

Toomas Kaul

**6000 KG
KANDEVÕIMEGA
MADELVEOKI
PLATVORMI
PROJEKTEERIMINE**

LÕPUTÖÖ

Mehaanikateaduskond

Masinaehitus

Tallinn 2015

Mina,.....,

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

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

Lõputöö autor

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

Üliõpilase kood

Õpperühm

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Juhendajad

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

.....

Nimi, allkiri ja allkirjastamise kuupäev

Kaitsmisele lubatud „.....“.....20....a.

Mehaanikateaduskonna dekaan

Nimi ja allkiri

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. ETTEVÕTTE KIRJELDUS.....	6
2. TEHNILINE OSA.....	8
2.1. Analoogsed tooted	8
2.2. Projekteerimise tingimused	9
2.3. Tugevusarvutused.....	10
3. TOOTMISTEHNOLLOOGIA	20
3.1. Toorikute saagimine	20
3.2. Keevituseelne koostamine	22
3.3. Keevitamine.....	22
4. MAJANDUSLIK OSA	25
4.1. Ostutoodete hinnad	25
4.2. Materjalide maksumused.....	25
4.3. Tööde ja teenuste maksumused	26
4.4. Platvormi omahind	26
KOKKUVÕTE.....	28
SUMMARY	29
VIIDATUD ALLIKAD.....	30
LISAD	32

SISSEJUHATUS

Lõputöö teema tõusis esile ettevõttes Klindex OÜ, kus inseneri praktika ajal teostati tugevusarvutusi uutele terastoodetele. Samal ajal üritas ettevõtte optimeerida ühte oma suurimat kuluallikat ehk transpordikulu. Rendimasinate ja nende lisaseadmete ehitusobjektidele transportimiseks kasutati kahte erinevat veokit. Neist üks oli kaheteljeline 5-tonnise kandevõimega ja 12-tonnise täismassiga madelveok (Joonis 1) ning teine kolmeteljeline 12-tonnise kandevõimega ja 25-tonnise täismassiga konkslift veok. Kütusekulu nende kahe veoki vahel oli ligi kahekordne.



Joonis 1. Madelveok

Kuna vajalik kandevõime ei olnud kuigi palju suurem väiksemast madelveokist, hakati uurima, kas on võimalik projekteerida ja konstrueerida kuluefektiivsemat transpordivahendit.

Lõputöö eesmärgiks on projekteerida madelveoki platvorm pikkusega 7 000 mm, laiusega 2 400 mm ja kõrgusega veoki raamist kuni 100 mm. Platvormi kandevõime peab olema vähemalt 6 000 kg, sh peab olema võimalik transportida masinaid teljekoormusega kuni 2 000 kg ja konstruktsiooni mass peab olema kuni 1 500 kg.

Lõputöö raames vaadeldakse analoogseid tooteid, analüüsitakse platvormi konstruktsiooni erinevaid lahendusi ja materjale. Lõputöö käigus tehakse tugevusarvutused platvormi kattematerjalile ja aluskonstruktsioonile ning pealesõiduteedele. Pärast materjalide valikut ja konstruktsiooni väljatöötamist tehakse joonised platvormi valmistamise ning koostamise kohta.

Pärast jooniste ja eelarve kinnitamist ning veendumist, et töö vastab eemärkidele, valmistatakse prototüüp.

1. ETTEVÕTTE KIRJELDUS

Klindex OÜ loodi 2003. a ja tegevust alustati ühe ehitus- ja kaevemasina renditeenusega. 2013. a käive oli 425 000 eurot. 2015 aastaks oli ettevõttes 8 töötajat. Tänapäevaks on ettevõtte spetsialiseerunud BOBCAT masinate ja lisaseadmete rentimisele, remontimisele ja varuosade müügile [1]. Viimastel aastatel on ettevõtte jõudsalt kasvanud ja suurendanud masinapargi 27 kompaktlaaduri ja väike-ekskavaatorini.



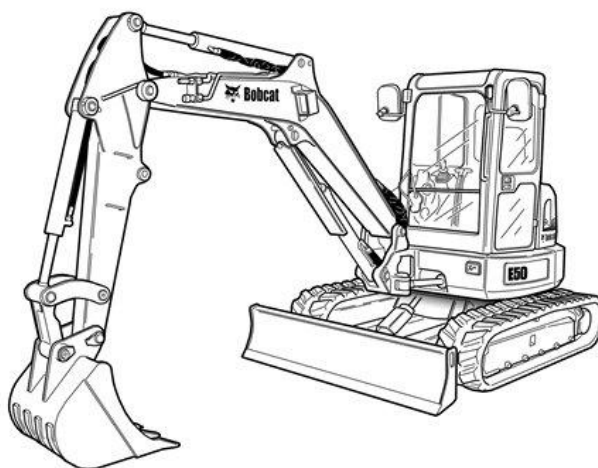
Joonis 2. BOBCAT S-70 [2]

Kompaktlaadurid varieeruvad suures ulatuses: alates 1,2 t kaaluvast Bobcat S-70 (Joonis 2), millega on võimalik töid teostada ehitusplatsidel kui ka hoonetes, kuni 3,5 t kaaluva Bobcat S-650 (Joonis 3), mis võib asendada nii lumesahka talvel kui muruniidukit suvel. Kompaktlaadureid saab kasutada väga erinevate tööde tegemiseks. Tänu Bob-Tach™ alussüsteemile on lisavarustuse vahetamine kiire ja mugav. Lisavarustuse nimekirjast võib leida mulla-, jää-, asfaldi- ja kännufreesi, planeerimis- ja kaevekopa, pinnasepuuri, hüdrovasara, vibrorulli, punkerharja, tõstehargi, kivihammi, haaratsiga kühvli, transee sae jne.



Joonis 3. Bobcat S-650 [3]

Väike ekskavaatoreid renditakse massidega 1,2 t kuni 5,0 t. Suurim väike-ekskavaator on Bobcat E50 (Joonis 4).



