

Sander Soikka

TOOTE DISAINIST TULENEV TOODETAVUS SÕIDUKI LISAAKUKASTI NÄITEL

LÕPUTÖÖ

Tehnoloogia ja ringmajanduse instituut

Tootmine ja tootmiskorraldus õppekava

Juhendaja: Andres Kase

Tallinn 2023

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

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autori/te/le ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Juhendaja Andres Kase

Lõputöö on kaitsmisele lubatud tehnoloogia ja ringmajanduse instituudi direktori korraldusega.

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, Sander Soikka

sünnikuupäev: 29.07.1997

annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose Toote disainist tulenev toodetavus sõiduki lisaakukasti näitel

1. reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;
2. elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;
3. kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist.

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

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

Tallinnas (allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas).

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1. TOOTE DISAIN	7
1.1. Toote disaini olulisus	7
1.2. Toote disaini planeerimisprotsessi tüübid.....	8
1.2.1. DFM- Design for manufacturing.....	8
1.2.2. DFA- Design for assembly	10
1.2.3. DFMA- Design for manufacturing and assembly	12
2. UURIMISOBJEKT JA METOODIKA.....	15
2.1. AT&G OÜ ja sõiduki lisaakukasti tutvustus	15
2.1. Metoodika	21
3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED	24
3.1. Väikeseeria tootmise tulemused	24
3.2. Masstootmise tulemused.....	26
3.3. Järeldused ja ettepanekud	28
KOKKUVÕTE	31
SUMMARY	34
VIITATUD ALLIKAD	37
LISAD	40
Lisa 1. Lisaakukasti joonis	40

SISSEJUHATUS

Tootedisaini lahendused on tänapäeval olulise tähendusega. Tänapäeval ei muutu ainult tooted keerulisemaks, vaid ka nende toodete suuremahuline tootmisprotsess. Selleks, et tootjatel oleks võimalik jõuda toote prototüübist masstootmiseni ja kaugemalegi on vaja tootmist ja tootedisaini optimeerida, kaasates protsessi nii insenerid kui ka disainerid. Kogu tootmisprotsess peab olema hästi läbi mõeldud, et oleks võimalik kulusid optimeerida ja tootmist lihtsustada. Nutikad disainilahendused ja tõhusad protsessid aitavad püsida konkurentsisis.

Toote disainist tulenevat toodetavust sõiduki lisaakukasti näitel ei ole varasemalt uuritud. Samuti ei ole käsitletud tõhusaid strateegiaid toodetavuse parandamiseks. Toote disainist tuleneva toodetavuse uurimine aitab selgitada, kas ja kuidas saaks toote disaini muuta, et toode oleks lihtsam, omaks vähem komponente ning oleks odavam toota.

Sellest tulenevalt on käesoleva töö eesmärgiks hinnata toote disainist tulenevat toodetavust sõiduki lisaakukasti näitel.

Töö eesmärgi saavutamiseks püstitas autor järgmised uurimisküsimused:

- 1.Mis on tõhusad strateegiad lisaakukasti toote disainist tuleneva toodetavuse parandamiseks?
- 2.Mis on lisaakukasti väikeseeria tootmise eelised ja puudused?
- 3.Mis on lisaakukasti masstootmise eelised ja puudused?

Töö teoreetilises osas on kirjeldatud kolme erinevat tootedisaini planeerimisprotsessi tüüpi, milleks on DFM (ingl *design of manufacturing*), DFA (ingl *design of assembly*) ja DFMA (ingl *design for manufacturing and assembly*). Need meetodikad aitavad mõista, kuidas tootearenduses kulusid kokku hoida ning tagada ka suuremat konkurentsivõimet ja kvaliteeti. Autori huvi oli käsitleda neid teooriaid, et mõista, millised on igäühe erinevused, eelised ja puudused tootmisprotsessis ning kuidas neid rakendatakse. Meetodikate võrdlemine annaks aimu

sellest, kuidas saaks neid rakendada autori poolt valitud uurimisobjekti tootmisprotsessis ning mis oleksid meetodikate kasutegurid ja miinused.

Töö autor uurib toote disainist tulenevat toodetavust sõiduki lisaakukasti näitel ettevõttes AT&G OÜ. Töös kasutatavad andmed on kogutud autori poolt ettevõttes teostatud mõõtmete tulemusena ning ettevõtte antud sisendist. Töö eesmärgi täitmiseks ja uurimisküsimustele vastamiseks on töö metoodika osas kõigepealt leitud sõiduki lisaakukasti detailide töötlemisele kuluv aeg. Seejärel on leitud operatsiooni etappidele vastavad töötasud ning leitud seadmete kulu, mille järel oli võimalik leida operatsioonide kogukulu. Tootmisetappidele kuluvat aega ning kogukulu leidis autor nii väikeseeria tootmise kui ka masstootmise korral. Väikeseeria tootmise korral on arvestatud, et toodetakse neli lisakukasti ning masstootmisel 100 lisaakukasti. Selleks, et hinnata tootmisoperatsioonidele kuluvat aega on leitud tootmisvood ehk ajad, mille jooksul tootmine jõuab lõpuni. Toote omahinna leidmiseks tuli leida kõigepealt lisaakukasti 48 erineva detaili maksumused, arvestades seejuures ka detailidega, mida on akukastil rohkem kui üks. Sama protsess tuli läbi viia ka masstootmise korral. Selleks, et hinnata, millise aja jooksul tuleb kliendi nõudluse täitmiseks tooteid toota, leidis autor ka taktajad. Samuti leidis autor ka tsükliajad, mis näitavad, kui palju võime kulutada aega ühe tootmisoperatsiooni peale ning mis aitab tootmisprotsessi paremini planeerida. Töös leitakse ka mõlema tootmise korral minimaalse töötajate arvu seadmete teenindamiseks ning liini tasakaalustamise efektiivsuse.

Antud uurimistöö koosneb kolmest peatükist. Esimeses peatükis antakse ülevaade toote disaini olulisusest ning kolmest toote disaini planeerimisprotsessi tüübist, milleks on DFM (ingl *design of manufacturing*), DFA (ingl *design of assembly*) ning DFMA (ingl *design for manufacturing and assembly*). Kirjeldatakse nende metoodikate rakendamise võimalusi, erinevusi, eeliseid ja puuduseid.

Töö teises peatükis tutvustatakse lühidalt ettevõtet AT&G OÜ, ettevõtte tootmishoonet ja töökoha asendiplaani. Kirjeldatakse uurimisobjektiks olevat kaitseväge mootorsõiduki lisaakukasti, seejuures toote ülesandeid, selle tootmisprotsessi ja tootedisaini. Samuti kirjeldatakse uurimistöö metoodikat.

Kolmandas peatükis antakse ülevaade väikeseeria tootmise ja masstootmise tulemustest. Peatükk annab ülevaade ka uurimistulemuste järeldest ning ettepanekutest edasisteks uuringuteks. Autor on sidunud järeldest ja ettepanekutes ka lisaakukasti tootmist DFA ja DFM

põhimõtetega ning loonud seoseid, et leida, mis oleksid tõhusad strateegiad lisaakukasti toote disainist tuleneva toodetavuse parandamiseks.

1. TOOTE DISAIN

Antud peatükis antakse ülevaade toote disaini olulisusest ning toote disaini planeerimisprotsessidest DFM, DFA ja DFMA.

1.1. Toote disaini olulisus

Tootedisaini olulisus on ajas üha enam kasvanud. Tootedisain loob ettevõtetele konkurentsieelise ja on üheks olulisemaks tõukejõuks tulemuslikkusele. Tänapäeval on tootedisainist saanud peamine vahend toodete eristamiseks tiheda konkurentsiga turul. [1]

Tootedisain viitab toote elementide kogumile, mida tarbijad tajuvad ja tunnetavad mitmemõõtmelise konstruktsioonina. Elemendid võivad olla nii visuaalsed kui ka mittevisuaalsed. Tootedisaini võib jaotada neljaks dimensiooniks:

1. esteetika;

2. funktsionaalsus;

3. sümboolika;

4. ergonoomilisus. [1],[2]

Esteetiline dimensioon viitab toote välimusele ja ilule. Funktsionaalsus peegeldab tarbija arusaama toote võimest täita oma eesmärgi. Paljude toodete puhul on võimalik funktsionaalsust hinnata pelgalt seda nähes ning eriti oluliseks peetakse seda veebipoodides, sest tarbijal ei ole võimalik toodet terviklikult kogeda enne ostu sooritamist. Teatud toodete puhul on aga võimalik hinnata funktsionaalsust vaid selle kasutamisel, näiteks autod. Toote sümboolika aitab tarbijale edastada tema minapilti visuaalsete elementide abil. Toote sümboolika võib esile kutsuda erinevaid assotsiatsioone, ka neid, mis on seotud kindla koha või ajaga. Esteetika ja funktsionaalsus üksi ei kajasta täielikult tootedisaini. Esteetilised ja sümboolsed mõõtmised võivad anda tarbijale edasi vastandlikke arusaamu. Näiteks keegi, kellele meeldib värviline disain

(esteetiline disain), ei pruugi toodet osta, sest see näeb välja liiga lapsik (sümboolne mõõde). Uuringutest on välja tulnud, et tootedisain mõjutab otseselt toote ostukavatsust. Tuleb välja, et tarbijaid mõjutab toote sümboolne mõõde mitu korda rohkem kui funktsionaalsus. See võib olla tingitud tarbijate tugevast tahtest väljendada end toodete abil.[1] Peale selle, et tooteid üritatakse disainida võimalikult funktsionaalseks, pannakse rõhku ka toote ergonoomilisusele. Ergonoomiline disain keskendub kasutajakogemuse parandamisele ning mugavusele. Tihti võib juhtuda, et tooted, mille funktsionaalsus on väga kõrge, ei paku tarbijale rahuldust, sest ergonoomika on puudulik. Samas aga ei ole mõtet toota toodet, mille ergonoomilisus on väga hea, kuid funktsionaalsus kehv. See võib tekitada olukorra, kus tarbija ootus ka toote jõudluse suhtes on väga kõrge, kuid halb funktsionaalsus põhjustab siiski toote suhtes rahulolematust.[2]

Selleks, et disainida tooteid, mis vastavad tarbijate ootustele ning mille tootearendus ja tootmine oleks võimalikult lihtne ja kuluefektiivne, saab kasutada erinevaid toote disaini planeerimisprotsesse. Antud töös on käsitletud nendest kolme: DFM, DFA ja DFMA.

