



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL  
MEHAANIKATEADUSKOND

Masinaehituse instituut

Tootmistehnika õppetool

MET70LT

*Janika Hirvelaan*

**MAAPEALSE MOBIILSE SATELLIITSIDEJAAMA  
ANTENNIALUSE TOOTMESTAMINE**

Autor taotleb  
tehnikateaduse magistri  
akadeemilist kraadi

Tallinn 2014

## AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Tauno Otto juhendamisel

“.....” .....2014 a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....” .....2014 a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... eriala/õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....” .....2014 a.

..... allkiri

## **MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE**

2014 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Janika Hirvelaan 111745

Õppekava: Tootearendus ja tootmistehnika

Eriala: Tootmistehnika

Juhendaja: Professor Tauno Otto

Konsultant:

### **MAGISTRITÖÖ TEEMA:**

“Maapealse mobiilse satelliitsidejaama antennialuse tootmestamine”

“Design for manufacturing of mobile satellite Earth station antenna stand”

<b>Nr</b>	<b>Ülesande Kirjeldus</b>	<b>Täitmise tähtaeg</b>
<b>1.</b>	Disaini tootmiskeskne analüüs (kitsaskohad, parendusettepanekud)	30.04.2014
<b>2.</b>	Tootmisprotsessi kirjeldamine	07.05.2014
<b>3.</b>	Tarnehela analüüs ja strateegiliste võtmekohtade määratlemine	14.05.2014
<b>4.</b>	Tootmistellimuse käsitlemise skemaatiline kirjeldamine	21.05.2014

### **Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:**

Uue toote tootmistsükli (tellimusest kuni toote väljasaatmiseni) kaardistamine/kirjeldamine, eesmärgiga toodet modifitseerida tootmiskesksemaks.

### **Täiendavad märkused ja nõuded:**

**Töö keel:** Eesti

Kaitsmistaoitus esitada dekanaati hiljemalt 14.05.2014 **Töö esitamise tähtaeg: 22.05.2014**

**Üliõpilane:** Janika Hirvelaan /allkiri/..... kuupäev.....

**Juhendaja:** Tauno Otto /allkiri/..... kuupäev.....

# SISUKORD

MAGISTRITÖÖ ÜLESANNE .....	3
SISUKORD .....	4
EESSÕNA .....	6
1. SISSEJUHATUS .....	7
2. SATELLIITSIDE .....	9
2.1 Satelliit ESTCube-1 .....	10
3. TOOTE TUTVUSTUS .....	12
3.1 Nõuded tootele .....	12
3.2 Projekteeritud antennialuse kirjeldus ja kontseptsioon .....	13
4. ANTENNIALUSE DISAINI ANALÜÜS .....	15
4.1 Parendusettepanekud lähtudes tootmiskesksest.....	16
4.1.1 Materjali valik .....	17
4.1.2 Alumiinium toru (ESTC00.00 osa 3) asendamine terastoruga .....	20
4.1.3 Liigendsüsteemi lihtsustamine .....	23
4.1.4 Reguleerimistoru ja jalalaba vahelise kiirühenduse asendus .....	28
4.2 Uute jooniste koostamine .....	29
5. TOOTMISPROTSESS .....	31
5.1 Joonise analüüs.....	31
5.2 Valmistustehnoloogia valik.....	32
5.2.1 Lehtmaterjalist detailide valmistustehnoloogia.....	33
5.2.2 Torude valmistustehnoloogia .....	34
5.2.3 Telje ESTC00.03 treimine.....	35
5.2.4 Keevitamine .....	35
5.3 Tootmisprotsessi kirjeldamine .....	36
5.3.1 Lehtmaterjalist detailide lõikamine laseriga .....	36
5.3.2 Lehtmaterjalist detailide painutamine .....	39
5.3.3 Profiilidest detailide lõikamine torulaseriga .....	40
5.3.4 Toru ESTC00.13_2 lõikamine lintsaega .....	41
5.3.5 Telje ESTC00.03 valmistamine .....	41
5.3.6 Keevitamine .....	42
5.3.7 Toodete kuumtsinkimine.....	48
5.3.8 Toodete koostamine ja kvaliteedikontroll .....	49
6. TARNEAHEL JA LOGISTIKA .....	51
6.1 Tarneahela strateegia.....	51

6.2 Logistika.....	53
7. ANTENNIALUSE TOOTMISHINNA KALKULATSIOON.....	55
7.1 Ostutegevus .....	55
7.1.1 Tarnija valik .....	56
7.1.2 Toormaterjali vajadus.....	58
7.1.3 Ostutooted .....	58
7.1.4 Kuumtsinkimine ja elektrolüütiline tsinkimine.....	59
7.1.5 Transpordikulud .....	59
7.2 Tootmiskulud .....	60
7.2.1 Toru ESTC00.03 saagimise aeg ja maksumus .....	60
7.2.2 Keevitamise maksumus.....	60
7.2.3 Koostamise-komplekteerimise maksumus .....	62
7.3 Antennialuse tootmise hind.....	63
8. TOOTMISTELLIMUSE KÄSITLEMINE .....	64
8.1 Tootmisaja planeerimine .....	64
8.2 Tootmise juhtimine .....	65
KOKKUVÕTE.....	67
SUMMARY .....	69
KASUTATUD KIRJANDUS .....	71
LISA 1. Väljavõtted Ruukki 2002 aasta metallitoodete kataloogist .....	73
LISA 2. Yagi-Uda tüüpi antennide spetsifikatsioonid .....	74
LISA 3. Esialgne keevitusprotseduuri spetsifikaat .....	75
LISA 4. Lintsa soovitavad ettenihked ja kiirused.....	76
LISA 5. Pealesulatustegurid MIG/MAG keevitusel .....	77
LISA 6. Keevitustraadi spetsifikatsioon.....	78
LISA 7. Kinnitusvahendite hinnapakumine .....	79
LISA 8. DIN 1444 sõrmede mõõtmed .....	80

## EESSÕNA

Magistritöö teema kasvas välja Lennuakadeemia tudengi Toivo Värbu bakalaureuse lõputööst, mille eesmärgiks oli projekteerida satelliidile ESTCube-1 maapealne mobiilne sidejaam. Sidejaama üheks osaks on antennialus, mida käesolevas töös modifitseeritakse sobilikuks väikeseeria tootmiseks, järgides tootmiskeskse projekteerimise printsiipe. Siinkohal soovin tänada Toivo Värbut hea lõputöö teema ning suurepärase koostöö eest.

Soovin tänu avaldada käesoleva magistritöö juhendajale Tallinna Tehnikaülikooli mehaanikateaduskonna dekaanile Tauno Otto'le, töö suunamise ja juhendamise eest. Magistritöö valmimisel konsulteerisin veel mitmete oma ala spetsialistidega Tallinna Tehnikaülikoolist. Soovin tänada Priit Põdra't, kes aitas tugevusarvutuste tegemisel, ning Andres Laansoo'd, kes jagas soovitusi keevitamisega seotud küsimuste lahendamisel. Lisaks tänan ka kõiki teisi Tallinna Tehnikaülikooli õppejõude, kes on oma teadmisi entusiastlikult loengutes ja harjutustundides kogu magistriõppe jooksul edasi andnud.

Magistritöö valmimisel andsid oma panuse ka ettevõtted, kes olid valmis esitama hinnapakumised töös esinenud detailidele. Tänu soovin avaldada BestNet OÜ-le, Baltic Steel Center OÜ-le ja FinEst Steel AS-le, kes olid lahkelt valmis jagama tehnoloogiatega seotud teadmisi. Soovin tänada Tehnikaülikooli tootearenduse tudengit Martti Siitsman'i, toote arendamisel jagatud soovitude eest ja perekonda toetuse eest.

# 1. SISSEJUHATUS

Käesolev töö on tehtud koostöös Lennuakadeemia tudengi Toivo Värbuga, kelle eesmärgiks oli konstrueerida Eesti esimese satelliidi ESTCube-1 maapealne mobiilne sidejaam. Sidejaama üheks osaks on antennialus, millele antennid ja rotaator püstitatakse. Toivo Värbu projekteeritud antennialus on toodud seel 1.1. Tegemist ei ole projektiga, mille ainukeseks väljundiks on ESTCube-1 mobiilne sidejaam. Kuna hetkel ei pakuta Euroopa turul antud otstarbeks sobivaid tooteid ning mobiilse sidejaama vastu tunnevad huvi ka näiteks raadioamatöörid ja militaarsektor, siis tekkis idee esialgset antennialuse prototüüpi modifitseerida sobilikuks väikeseeriatootmisele. Täpsemad konstruktsiooni sisendandmed antud magistritööle on toodud joonisel ESTC00.00.



**Sele 1.1** Toivo Värbu konstrueeritud mobiilse sidejaama antennialus, antennide ja rotaatoriga

Esialgne antennialus on projekteeritud konkreetse satelliidi mobiilse sidejaama tarbeks. Selle konstrueerimisel ei ole jälgitud kõiki tootmiskeskse projekteerimise soovitusi ja reegleid. Hõlpsamaks väikeseeria tootmiseks viiakse sisse mõningad muudatused ja parandused. Käesoleva töö eesmärk ei ole juba olemasoleva ja loodud toote kontseptsiooni muutmine vaid toote parendamine ja tootmiseks sobivamaks, lihtsamaks modifitseerimine esialgse toote funktsionaalsust säilitades. Seejuures püütakse vähendada toote detailide arvu, materjalikulu ja massi, mille tulemusena alandatakse kokkuvõttes toote valmistamise kulu ja omahinda.

Parendusettepanekute tegemisel jälgitakse, et muudetud osa funktsioon jääks samaks ning ei oleks vastuolus tootele esitatud nõuetega. Uute sõlmede ja materjalide kasutamise sobivus kontrollitakse tugevusarvutustega. Toote muutmisel järgitakse tootmiskeskse projekteerimise printsiipe. Modifitseerimise tulemused kajastatakse projekteerimistarkvaras Solid Edge mudelite valmistamisega. Antud programmiga valmistatakse ka uuendatud toote tööjoonised. Parima valiku tegemiseks erinevate materjalide ja ka valmistustehnoloogia vahel on kasutatud hindamismaatrikseid.

Tootmine on korraldatud arvestusega, et tellimuse saab väikeettevõtte, kes tegeleb tellimuse alusel üksiktootmisega. Ettevõtte masinaparki kuuluvad käsitsi juhtimisega universaalpingid. Lisaks pakub firma keevitamise teenust poolautomaadi ja TIG keevitusega. Tootmise alustamiseks on vajalik konkreetne kliendi tellimus, milles on toodud soovitud toote joonised ja tellitav kogus. Tellimuse suuruseks antud töös on 20 antennialust ning soovitud tarneaeg 20 tööpäeva. Arvestades tellitud koguse, materjali ja detailide keerukusega valitakse sobivad valmistustehnoloogiad, millega on võimalik vähendada tootmisele kuluvat aega. Enamus detailide valmistamine tellitakse vastavaid seadmeid omavate allhankijate käest. Tellimuse saanud ettevõtte ülesandeks tootmises jääb koostude keevitamine, pinnakatte korraldamine, toote koostamine-komplekteerimine ning lõplik kvaliteedikontroll.

Antud töös tehakse parendatud tootele hinnakalkulatsioon, mis kajastab antennialuse tootmise kulusid. Kuna enamus tooted tellitakse allhankena, esitatakse mitmele võimalikule tarnijale üksikasjalikud hinnapäringud. Pakkumiste ja taustauuringu alusel valitakse sobivad pooltoodete tarnijad. Parema pildi saamiseks võimaliku tarnija tootmisvõimalustest ja valmistustehnoloogiast külastatakse üht neist. Põhjalikumad kuluarvutused tehakse keevitamisele, kasutades selleks ESABi programmi WeldCost. Saadud hinnakalkulatsiooni tulemust võrreldakse esialgsele antennialusele tehtud hinnapakumistega.

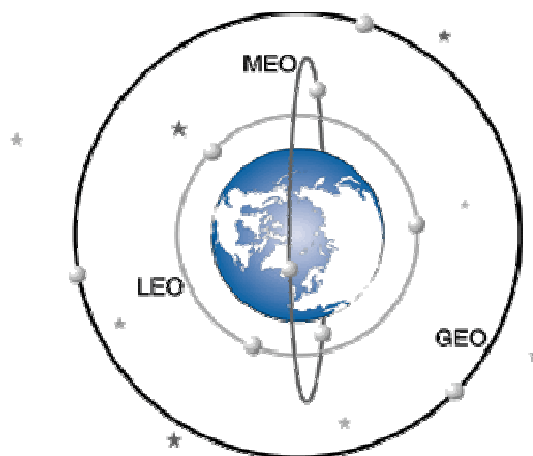
Töö üheks eesmärgiks on tellimus valmis saada 20 tööpäeva jooksul. Selle võimalikkuse kontrolliks koostatakse tootmise ajagraafik, kus arvestatakse tarnijate poolt pakutavate tarnimisaegade ja muude tootmiseks kuluvate aegade. Tootmisaja planeerimiseks kasutatakse programmi GanttProject. Graafiku koostamisel võetakse arvesse ka allhankijate asukohad. Toodete ja transpordi liikumist optimeeritakse selliselt, et transpordile kuluvad ressursid oleksid minimaalsed.



## 2. SATELLIITSIDE

Satelliitside kasutatakse mandritevahelise side pidamiseks, kuna see võimaldab edastada suuri andmemahte pikkade vahemaade taha ning on stabiilsem, kui näiteks ionosfäärne side [15]. Satelliitside arenguhuog vähenes maapealse fiiberoptilise kaabli kasutusele tulekuga. Kuigi fiiberoptilise kaabli kasutamine side pidamiseks on tunduvalt efektiivsem ja odavam [15] on sellel ka omad puudused, mistõttu ei ole satelliitside veel täielikult unustuse hõlma jäänud. Nimelt on fiiberkaablil põhinevate sidevõrkude loomine väga ajakulukas võrreldes satelliitsidevõrgu rajamisega. Satelliitside on efektiivne pikkade vahemaade ületamiseks, suurte maa-alade katmiseks ning lühiajaliste sidevajaduste rahuldamiseks [14]. Tänapäeval kasutatakse satelliitsidet põhiliselt ringhäälingu tüüpi saatevõrgu rajamiseks (satelliittelevisioon) ning liikuva maa- ja mereside loomiseks ehk navigatsioonis [14].

Satelliitsides kasutatakse sagedusi, mis on üle 30 MHz [15]. Satelliitide orbiidid jaotatakse nende kõrguse järgi maapinnast kolme suurde gruppi LEO, MEO ja GEO [15] (sele 2.1).



**Sele 2.1** Satelliitide orbiidid [13]

LEO (*Low Earth orbit*) on neist maapinnale kõige lähemal – alates ca 200 km kõrguselt. Sellel orbiidil tiirlevad satelliidid teevad ühe ööpäeva jooksul maakerale kuni 16 tiiru [15]. LEO orbiidi eeliseks on väike viide Maa ja satelliidi vahelises sides. Üle poolte kõikidest satelliitidest asuvad LEO orbiidil [15]. Sellel orbiidil asuvad ka enamus teadusliku sihiga satelliidid, sealhulgas NASA Maaseiresüsteem ja Eesti esimene satelliit ESTCube-1.

MEO (*Medium Earth orbit*) asub maapinnast ca 1000 km kõrgusel [15]. MEO orbiidil tiirlevad enamasti satelliidid, mida kasutatakse asukoha määramisel ja navigatsioonis

(positsioneerimissüsteem GPS) [13]. Satelliidid antud orbiidil teevad 24 tunniga kaks tiiru ümber maakera, kusjuures ühe tiiru jooksul on võimelised katma 90 % maakera pinnast [15].

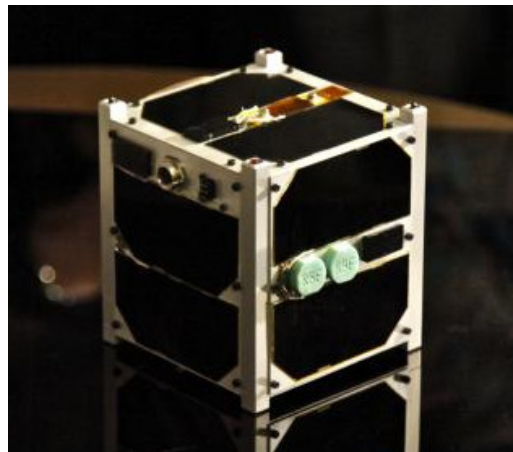
GEO (*Geostationary Earth orbit*) paikneb ekvaatori kohal, 35 784 km kõrgusel maapinnast [15]. Kuna satelliidi tiirlemisperiood langeb kokku Maa pöörlemisperioodiga, siis on sellel orbiidil asuvad satelliidid Maa suhtes paigal [15]. GEO orbiidil tiirlevad 40 % satelliitidest – meteoroloogilised, kommunikatsiooni ja satelliittelevisiooni satelliidid [15]. Satelliitide pikk vahemaa maapinnast põhjustab suure viite sides (kuni 2 sekundit üles-ja allalüli). Lisaks katab üks GEO orbiidil asuv satelliit 42 % maapinnast, mille hulka ei kuulu polaaralad [15].

## 2.1 Satelliit ESTCube-1

ESTCube-1 (sele 2.2) on Eesti esimene satelliit, mis lendas rakett Vega pardal kosmosesse 7. mail aastal 2013 [11]. Satelliit asub LEO ehk *Low Earth* orbiidil, kõrgus maapinnast on keskmiselt 650 km ning kiirus 7,46 km/s [11]. Kõikidel raadioamatööridel on võimalik ESTCube-1 signaali vastu võtta sagedusel 437,250 MHz [11]. Tehiskaaslane projekteeriti ja ehitati Eesti Tudengisatelliidi projekti raames.

ESTCube-1 missiooni eesmärgid [4]:

- elektrilise päikesepurje arendamise tarbeks testida 10 meetrise juhtme väljalaskmist
- elektrilisele purjele mõjuva jõu mõõtmine
- välja lastud juhtme pildistamine
- lisamissioon: pildistada kosmosest Maad ja võimalusel ka Eestit



**Sele 2.2** ESTCube-1 mõõtudega 100x100x113,5 mm, massiga 1,048 kg [4]

Eesmärkide täitmiseks peab satelliit täitma erinevaid funktsioone, mille tõttu koosneb see järgmistest alamsüsteemist [4]:

- ADCS - satelliidi asendi määramine orbiidil ja vajadusel selle muutmine
- CAM - pardakaamera Maast ja väljakeritud traadist piltide tegemiseks
- CDHS - satelliidi põhiline pardaarvuti
- COM - raadioside pidamiseks Maa ja satelliidi vahel
- EPS - elektrienergia haldamise alamsüsteem, kasutatakse ka majakasignaali saatmiseks

- PL - satelliidi eksperimendimoodul (päikesepurje traat ja muu eksperimendiks vajalik)
  - STR - satelliidi struktuursed elemendid (raam, külgi katvad paneelid ja raadioantennid)
- Maapealne tugi:
- GS - sidekeskus satelliitidega sidepidamiseks
  - MCS - missioonijuhtimissüsteem – tarkvara satelliidi töö kontrollimiseks

Käesoleva tööga on kõige tihedamalt seotud nendest alamsüsteemidest COM, GS ja MCS.

COM ehk satelliidi kommunikatsioonisüsteem võimaldab suhtlust satelliidi ja maapealsete sidejaamade vahel. Süsteemil on üks ühenduskanal informatsiooni vastuvõtmiseks Maalt ning kaks ühenduskanalit informatsiooni saatmiseks Maale [4]. Info saatmise ühenduskanalid jagunevad omakorda kaheks - kiire ja aeglane. Viimast neist kasutatakse teatud ajavahemike tagant telegraafsignaali saatmiseks, mis edastab kõige tähtsamat informatsiooni satelliidi hetkeolukorra kohta [4]. Kiiremat ühenduskanalit kasutatakse piltide ning eksperimendi käigus kogutud andmete saatmiseks Maale. Satelliidiga sidepidamine toimub amatöörradio kahe meetrisel lainelal ja 70 sentimeetrisel laineladel [4].

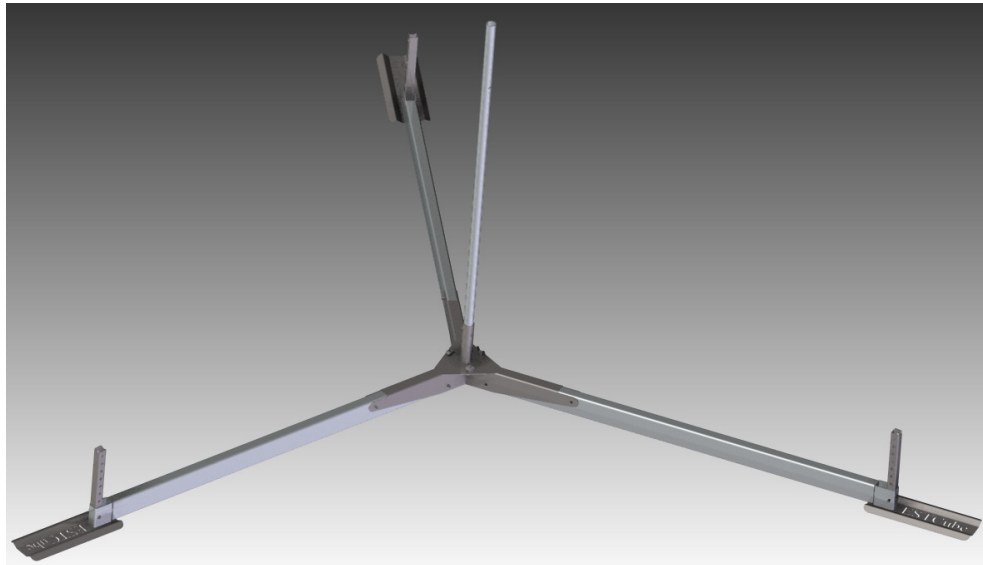
Satelliidi tugistruktuurideks Maal on satelliitsidejaam (GS) (sele 2.3) ning kosmosemissioonide juhtimistarkvara (MCS) [4]. Sidekeskus koosneb satelliiti jälgivatest antennidest, raadiojaamast, pakettside modemist ning kõiki neid seadmeid juhtivast arvutist [4]. Sidejaamade kaudu peetakse satelliidiga sidet. Missioonijuhtimise süsteem võimaldab jälgida satelliidi liikumist orbiidil, saata satelliidile käsklusi ning saada ülevaadet satelliidil vastuvõetud andmepakettide sisust. Kõiki süsteemis olevaid andmeid on võimalik jälgida reaajas [4]. Samuti toimub antud süsteemiga maapealsete sidejaamade ja nende komponentide juhtimine.



**Sele 2.3** Satelliitsidejaam Tartu Ülikooli füüsikahoone katusel [4]

### 3. TOOTE TUTVUSTUS

Maapealse mobiilse satelliitsidejaama antennialuse projekteerimine sai alguse vajadusest leida tudengite ehitatud satelliidi ESTCube-1 jälgimiseks sobilik mobiilne sidejaam [24]. Pärast põhjalikku turu-uuringut selgus, et turul ei ole optimaalset ja mugavat, kõiki nõudeid hästi rahuldavat toodet [24]. Sellest johtuvalt alustas Lennuakadeemia tudeng Toivo Värbu koostöös ESTCube meeskonnaga antennialuse projekteerimist (sele 3.1).



Sele 3.1 Toivo Värbu konstrueeritud mobiilse sidejaama antennialus

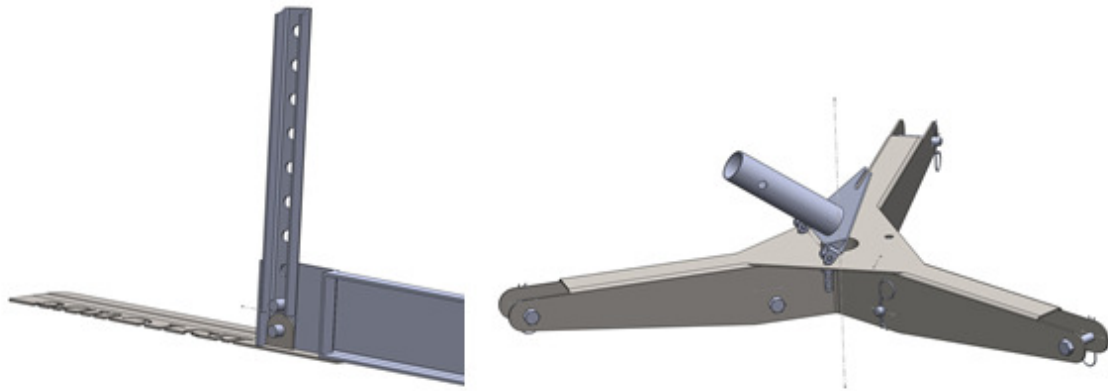
#### 3.1 Nõuded tootele

Mobiilse sidejaama antennialuse kontseptsiooni paikapanemisel lähtuti tervest hulgast kriteeriumitest, millele toode peab vastama. Esiteks peab alus olema kompaktselt kokkupakitav, lihtsa tööpõhimõttega ning väikese massiga. Antennijala kokkupanemine ja lahtivõtmine peab olema võimalik paljaste kätega, ilma tööriistade kasutamiseta. Kiireks monteerimiseks ei ole vaja rohkem kui ühte inimest, sealjuures ei nõua kõrgel masti otsas asetsevate antennide paigaldamine eraldi tõstetehnikat või redelit.

Antennialust kasutatakse välistingimustes ning alus peab olema reguleeritav vastavalt maapinna konarustele. Konstrueerimisel tuleb loomulikult silmas pidada ka antennialuse vastupidavust talle mõjuvatele koormustele (antenni ja rotaatori mass, tuulekoormus) ning leida optimaalne vajalik masti kõrgus, mis ei mõjuks aluse kompaktsusele negatiivselt, kuid seejuures oleks piisav sidepidamiseks satelliitidega.

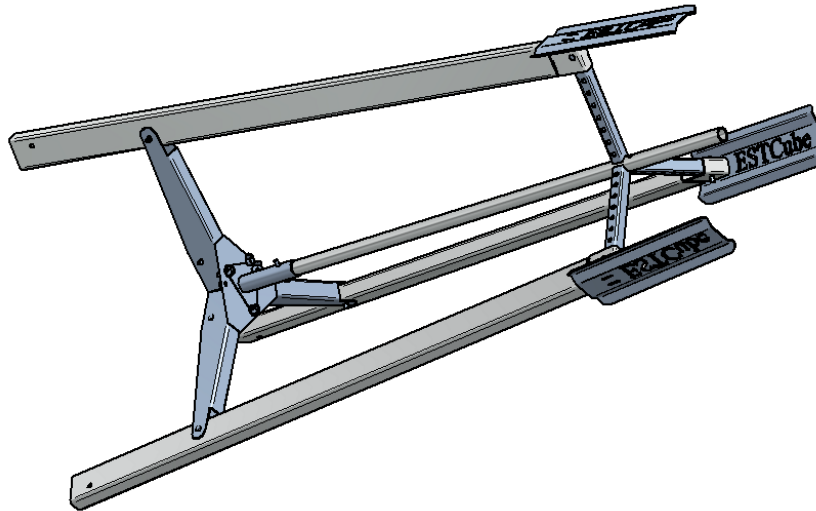
## 3.2 Projekteeritud antennialuse kirjeldus ja kontseptsioon

Antennialus on projekteeritud pidades kinni eeltoodud nõudmistest. Aluse materjalideks on valitud alumiinium AW 6060-T6 ja roostevaba teras AISI 304. Jalad (vt joonis ESTC00.00 osa 3) on valmistatud alumiiniumist, kerguse tagamiseks. Ülejäänud detailid on valmistatud roostevabast terasest, materjali korrosioonikindluse tõttu. Erinevate alamkoostude ühendamiseks on kasutatud ostutooteid. Jalad on keskmise kolmiku (ESTC00.00 osa 1) külge kinnitatud sõrmede ja nõelsplintide abil, mis võimaldavad monteerimise ilma tööriista kasutamata. Reguleerimistorud (ESTC00.00 osa 5) on jalalaba (ESTC00.00 osa 4) külge kinnitatud kõrvade ja ümartäismaterjali abil (sele 3.2 a), mis võimaldavad jalalaba nurga ja kõrguse reguleerimise. Liigendiga toru (ESTC00.00 osa 2) on alumise kolmiku külge kinnitatud kahe värvahinge abil (sele 3.2 b).



