

Reijo Pajussaar

TERASEST TREPPIDE JA TREPIPIIRETE PROJEKTEERIMISE AUTOMATISEERIMINE

LÕPUTÖÖ

**Tehnikainstituut
Masinaehituse õppekava
Juhendaja: Mart Tiidemann**

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, Reijo Pajussaar tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teoste on viidatud õiguspäraselt.

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

Juhendaja Mart Tiidemann

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Reijo Pajussaar, sünnikuupäev: 15.07.1997, annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Terasest treppide ja trepipiirete projekteerimise automatiseerimine

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

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

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

Tallinnas, kuupäev digiallkirjas.

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	5
1 NÕUDED TREPPIDE JA PIIRETE PROJEKTEERIMISELE.....	6
1.1 RT 103027-et – trepid ja kaldteed	6
1.2 RT 103344-et – piirded ja käsipuud	6
1.3 EVS-EN 1090-2:2008 – teras-ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamine	7
2 TREPI MÕÕTMETE MÄÄRAMINE	8
2.1 Trepiava mõõdistamine	8
2.2 Trepi ja trepipiirde tüübi ning mõõtmete määramine	9
2.2.1 Trepitüübi määramine	9
2.2.2 Optimaalse astme kõrguse leidmine.....	9
2.2.3 Astme sügavuse määramine	10
2.2.4 Piirdetüübi ja mõõtmete määramine	11
3 TUGEVARVUTUSED	12
3.1 Astmete analüüs.....	12
3.2 Astmekanduri analüüs	14
3.3 Trepi külje analüüs	17
4 TREPI PROJEKTEERIMINE.....	19
4.1 Astmete projekteerimine.....	19
4.1.1 Sirge trepi astmete projekteerimine.....	19
4.1.2 L – trepi astmete projekteerimine.....	20
4.2 Trepi külgede projekteerimine.....	20
4.2.1 Sirge trepi külgede projekteerimine	20
4.2.2 L – trepi külgede projekteerimine	21
4.3 Puidust astmetele kandurite projekteerimine.....	22
4.4 Kinnitusdetailide projekteerimine	22
4.5 Trepipiirde projekteerimine	22

5	PROJEKTEERIMISE AUTOMATISEERIMISE TARKVARALAHENDUS.....	23
5.1	Muutujate määramine ja valemite koostamine	23
5.2	Kasutajaliidese arendus	24
5.2.1	Sirge trepi kasutajaliidese arendus	24
5.2.2	L – trepi kasutajaliidese arendus	27
6	TOOTMISTEHNOLOGIA MÄÄRAMINE	28
6.1	Puidust astmete tootmine.....	28
6.2	Terasest detailide tootmine	28
6.2.1	Astmekandurite tootmine	28
6.2.2	Trepikülgede tootmine	28
6.2.3	Kinnitusdetailide tootmine	29
6.3	Kandurite keevitamine trepi külgedele.....	29
7	MAJANDUSLIK OSA	30
	KOKKUVÕTE.....	31
	SUMMARY	32
	LISAD	34
	Lisa 1. Astmete arvu hüplikaken.....	35
	Lisa 2. Hoiatuse hüplikaken	36
	Lisa 3. Graafiline kasutajaliides	37
	Lisa 4. Kasutajaliidese programmilõik.....	38
	Lisa 5. Trepi talla joonis.....	39
	Lisa 6. Trepi külgede ühendamise detail.....	40
	Lisa 7. Trepi külje koostamise joonis.....	41
	Lisa 8. L – trepp	42

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli luua automatiseerimise tarkvaralahendus terasest treppide ja piirete projekteerimiseks ning selgitada välja, kas ja kui palju aega ja raha on võimalik säästa projekteerimisprotsesse automatiseerides. Töös käsitletakse kahte tüüpi treppide projekteerimist ja automatiseerimist. Nendeks on sirge ja L-kujuline vaheplatvormiga trepp.

Varasemalt on eelpool nimetatud treppide projekteerimine aega võtnud umbes ühe tööpäeva ehk 8 tundi. Kuna projekteerimisprotsess on alati väga sarnane, siis suur osa ettevõtte töötajate ajast kulub iga trepi projekteerimise juures, samade „liigutuste“ tegemisele. Samuti võivad rutiinse tegevuse juures sisse tulla hooletusvead, mis põhjustavad toodete nõuetele mittevastavust.

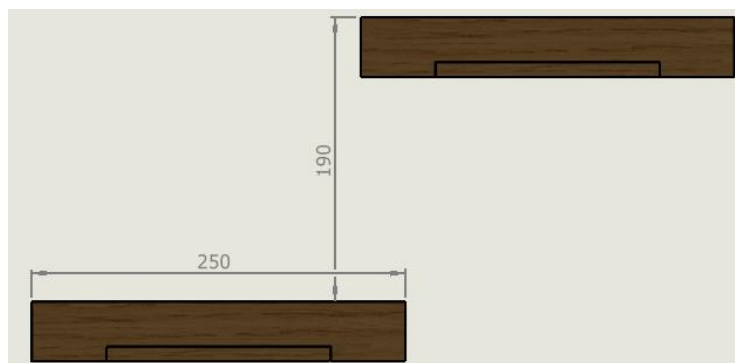
Lõputöö koosneb seitsmest osast. Esimeses peatükis otsitakse välja treppidele ja trepipiiretele kehtivad nõuded. Tuginedes esimesele peatükile, alustatakse teises peatükis treppidele mõõtmete määramisega. Enne, kui neljandas peatükis projekteerimise juurde asutakse, teostatakse kolmandas peatükis tugevusanalüüsid, kasutades selleks nii FEM meetodit kui ka käsitsi arvutusi. Viiendas peatükis töötatakse välja projekteerimise automatiseerimise tarkvaralahendus ning luuakse graafiline kasutajaliides, kasutades selleks „Python“ programmeerimiskeelt. Kuuendas peatükis määratakse tootmistehnoloogiad ning seitsmendas peatükis tehakse majanduslikud arvutused.

1 NÕUDED TREPPIDE JA PIIRETE PROJEKTEERIMISELE

Treppidele, piiretele ja käsipuudele kehtivad teatavad nõuded. Käesolevas lõputöös lähtutakse projekteerimisel Eesti Ehitusteabe Fondi poolt välja antavate RT-juhendkaartide RT 103027-et – trepid ja kaldteed, RT 103344-et – piirded ja käsipuud ning standarditest EVS-EN 1090-2:2008 – teras-ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamine, osa 2: tehnilised nõuded teraskonstruktsioonidele ja EVS-EN ISO 14122:3:2016 – „Masinate ohutus. Püsijuurdepääsuvahendid masinatele. Osa 3: Trepid, treppredelid ja kaitsepiirded“

1.1 RT 103027-et – trepid ja kaldteed

Treppide projekteerimisel on oluline silmas pidada nende otstarvet ehk kuhu projekteeritav trepp on kavandatud. Trepp projekteeritakse selliselt, et seal oleks ohutu ja lihtne liikuda. Käesolevas lõputöös käsitletakse treppe, mis hakkavad paiknema korterites ja majutusruumides. RT 103027 juhendkaardis tuuakse välja, et kasutusmääruse kohaselt tohib korterites ja majutusasutustes olla trepiastme maksimaalne kõrgus 190 mm ning minimaalne lubatav laius on 250 mm [1] (Joonis 1). Trepi miinimumlaius on 850 mm.



Joonis 1. Trepiastmete mõõdud vastavalt kasutusmäärusele

1.2 RT 103344-et – piirded ja käsipuud

Piirded tuleb paigaldada siis, kui kukkumiskõrgus on üle 0,5 meetri ning varitseb möödaastumis- või kukkumisoht. Korterisistreppe puhul, kui kukkumiskõrgus on alla kolme meetri, peab piirde kogukõrgus olema minimaalselt 900 mm. Piirde kogukõrgust mõõdetakse treppide puhul astmeninast. Samuti peab piire vastu pidama rõhtkoormusele, mis on määratud vastavalt ruumi kasutusotstarbele [2]. Ruumi rühmitatakse vastavalt funktsiooni järgi klassidesse, mida tähistatakse tähtetega A-st kuni G-ni, kus tähele A on omistatud rõhtkoormuse väikseim väärtus (0,5 kN/m)

ning tähele G suurim (25 kN/m). Käesolevas lõputöös lähtutakse ruumi klassist A, kuhu kuuluvad eluruumid, haiglapalatid, hotellide numbritoad, köögid ja WC-d [3].

Käsi- ja jalapaneelid paigaldatakse kõrgusele 900 mm ning seinast või piirdest 35 kuni 45 mm kaugusele. Käsi- ja jalapaneelid tuleb projekteerida nii, et need ei takistaks käe libisemist [2].

Kui piirde ohutusosas on ainult vertikaalsed detailid, ei tohi nende vahelt lobi mahtuda suurem kui 100 mm servapikkusega kuubik [2].

1.3 EVS-EN 1090-2:2008 – teras-ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamine

Standardis EVS-EN 1090-2:2008 tuuakse välja, et enne keevitama asumist on oluline paika panna keevitustööde plaan, mis peaks sisaldama keevitustööde järjekorda ning võimalikke keevisõmbluse alustus- ja lõpetuskohti, piiranguid ja lubatud tsoone. Kuna käesoleva lõputöö võimaliku tulemusena hakatakse koostama ja keevitama treppe, siis on äärmiselt oluline, et keevitajad oleksid pädevad antud töid kvaliteetselt teostama. Teras-ja alumiiniumkonstruktsioonide valmistamise standardis on täpsustatud, et keevitajad peaksid olema läbinud EN 287-1 standardi kohase atesteerimise [4].

Koostamisel tuleks arvestada nii liidete kui ka komponentide lõppmõõtmete tolerantside lubatud piiridesse jäämisega. Lisaks tuleks asjakohaselt arvestada väändumist ja kahanemist ning tagada, et kokkukeevitatavad komponendid oleksid paigaldatud ja koos hoitud selliselt, et keevitaja saaks neile hästi ligi [4].

2 TREPI MÕÕDTMETE MÄÄRAMINE

2.1 Trepiava mõõdistamine

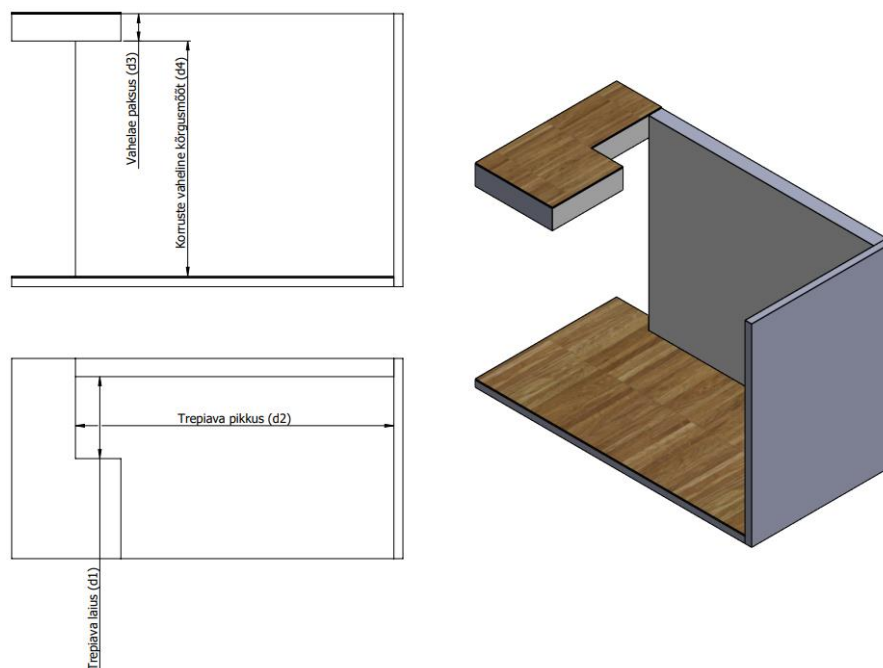
Iga trepi projekteerimine algab mõõdistamisest. Mõõdistamise etappi võib kogu projekteerimise protsessi juures pidada üheks tähtsamaks. Kui mõõdistamisel eksida, siis võib üsna kindel olla, et olles jõudnud trepi paigaldamise faasi, ei lähe trepp paika ning halvemal juhul on vajalik kordus mõõdistamine, projekteerimine ning tootmine.