1.2. Toote disaini planeerimisprotsessi tüübid

Töö autor käsitleb antud peatükis kolme toote disaini planeerimisprotsessi tüüpi: DFM, DFA ning DFMA. Autor toob välja nende metoodikate rakendamise erinevusi, eeliseid ja puudusi.

1.2.1. DFM- Design for manufacturing

DFM (ingl *design for manufacturing*) on protsess, mida kasutatakse tootearenduses, et tagada toote võimalikult lihtne ja kuluefektiivne valmistamine. DFM eesmärk on maksimeerida toote tootmise lihtsust. DFM tugineb teadmistele ja kogemustele tootmises ning selle abil korrigeeritakse toote disaini, et vähendada tootmiskulusid ja parandada toote kvaliteeti, töökindlust ja tootmisprotsessi. DFM protsess hõlmab mitmeid samme, sealhulgas toote disaini analüüsi, tootmistsükli ja protsesside analüüsi, tootmisprotsesside optimeerimist ja kõigi tootmisprotsesside üksikasjalikku hindamist. DFM meetodite kasutamine tootearenduses võimaldab arendada välja tooteid, mis vastavad täpselt tarbijate vajadustele, seejuures kontrollida tootmisprotsesside kulusid, parandades tootlikkust. DFM tulemusena on tooted tavaliselt lihtsamad, neid on odavam toota ning nende kvaliteet ja töökindlus on parem. Madalamad tootmiskulud tähendavad, et tooted on ka tarbijatele taskukohasemad. Seega on

DFM-i rakendamine võimalus muuta tootmisprotsessid tõhusamaks ja tootearendus kvaliteetsemaks.[3]

DFM-i protsessi käigus on uurimise all viis põhimõtet:

1. protsess;
2. disain;
3. materjal;
4. keskkond;
5. vastavus/ testimine.

Õige tootmisprotsessi kasutamine on väga oluline osa tootmises. Selleks, et toota kuluefektiivselt, tuleb protsessis kasutada madalama kapitalisatsiooniga meetodeid. Protsess peaks olema ka optimeeritud nii, et see sobiks iga komponendiga. Kulude, kasutamise, tootmise ja hoolduse osas on toote lihtsam disain tavaliselt parim lahendus, kuid disain peab järgima häid tootmispõhimõtteid. Kolmandaks aspektiks kulude ja aja kokkuhoiu mõttes on õigete kvaliteetsete materjalide valik. Samuti on väga oluline aspekt keskkond. Toote iga osa peab olema disainitud vastavalt keskkonnale, kus seda kasutatakse. Arvestama peab ka töötingimustega, sest iga toote osa peab töötingimustes toimima. Viimane DFM-i põhimõte käsitleb testimist. Testimine ja kvaliteedikontroll peab olema põhjalik ning kõik tooted ja komponendid peavad vastama tööstusstandarditele. Standardeid tuleb arvesse võtta kõikides DFM etappides, need võivad olla tööstus-, sise- või ettevõtte standardid.[4]

Selleks, et DFM-i ideoloogia oleks kõige efektiivsem, peaks see toimuma projekteerimisprotsessi varajases etapis. Antud osas peaksid olema esindatud erinevad sidusrühmad- insenerid, disainerid, lepingulised tootjad ning tarnijad. Erinevate sidusrühmade eesmärgiks on vaadelda eelnevat disaini ning see kahtluse alla seada. Disaini tuleks vaadelda kõikidelt tasanditelt: komponendid, alamsüsteemid, süsteemi ja tervikliku taseme tasanditel. Kõigele eelnevale tuleb tagada, et toote disain oleks optimeeritud ning sellega ei lisanduks tootele tarbetuid kulusid.[5]

DFM meetodi kasutamise plussid tootmises on järgnevad:

1. tootmiskulud vähenevad;
2. tootmisprotsess on efektiivsem;

3. toote turule toomise aeg väheneb.

DFM-i abil saab toodet disainida nii, et seda oleks võimalik tõhusamalt ja kuluefektiivsemalt toota. See võib vähendada tootmiskulusid ja suurendada kasumlikkust. DFM aitab kaasa ka sellele, et toote disain oleks paremini kohandatud tootmisprotsessiga, mis võib suurendada tootmisprotsessi efektiivsust ja vähendada vigade arvu. DFM-i kaasamine toote disainiprotsessi võib aidata vähendada toote turule toomise aega, kuna see aitab vältida hilisemaid tootmisvigasid ja parenduskulusid.[6]

DFM meetodi kasutamise miinused tootmises on järgmised:

1. kõrgemad arenduskulud;
2. suuremad tootmiskulud;
3. piiratud disainilahendused;
4. aja jooksul muutuvad tehnoloogiad;
5. suuremad masinseadmete hooldus- ja korrashoiukulud.

DFM-i kasutamine võib suurendada toote arenduskulusid, sest see nõuab täpsemaid tööriistu ja tehnoloogiaid. Kuna DFM-i kasutamine nõuab uusi tootmisprotsesse ja tehnoloogiaid, võivad suurened ka üldised tootmiskulud. Spetsiaalsete masinate ja tarkvara säilitamine DFM-i korral võib suurendada seadmete hoolduskulusid. Samuti nõuab DFM-i koostamine pidevat vastavuse tagamist tööstusharu standardite ja protsesside muutustele ning DFM-i kasutamine võib piirata toote disainilahenduste valikut, kuna teatud stiilid või funktsioonid võivad olla raskesti teostatavad.[7]

1.2.2. DFA- Design for assembly

DFA (ingl *design for assembly*) on meetod toodete kujundamiseks. DFA eesmärk on lihtsustada toote disaini nii, et toote osade arv väheneb. Seeläbi on eesmärk ka minimeerida kulusid ning muuta kokkupanek lihtsaks ja funktsionaalseks. DFA aitab toodet disainida ja täiustada 0p0üpö,ürojekterimisprotsessi alguses, muutes prototüüpimisprotsessi sujuvamaks, vähendades montaažile kuluvat aega ja raha ning suurendades klientide rahulolu läbi toote parema kvaliteedi.[8]

DFA-ga disainimisel keskendutakse peamiselt nendele põhimõtetele:

1. komponentide arvu minimeerimine;
2. standardsete komponentide kasutamine;
3. eritellimus komponentide arvu vähendamine;
4. montaažiprotsessi optimeerimine;
5. sümmeetria kasutamine tootedisainis;
6. toote muutmine veakindlaks;
7. kokkupanemise protsessi lihtsustamine.

DFA üks peamisi eesmärgi on osade arvu minimeerimine. Tooted, mis koosnevad vähematest komponentidest on vastupidavamad ning neid on lihtsam ja kiirem valmistada, parandada ja hooldada. Väiksem arv komponente aitab kokku hoida valmistamisele kuluvat aega ning seeläbi ka kulusid. Standardsete komponentide kasutamine aitab lihtsustada osade leidmist ning nendega töötamist, samuti on kokkupanek lihtsam ja odavam. Standardsed osad on suuruse ja kuju poolest teiste komponentidega asendatavad. Standardsete osade kasutamine muudab süsteemi ka paindlikumaks, sest vajadusel saab seda hõlpsasti laiendada või muuta. Seega üritatakse tootmises vähendada eritellimusena kasutatavaid osi, sest need on kallimad ning valmistamine nõuab rohkem aega. Montaažiprotsessi optimeerimine on tootearendusprotsessis ülioluline komponent. Montaažitoimingute arvu vähendamine muudab tootmise kiiremaks, hallatavamaks, produktiivsemaks ja järjepidevamaks. Oluline on mõelda ka montaažiprotsessi tüübile, mida kasutatakse kogu tootesarjas. Võimalik on kasutada automatiseeritud kui ka manuaalset protsessi tüüpi. Automatiseeritud protsessid on üldiselt kiiremad ja tõhusamad, kuid nende seadistamine ja hooldamine võib olla kallim kui manuaalsel protsessil. DFA puhul on oluline osa ka sümmeetria kasutamine tootedisainis. Sümmeetriat kasutatakse sageli esteetiliselt meeldivama disaini loomiseks või disaini funktsionaalsemaks muutmiseks. Sümmeetrilisema kujundusega tooteid on kergem kokku panna, mille tulemuseks on madalamad tootmiskulud. Selleks, et muuta toode veakindlaks, lihtsustada kokkupanekut ja vähendades vigade riski, kasutatakse erinevaid viise. Näiteks võib toote mis tahes osale lisada füüsilise takistuse (näiteks sälk) või kasutada erinevaid kujundeid või värvikode. Oluliseks põhimõtteks on ka kokkupanemise protsessi lihtsustamine, selleks tuleks vältida keerulisi kinnitusmeetodeid ja liiga paljusid kinnituskohi toodetel.[9]

DFA meetodi kasutamisel on järgnevad eelised:

1. tootmine on tõhusam;
2. toodetel on kõrgem kvaliteet;

3. kliendirahulolu suureneb läbi toodete lihtsuse;
4. tootlikkus suureneb;
5. konkurentsivõime tugevneb.