**Sele 3.2** Jalalaba reguleerimistoruga ja liigendiga toru kinnitus

Aluse kokkupanemiseks on kaks eritasemelist võimalust. Esimene, lihtsam võimalus on kasutada kolmiku välimisi nõelspindliga sõrmesid liigendina ning tõsta jalad üles toetuma reguleerimistorudega vastu mastitoru (sele 3.3). Teine, keerulisem võimalus on eemaldada kõik nõelsplindid ja sõrmed – see võimaldab eraldi pakkida jalad, keskmise kolmiku ning jalalabad. Konstruktsioonis kinnituseks kasutatud sõrmed ja nõelsplindid annavad kasutajale võimaluse otsustada, kui kompaktselt soovitakse alus pakkida.



**Sele 3.3** Antennialus kokkupanduna

### Tööpõhimõte

Esiteks fikseeritakse kolm aluse jalga kindlalt maapinnale. Selleks reguleeritakse vajadusel jalalabade nurka ja kõrgust, vastavalt sõrme liigutamisega sobivale kõrgusele. Jalalabad on konstrueeritud suurema pindalaga võimaldamaks sinna asetada korralikuks fikseerimiseks vajalikke raskusi. Läbiv kiri „ESTCube“ võimaldab lisaks raskustele kasutada vaiasid.

Antennide paigaldamiseks lastakse keskmine liigendiga toru koos mastitoruga horisontaalsesse asendisse, seejuures toetub mast reguleerimistorule. Toimub antennide paigaldamine ning seejärel tõstetakse mast käsitsi taas vertikaalsesse asendisse. Liigendiga toru kinnitatakse kolmiku külge liblikpoldi abil. Antenni alla lastes tuleb jälgida, et antenn on paralleelne masti toruga, vältimaks antenni vigastamist.

## 4. ANTENNIALUSE DISAINI ANALÜÜS

Kõikide toodete ja teenuste puhul on tarbija jaoks üheks tähtsamaks hinnangukriteeriumiks kvaliteedi, välimuse ja mugavuse kõrval hind. Toote hinna määravad sisuliselt konstruktorid – 80 % toote hinnast on määratud toote projekteerimise alguses [18]. Hoidmaks toote hinda võimalikult madalana tuleb projekteerimise käigus järgida säästliku tootmise põhiprintsiipe. Antud printsiibid pärinevad tootmiskesksest projekteerimisprotsessist (DFM – *Design for Manufacturability*).

Projekteerida tuleb planeeritud tootepartii suurusega arvestades. Masstootmise korral on oluline toodet võimalikult palju optimeerida. Aeg, mis optimeerimisele kulub jaguneb suure toodete koguse peale ära ja mõju hinnale on pigem positiivne, kuna optimeerimisega suudetakse üksiktoote hind alla viia. Üksiktootmise korral ei ole niivõrd üksikasjalik toote optimeerimine otstarbekas, kuna aeg, mis sellele kulub tõstab oluliselt toote hinda.

Tähtsuselt esimene tootmiskeskse projekteerimise reegel on lihtsus, mis omakorda on tihedalt seotud väikese detailide arvuga. Võimalusel tuleb detailid projekteerida selliselt, et ühel osal on võimalikult palju kasutusfunktsioone [18]. Näiteks antennialuse reguleerimistoru (ESTC00.00 osa 5), mis täidab nii reguleerimise ülesannet kui ka masti alumises asendis toetamise ülesannet või ESTCube kirjaga jalalaba – kiri täidab nii reklaami ülesannet kui võimaldab aluse fikseerimiseks kasutada vaiasid. Toote lihtsuse tagab ka standardsete profiilmaterjalide kasutamine. Antennialuse esialgses versioonis oli kasutatud nelikanttoru mõõtudega 92x42x2, mis läbirääkimiste ja väikeste disainimuudatustega sai asendatud standardse 40x40x2 ruuttoruga. Võimalusel kasutada või lähtuda projekteerimisel standard-ostutootest.

Materjalide valikul tuleb leida optimaalne kombinatsioon materjali ja valmistustehnoloogia vahel. Alati tuleb jälgida, kui hästi on materjalid töödeldavad ning kas nende töötlemiseks on vaja erilisi tööriistu. Antud disaini puhul on materjalide valikul lähtutud nõudest – toote väike mass. Jalgade materjalina on kasutatud alumiiniumi, muud detailid on valmistatud roostevabast terasest. Erinevate materjalide kasutamisel lihtsa toote puhul tuleb arvestada asjaoluga, et valmistustehnoloogiad (nt keevitamine) ja ka töötlemiseks kasutatavad tööriistad võivad olla erinevad (nt puurid), mis eeldab ettevõttelt rohkemaid teadmisi ja suuremat tööriistapagasit. Allhanke kasuks otsustades muutub logistika keerulisemaks, üldiselt on ettevõtted spetsialiseerunud ühe materjali töötlemisele.

Võimalusel tuleks otsustada võimalikult paljude ühesuguste profiilide, materjalide paksuste kasuks. Näiteks antud konstruktsioonil on kasutatud ühesuguse paksusega lehtmaterjali, mis lihtsustab oluliselt materjali ostmist, ladustamist ja käitlemist. Jalatoru pikkus on valitud selline, et ei tekiks liialt materjalijääke. Nimelt torusid müüakse üldjuhul 6 meetristena – ühe jala pikkus on valitud 2 meetrit, kokku on kolm jalga. Oluline on ka materjali kättesaadavus ja tarnekindlus. Samuti tuleb jälgida materjalide omavahelist sobivust. Kuigi nii alumiiniumil kui ka roostevabal terasel on hea korrosioonikindlus, siis välistingimustes omavahel kontaktis olles hakkab alumiinium keemiliselt korrodeeruma.

Tootmise efektiivsust ja sellest johtuvalt toote hinda mõjutab ka, mõnikord tahaplaanile jäetud faktor – tehniliste jooniste kvaliteet. Joonised tuleb vormistada kooskõlas tehnilise joonestamise reeglitega, kasutades standardseid tähiseid. Seejuures peavad nii kooste kui ka detaili joonised olema lihtsad ja üheselt mõistetavad, kiiresti hoomatavad. Joonistel tuleb märkida oluliste osade täpsusenõuded. Mida väiksem on lubatud tolerants, seda suurem on töötlemisele kuluv aeg, seega tuleb märkida vähimad vajalikud nõuded täpsustele.

#### 4.1 Parendusettepanekud lähtudes tootmiskesksest

Esiialgse projekteeritud mobiilse sidejaama antennialus kaalub 41,31 kg ja koosneb 66 detailist (sele 4.1). Toote tootmiskesksemaks muutmisel on eesmärk ülaltoodud DFM printsiipe kasutades vähendada detailide arvu ning kaalu. Massi vähendamiseks alaneb üldjuhul ka tööjõu ja töötlemiskulu.

Assembly file name: ESTC00.00.asm

Total parts:	66	Total subassemblies:	8
Unique parts:	22	Unique subassemblies:	4
Simplified parts:	0	Simplified subassemblies:	0
Total levels:	2	Total foreign documents:	0
		Total document size:	7.67MB

Document Name	Type	Load State	File Size	Count
ESTC00.010.par	Part	Inactive	468.50KB	3
ESTC00.020.par	Part	Inactive	231.00KB	1
ESTC00.10.asm	Assembly	Active	184.50KB	1
ESTC00.11.psm	Part	Inactive	435.50KB	3

**Sele 4.1** Esiialgse koostu statistika andmed (Solid Edge)



### 4.1.1 Materjali valik

Peatükis 4 on ära toodud mitmed probleemid, mis ilmnevad antud konstruktsioonis erinevate materjalide kasutamisega. Seega on esimene ettepanek kasutada antennialuse valmistamisel ühte materjali. Valik toimub kolme kõige tuntuma metallist konstruktsioonimaterjali vahel: alumiinium, roostevaba teras ja süsinikteras.

Igal materjalil on omad eelised ja puudused. Valikul tuleb lähtuda konkreetsest tootest. Antud toote puhul on oluline kergus, mis on alumiiniumi üheks suurimaks eeliseks. Samas koosneb konstruktsioon paljudest painutatud ja laseriga lõigatavatest detailidest, mille tõttu oleks parim valik süsinikteras. Antennialust ekspluateeritakse välistingimustes, järelikult peab materjal olema korrosioonikindel - kasutada võiks roostevaba terast. Kuna hindamise kriteeriumeid on palju ja keeruline on lihtviisil parimat materjali valida, siis otsustamise lihtsustamiseks on koostatud hindamise maatriks [3, 8, 17] (tabel 4.1).

**Tabel 4.1** Materjalide hindamise maatriks

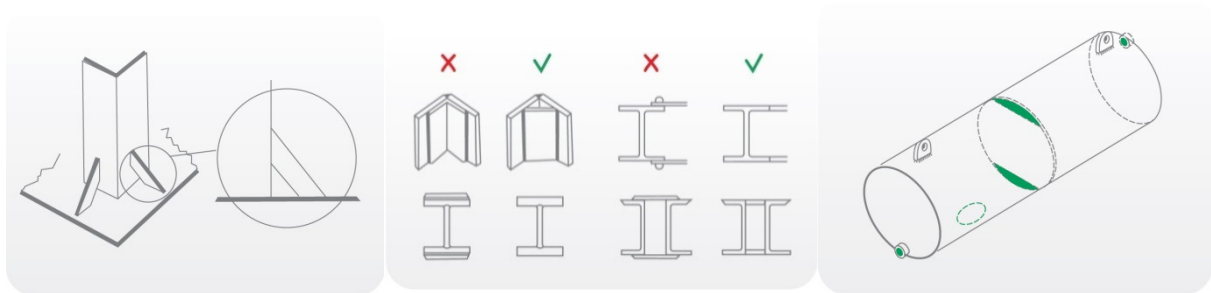
	Kriteerium												Tulemus		
	1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,6	3,7	3,8	4,1	4,5	4,8	5	Esmane tulemus	Kaalutud tulemus	Koht
<b>Kaal</b>	tugevus	käitlemine	töötlemise oskusteave	profiilmaterjali tarnijate rohkus	mehaaniline töödeldavus	keevitamine	painutamine	laseriga lõikamine	kättesaadavus	korrosioonikindlus	hind	kaal			
1 - rahuldav 2 - hea 3 - väga hea															
<b>Materjal / Omaduse olulisus</b>	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Esmane tulemus	Kaalutud tulemus	Koht
Alumiinium	1	2	2	1	3	1	1	1	2	2	2	3	21	73,6	2
Roostevaba teras	3	1	2	2	1	2	2	2	2	3	1	1	22	71,1	3
Süsinikteras	2	3	3	3	2	3	3	3	3	1	3	2	31	102	1

Kriteeriumid on pandud olulisuse järjekorda, alustades antud konstruktsiooni juures kõige tähtsamast, milleks on materjali kaal ja lõpetades kõige vähem tähtsaga, milleks on materjali tugevus. Materjali tugevus ei ole antud konstruktsiooni juures nii oluline, kuna koormused antennialusele on suhteliselt väikesed. Järgmiseks on igale kriteeriumile määratud ühest viieni

kaalud. Näiteks painutamise (kaal 3,7) punktid (1, 2 või 3) omavad suuremat tähtsust, kui käitlemise (kaal 1,6) punktid. Kui esmase tulemuse jaoks on punktid lihtviisil kokku liidetud, siis kaalutud tulemuse korral on vastav punkt korrutatud läbi sellele vastava kaaluga ja alles seejärel summeeritud. Selliselt arvutades saame objektiivsema hindamise tulemuse. Punktid on antud võrreldes tabelis olevaid materjale omavahel.

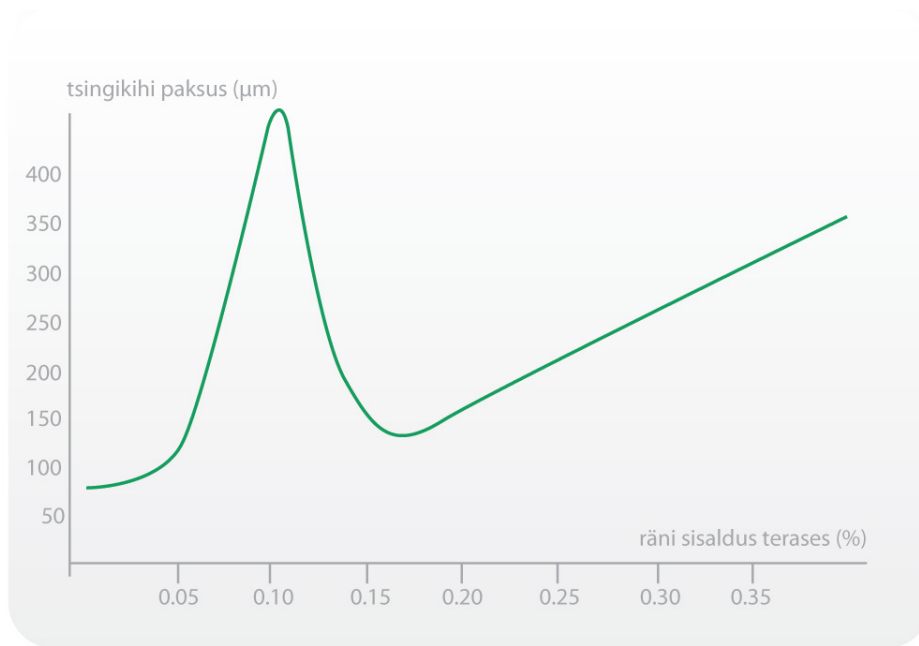
Materjalide hindamise maatriksist selgub, et antud kriteeriume arvesse võttes on mobiilse sidejaama antennialuse valmistamisel, tootmisest lähtudes, parim kasutada materjalina süsinikterast.

Süsinikterase üheks suurimaks puuduseks on korrodeerumine. Seetõttu peab konstruktsiooni roostetamise eest kaitsma pinnakattega. Antud juhul on lihtsam, odavam ning ka kõige vastupidavam pinnakate kastmismeetodil kuumtsinkimine. Selle protsessi juures on oluline järgida kuumtsingitavatele konstruktsioonidele esitatavaid nõudeid. Toodetel peavad olema tsinkimiseks vajalikud tehnoloogilised avad, mis võimaldavad õhul välja pääseda ning tsingil sisse ja vastupidi [20]. Tsingi sisse ja välja voolamise avad peavad asetsema toote vastaskülgedel üleval ja all (sele 4.2 c). Suletud torusid ja muid kinniseid osasid olla ei tohi. Vältima peab suletud nurki ja detailide ülekatteid (sele 4.2 a, b). Tooted peavad olema riputatavad, seega näiteks suuremate mahutite tsinkimisel on vajalikud tõste-riputusaasad. Õhukeste materjalide kastmisel on soovitatav kasutada tugevdusribisid ja lisatugesid, säilitamiseks toodete väliskuju ka pärast tsinkimist [20].



**Sele 4.2** Sõlmede lahendused kuumtsinkimisel [20]

Kuumtsinkimisel konstruktsiooni sõlmede õige projekteerimise kõrval on oluline ka õige terase valik. Tsingikihi paksuse üheks olulisemaks mõjuriks on räni sisaldus terase keemilises koostises [20] (sele 4.3).



**Sele 4.3** Saadav tsingikihi paksuse sõltuvus räni sisaldusest terases [20]

Teine raua ja tsingi vahelist reaktsiooni tuntavalt mõjutav element on fosfor. Räni ja fosfori sisaldus terase koostises mõjutab pinnakatte välimust ja kvaliteeti [20].

Soovituslikud räni ja fosfori sisaldused [20]:

- $Si + 2,5P < 0,05 \%$  – hõbedaselt läikiv pinnakate, normaalse paksusega tsingikiht
- $Si + 2,5P > 0,15$  kuni  $< 0,25 \%$  – hõbedane matjas välisilme, keskmise paksusega kiht

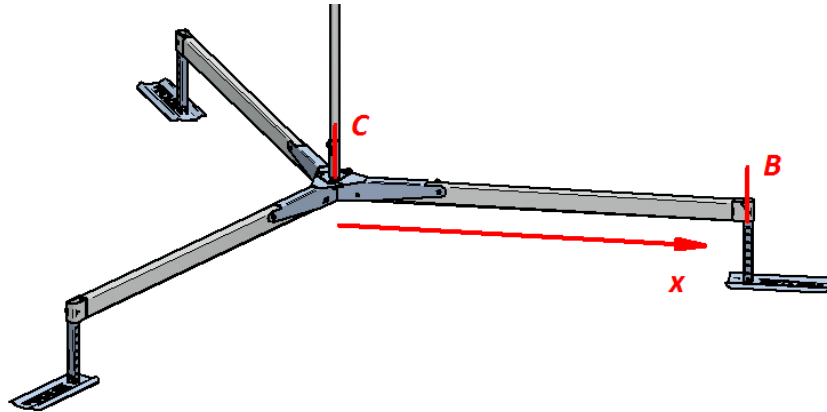
**Tabel 4.2** Levinuimate süsinikteraste elementide sisaldus [5]

Grade	C%	Mn%	P%	S%	Si%
S235	0.22 max	1.60 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max
S275	0.25 max	1.60 max	0.04 max	0.05 max	0.05 max
S355	0.23 max	1.60 max	0.05 max	0.05 max	0.05 max

Arvestades eeltoodud informatsiooniga valitakse konstruktsiooni valmistamiseks tabelis 4.2 toodud soodsa hinnaga ja levinud süsinikterase markide vahel. Suurim erinevus antud süsinikteraste vahel on nende tugevusnäitajad. Terase S235 voolavuspiir on väikseim. Materjali margi lõplik otsus tehakse tugevusarvutusi teostades.

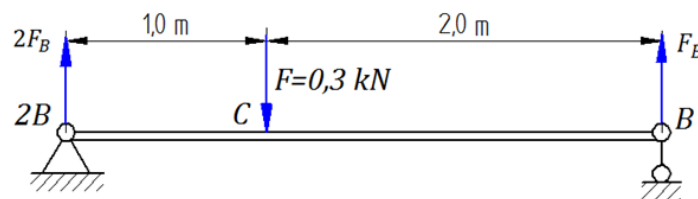
### 4.1.2 Alumiinium toru (ESTC00.00 osa 3) asendamine terastoruga

Mobiilse sidejaama antennialuse nelikanttoru dimensioonimine, kõige ebasobivamas asendis (sele 4.4) (reaalselt sellises asendis ei ekspluuteerita).



Sele 4.4 Antennialus

Koormuseks on keskel oleva masti otsas olevad antennid, nende rotaator ning mastitoru, mille kogu mass on maksimaalselt 30 kg. Arvutusskeemi koostamisel asetatakse üks jalg x-telje sihis ning uuritakse toru lõigul CB (sele 4.5). Jalad asetsevad üksteise suhtes 120° nurga all, seetõttu on kõigi kolme jala toereaktsioonid võrdsed (punkt B). Nõutavaks varuteguriks võetakse [S]=2,5, kuna tegemist on tavamaterjalidega, keskkonnatingimused on keskmised ning koormused ja pinged on määratavad [10].



Sele 4.5 Lihtsustatud arvutusskeem

#### Toereaktsioonid

Tasakaaluvõrrand – kõikide momentide summa punkti 2B (ja ka punkti B) suhtes on võrdne nulliga [10].

$$\sum M^{(2B)} = 0 \rightarrow F \cdot 2BC - F_B \cdot 2BB = 0 \rightarrow F_B = F \cdot \frac{2BC}{2BB} \quad (4.1)$$

kus  $F$  – mõjuv koormus,

$F_B$  – toereaktsioon,

$2BC$  ja  $2BB$  – vastavate punktide vahelised kaugused.

Kasutades tulemust 4.1 leitakse toereaktsioon:

$$F_B = 0,3 \cdot \frac{1,0}{3,0} = 0,1 \text{ kN } (\rightarrow 2F_B = 0,2 \text{ kN})$$

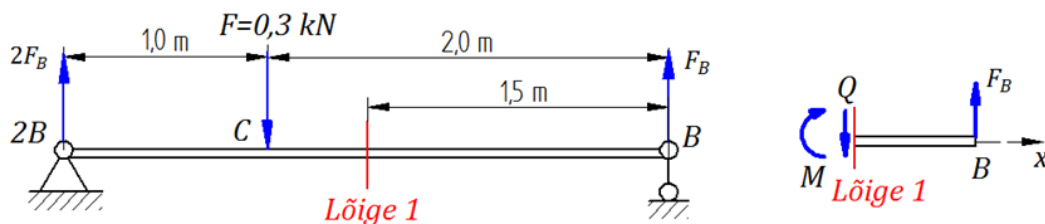
### Kontroll

Tulemuse õigsuse kontrolliks kasutatakse jõudude tasakaaluvõrrandit [10].

$$\sum F = 0 \rightarrow 2F_B - F + F_B = 0,2 - 0,3 + 0,1 = 0 \text{ kN}$$

### Sisejõud lõigetes

Sisejõudude uurimiseks lõigus CB kasutatakse lõikemeetodit, mille idee on – tasakaalus süsteemist mõtteliselt eraldatud osa on samuti tasakaalus, järelikult saab lõikepinna sisejõudusid käsitleda välisjõududena [10].



**Sele 4.6** Lõike asukoht ja sisejõud lõikes

Punktis B on paindemoment 0 kNm ning lõikepinge on lõigul CB samasuguse väärtusega, seetõttu uurin lõiget, mis asub punktist B 1,5 m kaugusel.

### Lõige 1

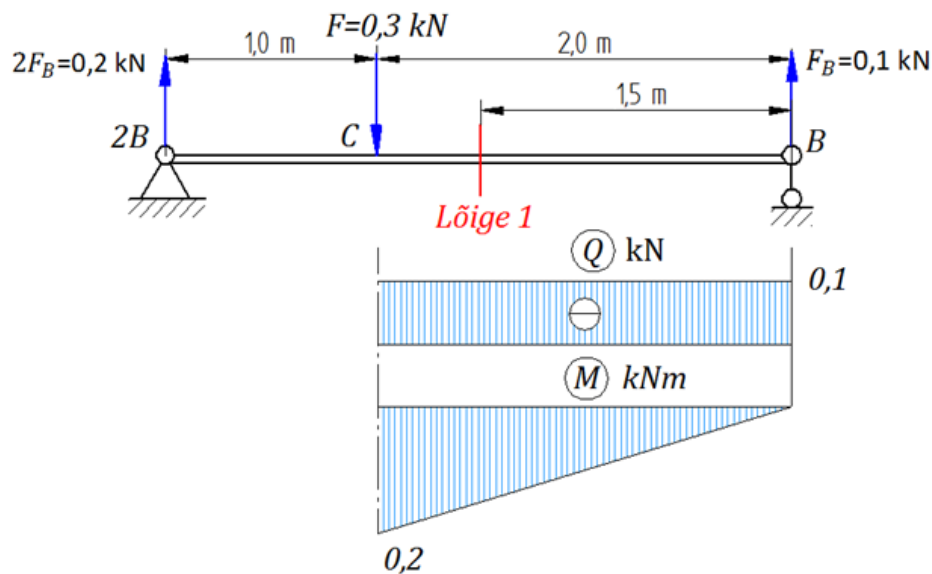
$$\sum F = 0 \rightarrow -Q_1 + F_B = 0 \rightarrow Q_1 = F_B = 0,1 \text{ kN } (-)$$

$$\sum M^{(1)} = 0 \rightarrow M_1 - F_B \cdot \frac{3}{4}CB = 0 \rightarrow M_1 = F_B \cdot \frac{3}{4}CB = 0,1 \cdot 1,5 = 0,15 \text{ kNm } (+)$$

### Lõige C

$$\sum F = 0 \rightarrow -Q_C + F_B = 0 \rightarrow Q_C = F_B = 0,1 \text{ kN } (-)$$

$$\sum M^{(C)} = 0 \rightarrow M_C - F_B \cdot CB = 0 \rightarrow M_C = F_B \cdot CB = 0,1 \cdot 2,0 = 0,2 \text{ kNm } (+)$$



**Sele 4.7** Sisejõudude epüürid uuritud lõigul CB

Ohtlik ristlõige on C, kus põikjõud  $Q_C = 0,1$  kN ja paindemoment  $M_C = 0,2$  kNm. Üldjuhul on paindemoment taladele ohtlikum, kui põikjõud – mida pikem tala, seda ohtlikum [10].

Painde tugevustingimus [10]

$$\sigma_{max} = \frac{M}{W} \leq \frac{\sigma_y}{[S]} \quad (4.2)$$

kus  $\sigma_{max}$  – ristlõike suurim normaalpinge

$M$  – ristlõike paindemoment

$W$  – ristlõike telg-tugevusmoment

$\sigma_y$  – materjali voolavuspiir, süsinikterasel S235  $\sigma_y = 235$  MPa

$[S]$  – nõutav varutegur

Ristlõikele nõutav telg-tugevusmoment leitakse kasutades valemit 4.2 [10]

$$[W] \geq \frac{M}{\sigma_y} [S] = \frac{0,2 \cdot 10^3 \cdot 2,5}{235 \cdot 10^6} = 2,127 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 2,13 \text{ cm}^3$$

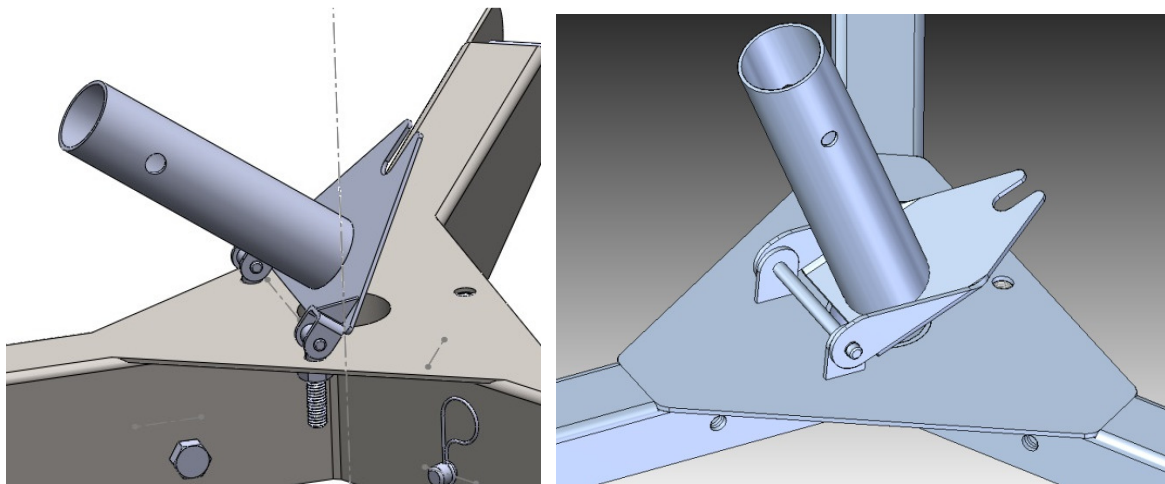
Nõutava telg-tugevusmomendi järgi valitakse Ruukki kataloogi tabelist (lisa 1) sobiv toru, mille x-telje tugevusmoment  $W_x$  on suurem kui arvatud nõutav telg-tugevusmoment  $[W]$ .

