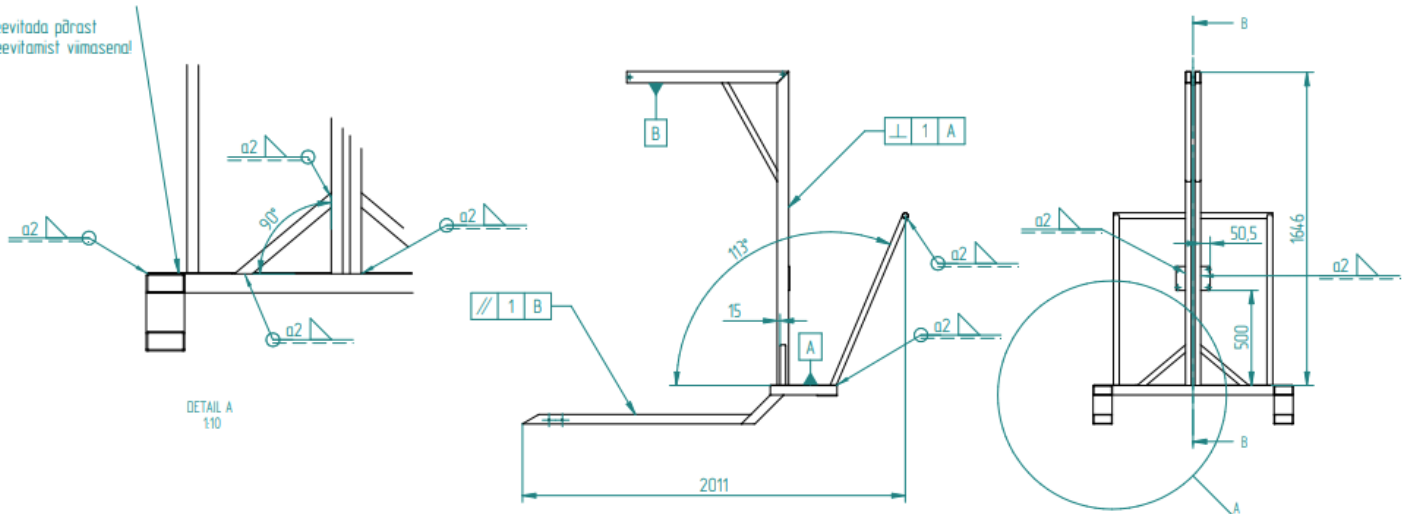
Osa	Nimetus	Hulk
	Töstuki Lõpp Asm	
1	Mutter M8	14
2	Polt M8 20mm	10
3	Seib M8	10
4	Polt M8 40mm	4
5	Kõrs	1
6	vint	1
7	Mutter M12	2
8	Plakiratas	2
9	Polt M12 90mm	2
10	spacer	2
11	Ratas Asm	8
11.12	Ratas	1
11.13	Laager	2
14	seib	12
15	Polt M8 110mm	4
16	Distantseib	4
17	CASTER_WHEEL_FREE_φ125mm	2
18	Kasti asm	1
19	akumulaator	1

	Materjal:	Markimata piirhalbed	Mass: 213 kg	Moot: 120
Teostas:	Mark Kušnarjov	Nimetus:	Faili nimetus:	
Kontrollis:	Tavo Kangru	Töstuki koost	Töstuki Lõpp Asm 2	
Kinnitas:	Peter Svens			
		Tallinna Tehnikakõrgkool	Leht: 2/2	Tahis: REP-TS-05
			Formaat: A3	

LISA 2. TÕSTUKI LÕPPKEEVISKOOST

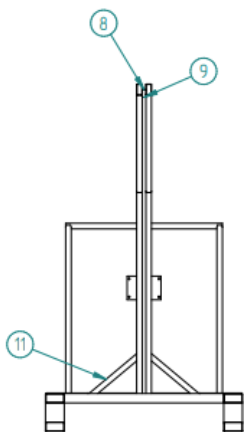
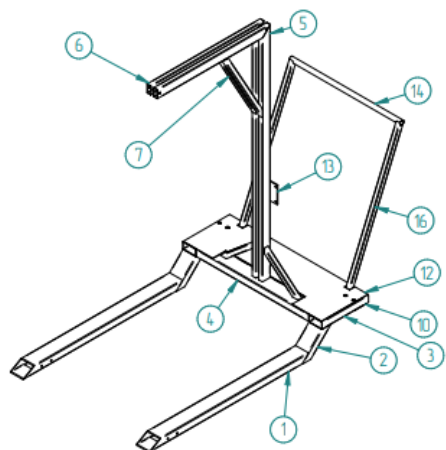
Kõik keevisõmblused
135/EN ISO 5817 Klass C

NB!
Plaat keevitada pärast
raami keevitamist viimasena!