DFA aitab tootmist tõhustada, vähendades tootmisaega- ja kulusid, lihtsustades montaažiprotsessi ja vähendades lõpptoote vajalike osade arvu. Disainides tooteid nii, et neid on võimalik kiiremini valmistada, vähendab see vigade ja tootmisdefektide tõenäosust ning tooted on seeläbi kõrgema kvaliteediga. See parandab ka kliendirahulolu, sest tooted, mida on lihtsam kokku panna, on tõenäolisemalt klientidele vastuvõetavamad ning mugavamad. DFA abil on võimalik tootlikkust suurendada, sest tooteid saab toota kiiremini ning selleks tuleb kulutada vähem ressursse. Seeläbi suureneb ka konkurentsivõime. DFA-d kasutades saavad tootjad konkurentide ees eelise, sest pakuvad tooteid, mida on võimalik lihtsasti ja kiiresti kokku panna.[10]

DFA meetodi rakendamisel on siiski ka mõned võimalikud puudused:

1. suurem konstruktsiooni keerukus;
2. piiratud disaini loovus;
3. võimalikud kvaliteediprobleemid.

Montaažiprotsessi sujuvamaks muutmine võib nõuda keerukaid muudatusi konstruktsioonis, mis võib suurendada disaini üldist keerukust ja kulusid. DFA meetodika võib piirata ka disaini loovust, sest disaineritel võib olla kohustus järgida konkreetseid juhiseid, et toodet oleks lihtne kokku panna. Võimalikud kvaliteedi probleemid võivad tekkida toote kokkupanemise protsessi lihtsustamisest kui komponente lihtsustatakse või jäetakse välja.[11]

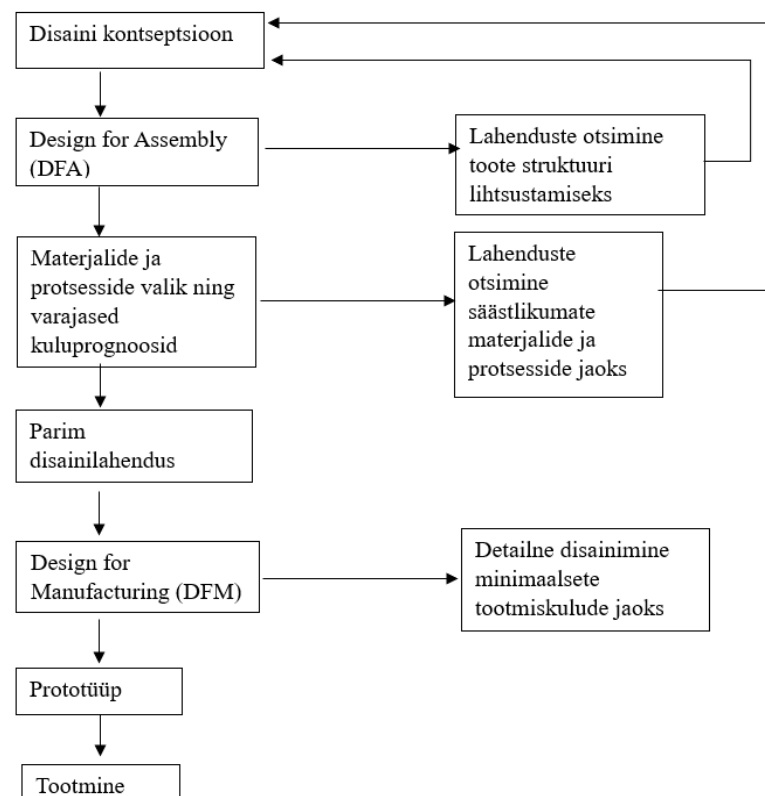
1.2.3. DFMA- Design for manufacturing and assembly

DFMA (ingl *design for manufacturing and assembly*) on disainimeetod, mille eesmärk on lihtsustada toote ja selle osade valmistamist ja kokkupanemist toote elutsükli varajases projekteerimisetapis. Metoodika keskendub turule jõudmise aja ja tootmise kogukulude vähendamisele. Enne kui DFMA metoodikat käsitlema hakati jaotus see kaheks erinevaks metoodikaks, mida antud töö eelnevates alapeatükkides kirjeldati ehk DFM ja DFA.[12]

Kui DFMA põhimõtted 1980ndate alguses levima hakkasid, mõisteti, et kõige paremad tulemused saavutatakse kui minimeeritakse toote osade arvu. DFMA metoodika rakendamise

erinevad sammud on välja toodud Joonisel 1. Esmalt pannakse paika disaini kontseptsioon ning seejärel viiakse läbi DFA analüüs, et lihtsustada toote struktuuri. Selleks keskendutakse põhimõtetele, mida eelnevas peatükis on pikemalt kirjeldatud ning nendeks on komponentide arvu minimeerimine, standardsete komponentide kasutamine, eritellimus komponentide arvu vähendamine, montaažiprotsessi optimeerimine, sümmeetria kasutamine tootedisainis, toote muutmine veakindlamaks ning kokkupanemise protsessi lihtsustamine. Seejärel vaadeldakse toote kuluprognoose nii esialgse disaini kui ka uue korral, et teha kompromisse ning valida parimad materjalid ja protsessid, millega edasi minna. Seejärel viiakse läbi ka DFM analüüs, et tagada võimalikult lihtne ja kuluefektiivne valmistamine, mis hõlmab tootmisprotsessi optimeerimist, lihtsama disaini ja õigete ning kvaliteetsete materjalide leidmist, toote sobitamist keskkonnaga, kus seda kasutatakse ning testimist ning põhjalikku kvaliteedikontrolli. Eelviimase etapina valmistatakse prototüüp ning viimaseks etapiks on tootmine.[13]

Joonis 1. DFMA rakendamise etapid.



DFMA rakendamise eelised on samad, mis DFM ja DFA metoodikatel, kuid kokkuvõtvalt võib need välja tuua järgnevalt:

1. lihtsamad ja töökindlamad tooted;
2. tootmiskulude kokkuvõid;
3. soodustab disainerite ja inseneride koostööd.[13]

2. UURIMISOBJEKT JA METOODIKA

Antud peatükis annab autor ülevaate uurimisobjektist ning sellega kaasnevatest andmetest. Uurimisobjektina käsitletakse kaitseväge sõiduki lisaakukasti. Autor annab ülevaate ka ettevõttest AT&G OÜ, kus lisaakukasti toodetakse. Samuti kirjeldatakse antud peatükis metoodikat, mille abil leiab autor väikeseeria tootmise ja masstootmise taktaja, tsükliaja, minimaalse töökohtade arvu, liini tasakaalustamise efektiivsuse, tootmise operatsioonide kestvused, toote kulud ning toote omahinna.

2.1. AT&G OÜ ja sõiduki lisaakukasti tutvustus

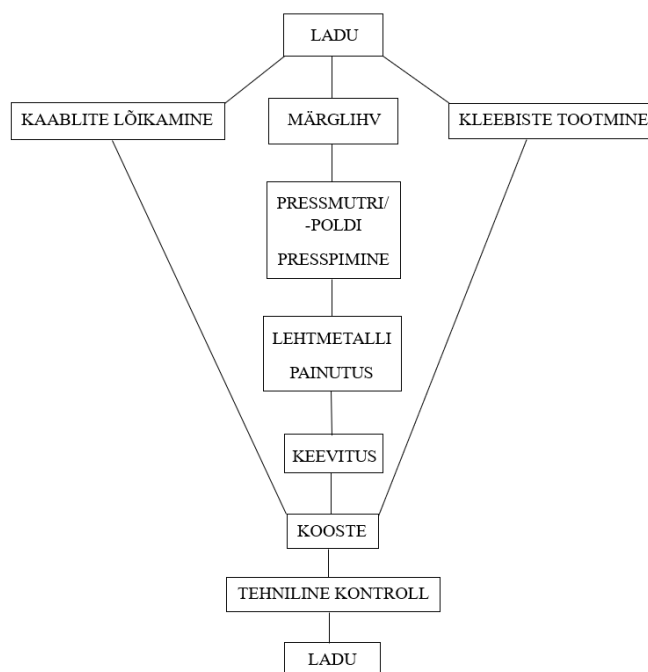
AT&G OÜ on ettevõtte, kes tegeleb Tartumaal, Kambja vallas asuvas Tõrvandi tehnapargis. Ettevõtte põhitegevuseks on mehaaniline metallitöötlus ning lisaks tegeleb ettevõtte telekommunikatsioonikaablite ja antennide paigaldusega. Ettevõttes töötab 13 töolist, kellega suudetakse kogu töömaht ära teostada. Antud tootmiskeskonnas on 18 erinevat tootmismasinat. Peamised masinad, millega töötatakse on keevitus, painutuspink, märg-, kuiv lihvpink, CNC frees, laserkeevitus, erinevad joonistusprogrammid.[14]

Joonis 2. AT&G asendiplaan



Joonis 2, mis illustreerib ettevõtte asendiplaani, on töös välja toodud selleks, et anda lugejale aimdus, milline näeb välja ettevõtte tootmishoone ning kuidas uuritav lisaakukast tootmishoones ühest etapist teise liigub. Tootmisetappide kulgemine on välja toodud järgneval Joonisel 3.