Antud juhul sobivad, kas nelikanttoru 40x20x3 ( $W_x = 2,6 \text{ cm}^3$ ), või ruuttoru 30x30x3 ( $W_x = 2,34 \text{ cm}^3$ ) või neist järgnevad torud. Valitakse toru 40x40x2, mille x-telje tugevusmoment on  $W_x = 3,47 \text{ cm}^3$ . Õhema seinaga toru kasuks otsustatakse, kuna meetrikaal

on väiksem ning väiksema seinapaksusega toru töötlemine on kiirem ja odavam. Lisaks on sümmeetrilise ruuttoru positsioneerimine ja käitlemine lihtsam. Reguleerimistoru (ESTC00.01\_2) on samade mõõtmetega – üks erinev profiilmaterjal vähem.

### 4.1.3 Liigendsüsteemi lihtsustamine

Antennialuse keskel on masti maaga paralleelseks laskmiseks, ka juhul kui 4 meetrise masti otsas on antennid ja rotaator, liigendsüsteem, kus on kasutatud väravahingi. Seeriatootmisel on antud lahendus küllaltki tülikas, kuna koost koosneb paljudest väikestest detailidest, mida on tarvis keevitada. Järgides tootmiskeskse projekteerimise printsiipi, anda ühele detailile võimalikult palju kasutusfunktsioone, pakutakse välja uus lahendus (sele 4.8).



Sele 4.8 Liigendsüsteem enne ja pärast

Liigendsüsteemi detailide ja keevituste arv

- enne – detaile 14 tk neist keevitatavaid detaile 7
- pärast – detaile 7 tk neist keevitatavaid detaile 3

Uues liigendsüsteemis on väiksemat kolmnurka kasutatud ka hinge ühe osana. Hingevastused on keevitatud alumise kolmnurga külge.

Liigendsüsteemile mõjub paigaldamisel nii antennide, rotaatori ja masti raskusjõud 300 N kui ka tuulekoormus. Tuulekoormuse arvutamisel arvestatakse, et tuulekiirus masti paigaldamisel on  $v = 15$  m/s, antennide ja masti ristlõikepindala, millele tuulekoormus mõjub on  $A_m = 0,5$  m<sup>2</sup> (lisa 2).

Tuule poolt avaldatav rõhk [19]

$$q = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (4.3)$$

kus  $v$  – tuulekiirus,

$\rho$  – õhu tihedus,  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ .

Vastavalt valemile 4.2 arvutatakse rõhk:

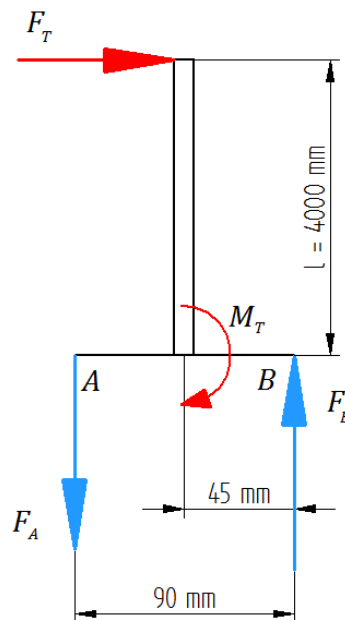
$$q = \frac{1,25 \cdot 15^2}{2} = 140,6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tuulekoormus

$$F_T = q \cdot A_m \quad (4.4)$$

$$F_T = 140,6 \cdot 0,5 = 70,3 \text{ N}$$

Arvutuse lihtsustamiseks asetatakse kogu tuulekoormus masti tippu. Kuna kaugus hingest on maksimaalne ja õlg suurim, siis selliselt saadakse suurim hingele mõjuv moment.



**Sele 4.9** Tuulekoormuse mõju hingele

Hingele mõjuv moment

$$M_T = F_T \cdot l \quad (4.5)$$



kus  $l$  – masti pikkus (vt sele 4.9)

Vastavalt valemile 4.5 leitakse moment:

$$M_T = 70,3 \cdot 4 = 281,2 \text{ Nm}$$

### Toereaktsioonid

Tasakaaluvõrrand – kõikide momentide summa punkti A suhtes on võrdne nulliga.

$$\sum M^{(A)} = 0 \rightarrow M_T - F_B \cdot AB = 0 \rightarrow F_B = \frac{M_T}{AB} = \frac{281,2}{0,09} = 3124 \text{ N}$$

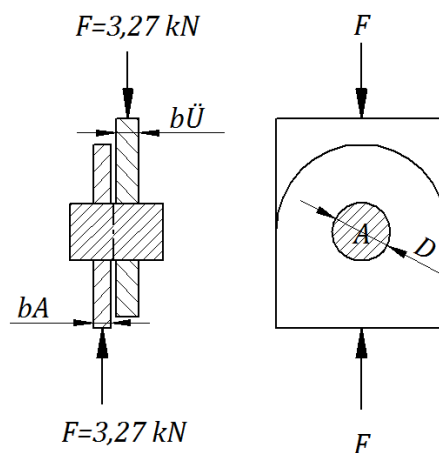
Kuna tuule põhjustatud moment mõjub keskele siis  $F_A = F_B = 3124 \text{ N}$

### **Liigendsüsteemi tugevuskontroll**

Mõlemad hingepooled on ühesugused. Kontroll teostatakse ainult ühele poolele. Raskusjõud mõjub mõlemale poolele võrdselt seega  $F_R = 300/2 = 150 \text{ N}$ . Seega maksimaalne koormus ühele hinge poolele on  $F = F_B + F_R = 3124 + 150 = 3274 \text{ N}$ .

Materjaliks on valitud teras S355, mille voolavuspiir  $\sigma_Y = 355 \text{ MPa}$ . Sõrme läbimõõt  $D = 8 \text{ mm}$ . Lehe paksused on  $b_A = 3 \text{ mm}$ ,  $b_{\ddot{U}} = 4 \text{ mm}$ .

Muljumisarvutustes kasutatakse needi meetodikat [10]. Needi korral on kogu ava täidetud, hinge korral on ava ja telje vahel lõtk, sellisel juhul on kontakti ala väiksem ning olukord muljumisele ohtlikum. Seetõttu võetakse ülesande lahendamisel nõutavaks varuteguriks  $[S] = 2,6$ .



**Sele 4.10** Hinge üks pool ja sellele mõjuv koormus

### Sõrme tugevuskontroll lõikele [10]

Hinge sõrm töötab lõikele ning peab rahuldama tugevustingimust:

$$\tau \leq [\tau] \quad (4.6)$$

kus  $\tau$  – nihkepinge, MPa

$[\tau]$  – lubatav nihkepinge, MPa

Lubatav nihkepinge sitke materjali korral [10]

$$[\tau] = \frac{\text{voolavuspiir } \tau_Y}{[S]} \quad (4.7)$$

kus  $\tau_Y = (0,56 \dots 0,6)\sigma_Y = 0,6 \cdot 355 = 213 \text{ MPa}$

Vastavalt valemile 4.7 on lubatav nihkepinge:

$$[\tau] = \frac{213}{2,6} = 81,9 \text{ MPa}$$

Antud ülesandes on põikjõud  $Q$  võrdne koormusega:  $Q = F$

Nihkepinge jaguneb üle lõikepinna  $A$  (sele 4.10) ühtlaselt [10]:

$$\tau = \frac{Q}{mA} \quad (4.8)$$

kus  $m$  – lõikepindade arv, antud ülesandes  $m = 1$

Ristlõikepindala:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4.9)$$

Vastavalt valemitele 4.8 ja 4.9 arvutatakse nihkepinge ning kontrollitakse tugevustingimuse 4.6 kehtivust:

$$\tau = \frac{4Q}{m\pi D^2} = \frac{4 \cdot 3274}{\pi(8 \cdot 10^{-3})^2} = 65,13 \cdot 10^6 \approx 65,13 \text{ MPa} < [\tau] = 81,9 \text{ MPa}$$

### Sõrme tugevusarvutus muljumisele

Muljumispinge väärtus peab igal muljumispinnal rahuldama tugevustingimust [10]:

$$\sigma_c \leq [\sigma]_c \quad (4.10)$$

kus  $\sigma_c$  – muljumispinge, MPa

$[\sigma]_c$  – lubatav muljumispinge, MPa

Lubatav muljumispinge sitke materjali korral [10]:

$$[\sigma]_c = \frac{\text{voolavuspiir } \sigma_y}{[S]} \quad (4.11)$$

$$[\sigma]_c = \frac{355}{2,6} = 136,5 \text{ MPa}$$

Muljumisolukord on sõltuvuses muljumispinna suurusest ja muljumispindade arvust. Muljumispinna pindala on võrdne kontaktis oleva materjali paksuse ja sõrme läbimõõdu korrutisega [10]. Koormus jaguneb muljumispinnale ühtlaselt.

Tugevustingimus [10]:

$$\begin{cases} \sigma_{C,A} = \frac{F}{k_A b_A D} \leq [\sigma]_{C,A} \\ \sigma_{C,\ddot{u}} = \frac{F}{k_{\ddot{u}} b_{\ddot{u}} D} \leq [\sigma]_{C,\ddot{u}} \end{cases} \quad (4.12)$$

kus  $\sigma_{C,A}$ ,  $\sigma_{C,\ddot{u}}$  – muljumispinge alumise lüli ja sõrme ning ülemise lüli ja sõrme vahelises kontaktis

$k_A$ ,  $k_{\ddot{u}}$  – muljumispindade arv all ja ülevalpool sõrme, antud ülesandes on mõlemal pool üks muljumispind

$b_A$ ,  $b_{\ddot{u}}$  – muljumispindade laiused ehk materjali paksused

$D$  – sõrme läbimõõt

$[\sigma]_{C,A}$ ,  $[\sigma]_{C,\ddot{u}}$  – lubatav muljumispinge sõrme vasakpoolsetel ja parempoolsetel kontaktpindadel (juhul kui kontaktis olevate detailide materjal on erinev, tuleb kasutada kontakti pehmemale materjalile lubatavat muljumispinget, antud ülesandes on materjalid samad seega  $[\sigma]_{C,A} = [\sigma]_{C,\ddot{u}} = [\sigma]_c$ )

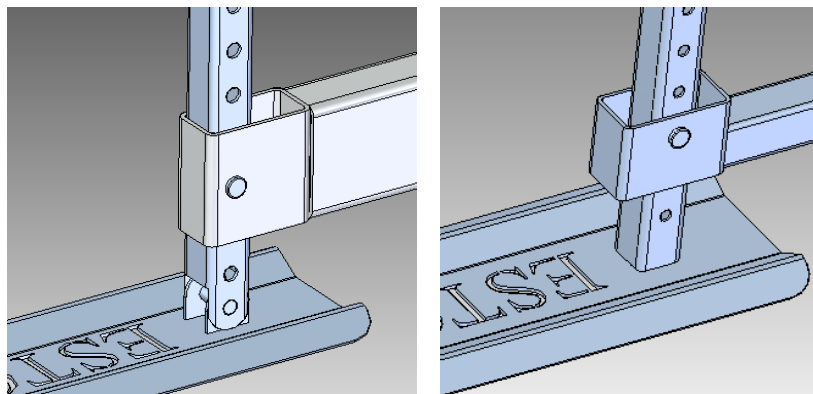
Vastavalt valemile 4.12 kontrollitakse tugevustingimuste täitmist:

$$\begin{cases} \sigma_{C,A} = \frac{3274}{3 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 136,4 \cdot 10^6 \approx 136,4 \text{ MPa} \leq [\sigma]_{C,A} = 136,5 \text{ MPa} \\ \sigma_{C,\ddot{u}} = \frac{3274}{4 \cdot 8 \cdot 10^{-6}} = 102,3 \cdot 10^6 \approx 102,4 \text{ MPa} \leq [\sigma]_{C,\ddot{u}} = 136,5 \text{ MPa} \end{cases}$$

Arvutused näitavad, et tugevustingimused on täidetud ning materjalidena võib kasutada teras S355 ümartäismaterjali läbimõõduga 8 mm ja lehtesid paksustega 4 ja 3 mm. 4 mm lehe võib asendada 3 mm lehega, mille eeliseks on esiteks väiksem materjalikulu, teiseks ettevõtte ei pea sisse ostma kahe erineva paksusega materjali, neid eraldi ladustama ja käitlema.

#### 4.1.4 Reguleerimistoru ja jalalaba vahelise kiirühenduse asendus

Reguleerimistoru on jalalaba külge kinnitatud kiirühendusega. Kaks kõrva on keevitatud laba külge, mille vahele on keevitatud ümarmaterjal. Selle pikkus on võrdne toru välisgabariidiga. Ümarmaterjali otsad jäävad kõrvadest mõlemalt poolt 2 mm välja. Ühendamisel reguleerimistoruga peaksid toru kõrvad piisavalt painduma ja seejärel avadega ümarmaterjali peale istuma (sele 4.11 a). Liigend on oluline jalalaba reguleerimiseks vastavalt maapinna konarustele. Lisaks peab olema võimalik suurem toru lasta vastu jalalaba. Ühendus ei ole mõeldud lahtivõtmiseks. Antud süsteem on võrdlemisi töömahukas ja kiirühenduse toimivus on kaheldav. Kuna laba reguleerimisnurk ei pea olema suur, piisab ca 45°, siis pakutakse välja lihtsam ja kindlam lahendus. Reguleerimistoru keevitatakse laba külge ning reguleerimistoru nihutatakse suurema toru keskele (sele 4.11 b). Selliselt on tagatud toru liikuvus 56° ulatuses.



**Sele 4.11** Reguleerimistoru ja jalalaba vaheline ühendus enne ja pärast

Jalalabal on väljalõigatud tekst painutusjoonele liiga lähedal. Tekst võib tänu sellele painutamisel deformeeruda. Selle vältimiseks viiakse painutusjoon mõlemalt poolt väljalõiget 10 mm kaugemale. Jalalaba laiuse suurenemine ei mõjuta toote funktsionaalsust. Materjalikulu suurenemine võib vähesel määral tõsta toote hinda, kuid see-eest on vähendatud praagi tekkimise tõenäosus. Samuti muudetakse jalalaba pikkust võttes arvesse standardse lehtmaterjali mõõtmeid. Kasutatava lehe mõõtmed on 1500x3000 mm. Painutatud detailid tuleb lehele paigutada selliselt, et painutus jääb risti lehe valtsimissuunaga (ptk 5.3.2) ning laseriga lõigatavate detailide vahele peab jääma vähemalt materjali paksuse suurune

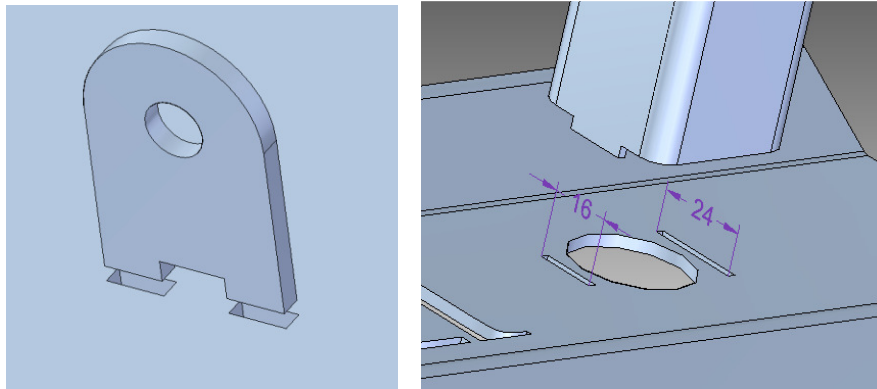
vahekaugus [9]. 500 mm pikkuse detaili korral mahub ühele lehele maksimaalselt 26 detaili. Kui vähendada detaili pikkust vaid 6 mm võrra, mahub ühele lehele 39 detaili. Selliselt hoitakse oluliselt kokku materjali ning ka aega, seejuures ei anta järgi toote funktsionaalsuse ja kasutamise mugavuse osas.

## 4.2 Uute jooniste koostamine

Parendusettepanekud realiseeritakse uute jooniste tegemisega. Jooniste tegemisele eelneb iga detaili mudeli valmistamine masinprojekteerimise tarkvaras Solid Edge. Tarkvara suureks eeliseks on toote visualiseerimine – võimalus näha, kas ja kuidas erinevad detailid ja koostud omavahel kokku sobivad ning vajadusel sisse viia muudatusi ilma suuri kulutusi tegemata. Kusjuures detailid on seotud koostuga ja tööjoonistega, nii et iga muudatus kajastub kõikjal. Detaili mudelite valmides ühendatakse need alamkoostudeks. Mõned detailid luuakse lihtsuse mõttes ka koostamise keskkonnas, näiteks detailid, mis sõltuvad juba koostus olevate detailide asetsemisest omavahel ja nende parameetritest. Alamkoostud ühendatakse peakoostuks, millesse lisatakse ka ostutooded. Mudelistest genereeritakse omakorda tööjoonised.

Mudelite tegemisel on hea teada tulevast valmistustehnoloogiast. Näiteks, nagu selgus suhtlemisel ühe võimaliku tarnijaga, peavad torulaseriga lõikamisel torude mudelid olema tehtud Sheet Metal'i keskkonnas, kus tuleb ära määrata painutuse neutraaljoone asukoha ja materjali paksuse suhe (*Neutral Factor*) (vt lisaks ptk 5.3.2), mis torude puhul on  $k = 1$ . Selliselt modelleerides on võimalik hiljem luua torude pinnalaotused, mille järgi hakkab toimuma torulaseri ja ka lehelaseri programmeerimine. Korrektsel pinnalaotuse saamiseks tuleb mudelitesse sisestada õiged, profiilide tootjate poolt antud, torude raadiused.

Valmistustehnoloogiast sõltub, kui keerulised mudelid tehakse. Antud juhul on plaan lõigata enamuse detailid välja laseriga. See annab võimaluse lõigata keerukamaid kontuure ilma, et hind oluliselt tõuseks. Seda kasutatakse ära juba koostamisele mõeldes. Näiteks kõrvade (ESTC00.14) positsioneerimiseks kolmnurgal (ESTC00.12\_2) on kolmnurgale ja kõrvadele lõigatud kontuurid, mis võimaldavad hilisema kiirema detailide omavahelise positsioneerimise enne keevitamist (sele 4.12 a). Samuti on tehtud ka torude ja teiste detailidega, mis vajavad hilisemat kokku keevitamist. Seejuures arvestatakse omavahel kokkupandavate detailide sümmeetrilisusega – kui detailid ei ole sümmeetrilised, siis tehakse väljalõiked selliselt, et vale koostamine on välditud (sele 4.12 b).



**Sele 4.12** Detailide positioneerimine koostamisel

Mudelite tegemisel on arvestatud standardprofiilide ja materjalide kättesaadavusega ning on arvesse võetud ka peatükis 4.1.1 toodud nõuded kuumtsinkimisele. Sõrmede mõõtmed on valitud lisas 8 toodud tabeli järgi. Ülejäänud kinnitusvahendite mõõtmed on valitud Baltic Bolt OÜ kodulehelt [www.balticbolt.ee](http://www.balticbolt.ee).

Tabelist 4.3 on näha, et lisaks satelliitsidejaama aluse tootmiskesksemaks muutmisele, õnnestus detailide arvu ja massi vähendada. Tänu millele on nii tootmisele kuluv aeg kui ka sellest tulenevalt toote maksumus eeldatavalt väiksem.

**Tabel 4.3** Esialgse ja modifitseeritud satelliitsidejaama aluse võrdlus

	enne ESTC00.00	pärast ESTC00.00_2
Detaile kokku, tk	66	50
Unikaalseid detaile, tk	22	18
Mass, kg	41,3	34,4

## 5. TOOTMISPROTSESS

Tootmispartiiks on ettenähtud 20 sidejaama alust, mis peavad valmima 20 tööpäeva jooksul. Sidejaama alus on mõeldud kasutamiseks välistingimustes, seega on valitud pinnakatteks kuumtsink. Sõrmede ESTC00.03 pinnakatteks on valitud elektrolüütiline tsinkimine.

### 5.1 Joonise analüüs

Mobiilse satelliitsidejaama antennialuse joonise numbriga ESTC00.00\_2 koostu kuuluvad detailid, mis on valmistatud erinevat mõõtu ümartorudest, nelikanttorudest ning 3 mm lehtmaterjalist. Profiilide materjal on S235 ning lehtmaterjali terase mark on S355. Peakoost ESTC00.00\_2 koosneb neljast erinevast keevitatud alamkoostust, eraldi detailidest sõrm ja mastitoru ning ostutoodetest. Materjalide ja ostutoodete vajadus 20 antennialuse tootmisel on toodud tabelis 5.1.

**Tabel 5.1** Materjalide vajadus

Detail	Kogus tk/koostus	Vajadus kokku, tk	Toormaterjal
ESTC00.01_2	3	60	Ruuttoru 40x40x2
ESTC00.02_2	1	20	Ümartoru D45x2
ESTC00.03	1	20	Kalibreeritud ümarteras D8 h9
ESTC00.11_2	3	60	Leht 3 mm
ESTC00.12_2	1	20	Leht 3 mm
ESTC00.13_2	1	20	Ümartoru D60.3x2.9
ESTC00.14_2	2	40	Leht 3 mm
ESTC00.21_2	1	20	Leht 3 mm
ESTC00.22_2	1	20	Ümartoru D50.8x2
ESTC00.31_2	3	60	Ruuttoru 40x40x2
ESTC00.32_2	3	60	Nelikanttoru 50x100x3
ESTC00.41_2	3	60	Leht 3 mm
Keevismutter M12	1	20	DIN 929 teras
Liblikpolt M12X30, Zn	1	20	DIN 316 Zn teras
Lukustusrõngas D8	2	40	DIN 471 teras
Sõrm D10, L=60, Zn	10	200	DIN 1444 Zn teras
Nõelsplint D3x67, Zn	10	200	DIN 11024 Zn teras
Torukork 40x40	3	60	Polüetüleen

## 5.2 Valmistustehnoloogia valik

Valmistustehnoloogia valik sõltub erinevatest faktoritest – materjal, partii suurus, detailide täpsusnõuded, ettevõtte olemasolev masinapark. Antud juhul on materjaliks süsinikteras S235 ja S355, kogus on väike ning tolerantsid on enamus toodetel võrdlemisi suured.

Ettevõtte, kes tellimuse vastu võtab, omab masinaparki, mis koosneb erinevatest universaal trei-, frees- ja puurpinkidest. Olemas on ka käsitsi juhtimisega painutuspress, torupainutus, valtsid, mehaaniline giljotiin, lintsaed ning MIG/MAG ja TIG keevitus (tabel 5.2). Enamus sidejaama aluse detailidest on nende seadmetega täiesti valmistatavad, eriti kui likvideerida seel 4.12 näidatud väljalõiked, mille eesmärk on lihtsustada hilisemat detailide positsioneerimist enne keevitamist.

**Tabel 5.2** Ettevõtte tehniline pass

Treimistöö universaalpinkidel	$D < 750 \text{ mm} / L < 2000 \text{ mm}$
Freesimistöö universaalpinkidel	$B = 300 \text{ mm} / L < 900 \text{ mm}$
Puurimine universaalpinkidel	$D < 50 \text{ mm}$
Keermestamine keermestuspingis	M5 – M24
Keevitamine poolautomaadiga	$h < 25 \text{ mm}$
Keevitamine TIG	$t < 15 \text{ mm}$
Lehtmaterjali painutamine	$L = 2200 \text{ mm} / t < 5 \text{ mm}$
Lehtmaterjali valtsimine	$D < 4500 \text{ mm} / L < 2000 \text{ mm}$
Torude painutus	$d < 2.5" / R < 2500 \text{ mm}$
Torude tükeldus	$D < 250 \text{ mm}$
Lehtmaterjali tükeldus	$t < 12 \text{ mm}$
Metalli lõikamine käsitsi gaasiga	$t < 120 \text{ mm}$
Pulbervävimine	
Vedelvävimine	
Pinnatöötlus, haavliprits	

Valmistustehnoloogiad ettevõtte siseselt antennialuse valmistamisel oleksid: lõikamine, puurimine, freesimine, treimine, painutamine ja keevitamine. Lehtmaterjali lõikamine teostatakse giljotiini all, profiilmaterjal tükeldatakse lintsaega mõõtu. Avade puurimine puurpingis, millele eelneb iga ava märkimine ja kärnimine mõlemale poole toru või puurimiskonduktori valmistamine iga erineva detaili jaoks eraldi. Freesimine toimuks käsitsijuhtimisega pinkides, samuti ka treimine ning painutamine, mis kõik kokku on väga



aja- ja ressursikulukas. Selliselt võib äärmisel juhul valmistada antud toote prototüübi, isegi siis on mõistlikum kirjaga jalalabad (ESTC00.41\_2) lõigata välja laseriga. Kuna tootmispartii on 20 tk, siis tuleb leida detailide valmistamiseks odavam ja efektiivsem tehnoloogia, kasutades allhanget. Tellimuse saanud ettevõtte teha jääb toru ESTC00.13\_2 tükeldamine, keevitamine, koostamine ja komplekteerimine.

## 5.2.1 Lehtmaterjalist detailide valmistustehnoloogia

Õhukese avadega lehtmaterjalist detailide valmistamiseks võiks teoreetiliselt kasutada stantsimist. CNC-töötlemiskeskused võimaldavad stantsida lihtsaid sirg- ja kõverjoonelisi ja ringikujulisi kontuure [23]. Antennialuse lehtmaterjalist detailide kontuurid on universaalse tööriistakomplektiga stantsimiseks keerulised. Spetsiaalsete stantside ostmine/valmistamine ei ole väikeseeria puhul ratsionaalne. Lisaks ei ole stantsiste lõikeserv üldjuhul kvaliteetne, tekivad kraadid, mille eemaldamine on lisakulu. Antennialuse lehtmaterjalist detailidel on kõigil kõverjoonelised väljalõiked, mida stantsimisprotsessis lõigatakse nõ „näksimisega“, mille lõikepinna kvaliteet on kehv, mistõttu on vajalik servade üle viimistlemine.

Joonistel nõutud täpsus on tagatav nii laser- kui ka vesi-abrasiivlõikusega. Mõlema tehnoloogia eeliseks on väga suur lõigatavate materjalide valik k.a teras. Nii laser- kui vesi-abrasiiviga lõikamine on prototüüpide ja väikeseeria toodete tootmises tänu oma paindlikkusele ideaalne. Laseri eeliseks vesilõikuse ees on kontaktivaba lõikamine, mistõttu ei toimu tööriista kulumist [23]. Vesilõikusel on kuluvosaks düüs, millest suurel kiirusel, kõrge survega veejuga koos abrasiiviga läbi surutakse. Õigete lõikeparameetrite valikul on lõikepind üldiselt mõlema tehnoloogiaga lõigates piisavalt puhas ja kvaliteetne, mistõttu ei vaja detailid viimistlevaid operatsioone. Parima valiku tegemiseks kahe lõikemeetodi vahel koostatakse hindamise maatriks.