Trepi mõõdistamiseks vajaminevad tarvikud on järgnevad:

- 1) Mõõdulint
- 2) Laser kaugusmõõtja – sama funktsioon nagu mõõdulindil aga kiirendab oluliselt mõõdistamise protsessi.
- 3) Laserlood – põranda ja seinade sirgsuse kontrolliks.

Trepi projekteerimiseks on tarvilik võtta objektilt järgmised mõõdud (Joonis 2):

- 4) Trepiava laius (joonisel tähistatud d1)
- 5) Trepiava pikkus (joonisel tähistatud d2)
- 6) Vahelae paksus (joonisel tähistatud d3)
- 7) Korruste vaheline kõrgusmõõt ehk põrandast kuni laeni (joonisel tähistatud d4)



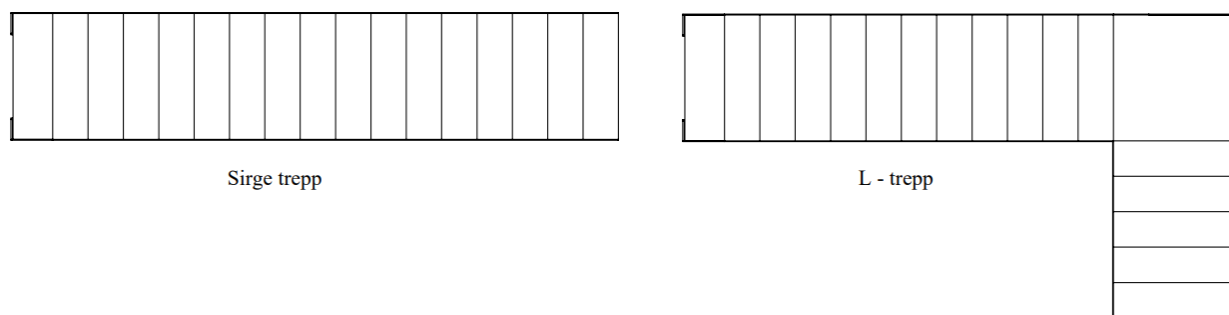
Joonis 2. Trepi projekteerimiseks vajalikud mõõdud

2.2 Trepi ja trepipiirde tüübi ning mõõtmete määramine

Kui eelmises peatükis nimetatud mõõdistused on tehtud, saab edasi asuda trepi ja trepipiirde mõõtmete määramise juurde. Antud tegevuse juures tuleb lähtuda esimeses peatükis väljatoodud nõuetest.

2.2.1 Trepitüübi määramine

Käesolev lõputöö käsitleb kahte tüüpi treppide projekteerimist, nendeks on sirge ja L-kujuline trepp (Joonis 3). Võimalusel valida sirge trepp, kuna seda on lihtsam toota ning paigaldada. Samuti on sirge trepp soodsam. Kui trepiava pikkus ei võimalda tagada sirge trepi puhul nõuete piiridesse mahtuva trepiastme kõrguse määramist, siis tuleb valida L-kujuline trepp.



Joonis 3. Sirge trepp ja L-trepp

2.2.2 Optimaalse astme kõrguse leidmine

Soovitavalt peaks astme kõrgus jääma vahemikku 160 mm kuni 190 mm. Optimaalse astme kõrguse leidmiseks on vajalik teada korruste vahelist kõrgusmõõtu (Joonis 2). Alustuseks on tarvilik leida astmete arv minimaalse astme kõrguse ehk 160 mm juures ja maksimaalse astme kõrguse ehk 190 mm juures.

Näide: korruse kõrgusmõõduks saadi objektis mõõdistades 2900 mm ning on teada astmete kõrguste piirväärtused.

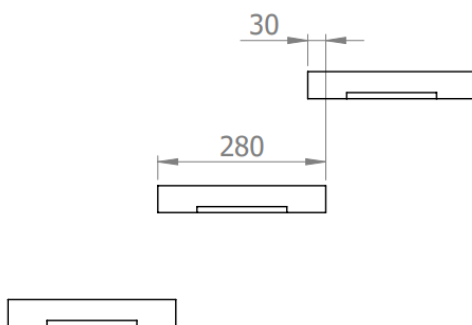
Alustatakse miinimum astmekõrguse juures astmete arvu leidmisega. Selleks tuleb jagada korruse kõrgusmõõt miinimum astmekõrgusega ehk $2900 / 160$. Tulemus on 18.125 – ümardatakse üles ning saadakse astmete arvuks 19 astet. Edasi tuleb kontrollida, kas 19 astme juures jääb astme

kõrgus lubatud vahemikku. Selleks jagatakse korruse kõrgusmõõt astmete arvuga. Tulemuseks on 152.63 mm. Kuna saadud tulemus ei jää lubatud vahemikku, siis miinimum astme kõrgus ei sobi.

Järgnevalt tuleb eelmises lõigus kirjeldatud arvutused korrata maksimaalse astme kõrguse juures ehk 190 mm. Tulemuseks saadakse 16 astet. Astme kõrguseks 181.25 mm. Kuna 181.25 mm on maksimaalsele astme kõrgusele võrdlemisi lähedal, siis on võimalik järeldada, et antud näite puhul on trepi astmete optimaalne kõrgus 181.25 mm.

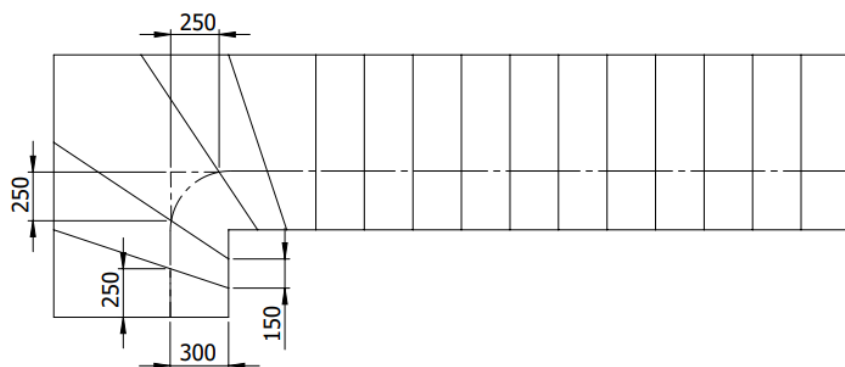
2.2.3 Astme sügavuse määramine

Trepi astme miinimum lubatud sügavus on 250 mm. Kuigi hea tava näeb ette, et astme sügavus võiks olla 280 mm, millest 30 mm „jookseb“ järgmise astme alla ehk tekib ülekate (Joonis 4). Kui selgub, et ei ole võimalik tagada astme sügavuseks 280 mm, siis selliste olukordade puhul kehtib astme sügavuse arvutamiseks valem: trepi pikkus jagatud astmete arvuga. Sõltuvalt arvutuse tulemusest võib olla soovituslik vahetada sirge trepp L-kujulise trepi või isegi U-kujulise trepi vastu.



Joonis 4. Astme sügavus ja ülekate

L-trepi puhul kehtivad üldiselt samad reeglid nagu sirge trepi puhul, kuid lisanduvad ohutuse ja kasutusmugavuse tagamiseks paar olulist täiendust. Pöördastmetega trepi puhul tõmmatakse trepi siseküljest mõtteline joon asetusega 300 mm siseküljest trepi keskosa suunas. Antud joonel peab pöördastmete kohal sügavus olema samuti 250 mm. Pöördastmete kitsam osa trepi siseküljes peab olema vähemalt 150 mm (Joonis 5).

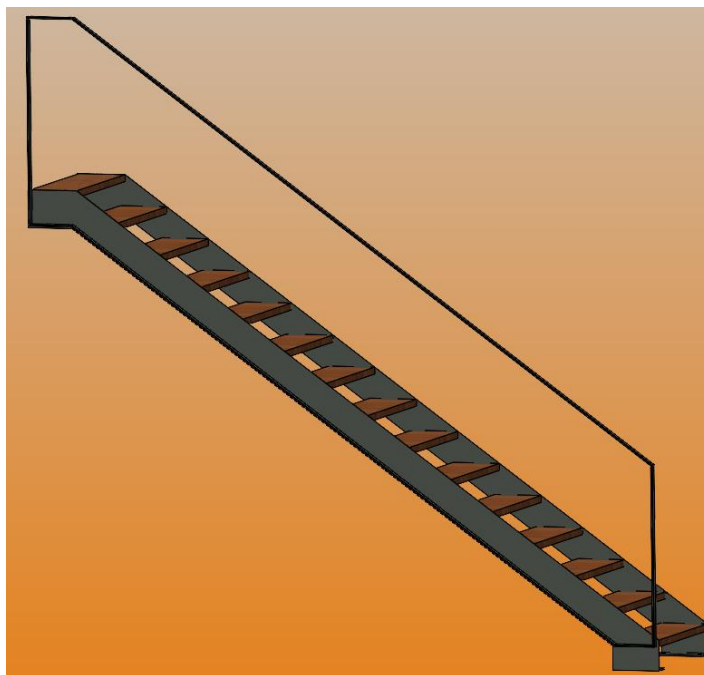


Joonis 5. Pöördastmetega L-trepi skeem

2.2.4 Piirdetüübi ja mõõtmete määramine

Käesolevas lõputöös kasutatakse trepipiirdena terasest piiret (Joonis 6). Piire jäetakse seest tühjaks. Kui klient soovib on võimalik piire täita näiteks varbidega, trossidega või teraslehega, millele on laserlõikuses soovitud disain lõigatud.

Materjalidest on kasutusel nelikanttoru. Piirde kõrguseks astme ninast on valitud vastavalt Eesti Ehitusteabe Fondi poolt välja antavale RT – juhendkaardile „RT 103344-et – piirded ja käsipuud“ 1000 mm. Nimetatud kõrgusega piire täidab kahte eesmärki korraga – kaitseb kukkumise eest ning lisaks on võimalik piirde ülemist vööd kasutada käsipuuna.