Joonis 4. Bobcat E50 [4]

2. TEHNILINE OSA

Tehniline osa on jaotatud kolme ossa, kus esimeses osas tutvustatakse transportimiseks sobilikke analoogseid tooteid ja teises osas on lahti kirjutatud projekteerimise tingimused. Kolmas osa sisaldab tugevusarvutusi, katseid materjalidega ja simulatsioone joonestusprogrammis Solid Edge.

2.1. Analoogsed tooted

Ettevõtte kasutab kolme tüüpi analoogseid tooteid: järelhaagiseid (täismassiga kuni 3,5 t), konkslift veoautot ja madelveokit. Järelhaagised jäetakse kõrvale, kuna neid on võimalik klientidel ise rentida ja ettevõtte kuludele need mingisugust mõju ei avalda. Konkslift veoauto puhul on tegemist transpordimasinaga, mis omal jõul veeretab veokasti auto pealt maha (Joonis 5).



Joonis 5. Konkslift veoauto [5]

Kastid on maksimaalselt 6 meetrit pikad ja veoautod vähemalt 25-tonnise täismassiga. Pärast suurte kompaktlaadurite muretsemist muutus konkslift veoauto kasutamine ebaefektiivseks, kuna 6-meetrine veokasti pikkus ei võimaldanud kahte kompaktlaadurit korraga vedada. Paraku on 6-meetrised veokastid pikimad, mida antud tüüpi veoautodele paigaldada saab.

Madelveokid võib jaotada kahte gruppi – ühed, mis on kaheteljelised ja kuni 12-tonnise täismassiga ning teised, mis on kolmeteljelised ja kuni 25-tonnise täismassiga. Kaheteljelised madelveokid on enamasti kuni 5-tonnise kandevõimega, kolmeteljelised aga kandevõimega 6 tonni ja rohkem. Piisava pikkusega platvorme pakuvad paljud madelveokite pealisehitusega tegelevad ettevõtted, piisava kandevõimega kaheteljelist madelveokit aga ei paku keegi.

2.2. Projekteerimise tingimused

Platvorm peab vastama järgmistele kriteeriumitele:

- 1) kandevõime peab olema vähemalt 6 000 kg (sisaldab kompaktladureid massidega 3 500 kg ja 2 500 kg);
- 2) mass peab olema alla 1 500 kg (madelveoki täismass on 11 900 kg, millest kandevõime on 6 000 kg ja ilma pealisehituseta veoki mass on 4 400 kg);
- 3) kõrgus veoki raamist kuni 100 mm (piirid seavad ette pealesõidu teede pikkused, kuna veoki raam langeb tagumises osas 4°).

2.2.1. Kattematerjali valik

Madelveoki platvormi võib katta kolme erineva materjaliga:

- ilmastikukindel vineer,
- alumiiniumrihvel plaadid,
- terasrihvel plaadid.

Ilmastikukindla vineeri eeliseks on materjali mass, lihtne paigaldus ja puudub vajadus katteplaate värvida. Vineeri puuduseks on aga jäikus, nimelt olemasolevatel järelhaagistel on korduvalt purunenud katteplaadid, kuna ehitus- ja kaevemasinate lisaseadmetega on liiga hooletult ümber käidud. Lisaks osutus vineerist kate talvistes tingimustes liiga libedaks.

Alumiiniumrihvel katteplaatide eeliseks on kerge kaal ja puudub vajadus katteplaati värvida, kuid materjali maksumus on oluliselt kõrgem ja paigaldus keerulisem. Katteplaadid oleks võimalik aluskonstruktsiooniga siduda kas poltide või neetidega. Lisaks oleks vaja alumiiniumrihvelplaadid keevitada kokku ühtseks katteplaadiks, kuid ettevõttel endal vastav keevitusseade puudub ja keevitustööd sisseostes kasvaks katteplaadi maksumus 1,5 korda.

Terasrihvel katteplaadi eeliseks on materjali odavus ja võimalus ühendada aluskonstruktsiooniga keevitades. Puudusteks on aga materjali mass ja vajadus viimistleda värviga.

Eelpool toodud kolme erinevat varianti kaaludes valiti kattematerjaliks terasrihvel plaadid.

2.2.2. Aluskonstruktsiooni lahendus

Enamus tootjaid kasutab platvormi aluskonstruktsioonis pikkitaladena U-profiili, mille peal on Z-profiil või kübarprofiil põikitalad (Joonis 6).



Joonis 6. Vaade aluskonstruktsioonile

Pikkitala kaudu on platvorm kinnitatud veoki raami külge ja põikitaladele on asetatud katteplaadid. Taolise aluskonstruktsiooni kõrgus ületab projekteerimistingimustes toodud kuni 100 mm nõude, mistõttu ei ole võimalik analoogset lahendust kasutada. Seepärast viiakse põikitalad pikkitaladega samale tasapinnale. Selleks on pikkitalad tükeldatud, kuna koormust kannavad põikitalad. Lisaks eelpool mainitule on sel juhul saagimist vähem.

2.3. Tugevusarvutused

Tugevusarvutused on tehtud kõige suurema kompaktlaaduri masse ja gabariitmõõte arvestades. 3 500 kg täismassiga kompaktlaaduri kaalujaotus on 74% tagateljele ja 26% esimesele teljele. Maksimaalne mass ühel teljel on 2 672 kg ja koormus 12,86 kN. Soovituslik rõhk rehvides on 4,1 bar ehk $410\,000\text{ N/m}^2$. Rehvi mustri laius (b_1) on 280 mm.

Rehvi rõhku ja ratta koormust arvestades leitakse ühe ratta poolt tekitatav pinna surve (1).

$$A_r = \frac{F_r}{p}, \quad (1)$$

kus A_r – ratta poolt tekitatav survepind, m^2 ;

F_r – jõud, mis on telje lubatud massist tulenev maksimaalne koormus ühele rattale, N;

p – rõhk rehvis, N/m^2 ;

$$A_r = \frac{12\,860}{410\,000} = 0,03\,m^2 = 30\,912\,mm^2$$

Survepinna mõõdud on a_1 ja b_1 .

$$a_1 = \frac{A_r}{b_1} = \frac{30\,912}{280} = 110\,mm$$

2.3.1. Kattekonstruktsiooni tugevusarvutused

Kattekonstruktsiooni tugevusarvutustele eelnevalt on läbi viidud survejõu staatilised katsed, kus puidust prussidega on moodustatud alusraami konstruktsioon (Joonis 7).