	Materjal:	Markimata piirhälbed: EN ISO 13920-BE	Mass: 155kg	Moot: 120
Teostas:	Mark Kušnarjov	Nimetus: Keevisraam	Faili nimetus: Keevisraam	
Kontrollis:	Tavo Kangru			
Kinnitas:	Peter Šverns			
		Tahis: REP-TS-03	Formaat: A3	
Leht: 1/2				

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



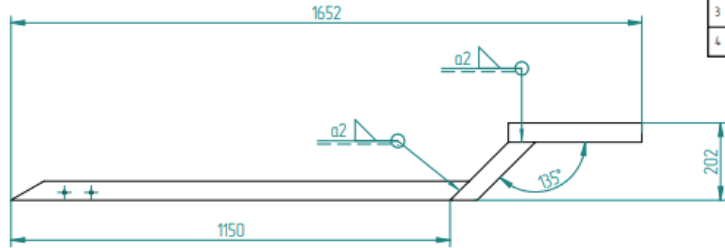
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

Osa	Nimetus, materjal	Hulk
	Keevisraam	
1	Kapad 100x50x2, S355JR EN 10025-2	2
2	vaake tosetetaru 100x50x3, S355JR EN 10025-2	2
3	pikendus 100x50x3, S355JR EN 10025-2	2
4	Toetus 100x50x3, S355JR EN 10025-2	2
5	post 60x30x2, S355JR EN 10025-2	2
6	paam 60x30x2, S355JR EN 10025-2	2
7	ulemine tugi 30x30x2, S355JR EN 10025-2	2
8	Vahesein ulemine, DC01 EN 10130	1
9	Vahesein alumine, DC01 EN 10130	1
10	spacer, S355JR EN 10025-2	2
11	Võike tagumine tugi 30x30x2, S355JR EN 10025-2	2
12	Alumine alus 3mm, DC01 EN 10130	1
13	Vintsi kinnitus plaat 5mm, S355JR EN 10025-2	1
14	kaepide 30x2, S355JR EN 10025-2	1
16	Suure kaepidene pikendus30x30x2, S355JR EN 10025-2	2

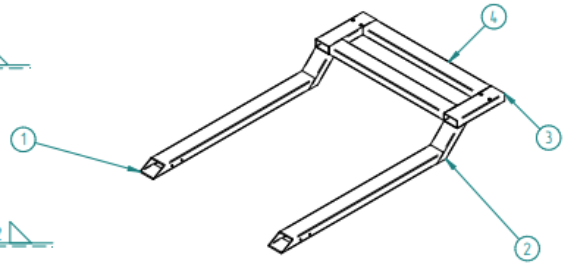
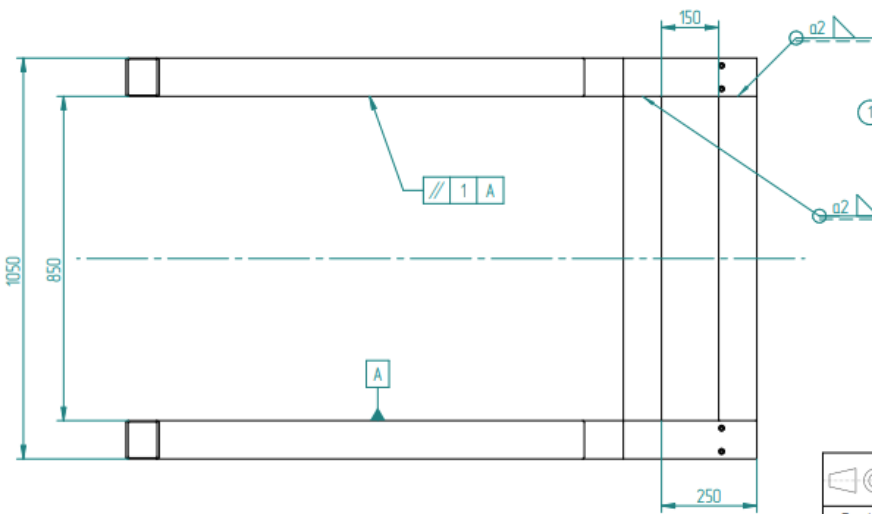
Kõik keevisõmblused 135/EN ISO 5817 Klass C