Joonis 6. Trepipiire

3 TUGEVUSARVUTUSED

3.1 Astmete analüüs

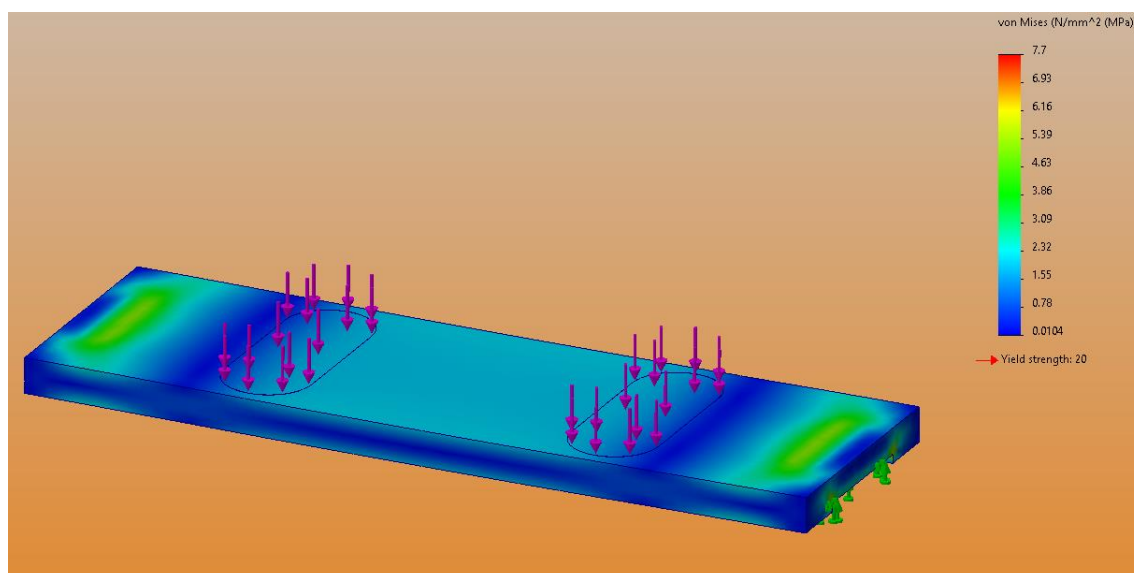
Trepi projekteerimisel on mõistlik alustada astmete valikust, seega esimese asjana teostatakse tugevusarvutused trepiastmele.

Astmete FEM tugevusanalüüsiks kasutatakse SolidWorks tarkvara.

Trepiastme materjaliks on valitud 40 mm paksune tamme liimpuitkilp. Antud materjal on treppide ehitamisel laialdaselt kasutusel ja poodides saadaval standardtootena.

Realistlikuma tulemuse saamiseks rakendatakse trepiastmel jõudu kahele ovaalsele tsoonile, mille eesmärk on simuleerida inimese seismist astmel. Kummagi tsooni suurus vastab jalanumbrile 40. Tsoonide keskkohad asuvad üksteisest 400 mm kaugusel, mis jäljendab seismist, kus inimese jalad on asetatud umbes õlgade laiuselt. Arvestatud on, et inimene kaalub 150 kg ning varuteguriks on valitud 3 ehk rakendatav jõud kokku on 450 kg või 4415 N. Rakendatav jõud on võrdselt jagatud kahe tsooni vahel ehk mõlemale tsoonile 2207.5 N. Trepiaste on fikseeritud kahe astmekandurile.

Tulemuseks saadakse, et maksimaalne tekkiv pinge on 7.7 N/mm² (Joonis 7), mis on kolmekordse varuteguri juures jätkuvalt ligi 2.6 korda väiksem, kui trepiaste vastu peaks.



Joonis 7. 40mm puidust trepiastme FEM tugevusanalüüs

Teine trepiastme arvutus viiakse läbi vastavalt standardile EVS-EN ISO 14122-3:2016, kus on sätestatud, et trepiaste peab taluma koormust 1,5 kN, mis on rakendatud 100 mm x 100 mm suurusele alale, mille üks piir on astmenina trepi keskosas [5].

Teostatakse tugevusanalüüs ja saadakse tulemuseks, et maksimaalne tekkiv pinge on 4.33 N/mm².

Kontrolliks teostatakse tugevusarvutused ka käsitsi.

Trepiastme käsitsi tehtavate tugevusarvutuste aluseks võetakse mõlemast otsast toetatud, ühtlase koormusjaotusega tala (Joonis 8).

Esmalt leitakse rakendatud koormuse korral astmele mõjuv paindemoment B_M (kN * m) valemiga (1) [6, p. 47]:

$$B_M = \frac{F \cdot L^2}{8}, \quad (1)$$

kus B_M – paindemoment, kN * m

F – astmele rakendatav jõud, kN/m

L – astme pikkus, m

Paindemoment vastavalt valemile (1) on:

$$B_M = \frac{4,5 \cdot 0,9^2}{8} = 0,456 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Arvutuse kohaselt on astmele rakenduv paindemoment 0,456 kN*m.

Järgnevalt leitakse astme telgvastupanumoment W_x valemiga (2) [6, p. 49]:

$$w_x = \frac{w \cdot h^2}{6}, \quad (2)$$

kus W_x – telgvastupanumoment

w – astme ristlõike pikema külje pikkus, mm

h – astme ristlõike lühema külje pikkus, mm

Telgvastupanumoment vastavalt valemile (2) on:

$$w_x = \frac{280 \cdot 40^2}{6} = 74666,67 \text{ mm}^3$$

Arvutuse kohaselt on trepiastmele rakenduv telgvastupanumoment 74666,67 mm³.

Järgnevalt leitakse trepiastme momenditaluvus M_c (kN*m) valemiga (3) [6, p. 49]:

$$M_c = f \cdot w_x, \quad (3)$$

kus M_c – momenditaluvus, kN*m

f – maksimaalne lubatud pinge, MPa

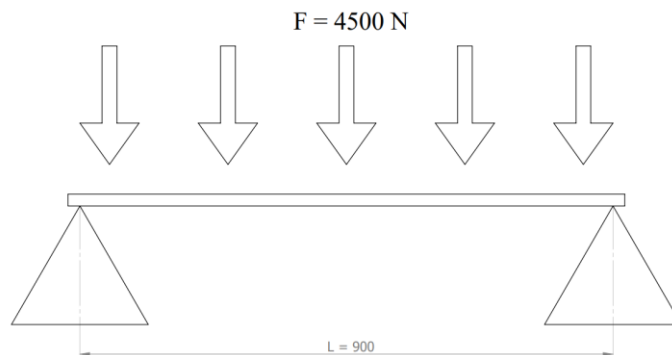
w_x – telgvastupanumoment

Momenditaluvus vastavalt valemile (3) on:

$$M_c = 20 \cdot 74666,67 = 1493333,4 \text{ mN*m} = 1,49 \text{ kN*m}$$

Arvutuse kohaselt on trepiastme momenditaluvus 1,49 kN*m.

Viimasena võrreldakse astmele rakenduvat paindemomenti ja trepiastme momenditaluvust, kui momenditaluvus on suurem, kui rakenduv paindemoment, siis võib pidada trepiastet inimestele kasutamiseks ohutuks. Esimeses arvutuses leiti, et paindemoment on 0,456 kN m ning viimases arvutuses leiti, et momenditaluvus on 1,49 kN*m. Kuna momenditaluvus on paindemomendist üle 3 korra suurem, siis järeldatakse, et trepiaste on kasutamiseks ohutu.



Joonis 8. Mõlemast otsast toetatud, ühtlase koormusjaotusega tala

Tugevusanalüüsides järeldatakse, et trepiaste vastab nõutud tingimustele ja on ohutu kasutamiseks.

3.2 Astmekanduri analüüs

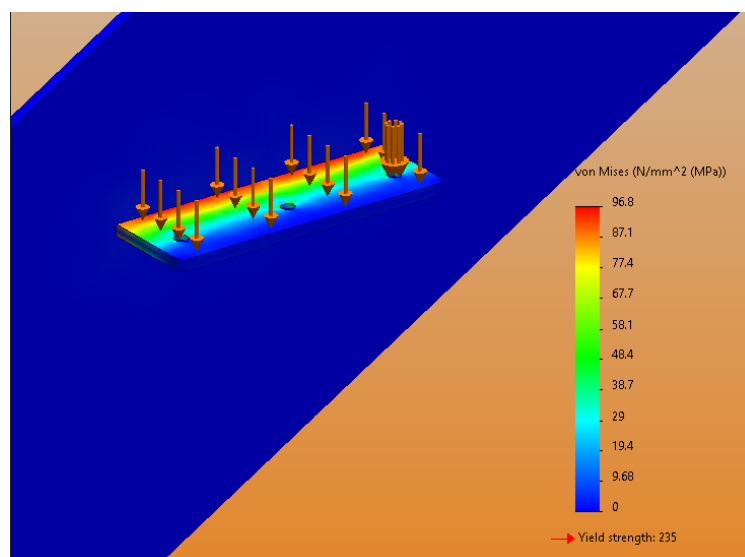
Teostatakse tugevusanalüüs kandurile, millele puidust aste kinnitub. FEM analüüsi teostamiseks kasutatakse SolidWorks tarkvara.

Kanduri gabariitmõõtmeteks on valitud 150 mm x 50 mm. Enam kitsamaks ei ole mõistlik kanduri laiusega minna, sest siis muutub paigaldusel puidust astmete fikseerimine kruvidega liiga

keerukaks. Materjaliks on valitud S235 teras ning kandurile rakendatavaks jõuks 4500 N. Astmekandur on ühtlaselt koormatud (Joonis 9). Varasematele kogemustele tuginedes hakatakse arvutusi teostama alates materjali paksusest 8 mm ja liigutakse ühtlaste sammudega edasi kuni leitakse kõige optimaalsem variant. FEM analüüsi tulemused kantakse tabelisse (Tabel 1).

Tabel 1. Astmekanduri FEM analüüsi tulemused

Materjali paksus (mm)	Maksimaalne ping (N/mm ²)
8	53,2
6	96,8
5	141,0
4	222,0



Joonis 9. 6 mm astmekanduri FEM analüüs.

Kontrolliks teostatakse tugevusarvutused ka käsitsi.

Astmekanduri käsitsi tehtavate tugevusarvutuste aluseks võetakse ühest otsast kinnitatud, ühtlase koormusjaotusega tala (Joonis 10). Materjali paksuseks valitakse FEM analüüsi põhjal 5 mm teras.

Esmalt leitakse rakendatud koormuse korral astmekandurile mõjuv paindemoment M (N*m) valemiga (4) [6, p. 49]:

$$M = \frac{F \cdot L}{2}, \quad (4)$$

kus M – paindemoment, N * m

F – astmekandurile rakendatav jõud, N

L – astmekanduri pikkus, m

Paindemoment vastavalt valemile (4) on:

$$M = \frac{4500 \cdot 0,05}{2} = 112,5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Arvutuse kohaselt on astmekandurile rakenduv paindemoment 112,5 N * m.

Järgnevalt leitakse astmekanduri telgvastupanumoment W_x (m³) valemiga (5) [6, p. 49]:

$$w_x = \frac{w \cdot h^2}{6}, \quad (5)$$

kus w – astmekanduri ristlõike pikema külje pikkus, m

h – astmekanduri ristlõike lühema külje pikkus, m

W_x – telgvastupanumoment, m³

Telgvastupanumoment vastavalt valemile (5) on:

$$W_x = \frac{0,15 \cdot 0,005^2}{6} = 6,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$$

Arvutuse kohaselt on astmekandurile rakenduv telgvastupanumoment $6,25 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3$.