Hindamise maatriksis hinnatakse kriteeriumeid, mis on olulised antennialuse tootmisel. Lõikeserva kvaliteet ja täpsus on mõlema tehnoloogia puhul hea, laserlõikamisel küll pisut halvem, kuid siiski antud toote jaoks piisav. Nagu tabelist 5.3 on näha määrab tehnoloogia valiku hind ja tootlikkus ning lehtmaterjalist detailid lõigatakse välja laserlõikusega.

**Tabel 5.3** Lõikusmeetodite hindamine [25]

	Kaal						Tulemus		
	1	1,4	2	2,5	2,8	3			
	termilise mõju tsoon	kasutuskulu	täpsus	lõikeserva kvaliteet	tootlikkus	3 mm terasest detaili lõikamise hind	Esmane tulemus	Kaalitud tulemus	Koht
<b>Tehnoloogia / Omaduse olulisus</b>	6	5	4	3	2	1			
Laserlõikamine	1	2	2	2	3	3	13	30,2	1
Vesi-abrasiivlõikamine	3	1	3	3	2	1	13	26,5	2

1 - rahuldav  
2 - hea  
3 - väga hea

Liigendiga toru kolmnurga, jalalabade ja kolmiku detailide servade nurga muutmine teostatakse lehtmaterjali painutamise teel. Painutamine toimub painutuspressis, milles lehtmaterjal surutakse painutustempli ja –matriitsi vahele.

### 5.2.2 Torude valmistustehnoloogia

Torud on projekteeritud selliselt, et hilisem positsioneerimine keevitamiseks oleks võimalikult kiire ja mugav. Seetõttu on torudel erinevad keerulisemad väljalõiked. Tavapärase mehaanilise töötlemise, nagu lõikamine, puurimine ja freesimine, asemel on torude väljalõikamine torulaseriga oluliselt otstarbekam ja odavam [22]. Arvestades antud kogustega on torulaseril suurem tootlikkus ning tootmispaindlikkus. Võrreldes mehaanilise töötlemisega, mis nõuab mitmeid erinevaid tööoperatsioone, seadistusi, rakiseid ja palju aega, on torulaseriga võimalik detailid välja lõigata kiiresti ja ühe seadistusega [22]. Partiisised detailid on täpsed ja ühtlaselt hea kvaliteediga. Ainuke toru, mida ei ole otstarbekas lõigata torulaseriga on mõõtmetega D60,3x2,9 L=43 mm. Nimetatud torul ei ole avasid ega muid väljalõikeid seega lõigatakse need õigesse mõõtu lintsaga.

### **5.2.3 Telje ESTC00.03 treimine**

Tellimuse saanud ettevõttel on olemas universaaltreipink, millega on võimalik lihtsa sõrme treimine tagades nõutud täpsused. Antud telje treimise päring esitatakse ka firmale, kes omab CNC treikeskust. Nende pakutud hind detailile on odavam, kui universaal treipingis valmistatuna. Võttes arvesse, et tegemist on partii tootmisega, siis ühekordse programmi kirjutamisega CNC treipingile tuleb tootmine kokkuvõttes veelgi odavam. Seega tellitakse ka sõrmede valmistamine allhankena.

### **5.2.4 Keevitamine**

Tellimuse saanud ettevõtte teostab keevitustööd ise, andmaks ka oma töötajatele tööd. Seega on valida kahe ettevõttes olemasoleva keevitustehnoloogia vahel – poolautomaatne MIG/MAG ja TIG keevitus. TIG keevitusega saadakse küll keevitaja professionaalsuse korral kõrgekvaliteetne keevisõmblus, kuid tehnoloogia on väga tundlik igasugusele mustusele keevitatavate detailide pindadel ja ka lisamaterjali varrastel [21]. Võrreldes poolautomaat keevitusega on sulamatu elektroodiga keevitamise tootlikus madalam [21]. Üldjuhul kasutatakse TIG keevitust alumiiniumi ja roostevaba terase keevitamisel [21].

MIG/MAG keevitusprotsessi iseloomustab kõrge tootlikkus, mis on tingitud suurte keevitusvoolude rakendamisest ja suurest voolutihedusest. Protsess on võrdlemisi paindlik – võimalik on keevitada kõiki keevitatavaid metalseid materjale: kõrg-, madal- ja mitteleegerteraseid, alumiinium-, nikkel- ja vasesulameid [7]. Keevitatava lehtmaterjali paksusevahemik on väga lai, minimaalne paksus võib olla 0,6 mm ja maksimaalse paksuse piirangut praktiliselt ei ole [7]. Keevitusprotsessi on võimalik kasutada kõigis ruumiasendites. Puuduseks on nõue kasutada MIG/MAG keevitust vaid sisetingimustes, kus on puudub tõmbetuul. Nimelt puhub suurem õhu liikumine kaitsegaasi kaarleegi ümbert ära, mille tõttu keevisõmbluse kvaliteet langeb märgatavalt [7]. Antennialused keevitatakse tehase siseruumides, seega on see mure kõrvaldatud. Kahest võimalikust keevitusprotsessist valitakse antud toote keevitamiseks kõrgema tootlikkusega ja levinum poolautomaatne MIG/MAG keevitus.

## 5.3 Tootmisprotsessi kirjeldamine

Lehtmaterjalist detailide valmistamiseks kasutatakse laserlõikust ning painutamist. Toru detailid lõigatakse välja torulaseri abil. Hinge telg treitakse CNC treikeskuses. Kõik eelnev tellitakse allhankena. Detailide omavaheliseks liitmiseks kasutatakse liitepindade sulatamist ilma välisjõudu rakendamata ehk keevitamist. Keevitusprotsessiks on valitud MIG/MAG keevitus. Pärast keevitamist koostud kuumtsingitakse. Treitud telg tsingitakse elektrolüütiliselt, kuna selliselt saadud tsingikiht on õhem ning väiksema pinnakaredusega, mis on teljele nõutud täpsust arvesse võttes oluline. Lõpuks toimub koostamine ja komplekteerimine koos kvaliteedi kontrollimisega. Ülevaade erinevate detailide valmistustehnoloogiast on toodud tabelis 5.4. Keevitamise tulbas on omavahel kokku keevitatavad detailid märgitud vastava koostejoonise tähisega.

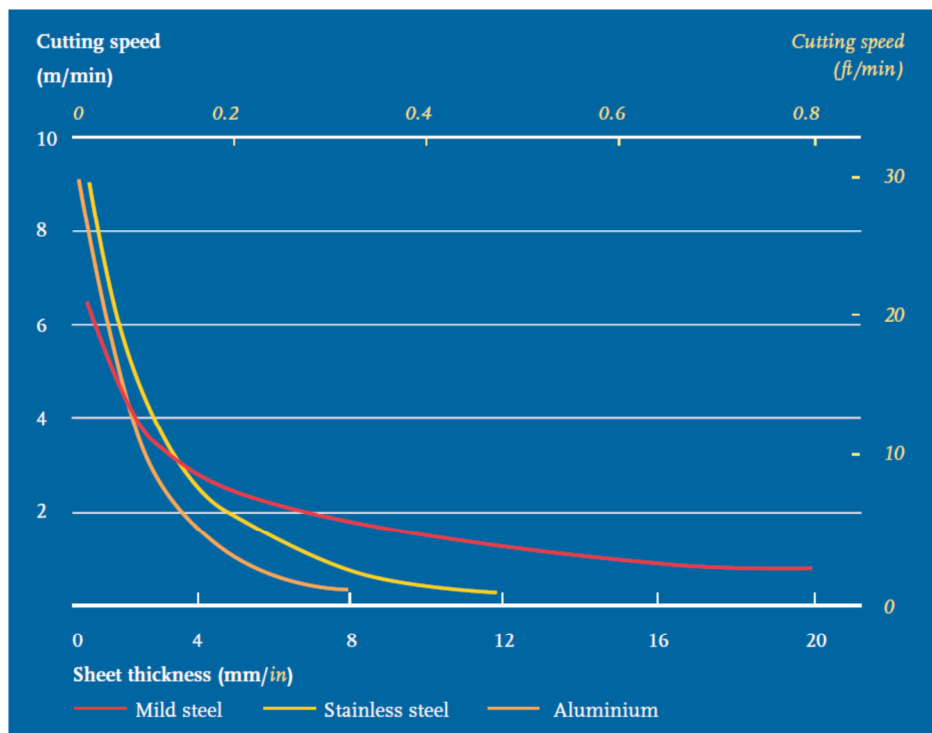
**Tabel 5.4** Detailide valmistustehnoloogiad

Joonise nr	Lehelaser	Painutamine	Torulaser	Saagimine	Treimine	Keevitamine
ESTC00.01_2			X			ESTC00.40_2
ESTC00.02_2			X			
ESTC00.03					X	
ESTC00.11_2	X	X				ESTC00.10_2
ESTC00.12_2	X					ESTC00.10_2
ESTC00.13_2				X		ESTC00.10_2
ESTC00.14_2	X					ESTC00.10_2
ESTC00.21_2	X	X				ESTC00.20_2
ESTC00.22_2			X			ESTC00.20_2
ESTC00.31_2			X			ESTC00.30_2
ESTC00.32_2			X			ESTC00.30_2
ESTC00.41_2	X	X				ESTC00.40_2

### 5.3.1 Lehtmaterjalist detailide lõikamine laseriga

Lehtmaterjalist detailid lõigatakse välja 3 kW Bystronic fiiber laseriga. Laseri valgus pärineb diodidest, mis võimendatakse kasutades fiiberoptilisi kaableid [1]. Kaablid on sarnased andmete edastamisel ja side pidamisel kasutatavate fiiberkaablitega, mida on nimetatud ka esimeses peatükis. Seejärel suunatakse võimendatud valgus läätsele, mis valguse koondab ja fokuseerib materjalile, mida laseriga lõikama hakatakse. Fiiber tehnoloogial põhineva laseri efektiivsus on umbes 50 %, mis on suurem, kui teistel tehnoloogiatel põhinevatel laseritel [1]. Eriti efektiivne on fiiber laserit kasutada kuni 5 mm lehtmaterjali lõikamiseks. Laserlõikusel

sõltub võimalik lõikekiirus materjalist ja selle paksusest, mille sõltuvus on toodud seel 5.1. Materjali paksuse kasvades, lõikekiirus väheneb.

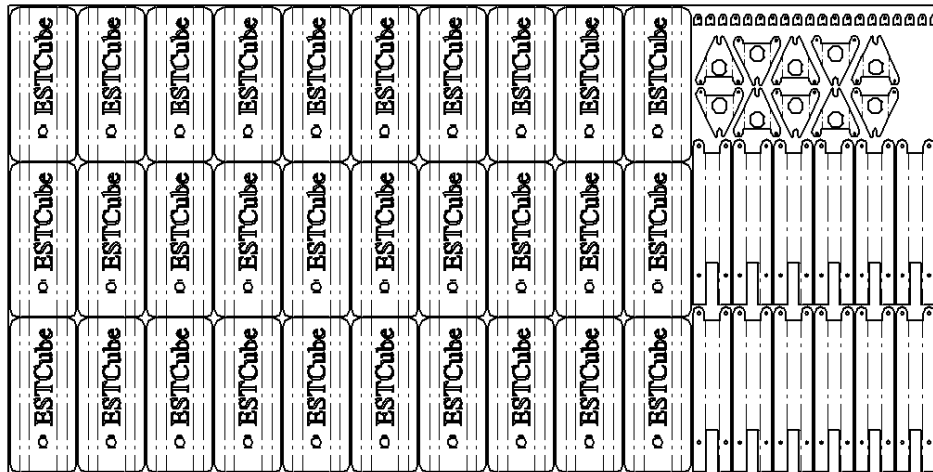


**Sele 5.1** 3 kW võimusega laseri lõikekiiruste sõltuvus materjali paksusest [1]

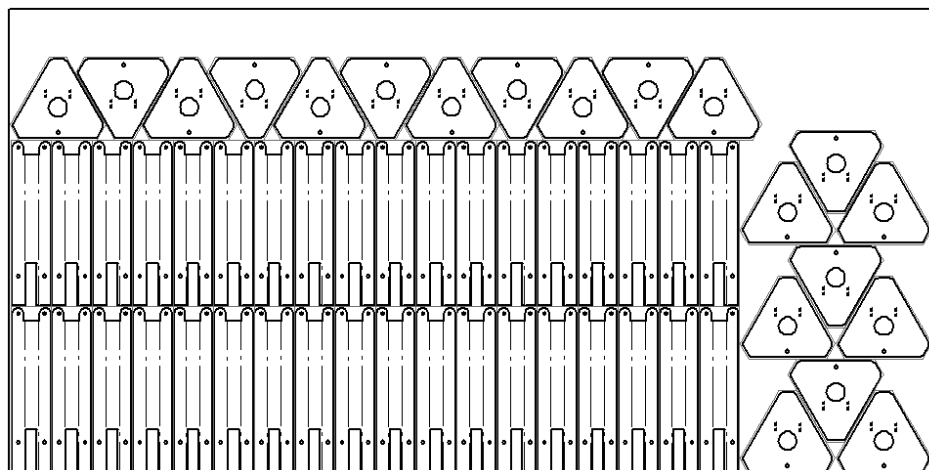
Üldjuhul soovitakse lehtmaterjali laser-, plasma ja vesilõikuseks saada detailide pinnalaotusi DXF failidena. Need imporditakse CAM süsteemidesse, kus joonisest tehakse masinale mõistetav kood (nt G-kood). Edukaks lõikamiseks tuleb kõik elemendid konverteerida joonteks ja kaarteks. Samuti peab lõigatav kuju olema üks kinnine kontuur, mis ei tohi sisalda vahemikke, ülekatteid ja topelt jooni. Programmis määratakse ära kõik vajalikud lõikeparameetrid - lõikekiirused ja laseri fookuskaugus. Läätsse kaugus materjali pinnast ehk fookuskaugus on sõltuvuses lõigatava materjali paksusest. Mida õhem materjal seda väiksem fookuskaugus ning suurem lõikekiirus [1].

Koodi õigsuse kontrollimiseks on programmidel üldjuhul olemas simuleerimise võimalused. Pärast edukat simulatsiooni asetatakse detailid võimalikult efektiivset materjali kasutust silmas pidades standardmõõtudega lehele (inglise keeles *nesting*). Standard lehe mõõtmete valikul tuleb lähtuda laserlõikuspingi töölauda mõõtmetest, mis antud juhul võimaldavad lõigata maksimaalselt lehte mõõtudega 1500x3000 mm. Detailide väljalõikeplaani (sele 5.2 ja sele 5.3) koostamisel lehele saadakse ka informatsiooni vajamineva materjali optimaalse koguse kohta.

Kolmiku osa ESTC00.11\_2 oli algselt plaanis välja lõigata torulaseriga U-profiilist, kuid tarnijaga suheldes selgus, et masina seadistamine U-profiili jaoks ei ole otstarbekas. Variantideks jäi lehelaser ja hilisem painutamine või lõikamine torust 50x50x3. Miskipärast otsustas soodsaima pakkumise teinud tarnija valmistada detailid lehtmaterjalist, kuigi torust lõigates jääb ära painutamine, samas on materjali kulu suurem. Seega on antud töös arvestatud selle detaili lõikamine lehelaseriga ja hilisem painutamine.



Sele 5.2 Detailide jaotus lehele 1



Sele 5.3 Detailide jaotus lehele 2

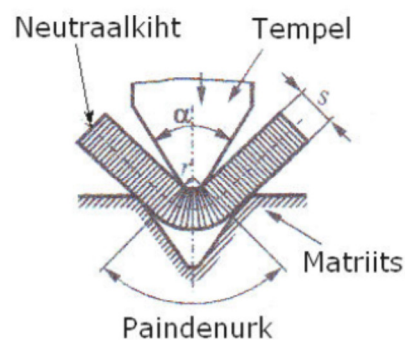
Kõikide detailide lõikamiseks tootmispartii 20 tüki korral on vaja kolme teras S355 3 mm lehte mõõtudega 1500x3000 mm. Eeltoodud detailide paigutuse korral: 2 x leht 1 (sele 5.2) ja 1 x leht 2 (sele 5.3). Lehe 1 kasutusefektiivsus on 85,2 % ning lehel 2 66,7 %. Detailide vahele peab jääma vahe, vähemalt materjali paksus. Antud juhul on see valitud pisut suurem. Toodud lõikeplaanidel on ainult 20 antennialuse tarbeks vajalikud detailid, kui neid

tihedamalt asetada on lõikaval ettevõttel võimalik veel teistest tellimustest detaile materjali sobivuse korral jaotuslehele lisada.

CAM tarkvaraga koostatud programm saadetakse tehases oleva lehelaseri terminali koos töökäsuga. Edasi võtab laserpingi operaator järjekorrast järgmise töö ning seadistab masina vastavalt. Asetab töölauale õige paksusega materjali. Kõik detailid lõigatakse tervest lehest välja korraga. Niipea, kui laser on oma töö lõpetanud liigub töölaud laseri tööpiirkonnast koos detailidega välja, samal ajal teine laud koos uue lehega asemele (karusellsüsteem). Operaator saab detailid kokku korjata ning vastavalt kujule erinevatesse kastidesse ära jagada. Painutatavad detailid liiguvad painutuspingi juurde ning valmisproduktid kauba väljastamisalasse pakkimisele.

### 5.3.2 Lehtmaterjalist detailide painutamine

Laseriga välja lõigatud detailide osade vahelise nurga moodustamiseks kasutatakse painutamist templi ja matriitsi vahel. Painutatud detailidel on sisemised materjalikihid surutud ning välimised tõmmatud. Nende kihtide vahel asub neutraalkiht (sele 5.4), mille pikkus jääb painutamisel samaks. Neutraalkihi asukoht sõltub sisemise painderaadiuse  $r$  ja materjali paksuse  $s$  suhtest [9]. Mida väiksem on sisemine painderaadius, seda lähemal neutraalkiht sellele asub.



**Sele 5.4** Lehtmaterjali painutamine templi ja matriitsi vahel [9]

Painutamisel tuleb jälgida materjali valtsimissuunda. Lehtmaterjal on tänu valtsimisele anisotroopne, kihid on piki valtsimissuunda välja venitatud [9]. Painutades paralleelselt valtsimissuunaga võivad tekkida paindekoha välimistesse materjalikihtidesse praod. Seetõttu on soovitatud detailid välja lõigata selliselt, et painutusjoon on risti lehe valtsimissuunaga [9]. Detailide väljalõikeplaani koostamisel on selle soovitusena arvestatud.

Antennialusel on kolm erinevat detaili, mis vajavad painutamist. Tegemist on lihtsate 90° nurga all olevate painetega, mis teostatakse CNC painutuspressil Bystronic templi ja matriitsi vahel. Painutuspressile kirjutatakse programm, mille järgi painutamine toimuma hakkab. Programmis määratakse ära piirajate vajalikud kaugused, materjali paksus, painutusnurgad, paindenurga ülepainutamise vajadus ja muud vajalikud parameetrid. Painutuspingi operaatori teha jääb paigaldada pingile õiged terad ja matriitsid ning teostada painutused õiges järjekorras õigete terade all. Pärast painutamist kontrollib operaator painutuste mõõtmeid ja nurka ning asetab valmis tooted alusele ning seejärel liiguvad tooted edasi väljastusalasse.

### 5.3.3 Profiilidest detailide lõikamine torulaseriga

Torudest detailid lõigatakse välja Trumpfi torulaseri abil. Torulaseri programmeerimine on paljuski sarnane lehelaseri programmeerimisega (ptk 5.3.1). Torudest tehakse pinnalaotused, kus kontrollitakse, et torude raadiused kattuksid reaalse torude raadiustega. Pinnalaotused tehakse mudelite välispinnast. Jooned peavad olema ühekordsed ja moodustama kinnise kontuuri. Seejärel mähitakse programmis olev 2D pinnalaotus ümber 3D toru. Laseri x, y ja z teljesuunalised ning toru ringliikumised genereeritakse automaatselt toru dimensioone arvesse võttes. Programmi kirjutatakse sisse vajalikud lõikekiirused ja vastavalt materjali paksusele määratakse ka laseri fookuskaugus. Läätses kaugus lõigatava materjali pinnast säilitatakse kogu lõikeprotsessi vältel konstantne. Koodi korrektsuse kontrolliks simuleeritakse toru lõikamist, eduka simuleerimise järel saadetakse programm koos töökäsuga torulaseri terminali. Torulaseri operaatori ülesandeks jääb torulaserisse õigete mõõtmetega toru sisestamine ning programmi käivitamine ja selle täitmise kontrollimine.



**Sele 5.5** Torulaser



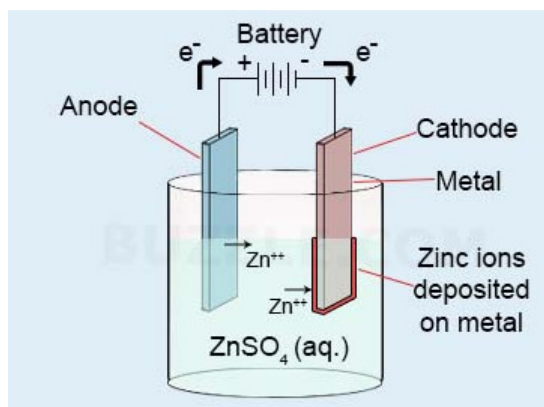
### **5.3.4 Toru ESTC00.13\_2 lõikamine lintsaga**

Torul läbimõõduga 60,3 mm, seinapaksusega 2,9 mm ja pikkusega 43 mm ei ole avasid ega keerulisi sisselõikeid. Antud toru on otstarbekam lõigata lintsaga. Lõikamine toimub käsitsi etteandega lintsae all. Kuna korduvaid lõikeid samal kaugusel on 20, siis seadistatakse lintsae piiraja, selliselt, et toru pikkus peale lõikamist jääb 43 mm. Toru lükatakse vastu piirajat ning kinnitatakse tugevalt nõ tangide vahele, mida veel omakorda pingutatakse. Saelindi ringliikumise kiirus määratakse vastavalt lõigatavale materjalile. Reguleeritakse sae langemise ehk ettenihke kiirust. Pärast lõike sooritamist jääb saag automaatselt seisma, see tõstetakse üles, detail eemaldatakse, toru vabastatakse tangide vahelt ning lükatakse taas vastu piirajat ning korratakse tsükli, kuni kõik 20 detaili on välja lõigatud.

### **5.3.5 Telje ESTC00.03 valmistamine**

Teljed treitakse CNC treikeskuses kalibreeritud D8 h9 ümarmaterjalist. Nagu eelnevatele arvjuhtimisega masinatele, tuleb ka treikeskusele kirjutada programm. Vastava tarkvara abil kirjutatakse CNC pingi juhtimiseks G-kood. Tarkvaraga on võimalik treimist simuleerida ja kontrollida koodi õiget toimimist. Programmis määratakse ära lõikekiirused ja ettenihked. Treimist alustatakse otspinna treimisega, millele järgneb faasi ning stopperõngaste astmete treimine. Seejärel võetakse detail teise spindli peasse, tehakse läbilõige ning treitakse teine faas. Valmis detail väljastatakse masinast ning alustatakse järgmise telje treimist.

Telgede pinnakatteks on valitud elektrolüütiline tsinkimine. Pärast detailide kättesaamist transporditakse need otse tsinkimise teenust pakkuvale ettevõttele. Tsinkimisel kaetakse teljed õhukese tsingikihiga kaitsmaks terast korrosiooni eest. Tsinkimine toimub vannis, mis on täidetud elektrolüütilise lahusega. Tsingitav detail on katood ja metall, millega terast kaetakse on anoodiks [16] ehk antud juhul tsinkplaat. Anood ja katood asetatakse lahusesse ning ühendatakse alalisvoolu allikaga (sele 5.6). Vooluringi sisse lülitamisel hakkab anood eraldama tsingi positiivselt laetud ioone, mis kinnituvad substraadile, moodustades terase pinnale õhukese kuni 25 µm kaitsva tsingikihi [16].



**Sele 5.6** Elektrolüütiline tsinkimine [16]

Enne tsinkimist puhastatakse detailid igasugusest mustusest nagu näiteks õli ja rooste. Eelnev korrektne detailide puhastamine on aluseks kvaliteetsele tulemusele. Igasugune mustus võib põhjustada tsingi mittekorralikku kinnitumist ning hilisemat maha koorumist substraadi pinnalt. Seetõttu läbivad detailid enne tsinkimisprotsessi mitmeid puhastusprotseduure. Detailid kastetakse 5...10 minutiks 65 °C leeliselahusesse, millega eemaldatakse suurem osa mustusest [16]. Seejärel asetatakse detailid lahusesse ja nendest lastakse läbi elektrivool, mis puhastab detailid mustusest mikrotasandil. Edasi toimub detailide puhastamine oksiidikihist happes. Seejärel pestakse detailid korralikult veega happest puhtaks. Järgmiseks sammuks on tsinkimine elektrolüütilise lahuse vannis. Tsingikihi paksus sõltub, kui kaua detaili lahuses voolu all hoitakse, voolutugevusest ja vannis oleva lahuse keemilisest koostisest [16]. Pärast tsinkimist detailid loputatakse vannis või jooksva vee all ning seejärel kuivatatakse.

### 5.3.6 Keevitamine

Detailide omavaheliseks liitmiseks kasutatakse MIG/MAG keevitamist. Keeviskoostude valmistamise lihtsustamiseks on detailidele lõigatud sisselõiked, mis võimaldavad koostatavad detailid omavahel lihtsalt positsioneerida ja fikseerida (sele 4.12). Tänu sellele ei ole enam keeviskoostudel antud tootes vajalik eraldi keevitusrakiste konstrueerimine. Keevisõmbluse kaateti kõrgus on väike ( $a=2$ ), seetõttu on keevituse jääkpingetest põhjustatud detailide kõverdumine ja mõõtmete muutuse oht minimaalne. Keevistoodete kujumuutusi mõjutavad teatud keevitusparameetrid. Kujumuutused on tingitud mõjuvatest kahanemisjõududest, mida on võimalik väljendada valemiga 5.1 [7]:

$$F = 0,2 \cdot n \cdot \frac{U \cdot I}{V_k} = 0,2 \cdot n \cdot Q_e \quad (5.1)$$

kus  $n$  – tegur, mis arvestab liite tüüpi, mõõtmeid ja keevitusprotsessi

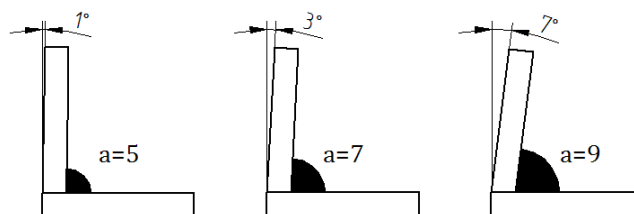
$U$  – keevituskaare pinge,

$I$  – keevitusvool,

$V_k$  – keevituskiirus,

$Q_e$  – keevituse soojussisestus kJ/mm.

Valemist 5.1 on näha, et kahanemisjõud sõltub suuresti keevituse soojussisestusest ehk pinge, voolutugevuse ja keevituskiiruse suhtest. Mida väiksem on keevituskaatet, seda väiksem on vajalik soojussisestus, mis omakorda vähendab oluliselt detailide kõverdumist (sele 5.7). Seega ei ole vaja enamuse antennialuse koostude keevitamisel kasutada keevitusrakiseid. Detailid positioneeritakse kasutades vastavaid väljalõikeid, fikseerimiseks detailid punktatakse ja seejärel keevitatakse vastavalt joonistele ja keevitusprotseduuri spetsifikaadile. Koostu ESTC00.10\_2 keevitamiseks, millel ei ole kõikide detailide omavaheline positioneerimine väljalõigetega tagatud, tuleb konstrueerida eraldi keevitusrakis.