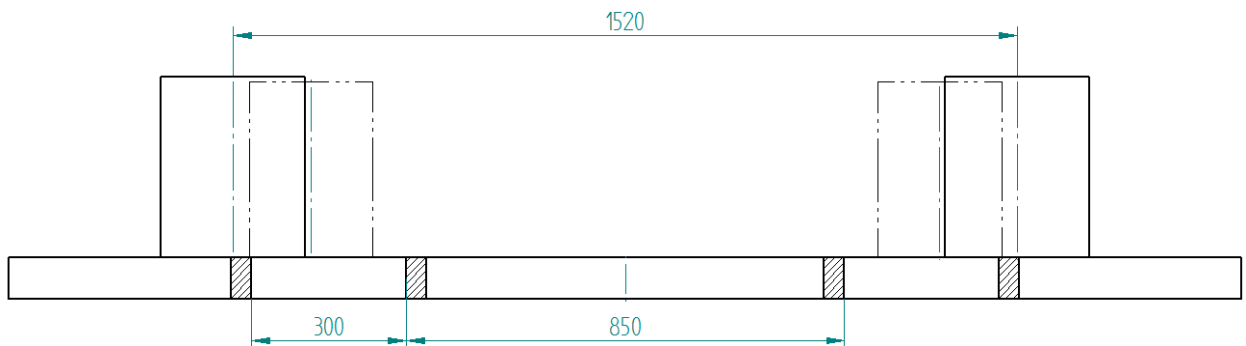
Joonis 7. Puidust alusraam katsetusteks

Seejärel on asetatud alusraamile terasest rihvelling paksusega 4 mm. Põikitalade vahekauguseid muutes ja lisatugesid paigaldades jälgitakse kattekonstruktsiooniks oleva lehe läbipainet (Joonis 8).



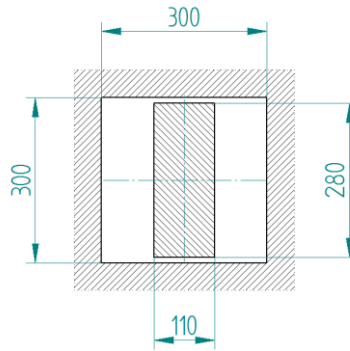
Joonis 8. Katsetused kompaktladuriga

Parim sobilik tulemus saavutati olukorras, kus põikitalade vahekaugus on 300 mm ja lisatugi on paigutatud ratta kesktelje lähedale (Joonis 9). Selle tulemusena on aluskonstruktsiooni geomeetria ruudukujuline ja ava mõõtmed 300×300 ($a = b = 300$ mm).



Joonis 9. Platvormi läbilõige

Aluskonstruktsioonile on katteplaat kinnitatud servadest jäigalt keevisliitega. Koormus mõjub piirsituatsioonis plaadi keskele. Alljärgnevalt on toodud katteplaadile esitatud kinnitustingimused ja koormusskeem (Joonis 10).



Joonis 10. Katteplaadi kinnitus

Ühtlaselt koormatud plaadi läbipaine arvutatakse valemiga (2) [6, p. 621]:

$$f_i = \frac{a_i}{10^4} \times \frac{F \times a_1^4}{D}, \quad (2)$$

kus a_i – konstant, mis arvestab plaadi gabariitmõõtmeid ja kinnitusviisi;

a_1 – plaadi koormatud ala lühem külg, m;

D – plaadi paindejäikus, $N \times m$.

Plaadi paindejäikus leidakse valemiga (3) [6, p. 620]:

$$D = \frac{E \times t^3}{12 \times (1 - \mu^2)}, \quad (3)$$

kus E – elastsusmoodul, terasel on $E = 210 \text{ kN/mm}^2$;

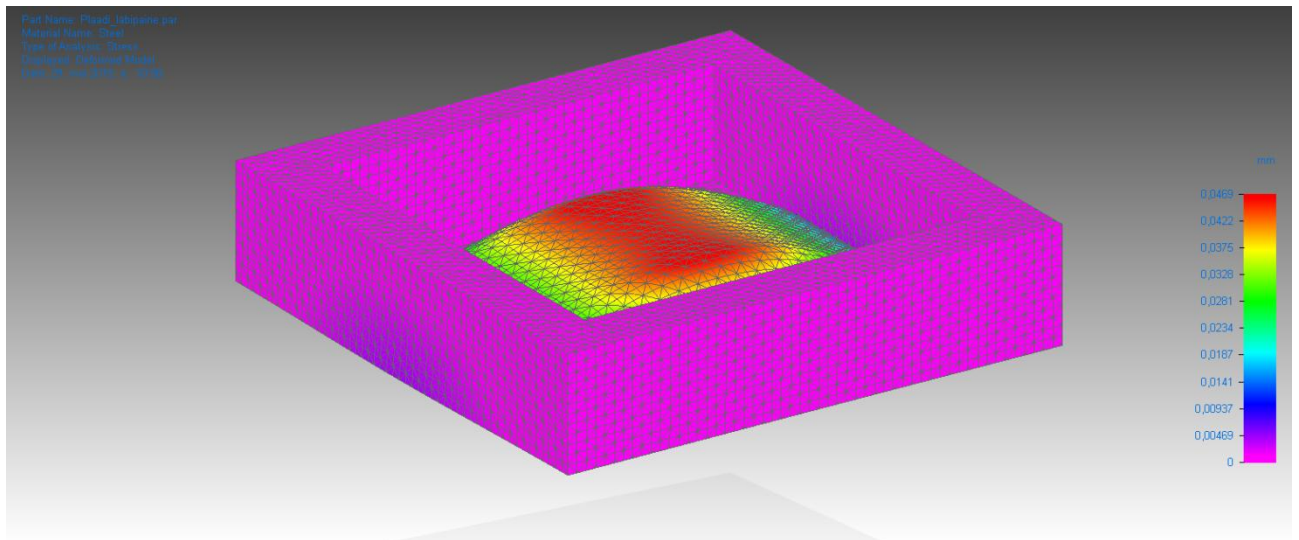
t – plaadi paksus, m;