Viimasena leitakse maksimaalne paindepinge σ (N/mm²) valemiga (6) [6, p. 49]:

$$\sigma = \frac{M}{w_x}, \quad (6)$$

kus σ – paindepinge, Pa

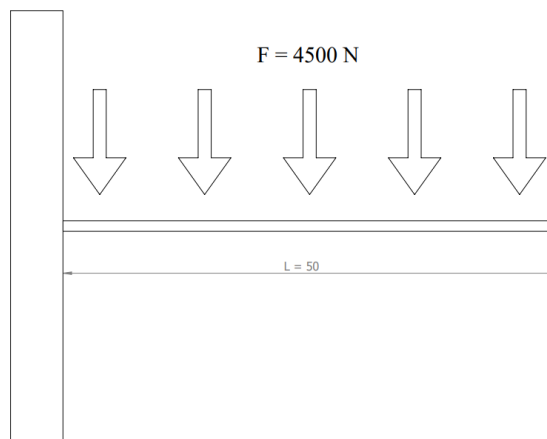
M – paindemoment, N * m

W_x – telgvastupanumoment, m³

Paindepinge vastavalt valemile (6) on:

$$\sigma = \frac{112,5}{6,25 \cdot 10^{-7}} = 180000000 \text{ Pa} = 180 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Tugevusanalüüsist järeldatakse, et optimaalseim valik astmekanduri paksusele on 5 mm, kuna 4 mm paksusega astmekanduri maksimaalne pinge on väga lähedal S235 terase voolepiirile ning arvestada tuleb, et tegu on inimesi kandva konstruktsiooniga, siis ohutuse tagamiseks valitakse astmekanduri materjaliks 5 mm S235 teras.



Joonis 10. Ühest otsast kinnitatud, ühtlase koormusjaotusega tala

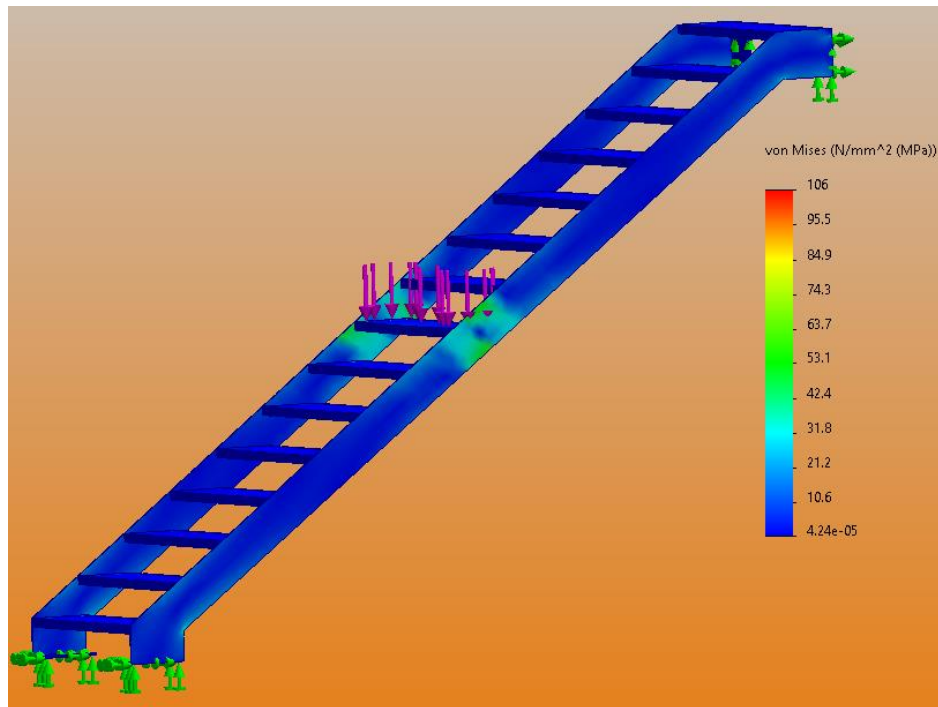
3.3 Trepi külje analüüs

Trepi külje FEM analüüsis jäljendatakse võimalikult täpselt päriselu situatsiooni. Trepi külg on kinnitatud alt põrandasse ja ülevalt seina ning astmele rakendatakse jõud 4500 N (150 kg inimene, koos kolmekordse varuteguriga) (Joonis 11).

Teostatakse FEM analüüs erinevate materjali paksustega vahemikus 8 mm kuni 4 mm ning tulemused kantakse tabelisse (Tabel 2).

Tabel 2. Trepi külje FEM analüüsi tulemused

Materjali paksus (mm)	Maksimaalne pinge (N/mm ²)
8	75.9
6	106
5	129
4	158



Joonis 11. Trepi külje FEM analüüs.

FEM analüüsi tulemuseks saadakse, et pinge ei ületa 8 mm kuni 4 mm juures S235 terase voolepiiri. Autori isiklikule kogemusele ja FEM analüüsile tuginedes valitakse materjali paksuseks 6 mm. Alla 6 mm materjali paksuse puhul võib trepp muutuda ebastabiilseks.

4 TREPI PROJEKTEERIMINE

Trepi projekteerimiseks kasutatakse SolidWorks tarkvara ning jälgitakse esimeses peatükis kirja pandud nõudeid treppide projekteerimisele. Käesoleva lõputöö raames projekteeritakse kahte tüüpi treppe: sirge trepp ja L-kujuline trepp.

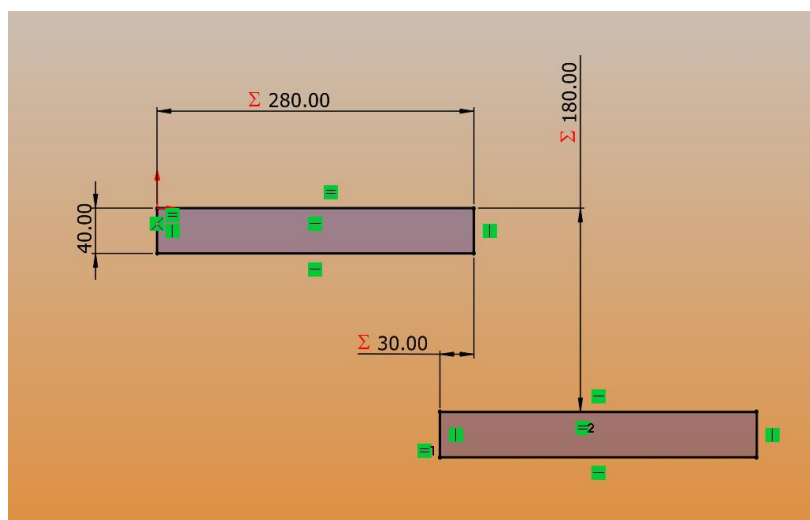
4.1 Astmete projekteerimine

4.1.1 Sirge trepi astmete projekteerimine

Trepi projekteerimine algab astmete projekteerimisega (Joonis 12). Astmete projekteerimine on mõistlik kõige esimese sammuna teha, kuna läbi astmete on võimalik määrata kogu trepi gabariit. Projekteerimisel peetakse silmas ka hilisemat automatiseerimise lahendust. Globaalsete muutujatena määratakse ära astme sügavus, astme kõrgus ning astmete omavaheline ülekate. Muutujad kantakse muutujate tabelisse (Tabel 3).

Astmekanduri tarbeks projekteeritakse astme alla süvis mõõtmetega 155 mm x 55 mm. Sügavuseks määratakse 6.5 mm (5 mm astmekanduri materjali paksus ning 1.5 mm paksusega tammespoonist liimitav kate). Süvise välimisele servale tehakse 10 mm faas nurgaga 45 kraadi, selleks et astmekanduri ja trepikülje omavaheline keevitus astmete paigaldust segama ei jääks.

Pythagorase teoreemi abil leitakse kahe järjestikuse trepiastme ninade vaheline diagonaalmõõt, mis on oluline projekteerimise automatiseerimise teostamiseks. Tulemus kantakse muutujate tabelisse (Tabel 3) nimega: „Constr_Line_For_Pattern“.

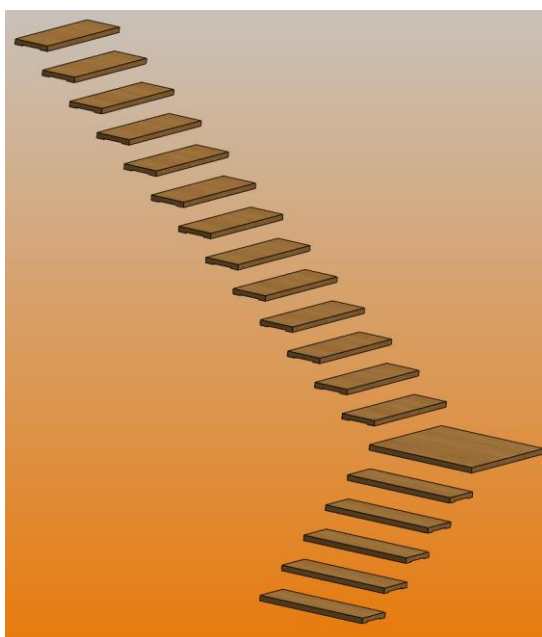


Joonis 12. Astmete projekteerimine

4.1.2 L – trepi astmete projekteerimine

L – trepi astmete projekteerimise protsess ning loogika on võrdlemisi sarnane sirge trepi astmete projekteerimisega. L – treppi võib käsitleda, kui kahte eraldiseisvat sirget treppi, mille vahel paikneb neid ühendav platvorm (Joonis 13). Platvormi külgede laius on võrdne trepi astmete laiusga. Võrreldes sirge trepiga lisandub muutujate tabelisse „Astmete_Arv_2“ ja „L-diagonaal“ (Tabel 4), mis määratlevad ära astmete arvu peale pöörangut ning astmeninade vahelise diagonaalmõõdu.

Valmis projekteeritud L -trepi visuaal on leitav käesoleva töö lisas (Lisa 8).