Joonis 3. Sõiduki lisaakukasti tootmise kulgemine AT&G ettevõtte tootmishoones



Joonisel 3 on kujutletud sõiduki lisaakukasti tootmise kulgemise viisi AT&G ettevõtte tootmishoones. Akukasti detailid jõuavad ettevõtte lattu allhankena. Kui roostevabast materjalist detailid on saabunud lattu, liiguvad need kohe märglihvimisse. Järgmises etapis liiguvad kuivad detailid presspingi juurde, kus pressitakse joonise järgi vastavad poldid ja mutrid. Järgmiseks etapiks on painutamine, mida teostatakse Trumpf TruBend 5130 Seeria painutuspingiga. TruBend Seeria 5000 Trumpf mudelid on ühed edukamad kogu maailmas. See tuleneb sellest, et alates programmeerimisest kuni seadistamise ja painutamiseni on tootmise tootlikkus võrreldamatu. Antud masina uuenduslikud funktsioonid, tööriista alumine nihe ning 6- teljeline tagakülg annavad tootmisele täieliku tootmisvabaduse.[15] Peale painutuspinki liiguvad detailid edasi keevitusse, kus on kasutusel poolautomaatne MIG keevitusseade. Samaaegselt viiakse läbi ka muid tegevusi nagu näiteks kaablite lõikamine, kaabliotsade pressimine, pool kooste, kleebiste ja infosiltide trükkimine. Kui keevituses on kastid keevitatud, liiguvad ka need osad kooste osakonda, kus siis kõik detailid omavahel ühtseks akukastiks saavad ning toodet testitakse ning seejärel kleebised peale kleebitakse. Valmis akukast liigub lattu, kust vajadusel liigub see edasi kaitsevæe sõidukisse, kuhu lisaakukast paigaldatakse.[14]

Ettevõttes AT&G paigaldatakse sõiduki lisaakukast enamasti erinevat tüüpi, PASI XA-180 C2 ning PASI XA-188 C2 juhtimissoomukisse. PASI XA-180 ning PASI XA-188 näol on tegemist soomustransportööriga. Pasi enda tootjaks on Soome ettevõtte Oy Sisu Auto Ab. Soomustransportöör on ette nähtud transportima lahinguväljal jao suuruseid üksuseid. Eestis on ka mõningad sõidukid ümber ehitatud koostöös Soome ettevõttega.[14]

Lisaakukast on ette nähtud energia salvestamiseks ning soomukile paigaldatud sidesüsteemi autonoomse töö tagamiseks. Lisaakuskastis asuvad aku (2x NATO 6T AGM), ahelate kaitsmed, vajalikud lülitid ning kasti küljes sisend-väljund pistikud. Lisaakukasti lisamisel masinasse on veel mitu erinevat funktsiooni. Lisaakukastiga on võimalik aidata sõiduki akud tööle, juhul kui sõiduki enda aku pinge on langenud madalale tasemele ja pole võimekust sõidukit käivitada. Lisaks eelnevale on lisaakukasti võimalik kasutada ka akupangana, selleks tuleb ühendada kaablid vastavalt juhisele ning saab aidata käivitada teisi sõidukeid.[14]

Lisaakukastil on ka mitmeid laadimisviise. Kui läbi sisend/väljund paneeli on ühendatud 16A voolukaabel, siis hakkavad tööle toiteseaded või hoolduslaadijad. Seda, milline seade tööle hakkab, saab valida 230V kilbi paneelilt, keerates ümberlülitit kas "Töö" või "Ladustus" asendisse. Lisaakukasti on võimalik laadida ka sõiduki enda süsteemilt kui sõiduk on liikumises.[14]

Lisaakukast on varustatud liiga madala pinge lahti lülituse lahendusega LVD (ingl *Low Voltage Disconnect*). LVD moodul kontrollib töötades akude pinget. Kui akude pinge langeb alla 21,0 V, tähendab see, et akud on tühjad ning sellega aktiveerub ka LVD, mis annab alarmiga märku ning 60 sekundi möödudes lülitab LVD moodul lisaakukasti koormused maha. Lisaakukasti saab uuesti tööle alles siis kui akud on alustanud laadimist ja akude pinge on saavutanud vähemalt 25V. Et seda kõike ei juhtuks, on lisaakukastiga kaasas akude indikatsiooni plokk. Sealt on näha akude hetkelist olukorda, süsteemi toitepinget (V) ning tarbitavat voolu (A). Lisaks kellale on sellel indikatsiooni plokil veel LED- indikaator, millel on valgusfoorist tuttavad, roheline-kollase-punase valguse astmed, mis näitavad, millal on vajadus akusid laadida.[14]

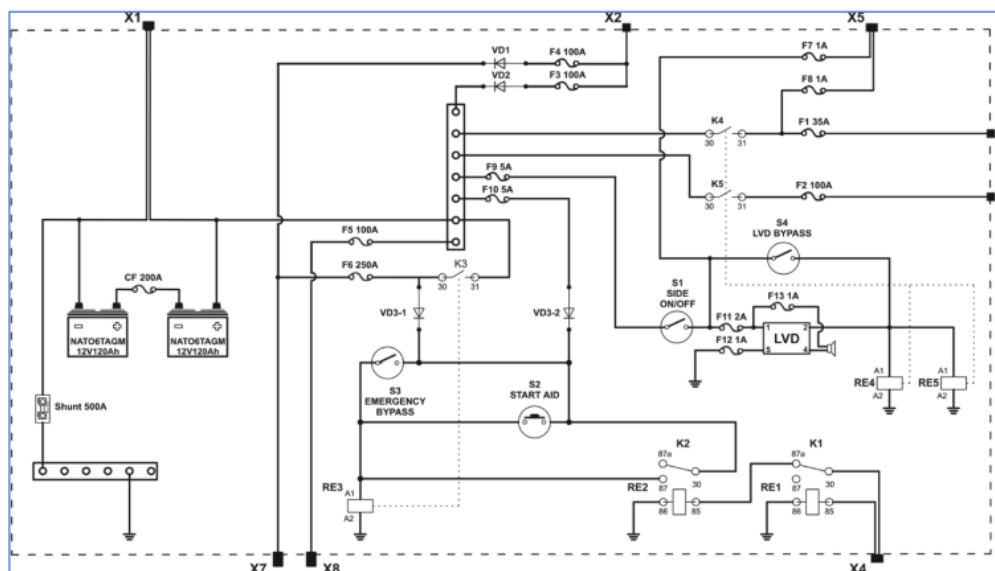
Tulenevalt sellest, et akukasti pole võimalik toota ühes terves tükis on akukast poolitatud kaheks osaks:

1. Ühe osa akukastist moodustab kogu elektrisüsteem, kus paikneb enamik juhtmestikust, releed ja kaitsmed.

2. Akukasti teine osa on ainult akude hoiustamiseks, kus paiknevad 2x NATO 6T AGM akud ning neid ühendavad kaablid.[14]

Akukasti jaotumine kaheks osaks aitab lahendada situatsioone, kus akukast enam ei tööta ning vajab vahetust. Vahetuseks ei pea autost tervet kasti kätte saama, vaid saab eemaldada ainult süsteemi poolse osa. Eelnevalt tuleb muidugi akude vahelised kaablid lahti ühendada. Ühe osa vahetus aitab aega kokku hoida, sest kui akukast ei jaotuks kaheks osaks, tuleks terve sõiduki akukast välja vahetada ning see eeldaks eelnevalt väga paljude sidesüsteemide lahti ühendamist ning eest võtmist, et akukasti vahetust saaks üldse teostada.[14]

Joonis 4. Lisaakukasti elektriskeem



Lisaakukasti elektriskeemi (Joonis 4) pealt on näha, et akukastil on 8 sisend/väljund pistikut. Antud pistikud on nii tolmu-, kui ka veekindlad. Alljärgnevalt on need pistikud ka välja toodud:

- X1- hoolduslaadija;
- X2- toitesead;
- X3- inverter;
- X4- CBT x107 Eng. Control;
- X5- aku indikaator;
- X6- JK1 24V kilp ühendus;

- X7- starteriakud;
- X8- akupanga laiendus.[14]

Iga pistikühendus on vajalik kas sisse või väljuva elektrivoolu pärast. Iga ühenduse vahel on vastavalt seadmele kaitse, mis kaitseb seadmeid lühiste eest. Hoolduslaadija ning toitesead on mõeldud lisaakukasti akude laadimiseks. Inverterisse läheb vool, et oleks võimalik kasutada seadmeid, mis tarbivad 230V voolu. Aku indikaator on ühendus kella ning diodi ühendumiseks. See aitab kasutajaid teavitada, kui palju voolu (A) erinevad tarbijad tarbivad ning lisaakukasti akude pinget (V) kontrollida. JK1 24V kilp on erinevate seadmete ühenduskilp. Starteriakud on samuti lisaakukastiga ühendatud, et saaks laadida sidesüsteemi akusid. CBT x 107eng on ühendus sõiduki enda süsteemiga, et vajadusel oleks võimalik starterit aidata.[14]

Toote materjali valikul on lähtutud algusest peale kaitseväega kooskõlastatud materjali valikust. Valituks on osutunud roostevaba teras 304 tuntud kui ka 1.4301. Antud tüüp vastab ka S30400, 304S15, 304S16, 304S31 ja EN58E standarditele. Tüüp 304 on kõige mitmekülgsem ja laialdasemalt kasutatav roostevaba teras. Enne selle nimetuse andmist teati seda materjali nimega 18/8. Antud nimetus tuleneb tüübi 304 nimikoostisest, kuna see sisaldab 18% kroomi ning 8% niklit. Roostevaba teras nimetusega 304 on autentne teras, mida saab tugevalt sügav tõmmata. Antud omaduse tulemusel on 304 domineeriv klass, mida kasutatakse valamute, kastrulite, vedrude, kruvide, mutrite ja poltide, arhitektuurse vooderduse, torude, õlletehaste, toidu-, piima- ja ravimitootmise seadmete ja sanitaartechnika tootmisel. Antud materjali tarnitakse tootjatele lehe, riba, plaadi ja toru kujul.