	Materjal:	Markimata piirha lbed: EN ISO 13920-BE	Mass: 155kg	Moot: 120	
Teostas:	Mark Kušnarjov	Nimetus:	Keevisraam		
Kontrollis:	Tavo Kangru	Faali nimetus:			Keevisraam
Kinnitas:	Peter Sverns				
	TALLINNA TEHNILINE KÕRGOOL	Leht: 2/2	Tahis: REP-TS-03	Formaat: A3	

LISA 3. ALAMKOOST 1 (KAHVEL)



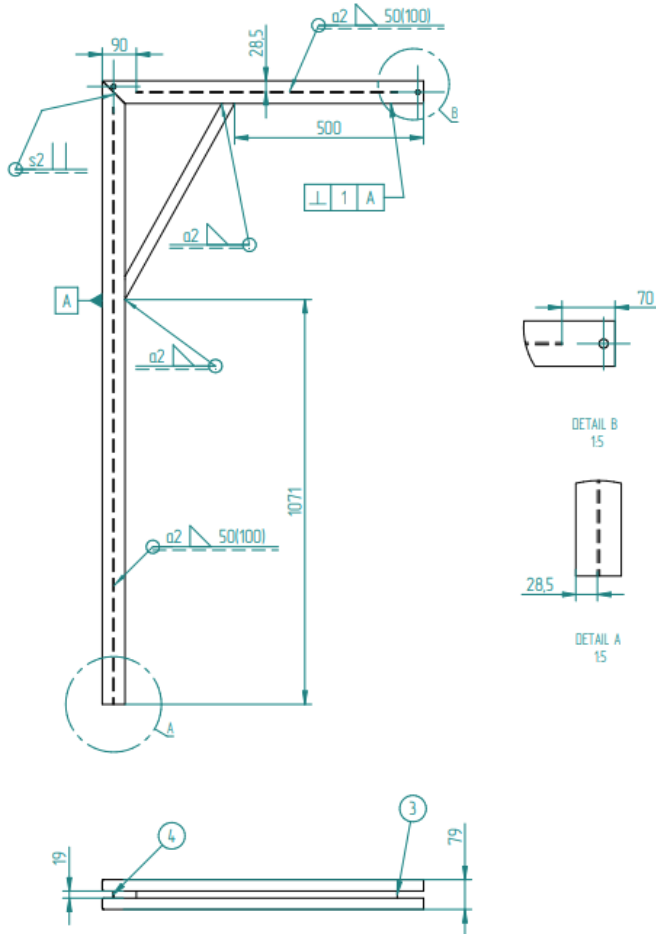
Osa	Nimetus, materjal	Hulk
	Kahvlü keevis	
1	Kapad 100x50x2, S355JR EN 10025-2	2
2	väike tõsteforu 100x50x3, S355JR EN 10025-2	2
3	pikendus 100x50x3, S355JR EN 10025-2	2
4	Toetus 100x50x3, S355JR EN 10025-2	2