**Sele 5.7** Detailide kõverdumise sõltuvus keevisõmbluse ristlõike suurusest [7]

Poolautomaatkeevituse protsessi stabiilsuse tagamiseks peab traadi sulamiskiirus olema võrdne traadi etteandekiirusega [7]. Viimane on sõltuvuses keevitusvoolust – mida kiirem etteandekiirus seda suurem peab olema keevitusvool. Voolu kasvades omakorda suureneb läbikeevitus ja tootlikkus. Liiga suur vool võib, aga põhjustada sisselõike defekte ja materjali läbipõlemist. Pinge vähenedes ja voolu suurenedes muutub keevituskaar lühemaks [7]. Pikema kaare korral on pinge suurem, voolutugevus väiksem, ja väheneb ka läbikeevitus. Oluline on leida keevitamisel optimaalne pinge-voolu suhe.

Poolautomaatkeevitamise juures on väga oluline komponent keevitusgaas, mis tagab stabiilse kaare ja ühtlase elektroodimetalli siirde ning mõjutab ka keevituse tootlikkust. Kaitsegaasi

valik tehakse olenevalt keevitatavast materjalist. Süsinik- ja madallegeerteraste keevitamiseks kasutatakse segugaase, kõige levinuim on segugaas Ar + 18 % CO<sub>2</sub> [7]. Võrreldes puhta süsihappegaasiga on segugaas kallim. Arvestades, et gaasikulu kogu keevituskulude juures moodustab ainult 4 % ning segugaasi kasutamisega on keevituskiirust võimalik tõsta 15...30 % [7] siis on mõistlikum kasutada kallimat segugaasi. Lisaks eelnevale on segugaasi kasutamisel tekkivate keevituspritsmete keskmine läbimõõt 0,3 mm, mida on võimalik hõlpsalt traatharjaga eemaldada [7]. Puhta süsihappegaasi kasutamisel on keevituspritsmete läbimõõt suurem kui 1 mm, mis keevituvad detailide pinnale ning mille eemaldamine on töömahukas. Samuti on keevisõmbluse kvaliteet segugaasiga keevitades oluliselt parem [7]. Antud töö keeviskoostude keevitamiseks valitakse segugaas Mison 18 (Ar + 18 % CO<sub>2</sub> + 0,03 % NO), millele on lisatud lämmastikoksiidi, mis vähendab keevitaja tervisele ohtliku osooni eraldumist keevitamisel [7].

Keevitustraadina kasutatakse ESABi täistraati Autrod 12.51 (EN G3Si1), millega on võimalik keevitada nii segugaasis kui ka süsihappegaasis vastupolaarse alalisvooluga (DC+). Antud keevitustraadi spetsifikatsioon on toodud lisas 6. Traadi koostises on 0,1 % süsinikku, 0,9 % räni ja 1,5 % mangaani. Viimased kaks on desoksüdeerijad [7]. Räni sisaldus keevitustraadis vähendab pooride tekkimise riski ja parandab keevismetalli voolavust. Mangaan soodustab eelistatud nõelja struktuuriga ferriidi tekkimist. Süsiniku sisaldus hoitakse keevitustraadides väike, vältimaks külmpragude tekkimist [7].

Üks tähtsamaid kontrollitavaid keevitusparameetreid, mis mõjutab keevise kvaliteeti, on keevituse soojussisestus. Soojussisestuse suurendamisega on võimalik suurendada keevituskiirust ning vähendada riski külmpragude tekkimiseks. Liiga suure soojussisestuse korral väheneb oluliselt liite löögisiskus miinustemperatuuridel [7]. Soojussisestuse sõltuvus keevitusparameetritest on toodud valemis 5.2.

Keevituse soojussisestus [7]:

$$Q_e = \frac{k \cdot U \cdot I}{V} \cdot 10^{-3} \frac{\text{kJ}}{\text{mm}} \quad (5.2)$$

kus  $U$  – kaare pinge V,

$I$  – voolutugevus A,

$V$  – keevituskiirus mm/s,

$k$  – keevitusprotsessi termiline kasutegur, valitakse vastavalt protsessile

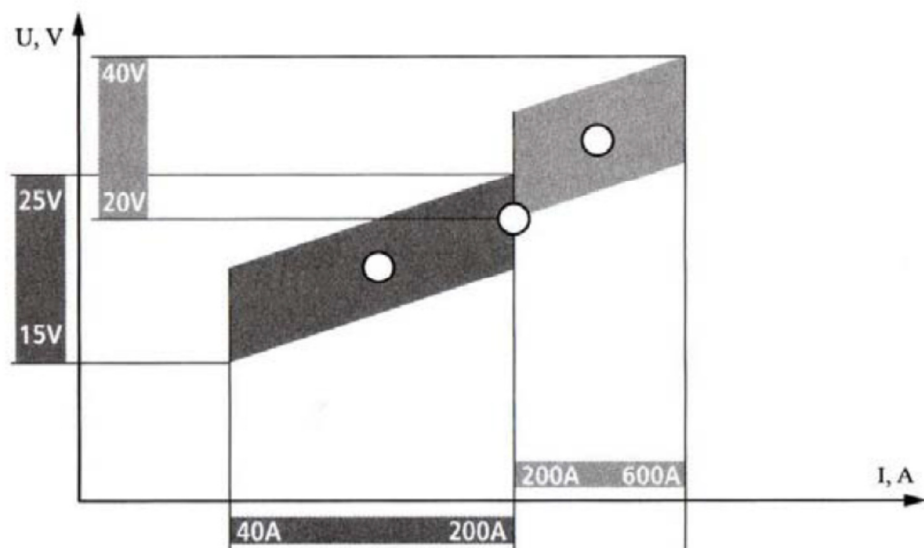
MMA – 111;  $k=0,85$

MIG/MAG – 131/135;  $k = 0,85$

TIG – 141,  $k = 0,6$

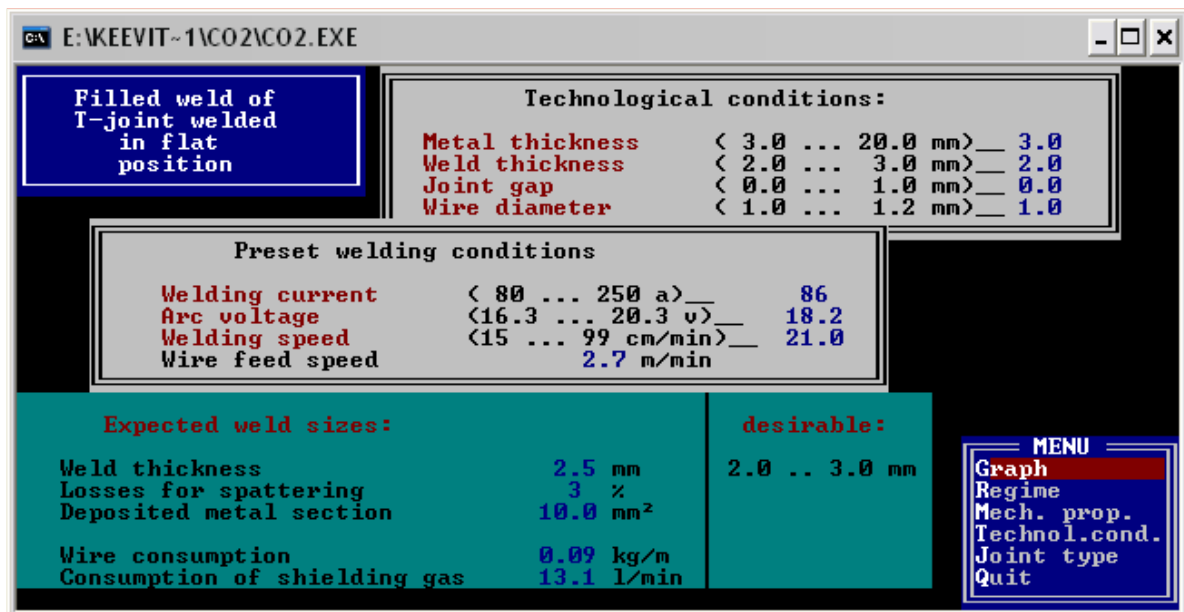
keevitus räbustis – 121,  $k = 1,0$

Toodete keevitamisel kasutatakse metalli lühistega siiret, mis esineb väiksematel keevitusvooludel ja madalamatel pingetel [7]. Lühikaar pinge ja voolu vahemikud on toodud seel 5.8. Lühikaar sobib õhukeste materjalide keevitamiseks, tänu väikesele ja kiiresti tarduvalle keevitusvannile. Lühikaarkeevitusel on soovitatav voolukontakti kaugus keevitatava materjali pinnast kümnekordne traadi läbimõõt [7]. Lühikaare eeliseks on väheste keevituspritsmete eraldumine.



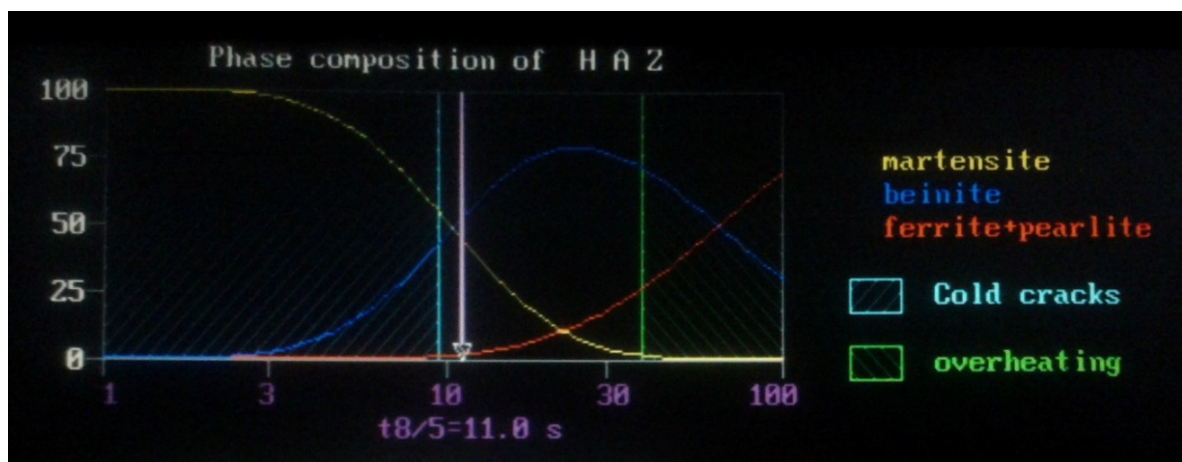
**Sele 5.8** Keevitusparameetrite aken lühikaarkeevitamisel (tumehall) [7]

Keevitusparameetrite valikul kasutatakse MAG-keevituse inseneriprogrammi MSGSCO2, kuhu sisestatakse keevisliite kuju, keevitatava materjali mark ja paksus, keevitustraadi mark ja läbimõõt ning keevisõmbluse paksus. Esiteks pakub programm vaikimisi parameetrid, mis ei pruugi olla sobilikud külmpragude vältimiseks. Külmpraad tekivad kiirel jahtumisel, väikese soojussisestuse korral. Vältimaks ettekuumutuse vajadust valitakse sellised keevitusparameetrid, mille korral on vesinikpragude tekkimise oht likvideeritud. Sobilikud pinge, voolutugevus ja keevitamise kiirus on toodud seel 5.9.



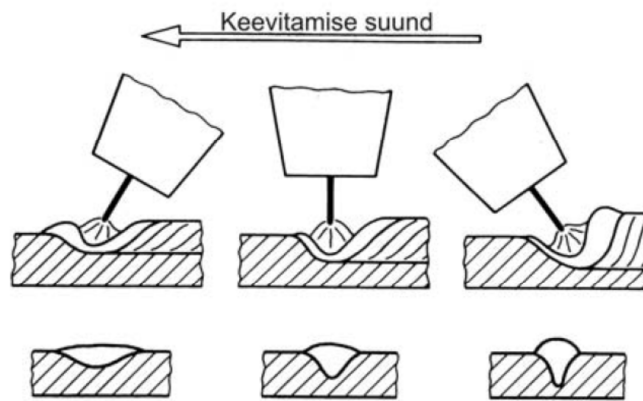
Sele 5.9 Keevitusparameetrid (MSGSCO2)

Keevitamisel tekkiva termomõju tsooni struktuur ja õmbluse jahtumise aeg 800 °C kuni 500 °C ( $t_{8/5} = 11,0$  s) on toodud seel 5.10, kust selgub, et valitud keevitusparameetrite korral on jahtumisaeg piisav, vältimaks külmpragude tekkimist.



Sele 5.10 Keevisõmbluse termomõjutsooni struktuur ja jahtumisaeg (MSGSCO2)

Keevitamise sooritustehnikaks valitakse vedav tehnika (sele 5.11 c), mille korral on hea läbikeevitus. Tänu sellele on võimalik vedava tehnikaga suurem keevituskiirus, mis omakorda tõstab tootlikkust. Antud tehnika sobib hästi õhukese materjali alla-asendis nurkõmbluse keevitamiseks.



**Sele 5.11** Keevitamise sooritustehnikad a – tõukav, b – püstine tõukav, c – vedav tehnika [7]

Eeltoodud olulisemad keevitusparameetrid on koondatud tabelisse 5.5. Lisaks on koostatud esialgne keevitusprotseduuri spetsifikaat (pWPS), kus on toodud põhjalikumad andmed keevitamise kohta (lisa 3).

**Tabel 5.5** Keevitusparameetrid

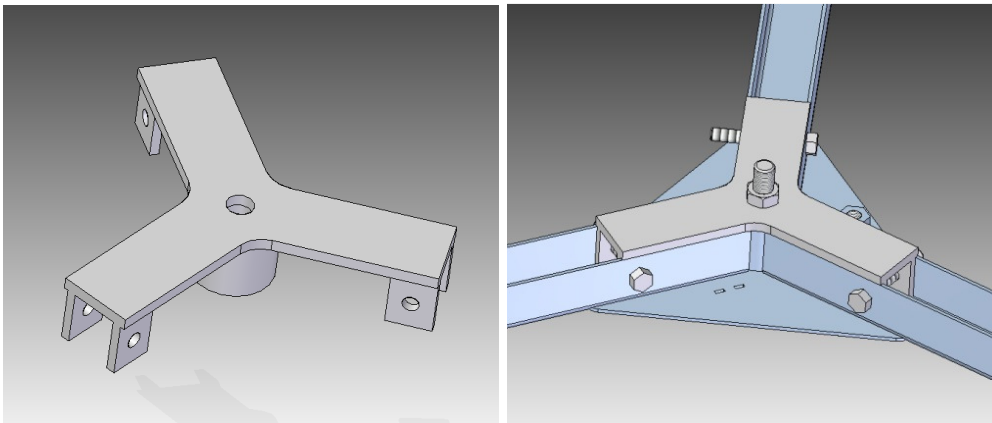
	Protsess 135
Voolutugevus	86,0 A
Pinge	18,2 V
Keevituskiirus	21,0 cm/min
Soojussisestus	0,38 kJ/mm
Keevitustraad	Autrod 12.51, 1,0 mm
Gaas	Ar + 18 % CO <sub>2</sub> + 0,03 % NO

Keevituse soojussisestus on arvatud kasutades valemit 5.2.

$$Q_e = \frac{k \cdot U \cdot I}{V} \cdot 10^{-3} = \frac{0,85 \cdot 18,2 \cdot 86,0}{\frac{21,0}{6}} \cdot 10^{-3} = 0,38 \frac{\text{kJ}}{\text{mm}}$$

Enamus detaile on omavahel keevitamiseks positsioneeritavad ja fikseeritavad tänu väljalõigetele detailides. Erandiks on antennialuse kolmik (ESTC00.10\_2), mille koostamiseks ja fikseerimiseks on vajalik keevitusrakis (sele 5.12). Esiteks asetatakse kolmnurk tasasele keevituslauale. Kolmnurga ESTC00.12\_2 külge keevitatakse keevismutter, mille positsioneerimiseks kasutatakse kolmnurgas olevat ava. Seejärel pannakse kolmnurga keskel olevasse avasse toru ESTC00.13\_2. Järgmisena asetatakse kolmnurgale jalad, mida

osaliselt on võimalik positsioneerida jalgadesse tehtud sisselõigete abil. Lõplikuks jalgade fikseerimiseks kasutatakse kolmharki, mis kinnitatakse jalgades olevate avade kaudu poldide abil ning hark omakorda kinnitatakse M16 keermevarda abil keevituslaua külge. Kõigepealt fikseeritakse jalad nii toru kui kolmnurga külge traagelõmblustega ja seejärel keevitatakse vastavalt joonistele ja keevitusprotseduuri spetsifikaadile (WPS). Jalgade toru külge keevitamisel, alt üles asendis, kasutatakse tõukavat keevituse sooritustehnikat (sele 5.11 a). Kõik ühesugused keeviskoostud keevitatakse kokku järjest. Näiteks keevitatakse kokku kogu partii jalakoostud ja alles siis hakatakse keevitama jalalaba kooste jne.



**Sele 5.12** Keevitusrakis

### 5.3.7 Toodete kuumtsinkimine

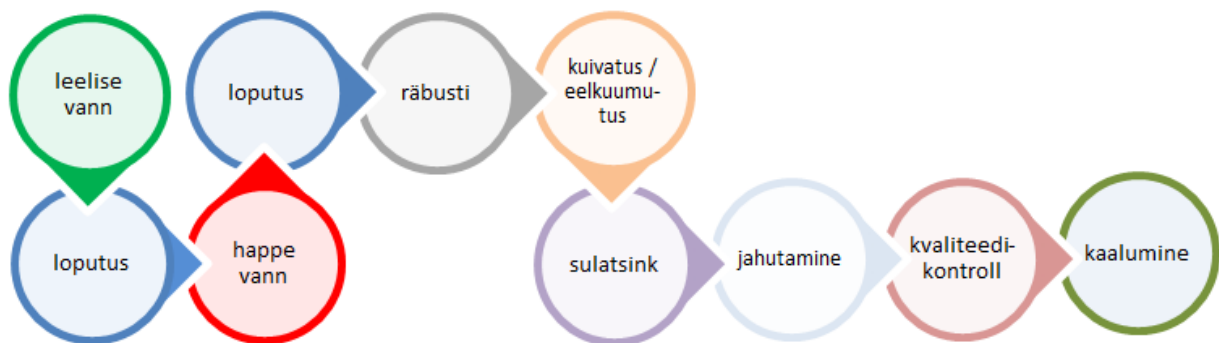
Terase kaitsmiseks korrosiooni eest kaetakse koostud ja detailid kuumtsinkimisel kaitsva tsingikihiga. Tsingikihipaksus kuni 3 mm nominaalpaksusega toodete puhul on minimaalselt 55  $\mu\text{m}$  [20]. Kuumtsinkimine sarnaneb pisut elektrolüütilisele tsinkimisele, nimelt lõppkvaliteet sõltub samuti suuresti terase pinnapuhtusest enne tsinkimise läbiviimist.

Enne kuumtsinkimist läbib tsingitav toode mitmeid puhastusvanne. Esimeseks protseduuriks on toodete puhastamine õlist ja muust mustusest leelilahuses, millele järgneb toodete puhastamine veevannis leelisest, vältimaks selle sattumist järgmisesse – söövitusvanni [6]. Happevannis eemaldatakse terase pinnalt rooste. Söövitamise aeg sõltub roostetamise astmest ja lahuse kontsentratsioonist [6]. Tavaliselt viiakse söövitamine läbi toatemperatuuril. Taas puhastatakse tooted veevannis happest.

Järgmiseks kastetakse tooted räubustisse, mis koosneb tavaliselt tsingi- ja ammooniumikloriidi lahusest [6]. Räubusti ülesanne on takistada puhta teraspinna oksüdeerumist enne tsinkimist.



Tähtsaks etapiks ohutuse ja kvaliteedi seisukohast enne tsinkimist on tsingitavate toodete kuivatamine ja eelkuumutamine [6], millega välditakse aurude tekkimist tsingivannis. Pärast kuumutamist spetsiaalses kambris on tooted valmis kastmiseks sulatsingivanni. Temperatuur vannis hoitakse 440 ja 460 °C vahel, vannis oleva tsingi puhtus standardi järgi peab olema 98,5 % [6]. Tooted hoitakse tsingivannis seni, kuni nad on saavutanud sulatsingiga sama temperatuuri. Pärast tsinkimist tooted jahutatakse ja seejärel teostatakse visuaalne kontroll, vajadusel järeltöötlus, tsingikihi paksuse mõõtmine ja kaalumine. Kokkuvõtvalt selgitab kuutsinkimise protsessi sele 5.13.

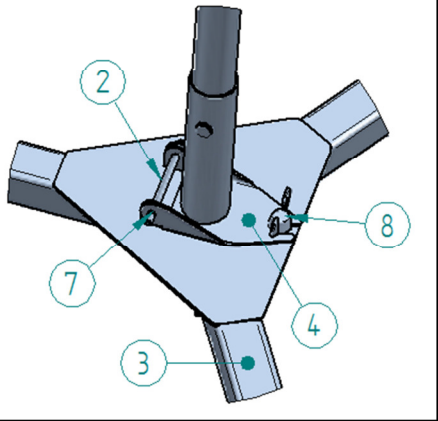


Sele 5.13 Kuumtsinkimise protsess

### 5.3.8 Toodete koostamine ja kvaliteedikontroll

Enamus koostud on keevitaja poolt kokku keevitatud. Monteerija ülesandeks jääb koostada kolmiku (ESTC00.10\_2) ja liigendiga toru (ESTC00.20\_2) omavaheline liigendsüsteem ning paigaldada jalgade (ESTC00.30\_2) otsa torukorgid. Koostu osad ja kogused on toodud tabelis 5.6. Esiteks paigaldatakse kogu partii teljele 2 ühele poole stopperrõngas, milleks kasutatakse selleks ettenähtud spetsiaalseid tange, edasi toimub koostamine paralleelselt ühel töökohal. Telg on projekteeritud mõlemalt poolt pisut pikem lihtsamaks koostamiseks. Läbi liigendsüsteemi avade telge paigaldades jääb esiteks piisavalt materjali, millest kinni hoida ning pikem ots tsentreerib ennast liigendi teise poole avadesse kiiremini ära. Tangidega kinnitatakse ka telje teise otsa lukustusrõngas. Liigend fikseeritakse kolmiku külge liblikpoldiga.

**Tabel 5.6** Koostatav sõlm ja selle osad

Pos	Tähistus	Kogus, tk/kompl	
2	ESTC00.03	1	
3	ESTC00.10_2	1	
4	ESTC00.20_2	1	
7	Lukustusrõngas D8, DIN 471	2	
8	Liblikpolt M12x30, DIN 316	1	

Toode komplekteeritakse ja pakitakse komplekti kaupa. Komplekti kuuluvad kõik koostud ja kinnitusvahendid, mis on toodud koostejoonisel ESTC00.00\_2. Kinnitusvahendid pannakse antennialusega kaasa eraldi karpi pakituna. Kokku pannakse vaid kolmik ja liigendiga toru, kuna sellisel tasemel koostatuna on toode kompaktssem.

Kvaliteedikontrolli teostatakse pisteliselt kogu tootmise käigus. Tarnijatelt kauba saabumisel teostatakse toodete ülevaatus. Kuna detailid valmistatakse CNC juhtimisega pinkides, mille korral on toodetel ühtlane kvaliteet ja mõõtmed partii ulatuses tagatud, siis mõõtude vastavust joonisele kontrollitakse vähemalt igal ühel unikaalsel tootel. Visuaalselt kontrollitakse kõik keevisõmblused. Pinnakatte kvaliteedi kontroll toimub paralleelselt koostamisega. Täiendavaks kontrolliks pannakse täielikult kokku vähemal üks antennialus ning mõõdetakse üle gabariitmõõtmed.

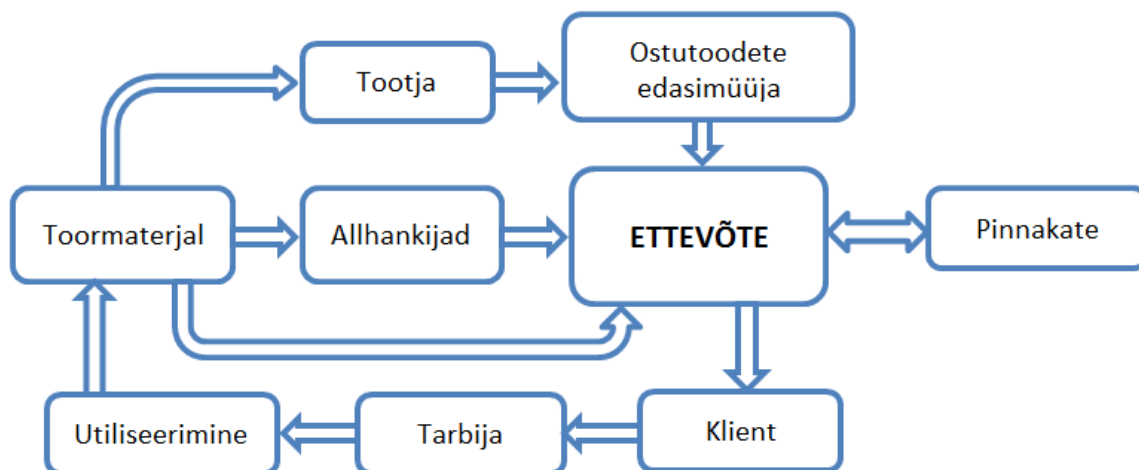
## **6. TARNEAHEL JA LOGISTIKA**

Tootmestamise üheks eesmärgiks on vähendada tootmiseks kuluvat aega ja kulusid. Selle saavutamiseks on vajalik tarneahela juhtimine ja logistika kasumlik korraldamine. Tänapäeval ei konkureeri enam omavahel üksikud ettevõtted vaid terved tarneahelad. Head suhted partneritega tarneahela sees võimaldavad pakkuda konkurentsivõimelisi tooteid oma klientidele. Paremate isiklike ja tõhusamate suhete loomiseks kasutatakse aina vähem erinevaid tarnijaid, mille tulemusena tekib ühtne soov kogukulusid vähendada.

### **6.1 Tarneahela strateegia**

Kõiki ettevõtteid mõjutavad aktuaalsed tegurid nagu toote valmistamise aja lühenemine, globaliseerumine, muutlik nõudlus, püüe kohandada toodet vastavalt kliendi vajadustele jne ühtemoodi [12]. Sellegipoolest on olemas erinevad strateegiad ettevõtte tarneahela juhtimiseks, mis jagunevad laias laastus kaheks – spekulatsioonise ja edasilükkamise strateegia [12]. Spekulatsioonise strateegia kasutamisel toimub tootmine müügiprognooside alusel lattu. Sellise strateegia kasutamine eeldab turunõudluse stabiilsust ja võimalust võimalikult täpselt ette ennustada tuleviku nõudlust ja tootmiskahtusid. Edasilükkamise strateegia kasutamisel lükatakse otsus mida ja kui palju toota võimalikult kaugemale, et vastata täpsemalt kliendi ootustele ja soovidele [12].