Sõiduki lisaakukasti materjali valik on osutunud valituks tema suurepärase omaduste pärast. Antud tüübil on suurepärase korrosioonikindlus. See on oluline, sest kaitseväge sõidukid on kasutuses väga paljudes erinevates kliimades. Lisaks sellele on materjalil ka väga hea kuumakindlus. Katkendlikul tööel kuni 870°C ja pideval tööel kuni 925°C. Antud parameetrid on siiski töötlemisel väga head näitajad. Keevitatavus tüüp 304 roostevaba terase liitkeevitusel on suurepärase nii täiteainetega, kui ka ilma. Roostevaba terase 304 jaoks on soovitatav kasutada täitevardeid. Kui tegemist on raskelt keevitatud sektsioonidega võib see vajada keevitusjärgset lõõmutamist.[16]

2.1. Metoodika

Töös kasutatavad andmed on kogutud autori poolt AT&G OÜ-s teostatud mõõtmete tulemusena ning ettevõtte antud sisendist. Kasutamisel on erinevate operatsioonide ajad, hinnakalkulatsioonid.

Ettevõtte poolt antud operatsioonide nimekirja järgi toimub lisaakukasti tootmine järgnevalt:

- t1- märglihv;
- t2- pressmutrite/ -poltide pressimine;
- t3- lehtmetalli painutamine;
- t4- keevitamine;
- t5- kaablite lõikamine;
- t6- kleebiste tootmine;
- t7- kooste;
- t8- tehniline kontroll.[14]

Töö autor mõttis antud nimekirja järgi nendele tootmisetappidele kuluvat aega. Autor kasutas aja mõõtmise jaoks stopperit, et teha kindlaks ühe lisaakukasti kulgemise viis ning selle detailide töötlemisele kuluv aeg igas etapis, sama tehti nii väikeseeria kui ka masstootmise korral. Tulemused märgiti Exceli tabelisse. Töötasu arvestamisel on arvestatud tööjõukulu, mis on operatsioonidele 12,3€/ tunnis, kasutades ettevõtte siseseid allikaid. Seadmete kulu leidmiseks küsis töö autor sisendit ettevõttelt ning seejärel oli võimalik leida operatsioonide kogukulu. Kogukulu leiti seadmete kulu ning kõikidele operatsioonidele kuluva töötasu liitmisel. Tootmisetappidele kuluvat aega ning kogukulu leidis autor nii väikeseeria tootmise kui ka masstootmise korral. Väikeseeria tootmise korral on arvestatud, et toodetakse neli lisaakukasti ning masstootmisel 100 lisaakukasti.

Selleks, et hinnata tootmisoperatsioonidele kuluvat aega, leidis autor nii väikeseeria kui ka masstootmise tootmisvood ehk aja, mille jooksul tootmine jõuab lõpuni. Kuna tootmisprotsess koosneb paljudest üksteisele järgnevatest operatsioonidest, siis tuleks tootmine planeerida nii, et

üks operatsioon järgneb teisele võimalikult lühikese ajavahega, sest nii on võimalik lühendada tootmistsükli. Operatsioonide plaanipäraseks liikumiseks tuleb valida õiged kulgemisviisid, mille määrab detailide ühelt operatsioonilt teisele üleandmise kord. Järgnevas peatükis Tabelis 1 on välja toodud tootmisetappide kulgemine väikeseeria korral ning seletus tootmise kulgemisest. Masstootmise korral on lähtutud detailipartii järjestikparalleelsest kulgemisviisist, mille korral alustatakse järgmist operatsiooni otsekohe pärast partii esimese detaili väljumist eelmisest operatsioonist.[17]

Autor käsitles ka ettevõtte poolt antud lisaakukasti joonise kohta teostatud BOM-i (ingl *Bill of materials*). Ühel lisaakukastil on 48 erinevat eriilmelist detaili. Autor leidis kõikide detailide maksumuse ühel akukastil ning seejuures arvestas ka detailidega, mida on akukastil rohkem kui üks. Samuti tuli autoril eraldi leida detailide hinnad masstootmise korral.

Peale detailide maksumuse leidmist oli võimalik arvutada, milline oleks toote omahind, kasutades valemit (1). Muutuvkulud ning püsikulud on samuti saadud ettevõtte andmetest.[18]

$$Omahind = \frac{Muutuvkulu + Püsikulu}{Toodetav kogus} \quad (1)$$

Töös on arvestatud, et ühes kuus on 21 tööpäeva ning ettevõttes töötatakse ühes tööpäevas 8 tundi. Neid andmeid kasutati planeeritud tööaja leidmisel, mida on taktaja leidmiseks vaja. Planeeritud tööaja leidmisel tuleb igal ettevõttel ise arvestada, kui palju on aega konkreetse toote tootmiseks. Väikeseeria tootmisel arvestatakse antud töös planeeritud tööajaks 5 päeva. Masstootmise planeeritava tööaja leidmiseks võetakse aluseks väikeseeria tootmiseks kuluv tegelik aeg, mis leitakse peale tootmisvoole kuluva aja leidmist, kasutades valemit (2).

$$\begin{aligned} & \text{Masstootmise planeeritav tööaeg} \\ &= \frac{\text{Väikeseeriale kuluv tööaeg} \times \text{Masstootmise kogus}}{\text{Väikeseeria kogus}} \end{aligned} \quad (2)$$

Selleks, et hinnata, millise aja jooksul tuleb kliendinõudluse täitmiseks tooteid toota, arvutatakse taktaeg. Taktaeg on väga oluline parameeter, sest aitab tagada kliendinõudluse täitmist õige ajaks ning aitab selle järgi väärtusahelat disainida. Lisaakukasti tootmisel on erinevad operatsioonid teostatud masinatega ning taktaja leidmisel on võimalik tootmisliinide tempot

sellele vastavalt projekteerida. Autor arvutas töös välja nii masstootmise taktaja kui ka väikeseeria tootmise taktaja, kasutades valemit (3) [19].

$$Taktaeg = \frac{\text{Planeeritud tööaeg}}{\text{Kliendi nõudlus}}$$

Tsüklikaeg on aeg, mis näitab meile, kui palju võime kulutada aega ühe tootmisoperatsiooni peale. Tsüklikaeg aitab tootmisprotsessi paremini planeerida ning tagab tootmise optimaalse ressursikasutuse, seetõttu pidas autor oluliseks ka seda leida, kasutades valemit (4) [20].

$$Tsüklikaeg = \frac{\text{Ühe toote valmistamise aeg}}{\text{Tootmises olevate toodete arvuga}} \quad (4)$$

Antud töös leiab autor ka väikeseeria tootmise ja masstootmise jaoks minimaalse töötajate arvu ehk optimaalse töötajate arvu seadmete teenindamiseks, et tootmine oleks efektiivne ning võimalik. Selle jaoks kasutab autor valemit (5). Samuti leitakse liini tasakaalustamise efektiivsus, kasutades valemit (6).[21]

$$\text{Minimaalne töökohtade arv} = \frac{\text{Tööaegade summa}}{\text{Taktaeg}} \quad (5)$$

$$\text{Liini tasakaalustamise efektiivsus} = \frac{\text{Tööaegade summa}}{\text{Minimaalne töökohtade arv} \times \text{Taktaeg}} \quad (6)$$

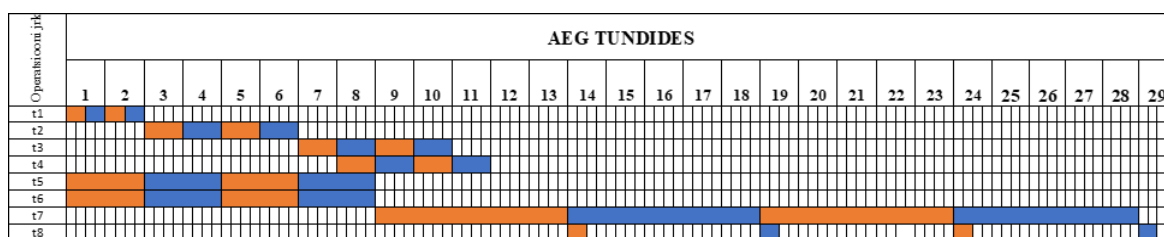
3. TULEMUSED JA JÄRELDUSED

Kolmas peatükk käsitleb väikeseeria tootmise ja masstootmise tulemusi ning tehakse uurimistulemuste põhjal järeldused ning ettepanekud.