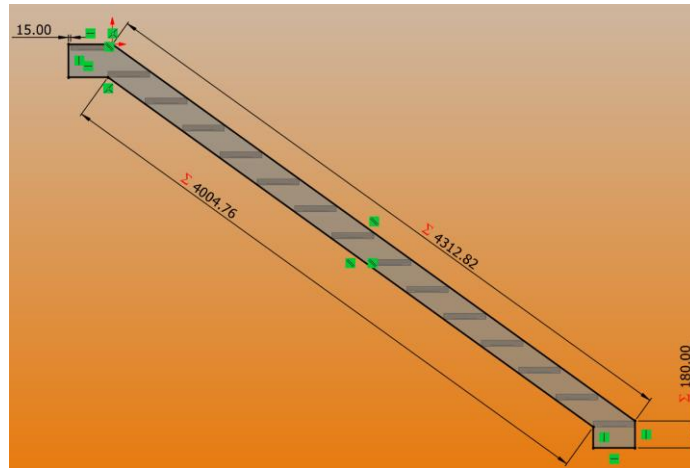


Joonis 13. L-trepp platvormiga

4.2 Trepi külgede projekteerimine

4.2.1 Sirge trepi külgede projekteerimine

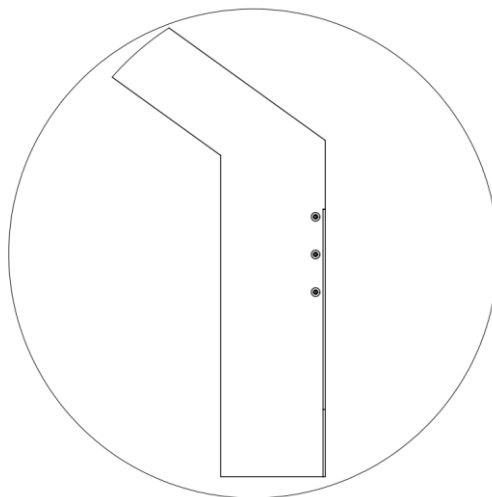
Trepi küljed projekteeritakse lähtuvalt astmetest. Vastavalt tugevusanalüüside tulemusele valitakse materjaliks 6 mm S235 teras. Trepi külje mõõtmed defineeritakse muutujate tabelis (Tabel 3) ning neid kasutatakse hilisemalt automatiseerimiseks. Tabelisse lisanduvad muutujad: "Kulje_pikkus" ja "Kulje_Pikkus_Alumine". Kõige ülemise astme juures jäetakse 15 mm ruumi kinnituslapile (Joonis 14). Tegu on trepi külje juures ainsa mõõtmega, mis on fikseeritud ning seda muutujate tabelisse ei lisata.



Joonis 14. Trepi külje projekteerimine

4.2.2 L – trepi külgede projekteerimine

L – trepi puhul lähtutakse projekteerimisel samadest põhimõtetest nagu sirgegi trepi puhul. Peetakse silmas hilisemat automatiseerimist. Võrreldes sirge trepiga lisanduvad L – trepi külgedele avad (Joonis 15), mille abil ühendatakse trepi külgede pöörangu kohad. Avade suuruseks määratakse 12 mm, lisaks tehakse avadele süvised läbimõõduga 23 mm ja faasid nurgaga 90 kraadi. Versengiga avasid tehakse eesmärgiga, et oleks võimalik kasutada peitpea polte, mis tagavad ilusama visuaali.



Joonis 15. Avad trepi külgede omavaheliseks ühendamiseks

4.3 Puidust astmetele kandurite projekteerimine

Vastavalt tugevusanalüüsile valitakse astmekandurite materjaliks 5 mm paksusega S235 teras ning kanduri mõõtmeteks määratakse 50 mm x 150 mm. Detaili projekteeritakse kolm ava läbimõõduga 7 mm. Ühtlasi tehakse avadele ka süvised läbimõõduga 12 mm ja faasid nurgaga 90 kraadi, et oleks võimalik kasutada peitpea puidukruvisid, puidust trepiastmete fikseerimiseks astmekanduritele.

4.4 Kinnitusdetailide projekteerimine

Trepi kinnitamiseks vahelakke projekteeritakse kinnituslapp. Materjaliks valitakse 10 mm paksusega S235 teras. Kinnituslapi mõõtmeteks 150 mm x 180 mm. Samuti tehakse kinnituslappi ka avad läbimõõduga 12 mm ning lisatakse süvised ja faasid.

Trepi fikseerimiseks põrandasse projekteeritakse kinnituslapp, mis näeb välja sarnane nagu astmekandur. Kinnituslapi joonis on leitav käesoleva töö lisas (Lisa 5) Materjaliks valitakse S235 teras paksusega 10mm. Kinnituslapi mõõtmeteks saab 100 mm x 280 mm. Nagu ka teistel kinnitusdetailidel, projekteeritakse ka nimetatud kinnituslappi versengidega avad.

L – trepi külgede omavaheliseks ühenduseks projekteeritakse detail, milles on keermestatud avad. Ühendusdetaili joonis on leitav käesoleva töö lisas (Lisa 6). Keermestatud avad on suurusega M10. Detaili materjaliks valitakse S235 paksusega 10 mm.

4.5 Trepipiirde projekteerimine

Trepipiirdele projekteeritakse ainult raam. Trepipiire toimib ühtlasi ka käsipuuna. Vastavalt kliendi soovile saab piirde täita näiteks varbidega, trossidega või teraslehega, millele on laserlõikuses soovitud disain lõigatud.

Trepipiire koostatakse ühes osas ning vajadusel lõigatakse tootmise käigus keskelt pooleks. Ühele poole paigaldatakse hülsid. Paigaldamise käigus needitakse kaks piirdemoodulit omavahel kokku.

5 PROJEKTEERIMISE AUTOMATISEERIMISE TARKVARALAHENDUS

5.1 Muutujate määramine ja valemite koostamine

Eelmises peatükis, trepi projekteerimise käigus, määrati mõõtudele globaalsed muutujad ning kanti need kahte tabelisse, milleks on muutujate tabel sirgele trepile (Tabel 3) ja muutujate tabel L-trepile (Tabel 4). Muutujad jagatakse kahte rühma. Esimene on, kus muutujale määrab väärtuse kasutaja. Muutujaid on võimalik kasutajal määrata järgmises alapeatükis kirjeldatava kasutajaliidese abil. Teise rühma kuuluvad muutujad, mis on defineeritud valemitega ehk nad võtavad arvesse kasutaja sisestatud väärtuseid ning vastavalt projekteerimise käigus loodud seostele ja valemitele genereeritakse kõik ülejäänud trepi mõõtmed.

Tabel 3. Muutujate tabel sirgele trepile

Muutuja / valem	Väärtus / valem
Astme_Sugavus	Kasutaja määrab väärtuse
Trepi_Laius	Kasutaja määrab väärtuse
Trepi_Laius_Valem	$Trepi_Laius - 12$
Astme_Korgus	Kasutaja määrab väärtuse
Ulekate	Kasutaja määrab väärtuse
Constr_Line_For_Pattern	$\sqrt{Astme_Korgus^2 + (Astme_Sugavus - Ulekate)^2}$
Astmete_Arv	Kasutaja määrab väärtuse
Astmete_variable	$Astmete_Arv - 1$
Kulje_pikkus	$Astmete_variable * Constr_Line_For_Pattern$
Kulje_Pikkus_Alumine	$Kulje_pikkus - Constr_Line_For_Pattern$

Tabel 4. Muutujate tabel L - trepile

Muutuja / valem	Väärtus / valem
Astme_Sugavus	Kasutaja määrab väärtuse
Astme_Korgus	Kasutaja määrab väärtuse
Ulekate	Kasutaja määrab väärtuse
Constr_Line_For_Pattern	$\sqrt{Astme_Korgus^2 + (Astme_Sugavus - Ulekate)^2}$

Muutuja / valem	Väärtus / valem
Astmete_Arv_Sirge	Astmete_Arv_1 - 1
Trepiava_Pikkus	Kasutaja määrab väärtuse
Platvormi_diagonaal	Constr_Line_For_Pattern * Astmete_Arv_Sirge
Astmete_Arv	Kasutaja määrab väärtuse
Astmete_Arv_2	Kasutaja määrab väärtuse
Platvormi_diag_alumine	Platvormi_diagonaal – Constr_Line_For_Pattern
L_diagonaal	Constr_Line_For_Pattern * Astmete_Arv_2
Trepi_Laius_Valem	Trepi_Laius - 12
Astmete_Arv_Sirge	int ((Trepiava_Pikkus - (21 + Astme_Sugavus) - Trepi_Laius_Valem) / (Astme_Sugavus - Ulekate))

5.2 Kasutajaliidese arendus

Kasutajaliidese arenduseks kasutatakse programmeerimiskeelt „Python“. Python on objektorienteeritud programmeerimiskeel, mida toetavad enamik Unix, macOS ning Windows operatsioonisüsteemid [7].

Kasutajaliidese disainiks kasutatakse tkinter liidest. Tkinteri näol on tegemist populaarse Pythoni liidesega, mille abil on võimalik luua programmidele graafiline kasutajaliides [7].

Kasutajaliidese töötamiseks Windows operatsioonisüsteemiga arvutis on tarvilik paigaldada seadmele Python tarkvarapakett.

5.2.1 Sirge trepi kasutajaliidese arendus

Programmi arendust alustatakse tkinter liidese importimisega. Sellele järgneb programmi esimene funktsioon nimega „find_divisors_in_range“ (Joonis 16). Nimetatud funktsioon sisaldab kolme argumenti: number, min_result ja max_result. Funktsiooni eesmärk on koostada list, mis sisaldab trepi astmete arvusid, mille juures astme kõrgus jääb vahemikku 160 – 190 mm. Antud programmilõik töötab koostöös funktsiooniga „show_divisor_popup“ (Joonis 18).


```

1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk
3
4 # Nõuetekohase astmetearvu leidmine
5 def find_divisors_in_range(number, min_result, max_result):
6     divisors = []
7     for divisor in range(int(number / max_result), int(number / min_result) + 1):
8         result = number / divisor
9         if min_result <= result <= max_result:
10             divisors.append(divisor)
11     return divisors

```

Joonis 16. Tkinter liides ja astmetearvu funktsioon

Järgnevalt luuakse funktsioon nimega „save_input“ (Joonis 17). Nimetatud funktsioon loeb kasutaja poolt antud sisendid, mis sisestatakse graafilisse kasutajaliidesesse. Kasutajaliidese visuaal on leitav käesoleva töö lisast (Lisa 3). Programmilõiku on lisatud muutuja nimega „vordleja“ („vordleja“ tähistab objektil mõõdetud trepiava pikkust, mille kasutaja sisestab graafilisse kasutajaliidesesse), mida kasutatakse kontrollimaks, kas kasutaja sisestatud mõõtmetega trepp mahub trepiavasse. Kui tulemuseks saadakse, et trepi kogupikkus on väiksem kui trepiava, siis salvestatakse kasutaja sisestatud väärtused „txt“ failiformaati. Kui aga selgub, et trepi kogupikkus on pikem kui trepiava, siis kuvatakse hüpikaken, mis soovitab kasutajal valida, kas L-trepp või sirge trepp, millel on vähem astmeid. Väiksem astmete arv muudab trepi kogupikkuse lühemaks, kuid samal ajal suureneb astme kõrgus.

```

13 # Vastuste salvestamine .txt faili
14 def save_input():
15     astme_sugavus = int(entry_astme_sugavus.get())
16     trepi_laius = int(entry_trepi_laius.get())
17     ulekate = int(entry_ulekate.get())
18     vordleja = int(entry_vordleja.get())
19
20     selected_divisor_str = selected_divisor.get()
21     preferred_integer_str, result_str = selected_divisor_str.split(maxsplit=1)
22     preferred_integer = int(preferred_integer_str)
23     result = (result_str.strip("("))
24
25     with open("equations.txt", "w") as file:
26         file.write(f"Astme_Sugavus" + {astme_sugavus}\n')
27         file.write(f"Trepi_Laius" + {trepi_laius}\n')
28         file.write(f"Ulekate" + {ulekate}\n')
29         file.write(f"Astmete_Arv" + {preferred_integer - 1}\n')
30         file.write(f"Astme_Korgus" + {result [13:]}\n')
31
32     if vordleja < (((astme_sugavus - ulekate) * (preferred_integer - 1) + ulekate + 15): # Hoiatus popup, kui trepiava pikkus < trepp
33         show_warning_popup()