μ – Poissoni tegur, terase puhul $\mu = 0,3$.

$$D = \frac{2,1 \times 10^{11} \times 0,004^3}{12 \times (1 - 0,3^2)} = 1\,231 \text{ N} \times \text{m}$$

$$f = \frac{6,4 \times 12860 \times 0,3^4}{10^4 \times 1,23 \times 10^{-9}} = 5,4 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,05 \text{ mm}$$

Kontrollimaks saadud tulemust, koostatakse lihtsustatud mudel joonestusprogrammis Solid Edge ja analüüsitakse plaadi deformatsiooni samadel tingimustel (Joonis 11). Analüüsi tulemuseks on maksimaalne läbipaine 0,047 mm, mis on sarnane eelpool saadud arvutuse tulemusele.



Joonis 11. Plaadi läbipainde leidmine programmis Solid Edge

Koormus on ühtlaselt jaotatud üle kogu plaadi pinna piiratud alal mõõtmetega $a_1 \times b_1$. Vastavalt plaadi külgede pikkuste suhtele $b / a = 1$ ja $a_1 / b = 0,6$ ning $b_1 / b = 1$ saadakse koefitsient β_1 .

Paindemomendid plaadi keskel leitakse valemiga (4):

$$M_x = \frac{\beta_i}{1\,000} \times a_1^2 \times F, \quad (4)$$

kus β_i – koefitsient tabelist 13.3 [6, p. 624].

$$M_x = \frac{24 \times 0,11^2 \times 12\,860}{1\,000} = 3,73 \text{ N} \times \text{m}$$

Saadud tulemust võrreldakse lubatud paindemomendiga, mis saadakse valemiga (5):

$$M_{lubatud} = \frac{t^3 \times R_e}{6}, \quad (5)$$

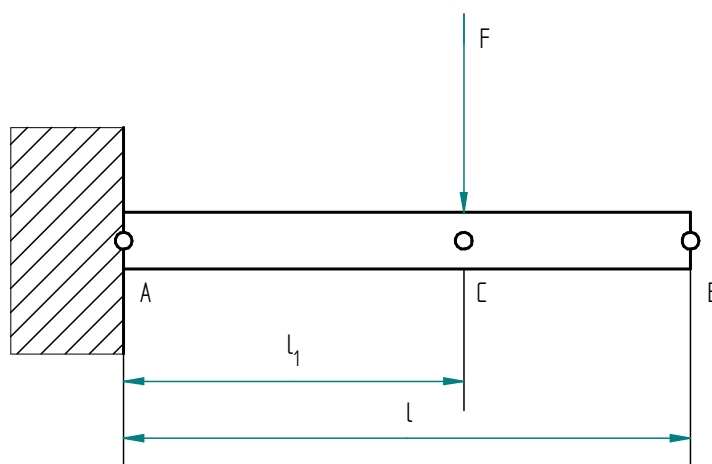
kus R_e – voolepiir, $R_e = 355 \text{ MPa}$.

$$M_{lubatud} = \frac{0,004^3 \times 355 \times 10^6}{6} = 3,79 \text{ N} \times \text{m}$$

Paindemoment plaadi keskel jääb lubatud paindemomendi piiresse.

2.3.2. Aluskonstruktsiooni tugevusarvutused

Aluskonstruktsiooni tugevusarvutused on teostatud lihtsustatud kujul ühele platvormi poolele korraga (Joonis 12).



Joonis 12. Jõu ja toereaktsioonide skeem

Maksimaalse survejõu F saame, kui jagame kompaktladuri teljekoormuse pooleks.

$$F = \frac{2\,572\,kg}{2} = 12,86\,kN$$

Koondatud koormuse ulatus l_1 on kaugus platvormi keskmisest pikkitalast veetava kompaktladuri ratta keskpunkti.

$$l_1 = 0,335\,m$$

$$l = 0,775\,m$$

Aluskonstruktsioon tehakse ehitustorudest, mille materjal on S355J2H EN 10210 [7, pp. 26-29]. Lubatud normaalpinge saame valemiga (6) [8, p. 44]:

$$[\sigma] = \frac{R_e}{\nu}, \quad (6)$$

kus R_e – voolepiir, $R_e = 355\,MPa$;

ν – ohutustegur, dünaamilise koormusjuhu puhul $\nu = 3$ [8, p. 44].

$$[\sigma] = \frac{355}{3} = 118,33 \text{ MPa}$$

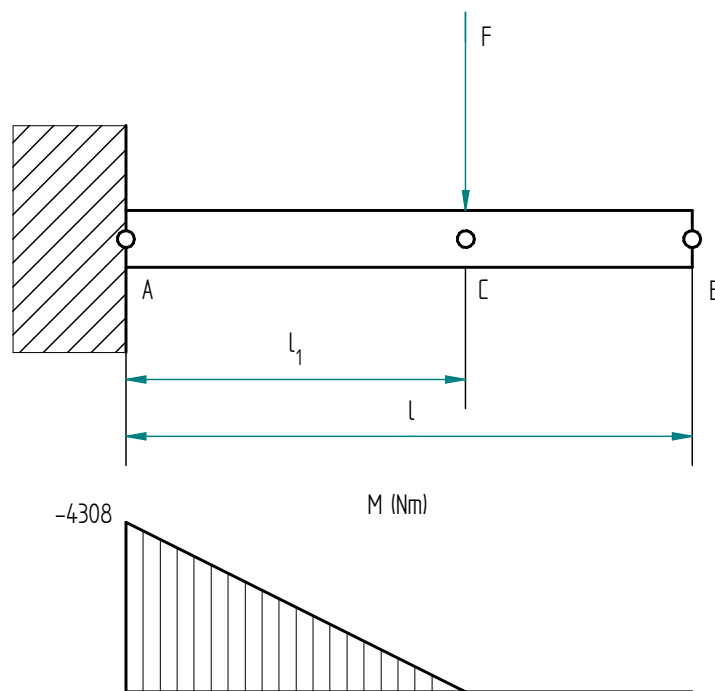
Kuna tegemist on konsoolse talaga, ei ole tarvis toereaktsioone arvutada. Paindemomendid punktides A, C ja B on järgmised:

$$M_A = -F \times l_1 = -12,86 \times 0,335 = -4\,308,1 \text{ N} \times \text{m};$$

$$M_C = -F \times 0 = 0;$$

$$M_B = 0.$$

Tulemustest koostame paindemomentide epüüri (Joonis 13).