3.1. Väikeseeria tootmise tulemused

Selleks, et hinnata väikeseeria tootmistulemusi, leidis autor erinevatele tootmisoperatsioonidele kuluva aja, mida on näha ka Tabelis 1. Väikeseeria tootmisvoog ehk nelja lisaakukasti tootmine jõuab lõpuni 28 tunni ja 30 minutiga. Tabelist on märgata, et kohe alguses alustatakse kolme etapiga- t1, t5 ja t6. Kolm esimest etappi kulgevad järjest ehk toode liigub järgmisesse etappi alles siis kui eelnev on lõpetatud. Operatsioon t4 algab kohe, kui eelnevas operatsioonis on esimene toode valminud. Operatsioonid t5 ja t6 lõpevad samaaegselt sel hetkel, kui operatsioonis t4 on valminud esimene toode. Tootmisetapp t7 ehk kooste algab tootmise üheksandal tunnil kui hakatakse kokku panema esimest lisaakukasti ning t8 ehk tehniline kontroll teostatakse kohe, kui toode on saanud täiesti valmis.

Tabel 1. Nelja lisaakukasti tootmisvoog



Järgnevas Tabelis 2 on välja toodud ühe lisaakukasti operatsioonid ning vastavalt operatsioonile detaili töötlemisaeg. Kõikide operatsioonide detailide töötlemisaeg väikeseeria korral on 13 tundi.

Tabel 2. Ühe lisaakukasti tootmisoperatsioonid ning detailide töötlemise ajad

Operatsiooni jrk	Operatsiooni nimetus	Detaili töötlemiseaeg (h)
t1	Märglihv	0,5
t2	Pressmutrite/ -poltide pressimine	1
t3	Lehtmetalli painutamine	1
t4	Keevitamine	1
t5	Kaablite lõikamine	2
t6	Kleebiste tootmine	2
t7	Kooste	5
t8	Tehniline kontroll	0,5
	Summa:	13

Tabelis 3 on välja toodud nelja lisaakukasti tootmisoperatsioonid, nende järjekord ning detailidele kuluv töötlemisaeg. Kokku kulub nelja lisaakukasti tootmiseks 52 tundi. Samuti on välja toodud iga operatsiooni töökulu tööandjale. Kõikidele operatsioonidele kulub tööandjal 640 eurot. Samuti on välja toodud seadmete kulu, milleks on 980 eurot ning kogukuluks on seega 1620 eurot.

Tabel 3. Nelja lisaakukasti tootmisoperatsioonid, detailide töötlemisajad ja kulud.

Operatsiooni jrk	Operatsiooni nimetus	Detaili töötlemiseaeg (h)	Töökulu (€)
t1	Märglihv	2	24,6 €
t2	Pressmutrite/ -poltide pressimine	4	49,2 €
t3	Lehtmetalli painutamine	4	49,2 €
t4	Keevitamine	4	49,2 €
t5	Kaablite lõikamine	8	98,4 €
t6	Kleebiste tootmine	8	98,4 €
t7	Kooste	20	246,0 €
t8	Tehniline kontroll	2	24,6 €
	Summad	52	639,6 €
	Seadmed		980,0 €
	Kogukulu		1 619,6 €

Ühe lisaakukasti omahinnaks leidis autor 1672, 32 eurot.

Selleks, et hinnata ja paremini planeerida, millise aja jooksul tuleb nõudluse täitmiseks tooteid toota, arvutati taktaeg. Ettevõtte on planeerinud, et nelja lisaakukasti tootmisele võib kuluda 5 tööpäeva, seega taktajaks kujuneb 10 tundi / ühe lisaakukasti kohta. See tähendab, et ühe lisaakukasti tootmine tuleks teostada 10 tunni jooksul.

Tegelikult aga kulub nelja toote tootmiseks 28,5 tundi, nagu on näha Tabelist 1. Seega on 3,6 päeva jooksul võimalik valmis saada neli lisaakukasti. Seetõttu võib ettevõtte edaspidi ka planeeritud tööaega vähendada.

Ettevõtte teab, et tööde õigeaegseks valmimiseks ja graafikus püsimiseks tuleks jälgida ka tsükliaga. On teada, et tsükliag peaks tavaliselt olema väiksem kui taktaeg. Kui vaadelda eraldi ühe toote tootmisvoogu, leiab autor, et ühe toote tootmiseks kulub 9 tundi. Teame, et toodetakse neli lisaakukasti ning sellest tulenevalt on ühe operatsiooni teostamise tsükliag 2,25 tundi.

Minimaalseks töötajate arvuks leiab autor 5,2 ehk 5 inimest. Liini tasakaalustamise efektiivsuseks kujuneb 104%.

3.2. Masstootmise tulemused

Sarnaselt väikeseeria tootmistulemuste hindamisele, leidis autor ka masstootmise korral erinevate tootmisoperatsioonidele kuluva aja. Kui väikeseeria tootmisvoog jõudis lõpuni 28,5 tunniga, siis masstootmise tootmisvoog jõuab lõpuni 505 tunniga. Autor on arvesse võtnud masstootmise tootmisvoo leidmisel, et järgmine operatsioon algab siis kui eelnevas operatsioonis on üks toode valminud.

Alljärgnevas Tabelis 4 on välja toodud tootmisoperatsioonid, nende järjekord ning 100 lisaakukasti detailidele kuluv tootmisaeg ning iga operatsiooni töökulu tööandjale. Kõikide operatsioonide detailide töötlemisaeg masstootmise korral on 1300 tundi. Kõikidele operatsioonidele kulub tööandjal 15 990 eurot. Samuti on välja toodud seadmete kulu, milleks on 24 500 eurot ning kogukuluks on seega 40 490 eurot.

Tabel 4. 100 lisaakukasti tootmisoperatsioonid, detailide töötlemisajad ja kulud

Operatsiooni järk	Operatsiooni nimetus	Detaili töötlemisaeg (h)	Tööjõukulu (€)
t1	Märglihv	50	615,0 €
t2	Pressmutrite/ -poltide pressimine	100	1 230,0 €
t3	Lehtmetalli painutamine	100	1 230,0 €
t4	Keevitamine	100	1 230,0 €
t5	Kaablite lõikamine	200	2 460,0 €
t6	Kleebiste tootmine	200	2 460,0 €
t7	Kooste	500	6 150,0 €
t8	Tehniline kontroll	50	615,0 €
	Summad	1300	15 990,0 €
	Seadmed		24 500,0 €
	Kogukulu		40 490,0 €

Masstootmise korral leidis autor, et ühe lisaakukasti omahind on 1450,16 eurot.

Masstootmise taktaaja arvutamisel lähtutakse samadest põhimõtetest nagu väikeseeria tootmisel. Masstootmise planeeritava tööaja leidmisel võeti aluseks väikeseeria tootmiseks kuluv tegelik aeg, mis leitakse peale tootmisvoole kuluva aja leidmist. Planeeritavaks tööajaks kujuneb 90 tööpäeva. Taktaeg on 7,2 tundi/ ühe lisaakukasti kohta.

Tegelik ajaline kulu 100 toote tootmiseks on 505 tundi nagu tuli tootmisvoo teostamisel välja. Seega kulub ettevõttel tegelikult masstootmise teostamiseks 63,1 tööpäeva. Seega võib ettevõtte ka masstootmisele planeeritud aega vähendada.

Tsükliaja leidmisel on samuti lähtutud samadest põhimõtetest nagu väikeseeria korral. Seega on masstootmise korral ühe operatsiooni teostamise tsükli-aeg 0,09 tundi ehk 5,4 minutit.

Masstootmise teostamise suureks aluseks on tööjõu olemasolu ning tootmise efektiivsus. 100 lisaakukasti tootmine näiteks ühe kuuga on väga raske, sest hetkel töötab tootmishoones 13 töolist. Leidsime eelnevalt, et masstootmise teostamiseks kulub hoopis 63,1 tööpäeva. Selleks, et oleks valmidus masstootmiseks, leitakse minimaalne töötajate arv, milleks on 180,6 ehk 181 inimest. Liini tasakaalustamise efektiivsuseks kujuneb 99,75%

3.3. Järeldused ja ettepanekud

Antud töö eesmärgiks oli hinnata toote disainist tulenevat toodetavust sõiduki lisaakukasti näitel. Autor soovis võrrelda lisaakukasti toodetavust nii väikeseeria tootmise kui ka masstootmise korral ning leida, kas ja kuidas oleks võimalik muuta toote disaini, et toode oleks lihtsam, omaks vähem komponente ning oleks odavam toota.