Strateegia valiku tingib ettevõtte iseloom. Ettevõtte peab analüüsima, millises tarneahela võrgustikus ta asub ning milline on tema mõjuvõim selle tarneahela üle. Seel 6.1 on toodud antennialuste tootmisel tekkiv tarneahel, millelt on näha, et aluseid tootev ettevõtte on suhteliselt kesksel kohal. Tarneahela strateegia määratlemiseks tuleb vaadelda toodete spetsiifikat ning analüüsida klientide ootusi [12]. Ettevõtte tegeleb, nagu varasemalt mainitud, tellimuste täitmisega vastavalt kliendi soovidele. Seega on antud olukorras tarneahela strateegiaks täielik edasilükkamine. Antud lahendust on võimalik rakendada juhul kui kliendi ootuseks on isiklikult talle valmistatud toote pakkumine. Sellise ootuse korral on klient nõus ootama kauem toote valmimist. Kuigi sellise strateegia puhul on kulutused tootmisele oluliselt suuremad, on klient nõus maksma toote eest kõrgemat hinda, kuna toode valmistatakse tema soovide järgi [12]. Antennialuste tootmise korral on valitud strateegia parim lahendus, kuna nõudlus ei ole konstantne ning müügiprognooside tegemine on keeruline.



**Sele 6.1** Tarneahel antennialuste valmistamisel

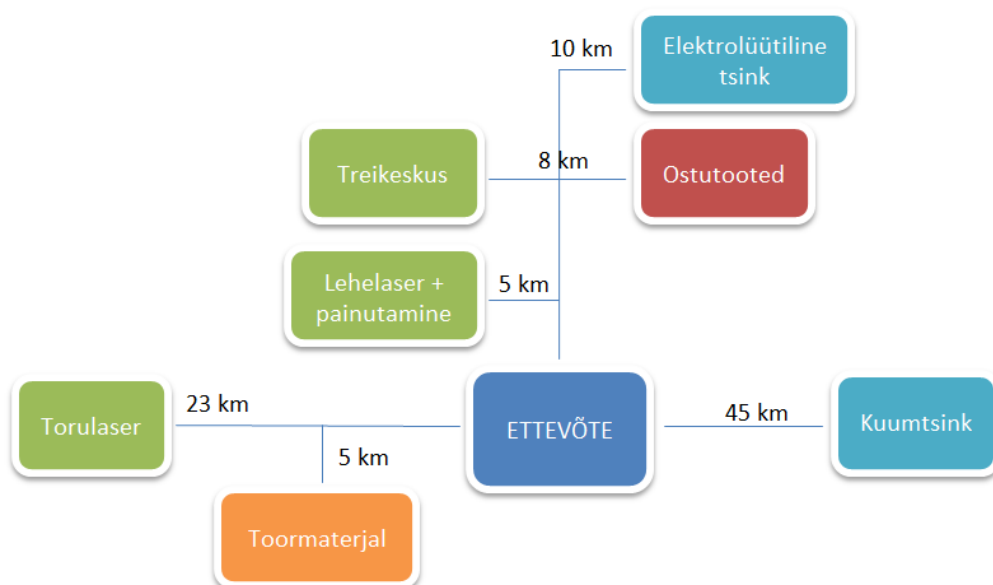
Antennialuste valmistamise tehnoloogia, eeldab tellimuse saanud ettevõttelt allhanke kasutamist, kuna firmal endal puuduvad vajalikud seadmed ja partii suurus ei ole piisavalt suur nende seadmete soetamiseks. Turul on laserlõikust ja torulõikust pakkuvaid ettevõtteid mitmeid. Eriti suur on konkurents laserlõikust ja painutamist pakkuvate ettevõtete vahel. Tarnijate valikul tuleb tagada, et sisseostetud tooted valmiksid tähtaegselt ning oleksid kvaliteetsed.

Sobivaima koostööpartneri valiku lihtsustamiseks tuleb hinnata võimalike tarnijate tarnekindlust ja –kiirust, pakutavat hinda, kvaliteeti, tootmisvõimsust, koormatust, paindlikkust ja suhtumist [23]. Hinna ja tarnekiiruse väljaselgitamiseks esitatakse erinevatele tarnijatele hinnapäringud. Varasema koostöö puudumise tõttu ei ole kogemusi kvaliteedi ja tarnekindluse osas. Seda on võimalik kindlaks teha taustauuringuga – näiteks küsitleda ettevõtte teisi kliente või sukelduda interneti sügavustesse. Lisaks uurida ka ettevõtte finantskäitumist ja maksedistsipliini – näiteks kasutades Krediidiinfo AS pakutavaid teenuseid. Tarnija koormatuse, tootmisvõimsuse ja –võimaluste, paindlikkuse ja suhtumise väljaselgitamiseks tuleb tarnijaga suhelda. Suhtumine ilmneb suures osas hinnapäringutega tegelemisest. Mõni ettevõtte ei pruugi päringule enne vastata, kui ei ole tehtud järelepärimist ja alles siis selgub, et see ettevõtte ei soovi pakumist teha. Selline suhtumine ei tekita usaldust ning paneb kahtluse alla firma töö kvaliteedi. Samas teine ettevõtte tunneb huvi koostöö tegemise vastu – esitab küsimusi ja teeb omapoolseid ettepanekuid toote parendamiseks, mis suurendab kindlasti selle ettevõtte šansse saada tarnijaks.

## 6.2 Logistika

Üks olulisi tarneahela osasid on logistika, mille ülesandeks on toodete liikumise korraldamine sihtpunktist lähtepunkti ja vajadusel tagasi. Logistika jaguneb üksiku ettevõtte jaoks põhiliselt kolmeks: hankelogistika, materjalilogistika ja jaotuslogistika [23]. Hankelogistika tegeleb tootmiseks vajalike parima hinna ja kvaliteedi suhtega toormaterjalide, ostutoodete ja pooltoodete toimetamisega tarnijate juurest tootmisesse, õiges koguses ja õigel ajal. Materjalilogistika eesmärgiks on materjalide organiseerimine ettevõtte siseselt ühest kohast teise tootmisprotsessi käigus. Jaotuslogistika ülesanne on valmistooded viia tarbijale. Antud töös mängib, tänu paljude erinevate tarnijate olemasolule, suurimat rolli hankelogistika, mis algab ettevõtte materjali vajadusest.

Hankelogistika korral on suurimaks väljaminekuks antud toote puhul kulud transpordile. Transpordikulude vähendamine on lähedalt seotud transpordi kasumliku korraldamisega. Eesmärgiks on selgitada välja tarnijate asukohad ning võimalused, kuidas ja millal on kõige otstarbekam tooted tarnijatelt tootmisesse toimetada. Selleks on vajalik informatsioon erinevate pooltoodete ja ostutoodete tarnimisaegade kohta (sele 8.1). Võttes arvesse erinevate tarnijate asukohad (sele 6.2), toodete koguse, tarnimiskiiruse ning tootmise planeerimise toimub kauba transport vastavalt tabelile 6.1. Ettevõtte tegeleb peale antennialuste tootmise veel erinevate toodete valmistamisega, mis vajavad pinnakatteid ning reaalselt ei tehta nii palju tühja kastiga sõite.



Sele 6.2 Tarnijate asukohad

**Tabel 6.1** Transpordi marsruudid

Kuupäev	Marsruut	Teepikkus, km
12.06	E - Toormaterjal - E	10
13.06	E - Torulaser -E	46
13.06	E - Lehelaser - Treikeskus - Elektritsink -E	24
17.06	E - Kuumtsink -E	90
20.06	E - Ostutooded - Elektritsink - E	23
26.06	E - Kuumtsink -E	90
Kokku		283
<b>Märkus.</b> E - tellimuse saanud ettevõtte.		

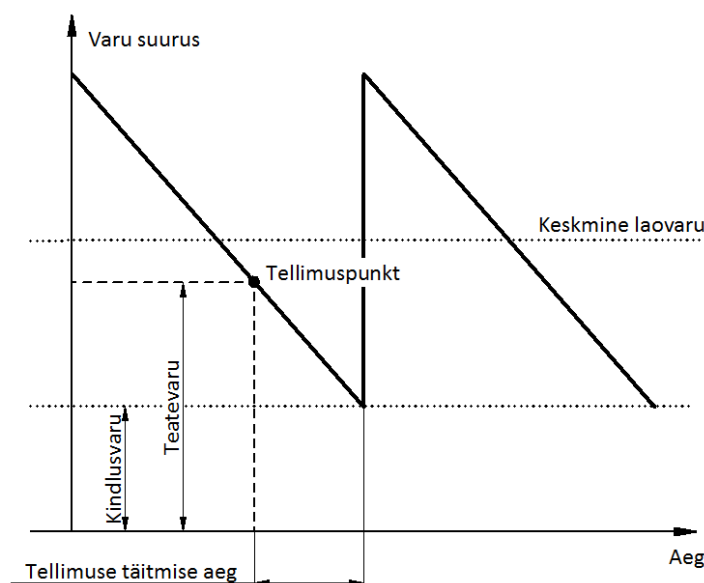
Marsruutide valimisel on lähtunud tarnijate asukohast ja toodete vajaduse järjekorrast tootmisel, millele annab ülevaate seie 8.1. Näiteks ostutoodet ja treikeskusest tulnud telge ei ole vaja enne koostamise alustamist. Kuna aga lehelaser on samal suunal treikeskuse, ostutoodete edasimüüja ja elektrolüütilist tsinkimist pakkuva ettevõttega, siis tehakse treikeskusele tellimus selliselt, et lehtmaterjalidest valmistatud pooltoodetele järgi minnes oleks võimalik ka teljed kätte saada ja need otse edasi elektrolüütilisesse tsinkimisse viia. Eelpool toodust on näha, kui oluline on sünergia logistika, tarneahela ja tootmise vahel, parima, efektiivseima tulemuse saavutamiseks.

## 7. ANTENNIALUSE TOOTMISHINNA KALKULATSIOON

Antennialuste tellimuse saanud ettevõtte omab universaalpinkidest koosnevat masinaparki, millega ei ole ratsionaalne sellises koguses tooteid valmistada. Seega otsustatakse enamuse detailide valmistamine tellida allhankena, vastavaid seadmeid omavate ja teenuseid pakkuvate firmade käest. Kõikide detailide, välja arvatud toru D60,3x2,9, valmistamine tellitakse väljast. Tellimuse saanud ettevõtte ülesandeks jääb keevitamine, pinnakatte korraldamine, koostamine ja lõplik kvaliteedikontroll.

### 7.1 Ostutegevus

Tootmine antud ettevõttes toimub vaid nõudluspõhiselt ehk toote valmistamise alustamise aluseks on konkreetne klienditellimus. Sisseostetavad materjalid jagunevad nelja gruppi. Toormaterjalide, allhankena tellitavate detailide ja ostutoodete vajadus ja kogused selguvad tellimusest ja toote spetsifikatsioonist või jooniselt. Abimaterjalidega, mida kasutatakse paljude erinevate klientide tellimuste täitmisel, nagu näiteks keevitusgaas ja keevitustraat, ostetakse lattu varuga. Süsinikterase keevitamine on antud ettevõttes üks põhiline sissetuleku allikas, mistõttu on nende abimaterjalide pidev olemasolu kriitilise tähtsusega. Seetõttu on paika pandud skeem, kus varude kahanemisel teatud koguseni esitatakse tellimus ja tarnitakse materjalid. Tellimuspunkti paika panemisel tuleb arvestada tarneajaga. Olemas on ka kindlusvaru, mis on mõeldud ettenägematuteks olukordadeks. Abimaterjalide tellimise skeemi selgitab sele 7.1.



Sele 7.1 Abimaterjalide tellimuspunkt [23]

Tellimuspõhisel ostutegevusel ostetakse materjal ja detailid sisse vajalikus koguses konkreetse tellimuse täitmiseks. Ühekordse ostmise eeliseks on suurem vabade ressursside olemasolu ning sisseostu- ja tootmisplaanide ajaline sünkroonsus [23]. Samas on suurem risk tarne hilinemisele, mille vältimiseks tuleb kasutada puhveraega. Lisaks on ühekordse ostmise puuduseks väiksemad kogused, millele tarnijad ei saa pakkuda erilisi allahindlusi. Ainult tellimuse jaoks vajalike toodete koguse tellimisel puudub risk varude seismajäämiseks lattu. Suuremate koguste puhul tuleb arvestada praagi võimalusega ja sellest johtuvalt on soovitatav mõned detailid rohkem tellida. Koguse pealt see toote lõpphinda oluliselt ei mõjuta. Kallim variant on praagi esinemisel tellida vaid üht detaili.

Ostutegevuse üheks strateegiliseks küsimuseks on samade detailide tellimine ühelt või mitmelt tarnijalt. Antud tootmispartii korral otsustatakse ühe tarnija kasuks, kuna kogused on liialt väikesed samade detailide jaotamiseks erinevate tarnijate vahel. Lisaks on ühelt tarnijalt ostmisel rida eeliseid. Tänu suurematele kogustele, võrreldes jagatud tellimusega, on tarnija võimeline tegema allahindlusi. Ettevõtte ja allhankija vahel on isiklikum ja tõhusam suhtlemine. Puudub vajadus korraldada transporti erinevatesse ettevõtetesse, millega vähenevad transpordikulud. Ostjal on lihtsam korraldada paberi- ja haldustööd, koostada ajakava ning kvaliteedikontrolli teostatakse vaid ühele tarnijale [23].

### **7.1.1 Tarnija valik**

Olulist osa ettevõtte tegevuses etendab tarnijate valik (ptk 6.1). Tarnija valimisel tuleb hinnata nende poolt valmistatud toodete kvaliteeti, tarnekindlust ja –kiirust ja loomulikult pakutavat hinda. Lisaks teostatakse tarnijatele taustauuring, mis kätkeb endas pädevuse ja finantsseisundi kontrollimist. Hindade ja tarneaegade teada saamiseks esitatakse mitmele võimalikule tarnijale hinnapäringud, mis sisaldavad jooniseid ja detailide koguseid. Võimalike tarnijate valikul on lähtutud nende tootmise asukohast. Päringud on esitatud firmadele, mis asuvad tellimuse saanud ettevõttest mõistlikus kauguses, hoidmaks kokku tulevase transpordikulusid. Kuna mõnede ettevõtetega ei ole eelnevat koostöö kogemust, siis on võimalik tarnijaid antud juhul hinnata järgmiste kriteeriumide alusel: hind, tarneaeg, asukoht ja teenindus.

Hinnapäringud esitati vähemalt kolmele eriteenust pakkuvale ettevõttele. Torude laserlõikuse päring esitati FinEst Steel'ile, Bestnet'ile ja Repston'ile. Esimene loobus pakkumise esitamisest, kuid oli lahkesti nõus näitama oma tootmisvõimalusi ja selgitama tehnoloogiate



olemuse. Bestneti teenindus oli väga meeldiv - kiire reageerimine, soovitude jagamine ning vastati meelsasti ja põhjalikult tehnoloogiat puudutavatele küsimustele. Repston reageeris samuti kiire ja põhjaliku pakkumisega. Lehtmaterjalist detailide laserlõikuse ja painutamise päring esitati Baltic Steel Center'ile, Laserline'le, Tallinna Laserile ja Sient'ile. Baltic Steel Center vastas kiiresti ja põhjalikult, jagas soovitusi parema tulemuse saavutamiseks. Kahelt järgmiselt tuli üle küsida, kas nad on päringu kätte saanud. Seejärel lisandus kaks pakkumist, kuidu oli teenindus meeldiv. Viimasele esitati päring peale laserlõikuse detailidele ka hinge teljele ESTC00.03, kahjuks otsustas ettevõtte peale päringu kätte saamise kinnituse küsimist, hinda mitte pakkuda. Telje päring esitati peale Sienti veel Pro CNC'le ja CustomMetal'le. Teljele tegi pakkumise kahjuks ainult üks.

Ülevaatliku pildi saamiseks erinevate tarnijate pakutavatest hindadest ja tarneaegadest koostatakse võrdlustabelid tabel 7.1 ja tabel 7.2. Partii jaoks vajalikud detailide kogused on toodud tabelis 5.1. Lehtmaterjalidest detailid tellitakse tarnijalt, kelle kaugus on lähim ja hinnad soodsaimad. Tarneaeg on antud tarnijal pikim, kuid arvesse võttes, et torudetailide tarne on samuti 10 päeva ja lehtmaterjalist detailidega üksi ei ole võimalik tootmist alustada, siis ei ole see määrav. Torulaseriga lõigatud detailide tarnijad asuvad ligikaudu sama kaugel, kuid hinnaerinevus on kolme ja poolekordne seega, valitakse tarnijaks soodsama hinnapakkumise tegija. Hinge teljele tegi hinnapakkumise vaid üks tootja, milleks oli 3,50 EUR/tk. Partii jaoks on vaja 20 detaili, seega hind kokku on 70 EUR. Tarneaeg telgedele pakuti 5 tööpäeva.

**Tabel 7.1** Lehtmaterjalist detailide laserlõikuse ja painutamise\* hinnapakkumised

Tarnija kaugus	EUR/tk			EUR/partii		
	5 km	16 km	15 km	5 km	16 km	15 km
ESTC00.12_2	2,37	2,65	4,30	47,40	53,00	86,00
ESTC00.14_2	0,21	0,44	0,90	8,40	17,60	36,00
ESTC00.21_2*	2,30	3,10	5,40	46,00	62,00	108,00
ESTC00.41_2*	6,23	7,28	11,70	373,80	436,80	702,00
	Kokku			475,60	569,40	932,00
	Võrdlus odavaimaga			0,00	93,80	456,40
	Tarneaeg, tööpäev			10	7...8	7...8

**Tabel 7.2** Toru laserlõikuse hinnapakumised

Tarnija kaugus	EUR/tk		EUR/partii	
	23 km	22 km	23 km	22 km
ESTC00.01_2	7,05	12,80	423,00	768,00
ESTC00.02_2	7,53	17,20	150,60	344,00
ESTC00.11_2	4,56	27,80	273,60	1668,00
ESTC00.22_2	1,92	3,80	38,40	76,00
ESTC00.31_2	7,93	18,10	475,80	1086,00
ESTC00.32_2	1,99	5,60	119,40	336,00
Kokku			907,20	3166,00
Võrdlus odavamaga			0,00	2258,80
Tarneaeg, tööpäev			10	10

### 7.1.2 Toormaterjali vajadus

Toormaterjalina peab ettevõtte sisse ostma vaid detailide ESTC00.13\_2 valmistamiseks toru D60,3x2,9. Ühe detaili pikkus on 43 mm, ühele antennialusele on vaja ühte toru. Seega on toru vajadus 20 antennialuse korral 0,86 m. Arvestades juurde lintsae lõikevaru, mis on umbes 2 mm lõike peale, on vajadus kokku 0,9 m. Üldjuhul müüakse torusid 6 m pikkustena. Juhul, kui tõenäosus, et sama toodet tellitakse tulevikus veel, on väike, siis on võimalik teatud metallitarnijate käest osta ka mõõtu lõigatud profiile. Sellisel juhul võiks toru tellida 1 m, arvestades ka võimaliku praagi tekkimise ohuga. Antud töös arvestatakse, et ostetav kogus on 1 m. Toru D60,3x2,9 hind on 3,39 EUR/m, millele lisandub lõikamise hind 0,62 EUR. Toormaterjali hind kokku on 4,0 EUR. Antud toru on hea kättesaadavusega, maksimaalne tarneaeg on 2 tööpäeva.

### 7.1.3 Ostutooted

Antennialuse lõplikuks monteerimiseks on vajalikud erinevad ostutooted ja kinnitusvahendid, mille kogused ja hinnad on toodud tabelis 7.3. Baltic Bolt'i hinnapakumine antud toodetele on toodud lisas 7. Siinkohal tuleb tähelepanu pöörata sõrmede ja liblikpoltide tarneajale, kuna tegemist ei ole väga laialdast kasutust leidvate produktidega, siis on neile ettenähtud tarneaeg 7 kuni 10 päeva. Tarnija valikul lähtuti asjaolust, et kõik vajalikud tooted saab tellida ühest kohast, mis hoiab oluliselt kokku aega ja muid ressursse.

**Tabel 7.3** Ostutoodete vajadus ja hinnad

Ostutoode	Kogus tk/koostus	Vajadus kokku, tk	Hind, EUR/tk	Hind, EUR/partii
Keevismutter M12, DIN 929 ST	1	20	0,11	2,20
Liblikpolt M12X30, DIN 316 Zn ST	1	20	1,93	38,69
Lukustusrõngas D8, DIN 471 ST	2	40	0,02	0,90
Sõrm D10, L=60, DIN 1444 Zn ST	10	200	1,66	332,16
Nõelsplint D3x67, DIN 11024 Zn ST	10	200	0,08	15,64
Torukork 40x40, polüetüleen	3	60	0,25	15,00

Kokku 404,59

### 7.1.4 Kuumtsinkimine ja elektrolüütiline tsinkimine

Pinnakatteks on valitud kõikidele detailidele kuumtsinkimine, erandiks on telg ESTC00.03, mis tsingitakse elektrolüütiliselt. Tsinkimise maksumust arvestatakse tsingitavate toodete kaalu järgi, seda nii kuumtsinkimisel kui ka elektrolüütilisel tsinkimisel. Kuumtsinkimise kilohinnaks on arvestatud 0,45 EUR/kg ja elektritsinkimisel 0,65 EUR/kg. Saadud hinnad on toodud tabelis 7.4. Tarneaeg mõlemal juhul on 3 kuni 5 tööpäeva.

**Tabel 7.4** Pinnakatte maksumus

Detail	Kogus tk/koostus	Vajadus kokku, tk	Koostu mass, kg	Mass kokku, kg	Hind, EUR/partii
ESTC00.02_2	1	20	3,80	76,00	34,20
ESTC00.03	1	20	0,05	1,00	0,65
ESTC00.10_2	3	60	5,38	322,80	145,26
ESTC00.20_2	1	20	0,73	14,60	6,57
ESTC00.30_2	3	60	4,81	288,60	129,87
ESTC00.40_2	3	60	3,01	180,60	81,27

Kokku 397,82

### 7.1.5 Transpordikulud

Transpordi kulude arvestuse aluseks on tabelis 6.1 toodud läbitavad vahemaad toodete tarnimiseks ja toimetamiseks erinevate ettevõtete vahel. Vahemaa kokku on 283 km. Transpordi kilomeetri hinnaks, mis sisaldab kütusekulu, autojuhi palka ja investeeringuid autole võetakse 0,42 EUR/km. Transpordikulu kokku 118,9 EUR.

## 7.2 Tootmiskulud

Peale ostutoodete ja allhankena tellitud detailide tehakse tellimuse saanud ettevõttes keevitustööd ja lõplik koostamine, mille aja ja kulude arvutamine on toodud järgnevates peatükkides.

### 7.2.1 Toru ESTC00.03 saagimise aeg ja maksumus

Saagimise aja arvutamiseks on oluline teada lintsae ettenihet, mille valik sõltub lõigatavast materjalist. Antud toru lõikamisel võiks ettenihe olla ca 5100 mm<sup>2</sup>/min (8 sq. in/min) (lisa 4). Toru kogu ristlõikepindala on 2856 mm<sup>2</sup>. Seega kulub ühe lõike tegemiseks ca 34 sekundit, millele tuleb lisada 70 % abiaegu ehk ühe toru lõikamiseks kulub kokku ca 1 minut. Kogu partii jaoks on tarvis lõigata 20 toru, aega selleks kulub 20 minutit. Töölise töötasu koos maksudega on antud tööle 6,65 EUR/h ehk kokku firma poolt makstav tasu 0,33 h · 6,65 EUR/h = 2,20 EUR.

### 7.2.2 Keevitamise maksumus

Keevitamise maksumuse arvutamiseks kasutatakse ESABi programmi WeldCost, kuhu sisestatakse erinevad parameetrid ja hinnad (sele 7.2). Tulemuseks on kogu kulu eurot/tunnis, mis sisaldab nii kulumaterjale, investeeringuid keevitusseadmele kui ka tööjõukulu.

Materjali tüübiks valitakse teras tihedusega 7850 kg/m<sup>3</sup>. Pealesulatustegur (*Deposition rate*) valitakse vastavalt traadi läbimõõdule ja keevitusvoolule lisa 5 tabelist 6B. Lisametalli kasutustegur (*Net efficiency*) sõltub keevitusprotsessist – elektroodkeevitusel on see 65 %, MAG-keevitusel 95 % [7]. Keevitaja töötasu (*Wage + overheads*) võetakse 7,5 €/h neto, millele lisatakse tööandja poolt makstav sotsiaalmaks 33 %, kokku 10 €/h. Aastas on keskmiselt 1650 töötundi, mis ei sisalda puhkust ega riiklikke pühapäevi. Kaare põlemisaja tegur (*Duty cycle*) näitab kaareaja suhet keevitusaega. Keevitusaeg koosneb kaareajast ehk ajast, millal realselt keevitatakse ning abiajast, mil toimub detailide kinnitamine keevitusrakisesse, traagelõmbuste tegemine, pritsmete eemaldamine, masinate seadistamine ja reguleerimine. Kaare põlemisaja tegur sõltub keevitusprotsessist, MAG keevitusel on see 20...50 % [7]. Keevitusseadme maksumuseks on võetud 3800 EUR, millele lisanduvad panga intressid. Seadme tasuvusajaks on võetud viis aastat.

**Part1 Input Data**

Material type: **Steel** (dropdown)

Density: **7.85** g/cm<sup>3</sup>

Deposition rate: **1.4** kg/h

Net efficiency: **95** %

Wage + overheads: **10** \$/h

Working hours per year: **1650** hours

Duty cycle: **40** %

Investment cost: **3800** \$

Interest: **15** %

Depreciation time: **5** years

Work under inspection

Work under inspection: **100** %

Rejection: **5** %

Ratio (prepare h/repair h): **3**

Welding process: **GMA (MIG/MAG)** (dropdown)

Consumable name: **OK AUTROD 12.5** (dropdown)

**Manual metal arcwelding**

Electrode price: **0.** \$/kg

**Gasmetal arcwelding**

Gas type: **Mixture** (dropdown)

Ratio (m<sup>3</sup> gas/kg wire): **0.5**

Gas price: **8.95** \$/m<sup>3</sup>

Wire price: **5.5** \$/kg

**Submerged Arcwelding**

Flux efficiency: **0.**

Ratio (kg flux/kg wire): **0.**

Flux price: **0.** \$/kg

Wire price: **0.** \$/kg

Sele 7.2 Programmi WeldCost sisestatud andmed

Kaitsegaasiks on valitud Mison 18, mille hinnad vastavalt ballooni suurusele on AGA Eestis järgmised:

- 20 liitrit – 4,9 m<sup>3</sup> – 54,2 EUR + km – 11,1 €/ m<sup>3</sup>
- 50 liitrit – 11,8 m<sup>3</sup> – 105,6 EUR + km – 8,95 €/ m<sup>3</sup>

Arvestades, et gaasi kulub pidevalt ja palju ostetakse soodsama hinnaga gaas, suuremas balloonis. ESAB keevitustraadi Autrod 12.51 hind on 5,5 €/kg. Kaitsegaasikulu ühe kilogrammi keevitustraadi kohta võetakse 0,5 m<sup>3</sup>/kg [7]. Keevisõmblustele on nõutud 100 % visuaalne kontroll. Võimalik praagi tekkimise tõenäosus on võetud 5 % ning valmistusaja ja vigade parandusaja suhe (*Ratio prepare/repair*) 3. Keevitades eeltoodud parameetritega on kuld keevitamisele kokku 18,19 EUR/h (sele 7.3). Kuigi programmis on tulemus dollarit tunni kohta siis sisestatud hinnad on eurodes, seega tulemused on ka eurodes.