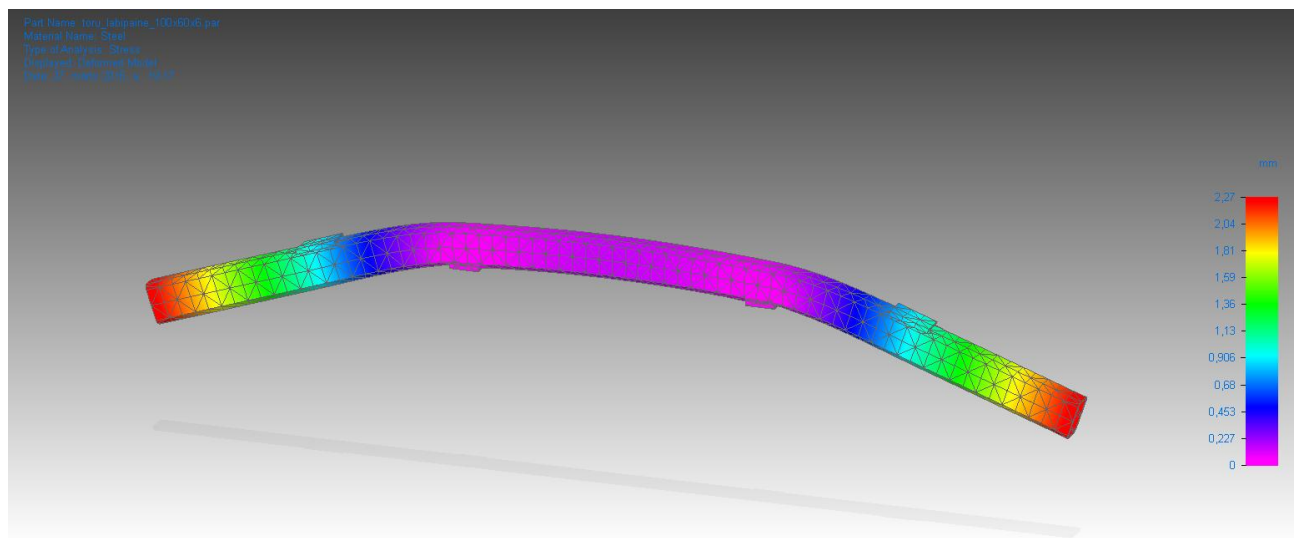
Joonis 13. Sisejõuepüür

Vajaliku ristlõike telgvastupanumomendi saame valemiga (7):

$$W_x = \frac{M_A}{[\sigma]} \quad (7)$$

$$W_x = \frac{4\,308,1}{118,33} = 36,4 \text{ cm}^3$$

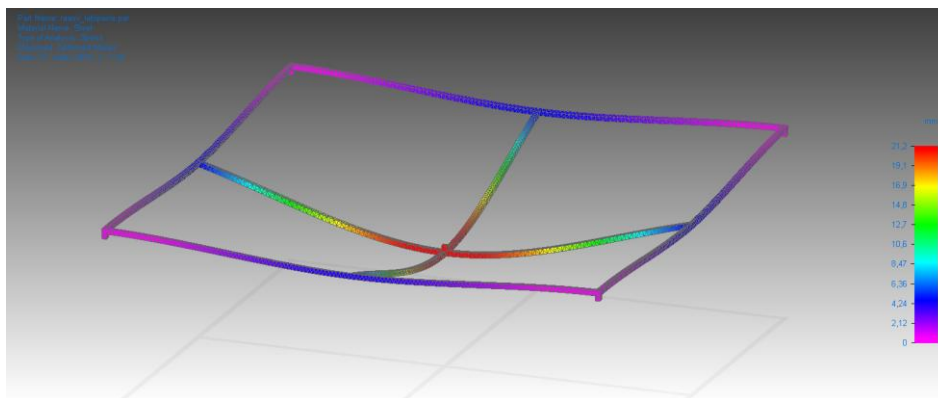
Sellele tulemusele lähim vastav ristkülikukujulise läbilõikega toru on mõõtudega $100 \times 60 \times 6$ ja telgvastupanumoment $W_x = 41,06 \text{ cm}^3$ [9].



Joonis 14. Läbipainde leidmine Solid Edges

Eelpool kirjeldatud arvutusest saadud profiil osutub liiga raskeks, sest koostatud mudel joonestusprogrammis Solid Edge annab konstruktsiooni kogumassiks 1 010 kg. See on ligikaudu poole rohkem planeeritud konstruktsiooni komponendi massist.

Kuna esialgselt projekteeritud konstruktsioon ei sobi massi tõttu, vähendatakse toruprofiili mõõtmeid. Väiksemate gabariitmõõtmetega toruprofiili kasutamine toob kaasa oluliselt väiksema jäikuse, mille kompenseerimiseks on projekteeritud kaks lisa pikkitala. Pikkitalad on paigutatud sedasi, et suurima massiga kompaktladuri ratta tsentrid asetseksid võimalikult keskel. Järgnevalt tuleb leida erinevate mõõtmetega toruprofiilide käitumine leitud survejõu rakendamisel lisatud toru ristumiskohas. Selleks, et leida põikitorudele avaldunud survejõu väärtuste suhe, on koostatud lihtsustatud simulatsiooni mudel (Joonis 15). Koormus on rakendatud konstruktsiooni keskmesse ja toed asetatud nurkadesse. Selle tulemusena kandub maksimaalne konstruktsioonile avaldatud survejõud kolmele põikitalale.