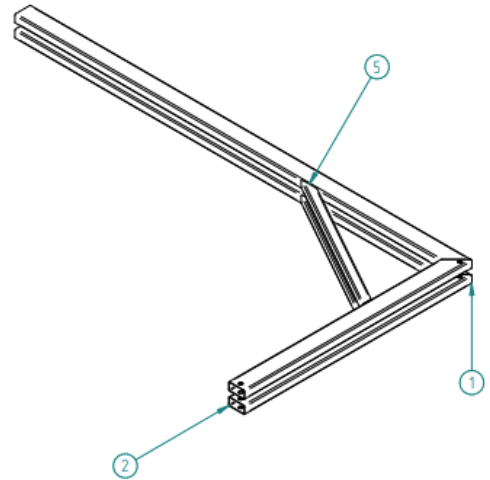
	Materjal:	Markimata piirhälbed: EN ISO 13920-BE	Mass: 88kg	Moot: 120	
Teostas:	Mark Kušnarjov	Nimetus:	Kahvel		
Kontrollis:	Tavo Kangru	Faili nimetus:			Kahvlü keevis
Kinnitas:	Peter Šverns				
		Leht: 1/1	Tahis: REP-TS-01	Formaat: A3	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

LISA 4. ALAMKOOST 2 (POOM)



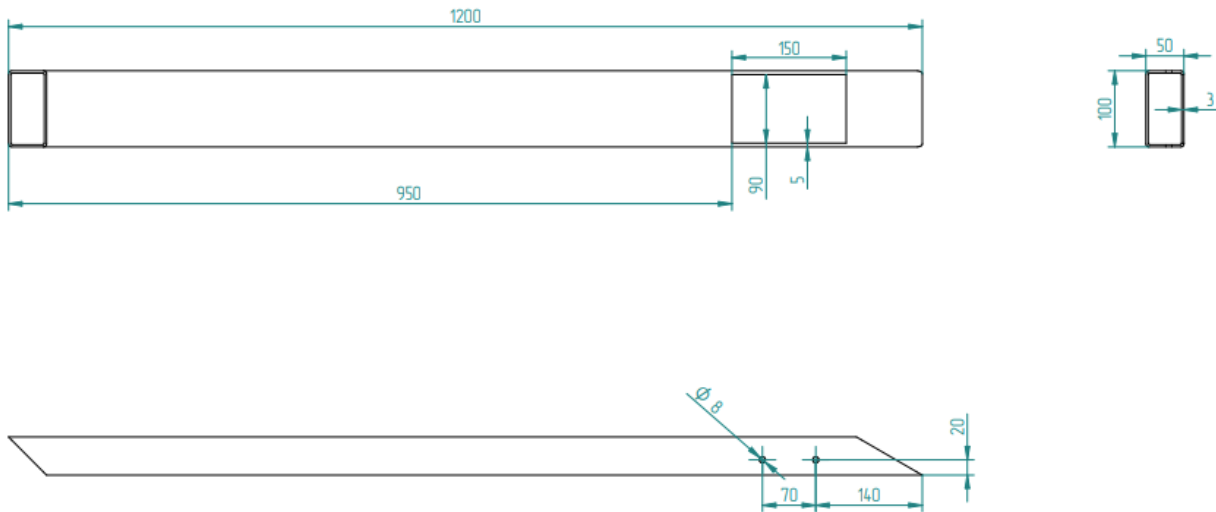
Osa	Nimetus, materjal	Kogus
Poomi keevis		
1	post 60x30x2, S355JR EN 10025-2	2
2	poom 60x30x2, S355JR EN 10025-2	2
3	Vahesein ülemine, DC01 EN 10130	1
4	Vahesein alumine, DC01 EN 10130	1
5	Ülemine tugi 30x30x2, S355JR EN 10025-2	2



	Materjal:	Markimata piirhalbed: EN ISO 13920-BE	Mass: 4,3kg	Moot: 110
Teostas:	Mark Kušnarjov	Nimetus: Poom	Faili nimetus:	
Kontrollis:	Tavo Kangru		Poomi keevis	
Kinnitas:	Peter Šverns			
		Leht: 1/1	Tahis: REP-TS-02	Formaat: A3

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

LISA 5. DETAILI JOONIS



	Materjal: S355JR EN 10025-2	Markimata piirhälbed:	Mass: 24kg	Moot: 12
Teostas: Mark Kušnarjov	Nimetus: Kapp	Leht: 1/1	Faili nimetus: Kappad 100x50x2	
Kontrollis: Tavo Kangru			Formaat: A3	
Kinnitas: Peter Šverns			Tahis: REP-TS-04	

SOLID EDGE ACADEMIC COPY

LISA 6. RUUMI PLAAN