Hinnates väikeseeria tulemusi, võib väita, et ettevõttel on võimalik tooted õigeaegselt valmis saada. Vaadates tootmisvoo tabelit, on näha, et mõõdetud tulemused näitavad tootmisvoo kestuseks 28,5 tundi ehk 3,6 päeva. Planeeritud tööajaks oli määratud 5 päeva, seega on võimalik toota isegi kiiremini kui planeeritud, kuid see ei ole alati hea. Taktaeg väikeseeria tootmise korral on 10 tundi / ühe lisaakukasti kohta. Seega ühe lisaakukasti tootmiseks on aega 10 tundi, et täita kliendi nõudlus. Taktaja eesmärgiks on anda ülevaade, mis on täpne rütm tootmise ja kliendi nõudluse vahel. Tootmisvoo uurimine ühe toote korral andis tootmisaja tulemuseks 9 tundi. Seega toimub tootmine tunni võrra kiiremini kui taktaeg näitab. Kiirem tootmine võib tekitada olukorra, kus toodetakse rohkem kui on nõudlust ning see omakorda tekitab kulusid toodete ladustamisel. Väikeseeria tootmise tsükliajaks leidis autor 2,25 tundi. Seega on ühe operatsiooni teostamiseks aega 2,25 tundi. Minimaalseks töötajate arvuks leidis autor 5 inimest ning liini tasakaalustamise efektiivsus on 104%. Ühe lisaakukasti omahinnaks leidis autor 1672,32 eurot.

Väikeseeria tootmise tulemusi saab võrrelda masstootmise tulemustega. Ka masstootmise korral on tegelik tööpäevade arv, mis kulub toodete valmistamiseks väiksem, kui planeeritud tööaeg. Planeeritud tööajaks oli masstootmise korral 90 päeva, kuid tegelikult kulub 63,1 tööpäeva. Taktaeg masstootmise korral on 7,2 tundi/ ühe lisaakukasti kohta. See on 2,8 tundi vähem, kui väikeseeria tootmisel. Masstootmise tsükliajaks leidis autor 0,09 tundi ehk 5,4 minutit. See masstootmisel on iga operatsiooni jaoks aega 5,4 minutit. Mida väiksem on aeg iga operatsiooni jaoks, seda suurem on ilmselt ka praagi osakaal ning hetkel ei ole ettevõttel ka sellist võimsust, et masstootmist rakendada. Minimaalne töötajate arv on 181 ning liini tasakaalustamise efektiivsus 99,75%. On näha, et masstootmise rakendamisel tuleks ettevõttel tohutult laieneda ning tööle võtta väga palju inimesi. Ühe lisaakukasti omahind, 1450,16 eurot, on masstootmise korral väiksem kui väikeseeria tootmisel.

Autor leiab, et masstootmise teostamiseks ei ole ettevõttel sellist võimalust, et laieneda, samuti puudub nii suur nõudlus toote järgi, vähemalt hetkel. Väiksemate koguste tootmine on ettevõtte jaoks lihtsam, nii paljude komponentidega toote puhul oleks tootmiskiiruse tõstmine üsna keeruline.

Selleks, et hinnata, millised oleksid tõhusad strateegiad lisaakukasti toote disainist tuleneva toodetavuse parandamiseks, loob autor seoseid töös käsitletud toote disaini planeerimisprotsessidega DFM ja DFA.

DFM meetodi kasutamisel lähtutakse viiest põhimõttest: protsess, disain, materjal, keskkond ning vastavus/testimine. Kui keskenduda ka lisaakukasti tootmisel nendele põhimõtetele, siis hetkel kasutatav protsess ja tootmisvoog on mõistlik, kuid autor leiab, et protsessi oleks siiski vaja veel optimeerida, eriti kooste etappi tootmises. Antud toote puhul ei ole võimalik disaini lihtsustada, sest disain on määratletud tellija ehk kaitseväge poolt, samuti on valitud ka materjal kaitseväge poolt. Seega ei ole võimalik nendes aspektides ettevõttes muudatusi läbi viia, et lihtsustada tootmisprotsessi ning vähendada kulusid. Väga oluline aspekt on keskkond ning on teada, et lisaakukast on disainitud vastupidama niiskete, kuivade, külmade kui ka kuumade ilmastikuoludega. Seega vastab toode ka DFM-i keskkonna printsiibile ning ka testimise printsiibile, sest lisaakukasti tootmisel on eraldi tootmisoperatsiooniks ka testimine ja kvaliteedikontroll. See aitab kiirelt ja muretult vead eemaldada ning toode ja selle komponendid vastavad tööstusstandarditele. Kuigi ettevõtte pole järginud DFM meetodit, vastab lisaakukast siiski DFM-i põhimõtetele, kuid arvestades toote disaini ning materjale, pole ettevõttel võimalik muudatusi läbi viia ettekirjutuste tõttu.

Autor võtab vaatluse alla ka DFA printsiibid, milleks on: komponentide arvu minimeerimine, standardsete komponentide kasutamine, eritellimus komponentide arvu vähendamine, montaažiprotsessi optimeerimine, sümmeetria kasutamine tootedisainis, toote muutmine veakindlamaks ning kokkupanemise protsessi lihtsustamine. Kui lähtuda ka lisaakukasti tootmisel nendest põhimõtetest, siis lisaakukastil on tõepoolest palju komponente (48 detaili), kuid nende arvu pole võimalik antud toote puhul minimeerida, sest kõik on olulised, samuti ei ole võimalik asendada detaile standardsemate vastu ega vähendada eritellimus komponentide arvu. Peamine põhjus seisneb kliendi seatud nõuetest. Üks aspekt, mida oleks võimalik rakendada ka lisaakukasti puhul, on montaažiprotsessi optimeerimine. Mingil määral õnnestuks montaažitoimingute arvu vähendada, mis muudaks tootmise kiiremaks ja järjepidevamaks. Autor

leiab, et lisaakukasti puhul on DFA viiendat printsiipi juba hästi kasutatud. Detailid on sümmeetrilised ning funktsionaalsed. Oluline aspekt on ka toote muutmine veakindlaks. Autor usub, et kuna tooteprotsessis on kindel osa ka tehnilisel kontrollil ja kvaliteedikontrollil, siis seda printsiipi täidetakse hästi. Samuti leiab autor, et kokkupanemise protsessi on juba lihtsustatud, kuid seda saaks veelgi parandada. Keerulisi kinnitusmeetodeid ning liiga paljusid kinnituskohi tootel ei ole. Detailide ühenduskohad on toodetud nii, et igalt poolt ei ole vaja poltidega kinnitada ning kasutatud on tappe. Kuid kooste lihtsustamiseks võiks näiteks kooste töökoht olla varustatud vajalike komponentidega, et detaile ei peaks koguaeg kaugelt otsima.

Ettepanek edasisteks uuringuteks oleks uurida võimalusi tooteprotsessi automatiseerimiseks, sest automatiseeritud protsessid on üldiselt kiiremad ja tõhusamad, kuid automatiseerimisega kaasneb ka kulusid. Seega võiks uurida, kuidas automatiseeritud protsessid aitaksid kiirendada tootmist ning leida selle tasuvus. Uuringu täiustamisel võiks uurida ka allhangete kasutamist, kus AT&G OÜ teostaks vaid kooste ning tehnilise kontrolli ning uurida selle tasuvust.

KOKKUVÕTE

Tootedisaini lahendused on tänapäeval olulise tähendusega, sest tooted pole mitte ainult keerulised, vaid ka nende tootmisprotsess on suuremahulisem ning keerukam. Selleks, et tootjatel oleks võimalik jõuda toote prototüübist masstootmiseni ja kaugemalegi on vaja tootmist ja tootedisaini optimeerida, kaasates protsessi nii insenerid kui ka disainerid. Kogu tootmisprotsess peab olema hästi läbi mõeldud, et oleks võimalik kulusid optimeerida ja tootmist lihtsustada. Tootedisain loob ettevõtetele konkurentsieelise ja on üheks olulisemaks tõukejõuks tulemuslikkusel. Tänapäeval on tootedisainist saanud peamine vahend toodete eristamiseks tiheda konkurentsiga turul.

Seetõttu käsitleti töös ka tootedisaini olulisust ning selle nelja dimensiooni: esteetika, funktsionaalsus, sümboolika ja ergonoomilisus. Samuti käsitleti kolme erinevat tootedisaini planeerimisprotsessi tüüpi, milleks on DFM, DFA ja DFMA. Need meetodikad aitavad mõista, kuidas on võimalik tootearenduses kulusid kokku hoida ning tagada konkurentsieelis ning parem kvaliteet. Töös kirjeldati nende meetodikate rakendamise erinevusi, eelised ja puuduseid. Autori huvi oli neid meetodikaid siduda ka valitud uurimisobjekti ehk sõiduki lisaakukasti tootmisprotsessiga ning leida meetodikate rakendamise kasutegureid ja miinuseid.

Töö autor uurib toote disainist tulenevat toodetavust sõiduki lisaakukasti näitel ettevõttes AT&G OÜ. Töös kasutatavad andmed on kogutud autori poolt ettevõttes teostatud mõõtmete tulemusena ning ettevõtte antud sisendist. Töö meetodika osas on kõigepealt leitud sõiduki lisaakukasti detailide töötlemisele kuluv aeg igas tootmisetapis. Seejärel on leitud operatsioonietappidele vastavad töötasud ning leitud seadmete kulu, mille järel oli võimalik leida operatsioonide kogukulu. Tootmisetappidele kuluvat aega ning kogukulu leidis autor nii väikeseeria tootmise kui ka masstootmise korral. Väikeseeria tootmise korral on arvestatud, et toodetakse neli lisaakukasti ning masstootmisel 100 lisaakukasti. Selleks, et hinnata tootmisoperatsioonidele kuluvat aega on leitud tootmisvood ehk ajad, mille jooksul tootmine jõuab lõpuni. Selleks, et leida toote omahind, tuli leida kõigepealt lisaakukasti 48 erineva detaili maksumused, arvestades seejuures ka detailidega, mida on akukastil rohkem kui üks. Sama

protsess tuli läbi viia ka masstootmise korral. Selleks, et hinnata millise aja jooksul tuleb kliendi nõudluse täitmiseks tooteid toota, leidis autor taktajad. Samuti leiti tsükliajad, mis näitavad, kui palju võime kulutada aega ühe tootmisoperatsiooni peale ning aitab tootmisprotsessi paremini planeerida. Töös leitakse ka mõlema tootmise korral minimaalne töötajate arv seadmete teenindamiseks ning liini tasakaalustamise efektiivsus.