Joonis 15. Simulatsiooni näide Solid Edges

Simulatsioonimudelitest lähtub, et kasutades erinevate telgvastupanumomentidega profile, on avaldunud survejõu suhe kolmele põikitalale sarnane. Tsentris paiknevale torule avalduva survejõu väärtuseks on 41% kogu survejõust. Nimetatud toru kõrval paiknevatele profiilidele langeb võrdselt ülejäänud summaarsest kogusurvejõust 29,5%. Koostatud on tabel, kus on kirjeldatud kõik väiksema massi ja telgvastupanumomendiga toruprofiilid. Välja on jäetud suurema massi, kuid samaväärse telgvastupanumomendiga toruprofiilid.

Tabel 1. Survejõu väärtuse sõltuvus telgvastupanumomendist

h	b	t	M	A	W_x	F
mm			kg/m	cm²	cm³	kN
60	60	4	6,9	8,79	15,1	12 986
60	60	5	8,42	10,7	17,8	15 308
70	70	4	8,15	10,4	21,3	18 318
70	70	5	9,99	12,7	25,3	21 758
80	40	4	6,71	8,55	16,2	13 932
80	40	5	8,13	10,36	18,78	16 151
80	60	4	7,97	10,15	21,98	18 903
80	60	5	9,7	12,36	25,82	22 205
80	80	4	9,41	12	28,6	24 596
80	80	5	11,6	14,7	34,2	29 412
80	80	6	13,6	17,4	39,1	33 626
100	50	4	8,59	10,95	26,83	23 074
100	50	5	10,5	13,36	31,64	27 210
100	50	6	12,3	15,63	35,75	30 745
100	60	4	9,22	11,75	30,52	26 247
100	60	5	11,3	14,36	36,15	31 089

Kõrvutades maksimaalset survejõudu tabelis toodud väärtustele, on leitud kõige optimaalsema ristlõikega toruprofiil. Kõnealuseks toruprofiiliks on ristlõige 60 × 60 × 4, mille mass on 6,9 kg/m.

Tabelist lähtub, et kasutada saab väiksemat massi omavat ristlõiget, mille leitud survejõu väärtus ületab eelnevalt kirjeldatud profiili. Antud parameetreid arvesse võttes on toruprofiili ristlõikega $80 \times 40 \times 4$, massiga 6,71 kg/m kasutamine sobilik.

3. TOOTMISTEHNOLOOGIA

Toorikud lõigatakse kuue meetri pikkustest ristkülikukujulise läbilõikega ehitustorudest, ümmargustest ehitustorudest ning U-profiilist ja ribaterasest. Tooriku saagimisele järgneb keevituseelne ettevalmistus, detailid lihvitakse ja faasitakse, ümartoru valtsitakse. Pärast keevituseelset ettevalmistamist lähevad detailid koostamisele ja keevitamisele. Seejärel keeviskonstruktsioon liivapritsitakse ja värvitakse. Viimase operatsioonina valmistatud konstruktsioon paigaldatakse madelveokile ja kinnitatakse poltliitega. Kuna madelveoki tehnilised andmed ei muutu, siis eelnevalt kasutatud kinnitusvahendid (poldid M16 ja mutrid) on sobilikud kasutamiseks ka edaspidi.

3.1. Toorikute saagimine

Saagimiseks kasutatakse lintsaagi Bomar STG 240DG (Joonis 16), mille parameetrid on kirjeldatud alljärgnevalt:

- lõikamise pikkus: 230×230 ;
- lõikamise kiirus: $400 \text{ mm}^2/\text{min}$;
- mootori võimsus: 1,5 kW;
- kogumass: 332 kg;
- gabariitmõõtmed: $900 \times 1\,650 \times 1\,250$.

Saagimisele kuluva aja leiame järgmise valemiga (8):

$$T_c = \frac{A}{V_c \times 60}, \quad (8)$$

kus T_c – masinaaeg, h;

A – ristlõike suurus, mm^2 ;

V_c – lõike kiirus, mm^2/min .

Erinevate profiilide saagimisele kuluv aeg on arvutatud tabelis Tabel 2.

Tabel 2. Saagimisele kuluva aja arvutus

Nimetus	Ristlõike suurus, mm ²	Hulk, tk	Lõikekiirus, mm ² /min	Masinaaeg detaili kohta, h	Abiaeg detaili kohta, h	Tükiaeg partiile, h
Ribateras 60 × 4	240	22	400	0,010	0,002	0,253
Ristkülikukujulise läbilõikega toru 150 × 100 × 4	1 895	2	400	0,079	0,012	0,182
Ristkülikukujulise läbilõikega toru 80 × 40 × 4	855	113	400	0,036	0,005	4,629
Ristkülikukujulise läbilõikega toru 50 × 30 × 3	421	8	400	0,018	0,003	0,161
Ümmargune toru 33,7 × 4	374	22	400	0,016	0,002	0,394
Ümmargune toru 25 × 2	145	2	400	0,006	0,001	0,014
U-profiil 120 × 40 × 4	748	8	400	0,031	0,005	0,287
Saagimise koondaeg, h						6



Joonis 16. Bomar STG 240DG

3.2. Keevituseelne koostamine

Koostu detailid punktitakse madelveoki raamil (Joonis 17). Punktimist alustatakse raami servadest. Seejärel mõõdetakse raami diagonaalid, kontrollimaks raami külgede täisnurksust. Kui kõik detailid on punktkeevitusega koostatud, alustatakse keevitusega. Alusraami detailid keevitatakse ümberringi omavahel.



Joonis 17. Raami koostamine

Koostu detailide punktimiseks tehakse 1 008 keevist pikkusega 6 mm. Punktimisel kasutatakse 1 mm traati, voolutugevuseks on 150 A, keevituspinge on 28,5V ja keevituskiirus 50 mm/min.