```

Joonis 17. Salvestamise funktsioon

Juba eelnevalt mainitud funktsioon „show_divisor_popup“ kuvab hüpikakna, kus kasutajal on võimalik programmi poolt välja arvutatud astmete arvu vahel valida endale sobiv number. Programmilõigis antakse hüpikaknale ka kujundus. Astmete arvu valik kuvatakse rippmenüüs ning pärast kasutajal on võimalus enda valik kinnitada nupuga „salvesta“. Kujunduse osas antakse hüpikaknale suurus, taustavärviks määratakse tumehall (värvikood: #1e1e1e). Nupule „salvesta“ lisandub tumelilla raam (värvikood: #6a0dad). Nupu raamile määratakse omadused

põhifunktsioonis nimega „main“ (Joonis 20). Hüplikakna visuaal on välja toodud käesoleva töö lisas (Lisa 1).

```
35 # Astmete arvu määramise popup
36 def show_divisor_popup():
37     number = int(entry_number.get())
38
39     divisors = find_divisors_in_range(number, 160, 190)
40     results = [number / divisor for divisor in divisors]
41
42     global selected_divisor
43     selected_divisor = tk.StringVar()
44
45     divisor_result_pairs = [f'{divisor} (astme kõrgus: {result:.2f})' for divisor, result in zip(divisors, results)]
46     selected_divisor.set(divisor_result_pairs[0])
47
48     divisor_popup = tk.Toplevel(root)
49     divisor_popup.title("Astmete arv")
50     divisor_popup.geometry("200x150")
51     divisor_popup.configure(bg="#1E1E1E")
52
53     divisor_label = ttk.Label(divisor_popup, text="Vali astmete arv:", foreground="white", background="#1E1E1E")
54     divisor_label.pack(padx=10, pady=5)
55
56     divisor_menu = ttk.OptionMenu(divisor_popup, selected_divisor, *divisor_result_pairs)
57     divisor_menu.pack(padx=10, pady=5)
58
59     divisor_button = ttk.Button(divisor_popup, text="Salvesta", command=divisor_popup.destroy)
60     divisor_button.pack(padx=10, pady=5)
```

Joonis 18. Hüplikakna funktsioon astmete arvu valimiseks

Kui kasutaja on valinud trepitiüübi ja astmete arvu selliselt, et trepp ei mahuks trepiavasse, siis avaneb hoiatuse hüplikaken, mis annab järgneva teavituse: „Vali vähemate astmete arvuga sirge trepp, kui see ei ole võimalik, siis vali L-trepp“. Tingimuse täitmist kontrollitakse eelnevalt kirjeldatud funktsioonis „save_input“. Hüplikakna kuvamiseks kasutatakse funktsiooni nimega „show_warning_popup“ (Joonis 19). Hoiatuse hüplikakna visuaal on välja toodud käesoleva töö lisas (Lisa 2).

```
62 def show_warning_popup():
63     popup = tk.Toplevel()
64     popup.title("Hoiatus")
65     label = ttk.Label(popup, text="Vali vähemate astmete arvuga sirge trepp,\n kui see ei ole võimalik, siis vali L-trepp")
66     label.pack(padx=20, pady=20)
67
68     def close_popup():
69         popup.destroy()
70
71     button_exit = ttk.Button(popup, text="Sulge", command=close_popup)
72     button_exit.pack(padx=20, pady=20, anchor='se')
```

Joonis 19. Hoiatamise hüplikakna funktsioon

Funktsioon nimega „main“ loob peamise akna, kus paiknevad väljad, mida kasutajal on võimalik andmetega täita. Lisaks haldab ka antud funktsioon graafilise kasutajaliidese loomist ja käitamist. Kasutajaliidese visuaal on välja toodud käesoleva töö lisas (Lisa 3). Programmilõigis kirjeldatakse kasutajaliidese disain – akna suurus, taustavärvid, nupud, elementide paiknemine. Kasutajaliides luuakse tabelkujul, mis koosneb kahest veerust ja viiest reast. Nimetatud programmilõik on täies mahus nähtav käesoleva töö lisas (Lisa 4). Tabeli elementide ümber on jäetud kümne piksline vahe nii horisontaalselt (padx) kui ka vertikaalselt (pady).

```

74 def main():
75     global root, entry_astme_sugavus, entry_ulekate, entry_trepi_laius, entry_number, entry_vordleja
76
77     root = tk.Tk()
78     root.title("Sirge trepi projekteerija")
79     root.geometry("800x400")
80     root.configure(bg="#1E1E1E")
81
82     style = ttk.Style(root)
83     style.configure("TLabel", foreground="white", background="#1E1E1E")
84     style.configure("TButton", foreground="black", background="#808080", relief="flat", font="bold")
85     style.configure("TEntry", fieldbackground="#808080", foreground="black", insertbackground="white")
86     style.map("TButton", background=[("active", "#6A0DAD")])
87
88     label_astme_sugavus = ttk.Label(root, text="Sisesta astme sugavus:")
89     label_astme_sugavus.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=10)
90
91     entry_astme_sugavus = ttk.Entry(root)
92     entry_astme_sugavus.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=10)

```

Joonis 20. Põhifunktsioon

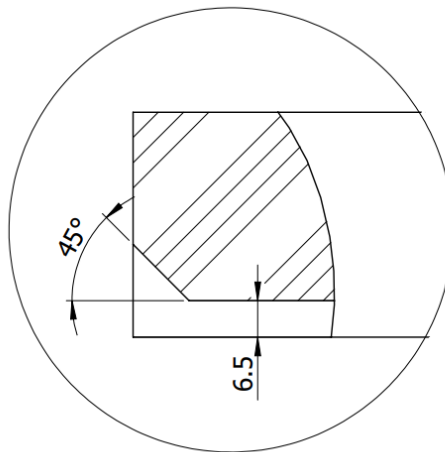
5.2.2 L – trepi kasutajaliidese arendus

L – trepi kasutajaliidese arenduseks kasutatakse sirge trepi kasutajaliidesega sama koodi. Lisandub ainult üks rida koodi funktsiooni „save_input“ (Joonis 17). Funktsiooni lisatakse järgnev koodirida: „file.write(f\"Trepiava_Pikkus\" = {vordleja}\n')“. Antud kood võtab kasutaja sisestatud trepiava pikkuse, ning salvestab sarnaselt teiste muutujatega selle txt failiformaati. Kui sirge trepi puhul kasutati trepiava pikkust kontrollimaks, kas trepp mahub planeeritavasse kohta, siis L – trepi puhul kasutatakse nimetatud mõõtu, et välja arvutada astmete arv enne ja pärast pöörangut. Kogu lisandunud automatiseerimise protsess tehakse ära CAD tarkavaras kasutades selleks valemeid, mis on nähtavad muutujate tabelis (Tabel 4).

6 TOOTMISTEHNOLOOGIA MÄÄRAMINE

6.1 Puidust astmete tootmine

Puidust astmete tootmiseks tuleb toormaterjal lõigata vastavalt trepilaiusele mõõtu. Järgnevalt kasutades CNC – freespinkki töödeldakse puitu süvised sügavusega 11 mm. Faasifreesi kasutades töödeldakse süvise välimisse serva faas mõõtmetega 10 mm * 45 kraadi (Joonis 21).



Joonis 21. Puidust astme süvis ja faas

6.2 Terasest detailide tootmine

6.2.1 Astmekandurite tootmine

Astmekandurid lõigatakse välja 5 mm paksusest teraslehest, kasutades selleks laserlõikust. Laserlõikuse tarbeks tehakse kanduritest DXF failiformaadis joonised, mis edastatakse laserlõikusega tegelevale ettevõttele. Süvised läbimõõduga 12 mm ning faasid nurgaga 90 kraadi töödeldakse detaili kasutades puurpinkki ja HSS versengipuuri.

6.2.2 Trepikülgede tootmine

Sarnaselt astmekanduritele lõigatakse ka trepi küljed välja laserlõikuses. Materjaliks on 6 mm paksune terasleht. Lisaks graveeritakse trepi küljele ka astmekandurite asukohad. Selleks lisatakse DXF lõikusfailile kandurite väliskontuuri jälgivad jooned eraldi kihil, mille nimeks on määratud „graveering“.

6.2.3 Kinnitusdetailide tootmine

Kinnitusdetailide tootmiseks kasutatakse samu meetodeid nagu astmekandurite tootmisel. L – trepi puhul lisanduvad detailid, mille avad tuleb keermestada (Lisa 6). Keermestamiseks kasutatakse puurpink ja keermepuuri.

6.3 Kandurite keevitamine trepi külgedele

Trepi külgede ja astmekandurite tootmiseks kasutatakse laserlõikust. Trepi külgedele graveeritakse astmekandurite asukohad, et tootmisprotsessi kiirendada. Enne keevitamist fikseeritakse kandurid enda positsioonidele magnetnurgikutega. Trepi külje koostamisjoonis on leitav käesoleva töö lisast (Lisa 7).

7 MAJANDUSLIK OSA

Majanduslikus osas leitakse, kui palju tarkvaralahenduse maksumus ning milline on projekti eeldatav tasuvusaeg. Kuludena võetakse arvesse nõuete analüüsile, projekteerimisele, tugevusanalüüsile ning tarkvaraarendusele kulunud aeg ning maksumus (Tabel 5). Kuludesse ei arvestata dokumentatsiooni ja lõputöö kirjalikule osale kulunud aega.

Nõuete analüüsi alla kuulub asjakohaste ISO standarditega tutvumine ning Eesti Ehitusteabe Fondi juhendkaartidest projekteerimiseks oluliste andmete kogumine.

Projekteerimise osa koosneb nii projekteerimisest, kui ka CAD tarkvarasse tehtavast automatiseerimise lahendusest ja valemite koostamisest.

Tugevusanalüüsile hulka arvatakse käsitsi tehtavad tugevusarvutused ja CAD mudelite FEM analüüs SolidWorks tarkvaras.

Tarkvaraarendus sisaldab endas programmeerimist „Python“ programmeerimiskeeles, algoritmide loomist ja kasutajaliidese disainimist.

Tabel 5. Kulude tabel

	Kulunud aeg, h	Tunnihind, eurot	Maksumus kokku, eurot
Nõuete analüüs	8	30	240
Projekteerimine	42	30	1260
Tugevusanalüüs	46	30	1380
Tarkvaraarendus	65	40	2600

Kogukulud kokku liites saadakse, et treppide automatiseerimise tarkvaralahendus läks maksma 5480 eurot.

Kui eelnevalt kulus trepi projekteerimiseks üks tööpäev ehk 8 tundi, siis peale tarkvaralahenduse loomist kulub sama tegevuse peale ainult 1 tund. Arvestades projekteerimise tunnihinnaks 30 eurot langeb toote omahind, tänu automatiseerimisele, 210 eurot.

Nimetatud summasid arvesse võttes leitakse, et tarkvaralahenduse peale tehtud investeering teenib ennast tasa peale 26 trepi projekteermist.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli luua automatiseerimise tarkvaralahendus terasest treppide ja piirete projekteerimiseks ning selgitada välja, kas ja kui palju aega ja raha on võimalik säästa projekteerimisprotsesse automatiseerides.