Part1 Results		
Net deposition rate:	0.53	kg/h
Filler material consumption:	0.59	kg/h
Gas consumption:	0.29	kg/h
Flux consumption:		kg/h
Filler material cost:	5.88	\$/h
Labour cost:	11.50	\$/h
Investment cost:	0.81	\$/h
Total cost:	18.19	\$/h

**Sele 7.3** Kulud keevitamisel EUR/h (WeldCost)

Keevitamiseks kuluva aja leidmiseks koostatakse tabel 7.5, kuhu märgitakse keevisõmbluste pikkused. Keevitusae leitakse arvestades, et keevituskiirus on 21 cm/min (tabel 5.9). Abiaja arvutamisel arvestatakse ka eelpool kasutatud kaare põlemisaja teguriga, mis on 40 % [7]. Kogu partii ehk 20 antennialuse keevitamiseks kulub koos pauside ning muude seadistus- ja puhastusaegadega kokku 5 tundi ja 12 minutit. Järelikult on keevitamise maksumus kokku  $5,2 \text{ h} \cdot 18,19 \text{ EUR/h} = 94,60 \text{ EUR}$ .

**Tabel 7.5** Keevitamisele kuluv aeg

Keeviskoost	Õmbluste pikkus kokku, mm	Kooste / komplektis, tk	Keevitus-aeg, min	Abiaeg, min	Aeg kokku, min
ESTC00.10_2	715	1	3,4	5,1	8,5
ESTC00.20_2	60	1	0,3	0,4	0,7
ESTC00.30_2	90	3	0,4	0,6	3,2
ESTC00.40_2	85	3	0,4	0,6	3,0
Aeg ühe antennialuse keevitamiseks kokku, min					15,5
Aeg kogu partii keevitamiseks, t					5,2

### 7.2.3 Koostamise-komplekteerimise maksumus

Koostamisel pannakse kokku liigendsüsteem, mis fikseeritakse kolmiku külge liblikpoldiga (ptk 5.3.8). Kokku on vaja käsitleda 6 detaili – paigaldada teljele stopperrõngas, asetada toruga osa kolmiku peale, avadest lükata läbi telg, paigaldada teine stopperrõngas ning fikseerida süsteem liblikpoldiga. Jala torude otsa paigaldatakse plastist torukorgid. Kuna tooted, mida tehases toodetakse, on väga erinevad ja nõuavad koostamisel erinevaid operatsioone, siis õige koostamise aja saamiseks lastakse realselt inimesel mõni aeg seda tööd teha ning seejärel mõõdetakse aega lihtviisil stopperiga. Seda üldiselt juhul kui on

tegemist suuremate kogustega. Lisaks on vaja komplekteerida toote kõik osad. Arvestades, et liigendsüsteem on üks osa, siis kokku 8 osa pluss ostutooted. Antud töös võetakse koostamise ja komplekteerimise aeg ühe toote jaoks empiirilisel 5,7 minutit, kogu partii peale kokku kulub koostamisele umbes 1,9 tundi. Koostaja töötasu koos sotsiaalmaksuga on 8,30 EUR/h ehk koostamine-komplekteerimine maksumus kokku 15,8 EUR.

### 7.3 Antennialuse tootmise hind

Tootmise hinna kujunemise ülevaatlükustamiseks on koostatud tabel 7.6, kuhu on koondatud kõik osad, mida hinna arvutamisel arvestatakse. Hinnale lisanduvad ettevõtte üldkulud ning kasum. Ühe antennialuse tootmise maksumus on  $2490,71 \div 20 = 124,54$  EUR/tk. Hinnad ei sisalda käibemaksu. Lisades ettevõtte üldkulud ja mõistliku kasumi võiks ühe antennialuse hind olla maksimaalselt 200 eurot.

**Tabel 7.6** Partii tootmise hind

	<b>Partii hind, EUR</b>	<b>Tarneaeg, tööpäev</b>
Lehtmaterjalist detailid	475,60	10
Profiilmaterjalist detailid	907,20	10
Hinge telg	70,00	5
Toormaterjal, toru D60,3x2,9	4,00	2
Ostutooted	404,59	10
Pinnakate	397,82	5
Toru D60,3x2,9 lõikamine	2,20	1
Keevitamine	94,60	1
Koostamine-komplekteerimine	15,80	1
Transport	118,90	
<b>Kokku partii, EUR</b>	<b>2490,71</b>	

Esialgsele antennialusele, mille jalgade materjaliks oli valitud alumiinium ning ülejäänud detailid olid valmistatud roostevabast terasest, küsiti hinnapakkumised kolmest erinevast ettevõttest. Pakutud hinnad kõikusid vahemikus 780 kuni 860 eurot ühele antennialusele. Pakutud hinnad sisaldasid kõiki kulusid, kaasa arvatud üldkulusid ja ettevõtte kasumit. Sellegipoolest on hind oluliselt suurem kalkulatsioonis saadust. Kõrge hinna üheks määravaks asjaoluks on kindlasti kogus – tegemist oli pakkumistega prototüübile. Teine oluline erinevuse põhjustaja on materjal – partii tootmiseks on valitud odavam ja levinum materjal, mille kättesaadavus ja töötlemine on tänu suuremale teadmistepagasile lihtsam.

## 8. TOOTMISTELLIMUSE KÄSITLEMINE

Antennialuste tootmine toimub tellimuspõhiselt. Tootmise käivitamise aluseks on konkreetse kogusega kliendi tellimus. Silmas pidades tellimuse suurust alustatakse materjalide ja ostutoodete vajaduse planeerimisega. Materjalide planeerimise sisendiks on toote spetsifikatsioon, valmistamise ja koostamise aeg, iga tootekomponendi tarneajad ning materjalide ja ostutoodete hinnad. Planeerimise väljundiks on tootekomponentide tootmise ja tarnimismahud ning nende tellimuslehed ja valmistamise töökäsud [23]. Tootmispartii 20 antennialuse korral on toodete hinnad ja tarneajad toodud tabelis 7.6.

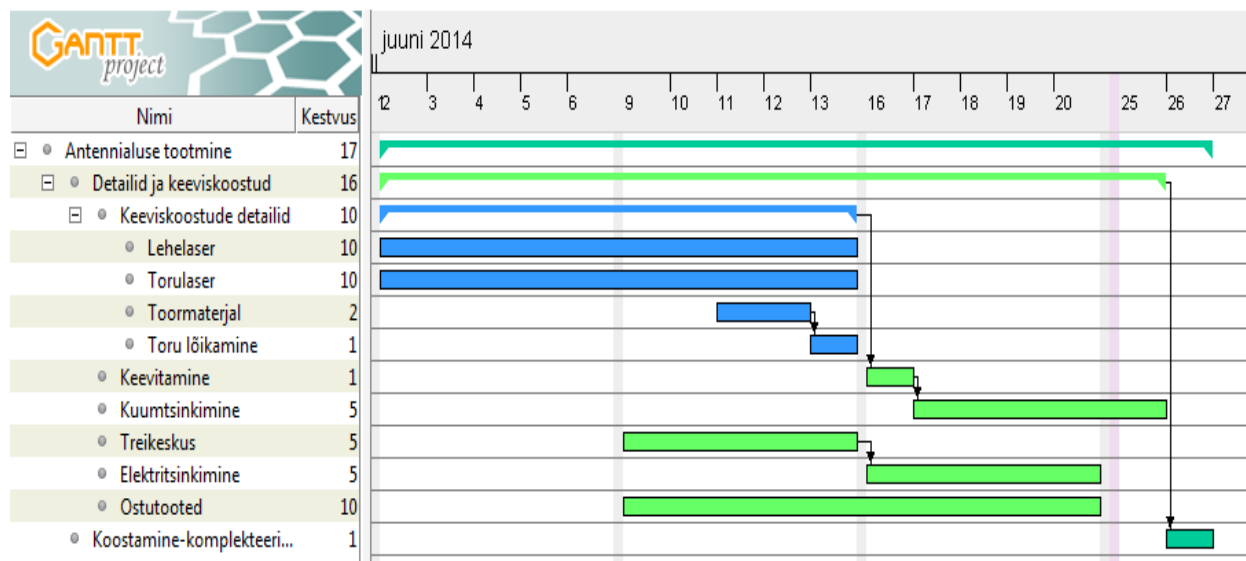
Tellimuse koguse muutudes rohkem kui viie ühiku võrra, tuleb allhankijatele esitada uued päringud, kuna selline kogus võib detaili hinda muuta – koguse vähenedes hind suureneb ja vastupidi. Sellisel juhul saadakse tootekomponentide kogused kasutades tabelit 5.1, kus on toodud ühe antennialuse tootmiseks vajaminevate detailide ja ostutoodete kogused, mis vastavalt korrutatakse läbi uue kogusega. Allhankijatele esitatakse uued päringud hinna ja tarneaja kohta. Kuna joonised on juba korra läbi töötatud on pakkumiste esitamisele kuluv aeg teistkordselt eeldatavalt väiksem.

### 8.1 Tootmisaja planeerimine

Tarnimisaegasid (tabel 7.6) ja tarnijate asukohti (sele 6.2) aluseks võttes koostatakse tootmise planeerimiseks Gantti graafik (sele 8.1). Tellimuse saabudes hakatakse kohe tegelema allhankijatele tellimuste esitamisega. Tellitakse leht- ja profiilmaterjalidest detailid. Toormaterjal tellitakse arvestusega, et toru detailid jõuab valmis ajaks, mil toimub laserist tulnud detailide tarne. Keeviskoostude valmistamiseks vajalike detailide saabudes alustatakse keevitamisega. Keevitamisele järgneb koostude ja detailide kuumtsinkimine. Hinge telg ja selle tsinkimine ning ostutooded tellitakse arvestusega, et detailid on tehases ja kättesaadavad ajaks, mil ülejäänud osad saavad kuumtsinkimisest, samas võetakse arvesse ka erinevate tarnijate asukohad ja planeeritakse ajad selliselt, et ühe sõiduga oleks võimalik maksimaalselt tooteid transportida (ptk 6.2). Kõikide tootekomponentide olemasolul alustatakse koostamise ja komplekteerimisega. Tootmise alguseks on võetud 02.06.2014 ning lõppkuupäev on 27.06.2014. Aja planeerimisel on arvestatud, et tootmine toimub 5 päeva nädalas ühe vahetusega. Planeerimisest on välja arvestatud nädalavahetused ja riiklikud pühad. Antennialuse tootmiseks kulub 17 tööpäeva, ülesande püstituses oli ettenähtud 1 kuu ehk 20 tööpäeva, seega jääb ettenägematuteks olukordadeks puhvriaega 3 tööpäeva. Puhvriaega



eksisteerimine on eriti oluline tellimuspõhise tootmise korral, kus tuleb arvestada võimalike tarnete hilinemisega ning toodete kvaliteedi ja kvantiteedi kõikumistega.



**Sele 8.1** Tootmisaja planeerimine (GanttProject)

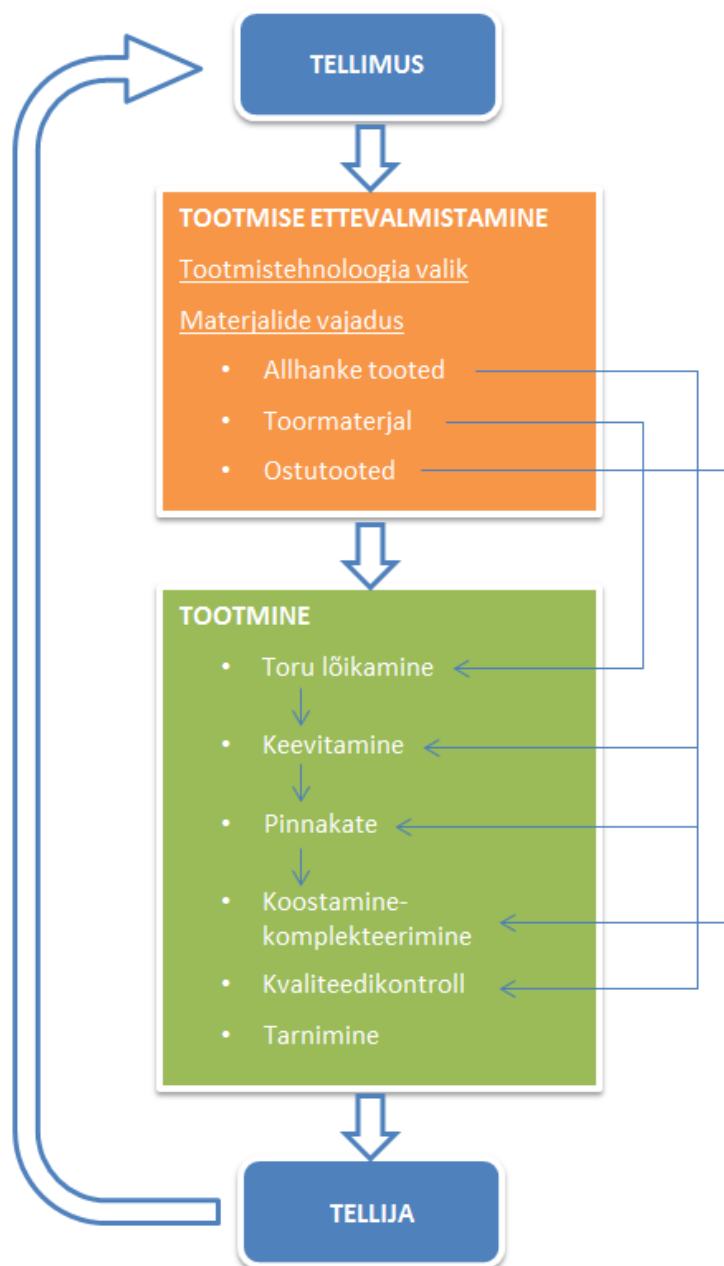
Gantti graafiku koostamisel on minimaalseks ajahikuks üks päev. Keevitamiseks kulub arvutuste järgi 5,2 tundi, koostamisele-komplekteerimisele 1,9 tundi siis aja planeerimisel on need ümardatud üheks päevaks.

## 8.2 Tootmise juhtimine

Tellimuse saanud ettevõtte peab antennialuse tootmisega paralleelselt tegelema ka teiste klientide tellimustega. Tootmisjuhi üks raskemaid ülesandeid on tootmise korraldamine töökohtadel selliselt, et kõik seadmed ja inimesed oleksid optimaalselt koormatud. Samal ajal hoides kinni toodete tarnimistähtaegadest ning tagades kvaliteetsete toodete valmistamise.

Tootmise operatiivseks planeerimiseks ja juhtimiseks peab tootmisjuht määrama kindlaks tööde sooritamise järjekorra, milleks on mitmeid soovitusi ja reegleid. Üks reegel on valmistada esimesena toode, mis nõuab tootmiseks kõige vähem aega, sellisel juhul määratakse toodetele maksimaalsed lubatud ooteajad, vältimaks pikemat töötlemisaega nõudvate toodete seisma jäämist [23]. Teine variant on sooritada töid tarnimisajast sõltuvalt ehk järgmisena võetakse ette töö, mille tähtaeg on kõige lähemal [23]. Reaalselt puudub üks õige reegel kõikide juhtumite tarbeks, vaid kasutatakse nende kombinatsioone olenevalt situatsioonist.

Toodete valmistamise vajadus antakse töölisele edasi töökäsuga, kuhu on märgitud vajalike toodete kogused, tootmiseks ettenähtud aeg ja töö valmistamise tähtaeg. Koos töökäsuga edastatakse ka tööjoonised. Tootmisjuhi ülesandeks jääb toodete valmistamise jälgimine ja tagasiside saamine, et kavandatud töökäsud täidetakse õige ajaks ja kvaliteetselt. Lisaks korraldatakse toodetele vajalikud pinnakatted, koostamine-komplekteerimine ja kvaliteedikontroll. Viimaseks astmeks on kliendi teavitamine toote valmistamisest ja saatedokumentide vormistamine, vajadusel transpordi korraldamine kliendini. Tellimuse käsitlemise põhimõtteline skeem on toodud seel 8.2.



**Sele 8.2** Tellimuse käsitlemise skeem

## KOKKUVÕTE

Käesoleva töö ülesandeks oli esialgse antennialuse tootmiskesksemaks muutmine toote funktsionaalsust ja kontseptsiooni säilitades. Toote uuendamisel võeti eesmärgiks alandada antennialuse tootmisele kuluvat aega ja ressursse, vähendada tootes esinevate detailide arvu, aluse massi ja materjalikulu. Rakendades tootmiskeskse projekteerimise printsiipe tehti toote konstruktsioonis mitmeid muudatusi eeltoodud eesmärkide täitmiseks.

Antennialuse disaini analüüsi käigus selgus mitmeid probleeme, mis tekivad alumiiniumi ja roostevaba terase kooskasutamisel tootes ja selle toote valmistamisel. Sellest tulenevalt pakuti välja ühe materjali kasutamine, mille valimiseks kasutati hindamismaatriksit. Sobivaimaks materjaliks osutus süsinikteras. Alumiiniumi ja süsinikterase tugevusomaduste suure erinevuse tõttu tehti tugevusarvutused dimensioneerimaks terasest toru. Esialgsetel materjalidel on eraldi seisvatena hea korrosioonikindlus, vastupidiselt süsinikterasele. Uue materjali valikuga tekkis vajadus süsinikterast rooste eest kaitsva pinnakatte järele, milleks valiti kuum- ja elektrolüütiline tsinkimine.

Teine oluline muudatus viidi sisse liigendsüsteemi, kus keerukas ja palju detaile sisaldav sõlm asendati lihtsamaga. Seejuures järgiti tootmiskeskse projekteerimise printsiipi anda ühele detailile võimalikult palju kasutusfunktsioone. Võrreldes esialgse liigendsüsteemiga vähenes detailide arv poole võrra. Kui enne oli detaile 14, neist keevitada oli tarvis 7 siis uus süsteem koosneb 7 detailist, millest keevitada on vaja vaid kolme. Esialgne hinge osa oli valmistatud paksust terasest toodetud väravahingesid kasutades, mille tugevus oli ilmselgelt suurem kui modifitseeritud süsteemil. Seega teostati parendatud liigendile põhjalik tugevuskontroll, saamaks kindlust detailide vastupidavuse osas eksploateerimisel.

Uuenduste projekteerimisel arvestati valitava valmistustehnoloogia eelistega. Näiteks kasutati ära laserlõikuse võimalust lõigata kulusid suurendamata keerulisi kujundeid. Detailidele lõigati laseriga sisselõiked lihtsamaks osade omavaheliseks positsioneerimiseks enne keevitamist. Selliselt vähendati keevitamisele kuluvat aega. Lisaks puudub vajadus enamuse keeviskoostude keevitamiseks konstrueerida eraldi keevitusrakis.

Toote valmistamiseks valiti sobivaimad tehnoloogiad, arvestades tellimuse koguse, materjali ja muude faktoritega. Detailid, mis tellitakse allhankijatelt, valmistatakse kasutades lehe- ja torulaserit, painutamist ning CNC treimist. Ettevõtte siseselt teostatakse keevitustööd, lõigatakse lihtsad toru detailid lintsaega mõõtu, koostatakse-komplekteeritakse antennialused

ning viiakse läbi kvaliteedikontroll. Keevitamiseks valiti sobivad keevitusparameetrid, kasutades MAG-keevituse inseneriprogrammi MSGSCO2 ja koostati esialgne keevitusprotseduuride spetsifikaat.

Antennialuse hinna kalkuleerimiseks küsiti hinnapakumised ja võimalikud tarneajad kokku kümnelt erinevalt ettevõttelt. Seega on antud töös toodud hinnad detailidele reaalsed ja kehtivad antud koguste juures. Võrreldes erinevaid pakutavaid hindu ja tarneaegu ning arvestades ka vähesel määral tarnijate asukoha ja suhtumisega tehti töös sobivaimate tarnijate valik.

Antud töös püstitati eesmärgiks toota 20 antennialust 20 tööpäevaga. Tootmise planeerimiseks koostati ajagraafik, mida järgides valmib soovitud kogus 17 tööpäevaga. Graafiku aluseks on allhankijate pakutavad tarneajad ning arvutatud tootmiseks kuluvad ajad. Planeerimisel võeti arvesse ka kasumliku transpordi liikumist erinevate tarnijate vahel. Tellimused ajastatakse selliselt, et ühe sõiduga oleks võimalik transportida samale marsruudile jäävate erinevate allhankijate tooteid lähtepunktist vajalikku sihtpunkti.

Modifitseeritud antennialusele koostati tööjoonised (koostejoonis ESTC00.00\_2). Esialgne antennialus koosnes kokku 66 detailist ning kaalus 41,3 kilogrammi. Töös tehtud muudatustega suudeti detailide arvu vähendada 16 osa võrra ning massi alandada 6,9 kilogrammi. Esialgsele antennialusele pakuti hinnad vahemikus 780 kuni 860 eurot. Pakumised küsiti ühele alusele. Hinnakalkulatsiooni järgi tuleb tootmiskesksemaks muudetud toote hinnaks maksimaalselt 200 eurot/tk. Saadud hind on oluliselt madalam tänu suuremale kogusele, odavamate ja lihtsamini töödeldavate materjalide kasutamisele, väiksemale detailide arvule ning õigesti valitud valmistustehnoloogiate eeliste heale ära kasutamisele.

Eeltoodust võib järeldada, et tehtud tööga on saavutatud püstitatud eesmärgid – muuta toode tootmiskesksemaks ja lihtsamaks, vähendada tootes esinevate detailide arvu ja massi, alandada hinda ning valmistada 20 alust 20 tööpäevaga. Töö praktiliseks väljundiks on süstemaatiline ülevaade antennialuse tootmisest väikeseeria korral. Käesoleva töö edasiarendamisel tuleks muuta süsteem paindlikumaks nõudluse muutusele.

## SUMMARY

Purpose of this work was to change the design of the initial antenna stand for manufacturability, at the same time preserving the concept and functionality of the product. The aim during modification was to decrease time for manufacturing, to reduce quantity of parts, weight and consumption of materials. Following principles of Design for Manufacturability (DFM) several changes were made in the construction to fulfil above-mentioned goals.

Several problems with using aluminium and stainless steel together in one product appeared during the analyses of the initial design. Due to that it was offered to use one material that was chosen using decision matrix. Suitable material turned out to be carbon steel. Calculations for strength were made to replace initial aluminium tube with carbon steel tube. Aluminium and stainless steel have good corrosion resistance, in contrast to carbon steel. Need for protective coating appeared with the change of material. Hot-dip galvanization and zinc electroplating were chosen to protect carbon steel from corroding.

Another important change in the design was replacing complex hinge system with simpler. Giving one part several functions made it possible to reduce details quantity from 14 pieces to 7 pieces. Strength calculations were made to insure new systems durability during exploitation.

Manufacturing technologies were chosen considering the amount of products in purchase order, material and other factors. Parts that are ordered from subcontractors will be made using sheet and tube laser, bending and CNC lathe. Welding, cutting a simple pipe with band saw, compiling and quality control will be made inside the company. MAG welding engineer program MSGSCO2 was used to choose suitable welding parameters and according to that initial Welding Procedure Specifications was made.

During the calculation of price for the antenna stand price inquiries were submitted to ten different companies. Suitable suppliers were chosen comparing the prices and possible delivery times, also the suppliers location and quality of service was taken into account.

One purpose was to manufacture 20 antenna stands with 20 weekdays. Time schedule was made to plan the production. Following this schedule desired amount of stands will be ready for delivery within 17 workdays. The scheduling is made based on the times of suppliers'

delivery times and other calculated manufacturing times. Also profitable transport movement between different suppliers was taken into account.

Working drawings were made for the modified antenna stand (ESTC00.00\_2). The initial product consisted of 66 parts and weighted 41.3 kilograms. Recreated antenna stand has 50 parts and weighs 34.4 kilograms. Price offers made for the initial product were between 780 and 860 euros. The inquiries were made for one stand. According to price calculation the updated stand should cost maximum 200 euros. The resulting price is appreciably decreased due to greater quantity, cheaper material, less parts and properly chosen manufacturing technologies.

It may be concluded that the work done has achieved the stated goals – to change the design for manufacturability, reduce the number of components and weight, lower the price and to manufacture 20 antenna stands within 20 weekdays. Practical outcome of this work is systematic overview of production in small series. For further development the system should be made more flexible for the change of demand.