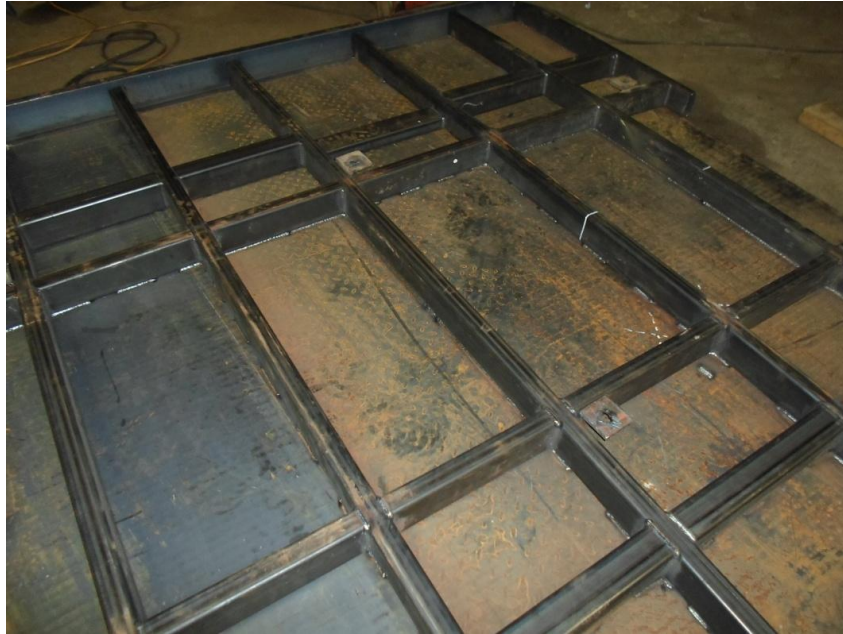
t_m – masinaaeg on 120 min ($1\,008 \times 6 / 100$), 2 tundi.

t_a – abiaeg on 26 tundi.

t_{tk} – tükiaeg koostule on 28 tundi.

3.3. Keevitamine

Raami lõplikuks keevitamiseks tõstetakse telfriga raam veoki pealt maha. Keevitaja soove arvesse võttes toimub keevitus kahes positsioonis: esiteks, on platvorm asetatud tagurpidi põrandale (Joonis 18) ja teiseks, on platvorm tõstetud ühele küljele (Joonis 19).



Joonis 18. Raami lõplik keevitamine

Ühele küljele asetatud platvorm on kinnitatud kettidega seinte külge, vältimaks konstruktsiooni kukkumist.



Joonis 19. Alusraami ja katteplaatide keevitamine

Keevitamisel kasutatakse 1,2 mm traati, voolutugevuseks on 180 A, keevituspinge on 28,5V ja keevituskiirus 200 mm/min.

t_m – masinaaeg on 870 min $((240 \times 204 + 7640 \times 5 + 120 \times 80 + 3592 \times 21 + 468 \times 4)/200)$, 14,5 tundi.

t_a – abiaeg on 3,5 tundi.

t_{tk} – tükiaeg koostule on 18 tundi.

Keevituspikkused on saadud joonestusprogrammis Solid Edge konstrueeritud mudelist.

4. MAJANDUSLIK OSA

Madelveoki platvormi valmistamisel on kasutatud ostutooteid, allhanget ja ettevõtte resursse.

4.1. Ostutoodete hinnad

Ostutoodeteks on platvormi ja madelveoki vahelised kinnitusplaadid, tagumise kaitseraua sees olevad tugevusplaadid ja pealesõiduteede paigaldusel kasutatavad nõelsplindid. Platvormi kinnituseks vajalikke polte-mutreid ei osteta, vaid kasutatakse eelmise pealisehituse kinnitusvahendeid. Ostutoodete hinnad on toodud Tabel 3.

Tabel 3. Ostutoodete hinnad

Nimetus	Kogus (tk)	Ühiku hind (eurot/tk)	Summa (eurot)
Terasplaat 150x147x6, S650 MC	4	2,37	9,48
Terasplaat 150x98x6, S650 MC	4	1,96	7,84
Terasplaat 142x92x4, S355K2C+N	4	1,03	4,12
Nõelsplint D5 Din 11024	2	0,41	0,82
Kokku:			22,26

4.2. Materjalide maksumused

Materjalide hinnapäringud on tehtud kõigile suurematele terasmaterjali müüjatele. Materjal on ostetud ettevõttest Exmet OÜ, kelle poolt pakutav koguhind kujunes soodsaimaks. Kuigi mõni materjal võis teises kohas olla soodsam, oleks lisanduv transpordikulu eelise kaotanud. Venitatud lehtvõrku ja perfoteraslehte pakkus ainukesena Metal-Disain OÜ. Materjalide maksumused on toodud Tabel 4.

Tabel 4. Materjalide maksumused

Materjal	Kaal (kg)	Kogus (tk)	Ühiku hind (eurot/kg)	Summa (eurot)
Ristkülikukujulise läbilõikega toru 150×100×4, L=3000, S355J2H	44,7	1	0,61	27,27
Ristkülikukujulise läbilõikega toru 80×40×4, L=6000, S355J2H	40,2	15	0,59	355,77
Ristkülikukujulise läbilõikega toru 50×30×3, L=6000, S355J2H	19,8	3	0,62	36,83
Ümmargune toru 33,7×4, L=6000, S355J2H	17,6	4	0,66	46,47
Ümmargune toru 25×2, L=3000, S355J2H	3,4	1	0,9	3,06
U-profiil 120×40×4, L=6000, S355J2H	35,4	3	0,99	104,40
Ribateras 60×4, L=3000, S235JR	5,7	1	0,61	3,48
Rihvelterasleht 6000×1500×4, S235JR	306	2	0,495	302,94
Venitatud lehtvõrk P46 2000×1000×11, S235JR	54	2	2,10	226,80
Perfoteraleht QG/C10 U15 2500×1250×3, S235JR	40,7	1	3,20	130,24
Kokku:				1 237,26

4.3. Tööde ja teenuste maksumused

Sisse ostetakse ainult platvormi värvimine koos eelpuhastuse teenusega (näiteks liivapritsimine). Platvorm transporditakse värvitoid teostava ettevõtte juurde enda madelveokiga. Värvimisele tegi parima pakkumise Nomodum OÜ, pakkudes koguhinnaks 750 eurot.

4.4. Platvormi omahind

Platvormi omahinna arvutus on toodud Tabel 5.