Lõputöö käigus töötati välja tarkvaralahendus, mis automatiseerib sirgete ja L – kujuliste terasest treppide projekteerimise protsessi. Materjalide valikul lähtuti teostatud tugevusanalüüsides. Töö teostamisel võeti arvesse ISO standardites kirjeldatud nõudeid, samuti kasutati Eesti Ehitusteabe Fondi juhendkaarte.

Lõputöö tulemusena valmis tarkvaralahendus koos graafilise kasutajaliidesega, mis automatiseeris treppide projekteerimise protsessi. Selgitati välja, et ajaline võit ühe trepi projekteerimiseks on 7 tundi, mis ühtlasi toob ettevõttele ka rahalise võidu. Eelnevat arvesse võttes järeldatakse, et töö tulemus vastab püstitatud eesmärkidele.

SUMMARY

The aim of the thesis was to develop an automation software solution for the design of steel stairs and railings and to determine whether and how much time and money can be saved by automating the design processes.

During the thesis, a software solution was developed that automates the design process for straight and L-shaped steel stairs. The selection of materials was based on the performed strength analyses. The implementation of the work took into account the requirements described in ISO standards, as well as the guidelines of the Estonian Construction Information Fund.

As a result of the thesis, a software solution with a graphical user interface was completed, which automated the stair design process. It was determined that the time saved for designing one staircase is 7 hours, which also brings financial gain to the company. Taking the above into account, it is concluded that the results of the work meet the set objectives.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Eesti Ehitusteabe Fond, RT 103027-et, 2019.
- [2] Eesti Ehitusteabe Fond, RT 103344-et, 2021.
- [3] J. Rohusaar, R. Mägi, T. Masso, I. Talvik, V. Jaanisoo, V. Otsmaa, V. Voltri, K. Loorits, T. Peipman, O. Pukk, K. Õiger, E. Just, A. Just, V. Hartsuk, Ehituskonstruktori käsiraamat, 2014.
- [4] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, „EVS-EN 1090-2:2008“.
- [5] Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskus, „EVS-EN ISO 14122-3:2016“.
- [6] H. Herranen, K. Karjust, J. Kers, J. Krustok, P. Kulu, H. Käerdi, A. Laansoo, H. Lend, T. Otto, Mehaanikainseneri käsiraamat, Tallinn: TTÜ kirjastus, 2012.
- [7] Python Software Foundation, [Võrgumaterjal]. Available: <https://docs.python.org/>. [Kasutatud 25 04 2023].

LISAD

Lisa 1. Astmete arvu hüplikaken

Lisa 2. Hoiatuse hüplikaken

Lisa 3. Graafiline kasutajaliides

Lisa 4. Kasutajaliidese programmilõik

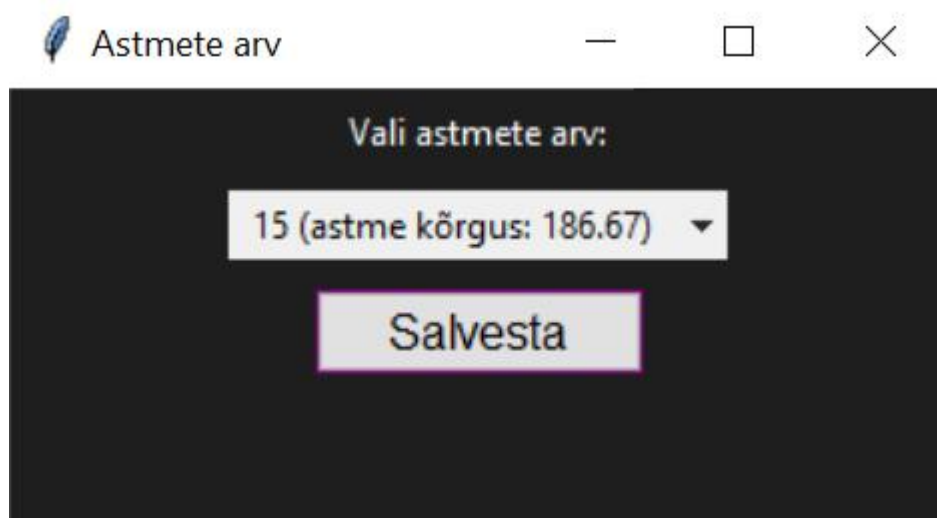
Lisa 5. Trepi talla joonis

Lisa 6. Trepi külgede ühendamise detail

Lisa 7. Trepi külje koostamise joonis

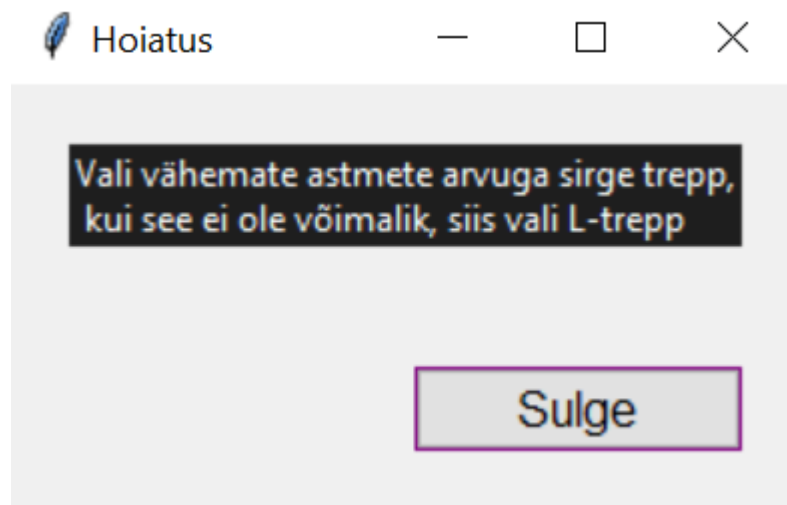
Lisa 8. L – trepp

Lisa 1. Astmete arvu hüplikaken

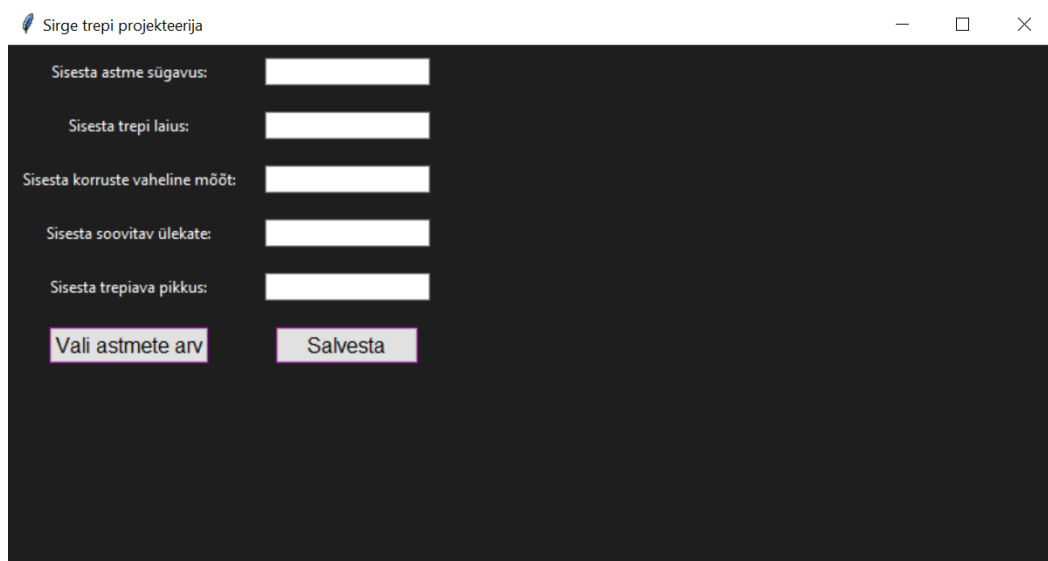


A screenshot of a software window titled "Astmete arv". The window has a dark background. At the top, there is a title bar with the text "Astmete arv" and standard window controls (minimize, maximize, close). Below the title bar, the text "Vali astmete arv:" is displayed. Underneath, there is a dropdown menu showing "15 (astme kõrgus: 186.67)". Below the dropdown menu, there is a button labeled "Salvesta".

Lisa 2. Hoiatuse hüppikaken



Lisa 3. Graafiline kasutajaliides



The screenshot shows a software window titled "Sirge trepi projekteerija" (Straight Staircase Designer). The window has a dark background and contains several input fields and buttons. The input fields are labeled in Estonian and are currently empty. The buttons are labeled "Vali astmete arv" (Select number of steps) and "Salvesta" (Save).

Sirge trepi projekteerija

Sisesta astme sügavus:

Sisesta trepi laius:

Sisesta korruste vaheline mõõt:

Sisesta soovitud ülekate:

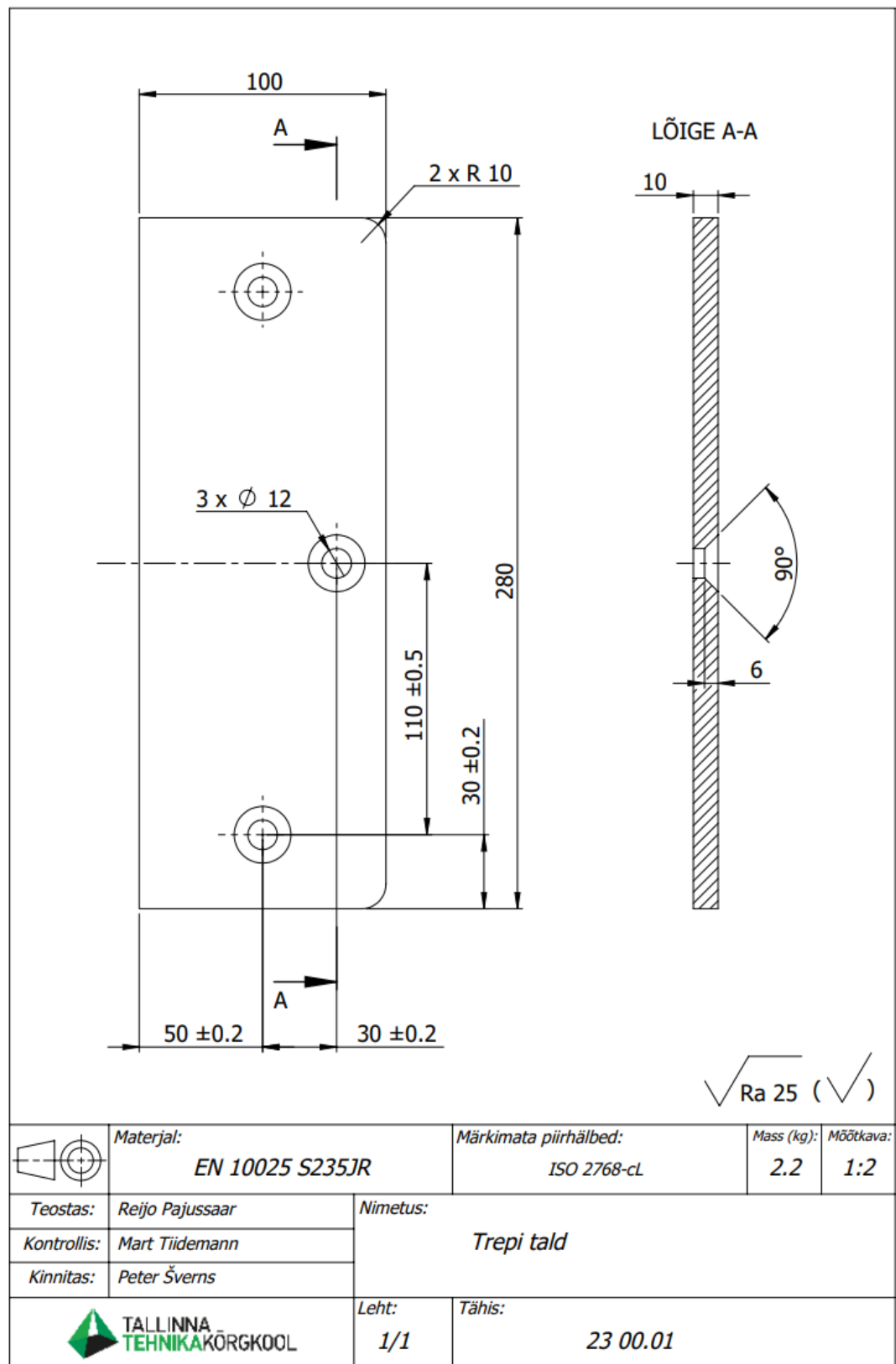
Sisesta trepiava pikkus:

Vali astmete arv

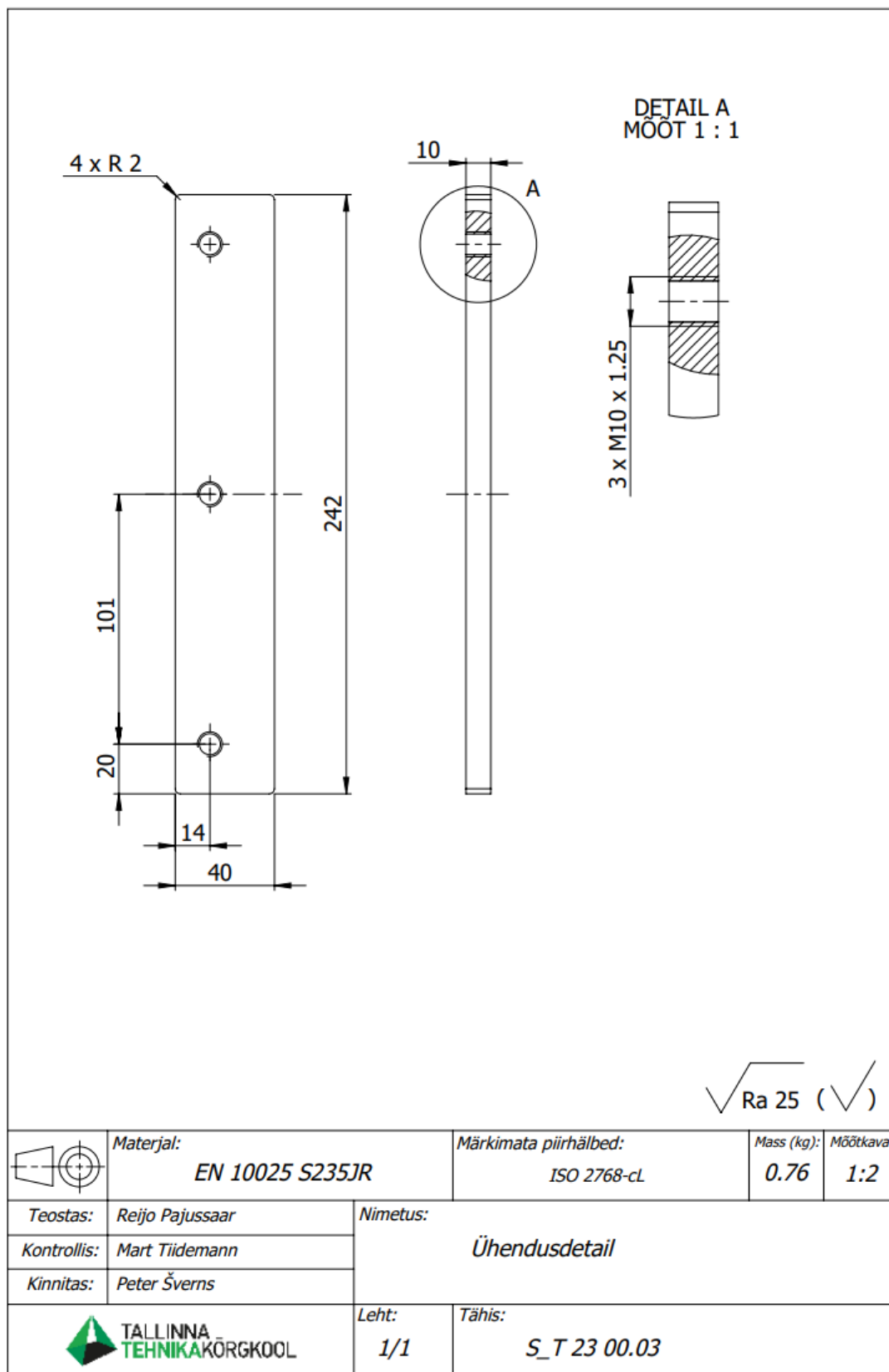
Lisa 4. Kasutajaliidese programmilõik

```
88     label_astme_sugavus = ttk.Label(root, text="Sisesta astme sügavus:")
89     label_astme_sugavus.grid(row=0, column=0, padx=10, pady=10)
90
91     entry_astme_sugavus = ttk.Entry(root)
92     entry_astme_sugavus.grid(row=0, column=1, padx=10, pady=10)
93
94     label_trepi_laius = ttk.Label(root, text="Sisesta trepi laius:")
95     label_trepi_laius.grid(row=1, column=0, padx=10, pady=10)
96
97     entry_trepi_laius = ttk.Entry(root)
98     entry_trepi_laius.grid(row=1, column=1, padx=10, pady=10)
99
100    label_number = ttk.Label(root, text="Sisesta korruste vaheline mõõt:")
101    label_number.grid(row=2, column=0, padx=10, pady=10)
102
103    entry_number = ttk.Entry(root)
104    entry_number.grid(row=2, column=1, padx=10, pady=10)
105
106    label_ulekate = ttk.Label(root, text="Sisesta soovitatav ülekate:")
107    label_ulekate.grid(row=3, column=0, padx=10, pady=10)
108
109    entry_ulekate = ttk.Entry(root)
110    entry_ulekate.grid(row=3, column=1, padx=10, pady=10)
111
112    label_vordleja = ttk.Label(root, text="Sisesta trepiava pikkus:")
113    label_vordleja.grid(row=4, column=0, padx=10, pady=10)
114
115    entry_vordleja = ttk.Entry(root)
116    entry_vordleja.grid(row=4, column=1, padx=10, pady=10)
117
118    button_show_divisor_popup = ttk.Button(root, text="Vali astmete arv", command=show_divisor_popup)
119    button_show_divisor_popup.grid(row=5, column=0, padx=10, pady=10)
120
121    button_save = ttk.Button(root, text="Salvesta", command=save_input)
122    button_save.grid(row=5, column=1, padx=10, pady=10)
```

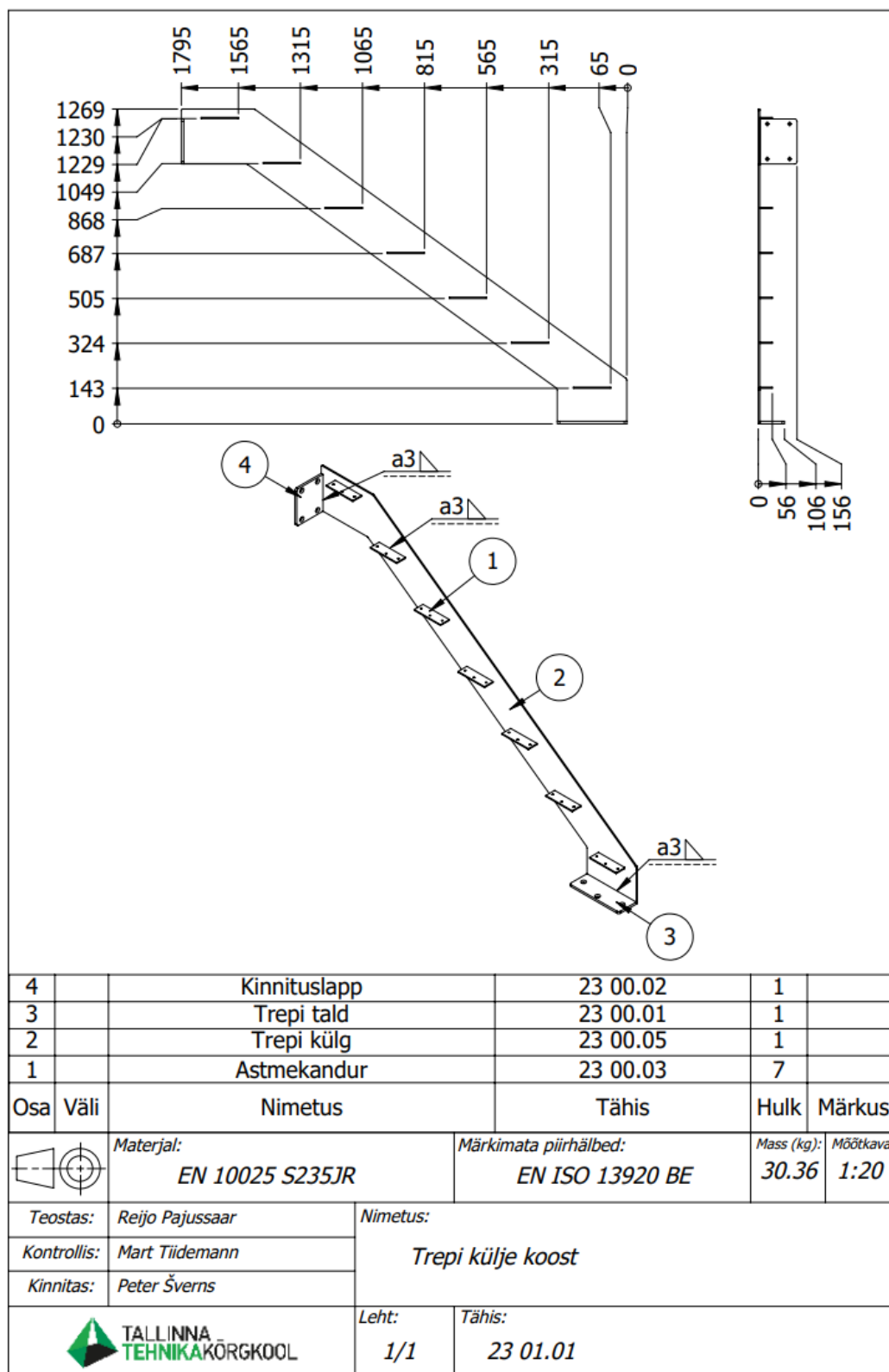
Lisa 5. Trepitalla joonis



Lisa 6. Trepi külgede ühendamise detail



Lisa 7. Trepi külje koostamise joonis



Lisa 8. L – trepp