## KASUTATUD KIRJANDUS

1. Berkmanns, J. Cleveland USA, Faerber, M. Unterschleißheim Germany. Facts about Laser technology. Linde AG
2. Danilenko, B. D. Workability of aluminium alloys 08.2011 [WWW] <http://link.springer.com/article/10.3103%2FS1068798X11080077#page-1> (27.04.2014)
3. Decision Matrix [WWW] <http://asq.org/learn-about-quality/decision-making-tools/overview/decision-matrix.html> (29.04.2014)
4. ESTCube <http://www.estcube.eu> (27.04.2014)
5. Gilbert, N., Structural Steel - S235, S275, S355 Chemical Composition, Mechanical Properties and Common Applications 11.05.2012 [WWW] <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6022> (29.04.2014)
6. Hot Dip Galvanizing Data Sheet. Galvanizers Association, West Midlands, U.K [http://www.zinkpower.com/media/files/arbeitsblaetter\\_englisch/1\\_2.pdf](http://www.zinkpower.com/media/files/arbeitsblaetter_englisch/1_2.pdf) (13.05.2014)
7. Laansoo, A. Keevitustehnoloogia. TTÜ Kirjastus, Tallinn 2011
8. Laser Cutting Steel and Aluminum [WWW] <http://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/laser-cutting-steel-aluminum> (29.04.2014)
9. Lehtvormimisprotsessid [WWW] [http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika\\_instituut/MTT0030/VI\\_Lehtvormimisprotsessid\\_.pdf](http://www.ttu.ee/public/m/Mehaanikateaduskond/Instituudid/Materjalitehnika_instituut/MTT0030/VI_Lehtvormimisprotsessid_.pdf) (11.05.2014)
10. Põdra, P. Tugevusanalüüsi alused. Mõningate probleemide kokkuvõtlik käsitus 2004
11. Randlaid, S. Eesti esimene satelliit jõudis täna edukalt orbiidile 07.05.2013. [WWW] <http://uudised.err.ee/v/eesti/731b791e-82bc-42d6-b0c8-843e14aaf715> (27.04.2014)
12. Rannus, R. Maagiline tarneahela juhtimine – Ajakiri Director, 04.2013 [E-ajakiri] <http://www.director.ee/maagiline-tarneahela-juhtimine/> (21.05.2014)
13. Riebeek, H., Simmon, R. Catalog of Earth Satellite Orbits 04.09.2009 [WWW] <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/OrbitsCatalog/> (27.04.2014)
14. Satelliitside [WWW] <http://www.aasat.ee/index.php?id=satelliitside> (27.04.2014)
15. Satelliitside [WWW] <http://www.lr.ttu.ee/irm/transmissioon/pdf/Satelliitside.pdf> (27.04.2014)
16. Srivastava, S. Zinc Electroplating Process 06.03.2013 [WWW] <http://www.buzzle.com/articles/zinc-electroplating-process.html> (13.05.2014)
17. Stainless vs. Mild vs. Aluminum [WWW] <http://heavyindustries.ca/stainless-vs-mild-vs-aluminum/> (29.04.2014)

18. Tähemaa, T. Tootmiskeskne projekteerimine. Loengukonspekt
19. Talvik, I. Tuulekoormus hoonetele, 2009 [WWW] [http://www.ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste\\_projekteerimise\\_instituut/Oppematerjalid/Projekteerimise\\_alused/Tuulekoormus\\_2010.pdf](http://www.ttu.ee/public/e/ehitusteaduskond/Instituudid/Ehitiste_projekteerimise_instituut/Oppematerjalid/Projekteerimise_alused/Tuulekoormus_2010.pdf) (08.05.2014)
20. Tehnilised nõuded [WWW] <http://www.zincpot.ee/index.php?page=176> (29.04.2014)
21. TIG keevitusprotsessi kirjeldus 09.2013 [WWW] <http://eprints.tktk.ee/253/2/TIG/tig-keevitusprotsessi-kirjeldus.html> (09.05.2014)
22. Toru laserlõikus [WWW] <http://www.fineststeel.ee/et/teenused/toruloikus> (09.05.2014)
23. Uuenduslik tootmine. Käsiraamat. TTÜ Kirjastus, Tallinn 2011
24. Värbu, T. CNS eriala mitmekülgsus – Eesti Tudengisatelliidi mobiilse maajaama arendusprojekt 28.03.2014 [WWW] <http://propeller.eava.ee/2014/03/cns-eriala-mitmekulgsus-eesti-tudengisatelliidi-mobiilse-maajaama-arendusprojekt/> (27.04.2014)
25. Zlotnicki, S. What is the best value - plasma, laser, or waterjet 04.01.2013 [WWW] <http://www.esab-cutting.com/the-cnc-cutting-blog/cutting-systems/what-is-the-best-value-plasma-laser-or-waterjet.html> (06.05.2014)



# LISA 1. Väljavõtted Ruukki 2002 aasta metallitoodete kataloogist

## PUTKIPALKIT

Hollow sections

### SUORAKAITEEN MUOTOISET

MITTAMERKINNÄT

$M$  = Paino

$A$  = Poikkileikkauksen pinta-ala

$A_u$  = Ulkopinta-ala

$I$  = Jäyhyysmomentti

$W$  = Taivutusvastus

$W_p$  = Plastinen taivutusvastus

$i$  = Jäyhyyssäde

$I_v$  = Vääntöjäyhyys

$W_v$  = Vääntövastus

Lasketatiheys = 7,85 kg/dm<sup>3</sup>

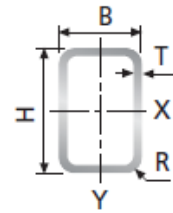
Poikkileikkausarvot on laskettu käytäten nimellismittoja  $H$ ,  $B$  ja  $T$  sekä

ulkopuolista kulmanpyöristystä  $R$ :

$R = 2,0 \times T$  kun  $T \leq 6,0$  mm

$R = 2,5 \times T$  kun  $6,0$  mm  $< T \leq 10$  mm

$R = 3,0 \times T$  kun  $T \leq 10,0$  mm



H	B	T	S355J2H	M	A	$A_u$	$I_x$	$W_x$	$W_{px}$	$i_x$	$i_y$	$W_y$	$W_{py}$	$i_y$	$I_v$	$W_v$
mm	mm	mm	Varasto-kg/m mitta		cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>
40	20	2,0	•	1,68	2,14	0,113	4,05	2,02	2,61	1,38	1,34	1,34	1,60	0,79	3,45	2,36
40	20	3,0	•	2,36	3,01	0,110	5,21	2,60	3,50	1,32	1,68	1,68	2,12	0,75	4,57	3,00
50	30	2,0	•	2,31	2,94	0,153	9,54	3,81	4,74	1,80	4,29	2,86	3,33	1,21	9,77	4,84
50	30	3,0	•	3,30	4,21	0,150	12,83	5,13	6,57	1,75	5,70	3,80	4,58	1,16	13,53	6,49
50	30	4,0	•	4,20	5,35	0,146	15,25	6,10	8,05	1,69	6,69	4,46	5,58	1,12	16,53	7,71
60	40	2,0	•	2,93	3,74	0,193	18,41	6,14	7,47	2,22	9,83	4,92	5,65	1,62	20,70	8,12
60	40	3,0	•	4,25	5,41	0,190	25,38	8,46	10,53	2,17	13,44	6,72	7,94	1,58	29,28	11,17

## PUTKIPALKIT

Hollow sections

### NELIÖN MUOTOISET

MITTAMERKINNÄT

$M$  = Paino

$A$  = Poikkileikkauksen pinta-ala

$A_u$  = Ulkopinta-ala

$I$  = Jäyhyysmomentti

$W$  = Taivutusvastus

$W_p$  = Plastinen taivutusvastus

$i$  = Jäyhyyssäde

$I_v$  = Vääntöjäyhyys

$W_v$  = Vääntövastus

Lasketatiheys = 7,85 kg/dm<sup>3</sup>

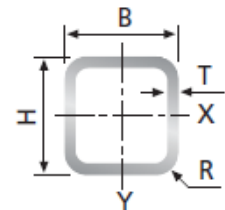
Poikkileikkausarvot on laskettu käytäten nimellismittoja  $H$ ,  $B$  ja  $T$  sekä

ulkopuolista kulmanpyöristystä  $R$ :

$R = 2,0 \times T$  kun  $T \leq 6,0$  mm

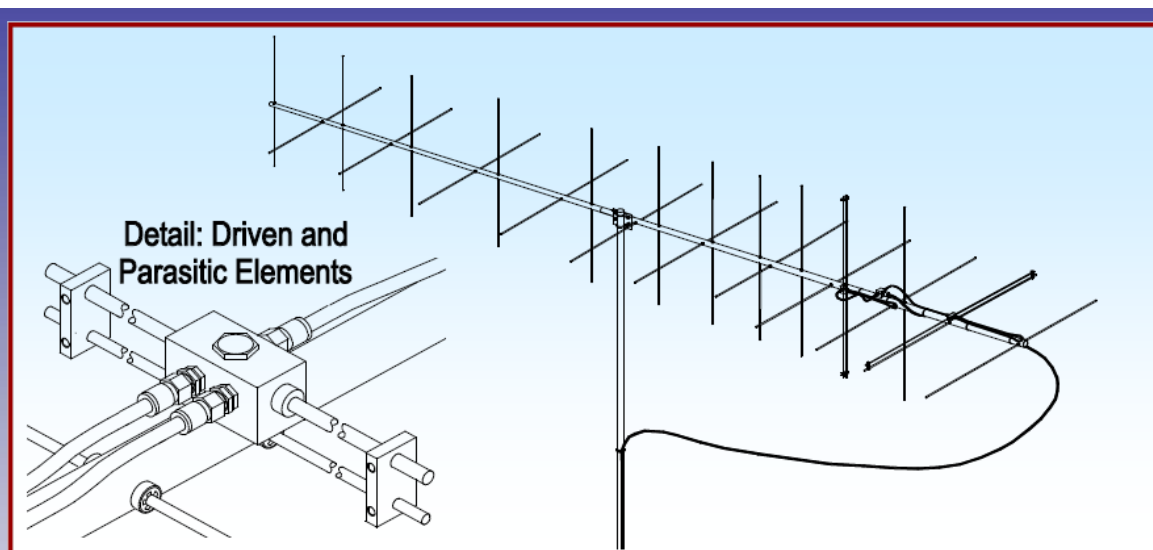
$R = 2,5 \times T$  kun  $> 6,0$  mm  $< T \leq 10$  mm

$R = 3,0 \times T$  kun  $T > 10,0$  mm



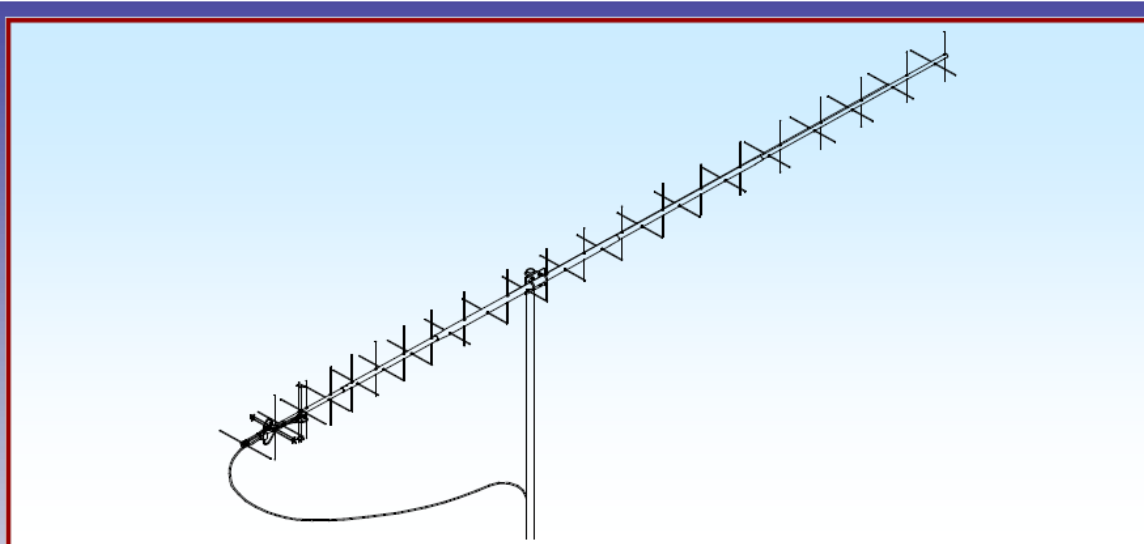
H	B	T	S355J2H	M	A	$A_u$	$I_x=I_y$	$W_x=W_y$	$W_{px}=W_{py}$	$i_x=i_y$	$I_v$	$W_v$
mm	mm	mm	Varasto-mitta	kg/m	cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>
25	25	2,0	•	1,36	1,74	0,093	1,48	1,19	1,47	0,92	2,53	1,80
25	25	3,0	•	1,89	2,41	0,090	1,84	1,47	1,91	0,87	3,33	2,27
30	30	2,0	•	1,68	2,14	0,113	2,72	1,81	2,21	1,13	4,54	2,75
30	30	3,0	•	2,36	3,01	0,110	3,50	2,34	2,96	1,08	6,15	3,58
40	40	2,0	•	2,31	2,94	0,153	6,94	3,47	4,13	1,54	11,28	5,23
40	40	3,0	•	3,30	4,21	0,150	9,32	4,66	5,72	1,49	15,75	7,07
40	40	4,0	•	4,20	5,35	0,146	11,07	5,54	7,01	1,44	19,44	8,48

## LISA 2. Yagi-Uda tüüpi antennide spetsifikatsioonid



### SPECIFICATIONS:

Model .....	2MCP22	Input Connector .....	"N" Female others opt.
Frequency Range .....	144 To 148 MHz	Power Handling .....	1.5 kW, 750W with PS-1
*Gain .....	14.39 dBic	Boom Length / Dia .....	18' 7" / 1-1/2" To 1"
Front to back .....	25 dB Typical	Maximum Element Length .....	40"
Elipticity .....	>3db	Turning Radius: .....	10'
Beamwidth .....	38°	Stacking Distance .....	10' High & 10' Wide
Feed type .....	Folded Dipole	Mast Size .....	1-1/2" to 2" Nom.
Feed Impedance .....	50 Ohms Unbalanced	Wind area / Survival .....	2.5 Sq. Ft. / 100 MPH
Maximum VSWR .....	1.4:1	Weight / Ship Wt. ....	9.5 Lbs. / 11 Lbs.



### SPECIFICATIONS:

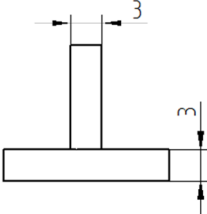
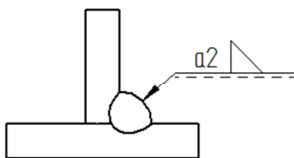
Model .....	436CP42UG	Input Connector .....	"N" Female others opt.
Frequency Range .....	430 To 438 MHz	Power Handling .....	1Kw (.5kW w/POL SW1)
*Gain .....	18.9 dBic	Boom Length / Dia .....	18' 10" / 1-1/2" To 1"
Front to back .....	25 dB Typical	Maximum Element Length .....	13-1/4"
Elipticity .....	1.5 db Typical	Turning Radius: .....	95"
Beamwidth .....	21° circular	Stacking Distance .....	68" High & 68" Wide
Feed type .....	Folded Dipole	Mast Size .....	1-1/2" to 2" Nom.
Feed Impedance .....	50 Ohms Unbalanced	Wind area / Survival .....	2 Sq. Ft. / 100 MPH
Maximum VSWR .....	1.5:1	Weight / Ship Wt. ....	7.5 Lbs. / 10 Lbs.

# LISA 3. Esialgne keevitusprotseduuri spetsifikaat

## KEEVITUSPROTSEDUURI SPETSIFIKAAT / WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (pWPS)

Keevitusprotseduuri spetsifikaadi number / WPS Number:

<b>WPQR nr. / WPQR no:</b>		<b>Ettevalmistus ja puhastusmeetod / Method of Preparation and Cleaning:</b>	käimine
<b>Tootja / Manufacturer:</b>		<b>Põhimaterjali tähistus / Parent Metal Designation:</b>	teras S355
<b>Metalli siirde viis / Mode of metal transfer :</b>	D	<b>Materjali paksus / Material Thickness (mm):</b>	3 + 3
<b>Liite ja õmbluse tüüp / Joint Type and Weld Type:</b>	FW	<b>Toru välisläbimõõt / Outside Diameter (mm):</b>	
<b>Keevitusasend / Welding Position:</b>	PB	<b>Keevitaja nimi ja tähis (vajadusel) / Welders name and code (if required):</b>	

<b>Liite visand / Joint Design</b>	<b>Keevitusjärjestus / Welding Sequences</b>
	

Läbim / Run	Protsess / Process	Lisamaterjali mõõt / Size Of Filler Metal, mm	Voolutugevus / Current A	Pinge / Voltage V	Voolu liik, polaarsus / Type Of Current/Polarity	Traadi etteandekiirus / Wire Feed Speed, m/min	Keevituskiirus v läbimi eripikkus / Travel Speed or Run out lenght, cm/min	Soojussisestus / Heat Input kJ/mm
1	135	1,0	86,0	18,2	DC(+)	2,7	21,0	0,38

### Keevitusprotsessi info / Welding details

<b>Keevitusmaterjalide tähistus ja kaubanimi / Welding Filler material designation and make:</b>	ESAB OK Autrod 12.51, G3Si1/ER70S-6
<b>Eri kuivatamine ja kuumutamine / Any Special Baking or Drying:</b>	

<b>Gaas/räbusti (tähistus) / Designation Gas/Flux:</b>	Ar + 18%CO <sub>2</sub> + 0,03%NO	<b>Täiendav informatsioon / Other information:</b>	
<b>Gaasikulu / Gas Flow Rate:</b>	13,1 l/min	<b>Põleti liikumine (läbimi maks. laius) / Weaving (max with of run), mm:</b>	2,5 mm
<b>Sulamatu elektroodi tüüp ja mõõt / Tungsten electrode type and size:</b>		<b>Võngutamise / amplituud / amplitude / Oscillation: sagedus / frequency / (meh. v robot) peatumisaeg / dwell time:</b>	
<b>Juure avamise, juuretoe üksikasjad / Details of back gouging/backing:</b>		<b>Voolukontakti kaugus detaili pinnast / Distance contact tube/work piece:</b>	10±2 mm
<b>Ettekuumutustemperatuur / Preheat Temperature:</b>		<b>Impulsskeevituse parameetrid / Pulse welding details: (seadistuse andmed / machine settings / (tööprogramm / programme selection)</b>	
<b>Läbimitevaheline temperatuur / Interpass Temperature:</b>		<b>Plasmakeevituse parameetrid / Plasma welding details:</b>	
<b>Järelkuumutus / Post-heating :</b>		<b>Põleti kaldenurk ja liikumine / Torch angle and direction:</b>	45°, vedav tehnika
<b>Ettekuumutuse hoidmise temperatuur / Pre-heat maintenance temperature:</b>		<b>Sildamine, ettetraageldamine / Jiging, Tacking :</b>	
<b>Keevitusjärgne termotöötlus / Post Weld Heat Treatment:</b>		<b>Lisainfo / Additional information:</b>	
<b>Aeg, temp., meetod / Time, temp, method:</b>			
<b>Kuumutus- ja jahutuskiirused / Heating and Cooling Rates:</b>			

<b>Koostaja / Manufacturer:</b>	
<b>Nimi / Name:</b>	Janika Hirvelaan
<b>Kuupäev / Date:</b>	14.05.2014
Allkirj / Signature	

## LISA 4. Lintsae soovitatavad ettenihked ja kiirused

BI-METAL BAND SAW BLADE SPEED AND FEED CHART								
Material Type	USA (AISI) Designation	UNDER 1/2"	1/2"-1"	1" - 2"	2"-3"	3"-6"	6" +	FEED RATE
		Blade Speed (Feet/Minute)	FPM	FPM	FPM	FPM	FPM	(Sq. In./Min.)
LOW CARBON STEELS	1005-1030	300	290	280	270	260	250	8-14
MEDIUM CARBON STEELS	1035-1059	250	240	230	220	210	200	4-9
HIGH CARBON STEELS	1060-1095	225	210	200	190	175	140	4-8
FREE MACHINING STEELS, LEADED	1110-1118	310	300	280	270	260	230	9-16
	1137-1151	280	270	250	230	220	200	5-10
	1211-1215	325	310	300	290	275	250	10-17
	12L14	350	325	310	300	290	275	12-18
MANGANESE STEELS	1330-1345	250	240	230	220	200	180	4-9
	1513-1527	300	280	260	250	240	230	9-14
	1536-1572	240	230	220	210	190	170	4-9
MOLYBDENUM STEELS	4012-4024	250	240	230	220	200	180	4-10
	4027-4042	240	230	220	210	190	170	4-9
	4047-4068	220	210	200	190	170	150	4-9
CHROME MOLY STEELS	4118-4140	230	220	210	200	180	160	4-10
	4142-4161	210	200	190	180	160	140	3-9
NICKEL CHROME MOLY STEELS	4317-4340	210	200	190	180	160	140	4-8
	8115- 8750	220	210	190	180	160	140	4-8
	9310-9317	190	180	160	150	140	120	2-5
	9430-9850	210	200	180	170	160	140	3-8
NICKEL MOLY STEELS	4615-4626	230	220	210	190	170	150	4-8
	4815-4820	220	210	200	180	160	140	3-7
CHROME STEELS	5040-5060	210	200	190	170	160	140	4-9
	5115-5135	230	220	200	180	170	150	5-9
	5140-5160	210	200	190	170	160	140	4-7
	50100-52100	170	160	150	140	120	100	3-6
CHROME VANADIUM STEELS	6118	230	220	210	190	170	160	4-9
	56150	210	200	190	170	150	140	3-7
SILICON STEELS	9254-9262	210	200	190	170	150	140	3-8
COLD-WORK TOOL STEELS	A2-A6	200	190	180	160	140	130	2-5
	A7	170	160	150	130	120	110	2-5
	A8-A10	180	170	160	140	130	120	2-5
	D2-D7	110	100	90	80	70	60	2-3
	O1-O7	220	210	200	180	160	150	3-7
HOT-WORK TOOL STEELS	L2-L6	210	200	180	170	160	150	3-7
	L7	190	170	160	150	140	130	2-6
	H10-H21	230	220	200	180	170	160	3-6
	H22-42	190	170	160	150	130	120	2-4
	S1	230	220	200	180	170	160	3-5
	S2-S7	180	170	160	150	130	120	2-4
CARBON TOOL STEEL	W1	210	200	180	170	160	150	3-6

Note: Use the slower recommended feed rate when cutting small cross sections.

## LISA 5. Pealesulatustegurid MIG/MAG keevitusel

### SHIELDED METAL ARC WELDING

**Table 6B: GMAW-FCAW**

GMAW LA HT-75G LAA S-3 LA S-6		
Diameter mm	Amps	Deposition Rate kg/h
0.8	75	0.9
	100	1.2
	150	1.9
	200	3.2
0.9	80	1.4
	100	1.3
	150	2.0
	200	2.8
	250	4.2
1.2	100	1.0
	125	1.3
	150	1.7
	200	2.6
	250	3.3
	300	4.7
1.6	350	6.1
	250	3.0
	275	3.9
	300	4.2
	350	5.2
	400	6.5
	450	8.0

FLUX CORED ARC WELDING		
FLUX CORED ELECTRODES		
Gas shielded type LA T-9, LA T-9 PLUS, LA T-91, LA T-91 C40, LA T-91 C60 Ni1 LA T-91 K2, LA 91-T12M Wire for mild and Low alloy steels		
Diameter mm	Amps	Deposition Rate kg/h
1.2	160	1.8
	180	2.0
	200	2.4
	220	2.9
	240	3.2
	280	4.1
1.4	170	1.8
	190	2.0
	210	2.3
	240	2.8
	270	3.4
	300	4.1
1.6	180	1.8
	200	2.0
	220	2.2
	250	2.7
	275	3.1
	300	3.6
	350	4.8
	250	2.7
2.0	350	5.0
	450	7.0
	400	5.2
2.4	450	6.5
	500	7.6
	450	6.5

Results were obtained with Co<sub>2</sub>.  
**BLUESHIELD** gas is sometimes used to improve usability especially for out of position applications.

## LISA 6. Kevitustraadi spetsifikatsioon

# OK Autrod 12.51 GMAW ER70S-6

### Description

OK Autrod 12.51 is a copper-coated, Mn-Si-alloyed G3Si1/ER70S-6 solid wire for the GMAW of non-alloyed steels, as used in general construction, pressure vessel fabrication and shipbuilding. The wire has a carefully controlled wire chemistry and a unique surface technology providing superior weld-metal quality at high wire feed speeds and at high welding currents. The wire can be used with both Ar/CO<sub>2</sub> mixed gas and pure CO<sub>2</sub> shielding gas.

### Welding current

DC(+)

### Classifications

SFA/AWS A5.18	ER70S-6
EN 440	G3Si1

### Wire composition

C	Si	Mn
0,1	0,9	1,5

### Typical mech. properties all weld metal

Yield stress, MPa	470
Tensile strength, MPa	560
Elongation, %	26

### Charpy V

Test temps, °C	Impact values, J
+20	130
-20	90
-30	70

### Approvals

ABS	3SA, 3YSA	UDT	DIN 8559
BV	SA3YM	U	42.039/1
CL		VdTÜV	
DB	42.039.06		
DNV	III YMS		
DS	EN 440		
GL	3YS		
LR	3 3YS		
PRS	3YS		
RINA	SG 52 3		
RS	3YMS		
Sepros	UNA 485178		
SFS	EN 440		
SS	EN 440		

### Welding parameters

Diameter, mm	Wire feed, m/min	Welding current, A	Arc voltage, V	Deposition rate kg weld metal/hour
0.6	5.5-13	30-100	15-20	0.7-1.7
0.8	3.2-13	60-200	18-24	0.8-3.0
0.9	3.0-12	70-250	18-26	0.9-3,6
1.0	2.7-15	80-300	18-32	1.0-5,6
1.2	2.5-15	120-380	18-34	1.3-8.0
1.4	2.3-12	150-420	22-36	1.6-8.7
1.6	2,3-12	225-550	28-38	2,1-11,4

## LISA 7. Kinnitusvahendite hinnapakumine



Hinnapakumine : 1023609

05.05.2014

Tellija: Jaeklient

Kood	Toode/Teenus	Kogus	Hind tk/100tk	Reasumma
Janika Hirvelaan				
99144410060	*SÕRM D1444 ZN B10h11x60/55,5	200,00	166,080	332,16
37430053	NÕELSPLINT D11024 3,0 X 67 ZN	200,00	7,820	15,64
25412030	*LIBLIKPOLT D316 ZN M12 X 30	20,00	193,470	38,69
25112000	KEEVISMUTTER D929 ST M 12	20,00	10,980	2,20
25600600	LUKUSTUSRÕNGAS D471 ST 6 MM	20,00	1,564	0,31
25600800	LUKUSTUSRÕNGAS D471 ST 8 MM	20,00	2,250	0,45
25601000	LUKUSTUSRÕNGAS D471 ST 10 MM	20,00	2,250	0,45
-----				
* - Tameaeg 7-10 päeva.				

Summa: 389,90  
 Käibemaks 20% : 77,98  
 Ümardus:  
 Kokku: 467,88

**Kokku summa sõnadega:**

Nelisada kuuskümmend seitse eurot ja 88 senti

Koostas: Veiko Lillemägi

Baltic Bolt OÜ  
 10621 TALLINN Forelli 8a  
 Reg.nr. 10090458  
 KMKR nr. EE100105038

Telefon: +372 6508960  
 Faks: +372 6508970  
 e-post: balticbolt@balticbolt.ee  
 www.balticbolt.ee

Pank: 17000026598 Nordea Bank Finland Plc Eesti  
 IBAN EE031700017000026598

B+ 05.05.2014

# LISA 8. DIN 1444 sõrmede mõõtmed

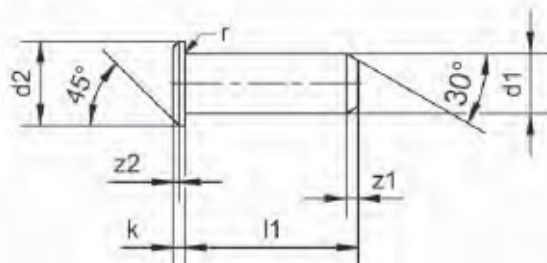


**Bolts with head**

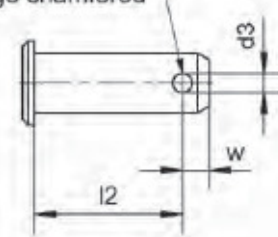


according to DIN EN 22341/ISO 2341

**form A** without pin hole



**form B** with pin hole  
edge chamfered



**Example for ordering:** **form A:** Bolt without pin hole according to DIN EN 22341/ISO 2341, d=10mm, l=50mm, electroplated galvanised white;  
Bolt ISO 2341 – A – 10 x 50 galvanised white, Order number: 41 10 0000 0030/013  
**form B:** Bolt with pin hole according to DIN EN 22341/ISO 2341, d=10mm, l=30mm, lh=20mm, bright;  
Bolt ISO 2341 – B – 10 x 50 x 44 bright, Order number: 41 10 0050 0044/003

	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	up to 50		
d h11	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24			
dk h14	6	8	10	14	18	20	22	25	28	30	33	36			
dl H13	1	1.2	1.6	2	3.2	3.2	4	4	5	5	5	6.3			
c max.	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4			
e =	0.5	1	1	1	1	1.6	1.6	1.6	1.6	2	2	2			
k js14	1	1.6	2	3	4	4	4	4.5	5	5	5.5	6			
le min.	2.2	2.9	3.2	3.5	4.5	5.5	6	6	7	8	8	9			
r	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	1	1	1			
l															
Nom. size														min.	max.
6														5.75	6.25
8														7.75	8.25
10														9.75	10.25
12														11.5	12.5
14														13.5	14.5
16														15.5	16.5
18														17.5	18.5
20														19.5	20.5
22														21.5	22.5
24														23.5	24.5
26														25.5	26.5
28														27.5	28.5
30														29.5	30.5
32														31.5	32.5
35														34.5	35.5
40														39.5	40.5
45														44.5	45.5
50														49.5	50.5
55														54.25	55.75
60														59.25	60.75
65														64.25	65.75
70														69.25	70.75
75	74.25	75.75													
80	79.25	80.75													
85	84.25	85.75													
90	89.25	90.75													
95	94.25	95.75													
100	99.25	100.75													
up to 200	upon request														

**Material:**

1.0718 (115MnPb30+C)

alternative: stainless steel 1.4305 (X8CrNiS18-9)

(supplement to order number .../000)

stainless steel 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2)

(supplement to order number .../4404)

hardened bolts upon request



**Surface protection:**

Identifier	Supplement to order number
bright	.../003
phosphatised oiled	.../002
electr. galvanised white (layer min. 5 µm)	.../013
electr. galvanised yellow (layer min. 5 µm)	.../023