Tabel 5. Toote omahinna kalkulatsioon

Nimetus	Kogus (tundi)	Hind (eurot)	Summa (eurot)
Ostutooted			22,26
Materjal			1 237,26
Saagimine	6	16,00	96,00
Keevitamine	46	18,00	828,00
Värvimine			750,00
Komplekteerimine	8	16,00	128,00
Kokku:			3 061,52

Platvormi omahinnale tuleb lisada ka projekteerimiskulud 3 200 eurot, mis on saadud arvestades turul pakutavat keskmist projekteerimise tunnihinda. Projekteerimiskulud jaotatakse 10 platvormi vahel ja toote omahinnale lisatakse seega 320 eurot.

Veoki ostuhind oli 11 000 eurot. Madelveoki müügihinnaks on kokku lepitud 15 900 eurot, mis teeb puhaskasumiks 1 518 eurot.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli projekteerida ja konstrueerida madelveoki platvorm. Töö käigus on kirjeldatud platvormile esitatud nõudeid ja materjalide valikut ning põhjendatud projekteeritud konstruktsiooni eripära. Lõputöös on teostatud tugevusarvutused platvormi konstruktsiooni elementidele. Peale tugevusarvutuste on koostatud simulatsioonimudelid, kasutades joonestusprogrammi Solid Edge. Nimetatud mudeleid on analüüsitud ja saadud tulemusi on võrreldud tugevusarvutustega. Arvutuslikul teel ja simulatsioonist saadud tulemused on ligilähedased. Lisaks eelpool mainitule on teostatud reaalsed läbipainde katsed, mille mõõtmistulemused kinnitavad töös käsitletud teooriat.

Valmis projekteeritud madelveoki platvormile on koostatud tootmistehnoloogia kirjeldus. Tootmistehnoloogia käsitleb erinevate operatsioonide spetsiifilisi parameetreid. Antud parameetrite otseseks väljundiks on koostus sisalduvate detailide koondaegade leidmine.

Majanduslikus osas teostati projekteeritud madelveoki platvormile omahinna arvutus. Omahinna arvutusel on kasutatud tootmistehnoloogiast varasemalt leitud koondaegasid. Projekteeritud platvormi omahinnaks tuli 3 382 eurot. Eelneva kolme madelveoki platvormi müük näitab, et tegu on konkurentsivõimelise hinnaga.

Antud lõputöö praktiliseks väljenduseks on ehitusjärgus olev madelveoki platvorm. Ühtlasi on ettevalmistamisel ka järgmise madelveoki platvormi konstrueerimine. Arvestades kõiki ülaltoodud aspekte võib järeldada, et tegemist on jätkusuutliku ja tasuva projektiga.

SUMMARY

The goal of this thesis was to engineer and construct the flatbed for a lorry. There are all the requirements specified which the flatbed has to meet. In addition a material comparison and a particular choice for the design were carried out. The paper includes calculation for the applied forces for every part of the assembly. Furthermore a variety of simulation models have been designed using a engineering software Solid Edge. The models have been analyzed and the results compared to the calculation from the previous chapter. The overall results from the simulation model as well as the structural calculations were approximately the same. Actual measurements have been taken which also verify the theory of the thesis.

After completing the thoroughly designed project a manufacturing process have been executed. The manufacturing process consists of specific parameters for various operations. As a result the final manufacturing time of the parts were calculated.

In the economic stage the exact overall costs for manufacturing the flatbed has been calculated. The calculation was done using the manufacturing times that had been found in the previous stage. As a result the overall price for the produced flatbed is 3 382 Euros. Selling already three of the mentioned products clearly states that this is a very competitive price.

The auxiliary output for this paper is a lorry with a flatbed assembly standing by. Additionally the preparations for the next vehicle had been started as well. Taking into consideration every bit of aspects the outcome is a sustainable and profitable project.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Klindex OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: <http://bobcat-rent.ee/ettevottest>. [Kasutatud 20. aprill, 2015].
- [2] B. Company. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.bobcat.eu/bobcat/products/loaders/SSL/S70.page?>. [Kasutatud 20. aprill, 2015].
- [3] B. Company. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.bobcat.eu/assets/imported/transformations/content/product-details/%7Blanguage%7D_ReferenceImage/59864A1548334F65BF73AAA5EF76B9C7/S650_drawing.tif_Interflow%20-%20JPG%20-%20Fit%20to%20Box_600_500_true.jpg. [Kasutatud 20. aprill, 2015].
- [4] B. Company. [Võrgumaterjal]. Available: http://www.bobcat.eu/assets/imported/transformations/content/product-details/%7Blanguage%7D_WireFrameImage/0241FE602E4941F5B97F0A391DF0E366/E50_line-art.tif_Interflow%20-%20JPG%20-%20Fit%20to%20Box_600_500_true.jpg. [Kasutatud 20. aprill, 2015].
- [5] [Võrgumaterjal]. Available: [//i.ebayimg.com/00/s/NjQ0WDk0Mw==/z/zfUAAOSwEeFVK2~b/\\$/_57.JPG](http://i.ebayimg.com/00/s/NjQ0WDk0Mw==/z/zfUAAOSwEeFVK2~b/$/_57.JPG). [Kasutatud 20. aprill, 2015].
- [6] У. А. А., Справочник проектировщика промышленных, жилых и общественных зданий и сооружений. Расчетно-теоретический., Москва: ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ, АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ, 1960, p. 1040.

[7] R. P. AS, Laoprogramm 02.2011 Teras, roostevaba teras, alumiinium ja muud metallid, Harjumaa: Rautaruukki Oyj, 2011, p. 102.

[8] Tallinna Tehnikaülikool, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: Kirjastus, TTÜ, 2013, p. 492.

[9] „<http://www.b2bmetal.eu>,“ [Võrgumaterjal]. Available:
<http://www.b2bmetal.eu/en/pages/index/index/id/94/>. [Kasutatud 20. aprill, 2015].

LISAD

Lisa 1. Madelveoki platvormi koostu joonis

Lisa 2. Platvormi koostu joonis

Lisa 3. Pealesõiduteede koostujoonis