Väikeseeria tootmistulemused näitavad, et ettevõttel on võimalik tooted õigeaegselt valmistada. Autori teostatud tootmisvoo tabelist joonistub ilusti välja, et tootmisvoo kestus on 28,5 tundi ehk 3,6 päeva, mis on väiksem kui planeeritud tööaeg 5 päeva. Taktaeg väikeseeria tootmise korral on 10 tundi/ ühe lisaakukasti kohta. Kui autori poolt teostatud tootmisvoog ühe lisaakukasti tootmisel andis ajakuluks 9 tundi, siis taktaja põhjal saab teha järelduse, et tegelik tootmisaeg on kiirem. Autor leidis, et tsükliäeg on 2,25 tundi, selle aja jooksul tuleb teostada üks tootmisoperatsioon. Minimaalseks töötajate arvuks leidis autor 5 inimest ning liini tasakaalustamise efektiivsus on 104%. Autor leidis, et toote omahind on väikeseeria tootmisel 1672,32 eurot.

Masstootmise puhul on tootmisvoo pikkuseks 505 tundi ehk 63,1 päeva, mis on samuti väiksem kui planeeritud tööaeg 90 päeva. Taktaeg masstootmise korral on 7,2 tundi/ ühe lisaakukasti kohta. Seda on 2,8 tundi vähem, kui väikeseeria tootmisel. Autor on leidnud masstootmise tsükliajaks 0,09 tundi ehk 5,4 minutit. Kuna iga operatsiooni jaoks on nii vähe aega, siis võib järeldada, et praeguse võimsuse juures ei ole võimalik protsesse korralikult teostada ning praagi osakaal võib suurneda. Kokkuvõtvalt saab järeldada, et ettevõttel ei ole sellist võimsust, et masstootmist hetkel rakendada ning samas ei ole ka nii suurt nõudlust hetkel. Minimaalseks töötajate arvuks leidis autor 181 inimest ning liini tasakaalu efektiivsuseks 99,75%. Seega vajaks ettevõtte enne masstootmist väga suurt ettevõtte laiendust ning tööle tuleks võtta väga palju inimesi. Väiksemate koguste tootmine on ettevõtte jaoks lihtsam, nii paljude komponentidega (48 detaili) toote puhul oleks tootmiskiiruse tõstmine ning laienemine keeruline. Ühe lisaakukasti omahind masstootmise puhul on 1450,16 eurot, mis on väiksem, kui väikeseeria tootmisel.

Töö tulemused ja järeldused annavad ülevaate, milline tootmine on ettevõtte jaoks kasulik ning kas masstootmine oleks võimalik kui nõudlus kasvab. Lisaks eelneval saab antud töö tulemusi ning järeldusi kasutada ka järgnevate uuringute aluseks.

Ettepanek edasisteks uuringuteks oleks uurida võimalusi tooteprotsessi automatiseerimiseks, et kiirendada ja tõhustada tootmist. Kuna aga automatiseerimisega kaasneb üsna palju kulusid, võiks uurida, kuidas automatiseeritud protsessid aitaksid kiirendada tootmist ning leida selle tasuvus. Uuringu täiustamisel võiks uurida ja leida ka allhangete kasutamise eelise ja tasuvuse, kus AT&G OÜ teostaks vaid kooste ning tehnilise kontrolli.

SUMMARY

The following thesis is *Manufacturability due to Product Design on the Example of a Vehicle Additional Battery Box*.

Nowadays, thinking about product design is crucial because products and large-scale production processes are becoming more and more complex. In order for manufacturers to be able to go from product prototype to mass production, it is necessary to optimize production and product design. The entire production process must be well thought out in order to optimize costs and simplify production. Smart design solutions and efficient processes help to stay competitive.

The manufacturability resulting from the design of the product, using the example of the vehicle's additional battery box, has not been studied before. Effective strategies to improve production have also not been discussed. Examining the manufacturability resulting from the product design helps to clarify whether and how the design of a product could be changed to make the product simpler, cheaper to produce and have fewer components.

Consequently, the aim of this work is to assess the manufacturability resulting from the design of the product using the example of a vehicle's additional battery box.

To achieve the goal of the work, the author set the following research questions:

- 1.What are effective strategies to improve the productability of the additional battery box resulting from the product design?
- 2.What are the advantages and disadvantages of small series production of additional battery box?
- 3.What are the advantages and disadvantages of mass production of additional battery box?

The work provides an overview of the importance of product design and the types of product design planning processes: DFM (Design of Manufacturing), DFA (Design of Assembly) and DFMA (Design for Manufacturing and Assembly). These methodologies help to understand how to save costs in product development and also to ensure greater competitiveness and quality. The author's interest was in their theories to understand the differences, advantages and disadvantages of each of them in the production process and how they are applied.

The author of the work examines the manufacturability arising from the design of the product using the example of the vehicle's additional battery box in the company AT&G OÜ. All calculations are found in the work both for small-series production (4 additional battery boxes) and for mass production (100 additional battery boxes). As for the methodology of work, the time spent on processing the parts of the vehicle's additional battery box is found first. The salaries corresponding to the operational stages have then been found, as well as the cost of the equipment and total cost found. In order to estimate the time spent on production operations, production flows have been found, that is, the times during which production is completed. In order to find the cost price of the product, it was first necessary to find the costs of the 48 different parts of the additional battery box, while also taking into account the details that the battery box has more than one. In order to estimate the period of time in which products must be produced in order to meet customer demand, the author also found takt time. The author also found cycle times, which show how much time we can spend on a single production operation. The work also finds the minimum number of employees for servicing the equipment for both productions, as well as the efficiency of the line balancing.

Small series production results show that the company is able to manufacture products on time. From the production flow table performed by the author, it can be clearly seen that the duration of the production flow is 28.5 hours or 3.6 days, which is less than the planned working time of 5 days. The takt time for small series production is 10 hours/per additional battery box. If the production flow carried out by the author for the production of one additional battery box gave a time consumption of 9 hours, then based on the takt time, it can be concluded that the actual production time is faster. The author found that the cycle time is 2.25 hours, during this time one production operation must be performed. For the minimum number of employees, the author found 5 people, and the efficiency of the line balance is 104%. The author found that the cost price of the product is 1672,32 euros for small series production.

In the case of mass production, the length of the production flow is 505 hours or 63.1 days, which is also less than the planned operating time of 90 days. The takt time for mass production is 7.2 hours/per additional battery box. The author has found a mass production cycle time of 0.09 hours or 5.4 minutes, which at current capacity is a very short for any process. At the moment, there is no capacity to implement mass production, and at the same time there is not so much demand. The author found a minimum number of employees of 181 people and the efficiency of the line balance is 99.75%. Thus, before mass production, the company would need

a very large expansion of the company and a large number of people would have to be hired. The cost price of one additional battery box for mass production is 1450.16 euros, which is less than for small series production.

The results and conclusions of the work provide an overview of what kind of production is beneficial for the company, as well as whether mass production would be possible if demand grows. In addition to the above, the results and conclusions of this work can also be used as a basis for subsequent studies.

A suggestion for further research would be to explore ways to automate the product process in order to speed it up and make it more efficient. However, since automation involves quite a lot of costs, one could investigate how automated processes could help speed up production and find its profitability. When improving the study, the advantage and profitability of using outsourcing could also be studied and found, where AT&G OÜ would only carry out assembly and technical inspection.

VIITATUD ALLIKAD

- [1] Christian Homburg, Martin Schwemmler and Christina Kuehnl, „New Product Design; Concept, Measurement, and Consequences“, Journal of Marketing, Vol 79, No. 3, pp. 41-56, 2015.
- [2] Rupinder P. Jindal, Kumar R. Sarangee, Raj Echambadi and Sangwon Lee, „Designed to Succeed: Dimension of Product Design and Their Impact on Market Share“, Journal of Marketing, Vol 80, No. 4, pp. 72-89, 2016.
- [3] Siim Sild, „Design for Manufacturing“, Fractory, [Võrgumaterjal]. Available: https://fractory.com/design-for-manufacturing-dfm/?fbclid=IwAR1ocN8SJ-pE_wwt960CpffTqk0bS69XH0RIztO6miGEQc4wmlUKBwIaHqE, [Kasutatud 03. aprill, 2023].
- [4] Bead Electronics, „The 5 Principles of Design for Manufacturing (DFM)“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.beadelectronics.com/blog/the-5-principles-of-design-for-manufacturing-dfm>, [Kasutatud 03. aprill, 2023].
- [5] East West Manufacturing, „What is Design for Manufacturing or DFM?“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://news.ewmfg.com/blog/manufacturing/dfm-design-for-manufacturing?fbclid=IwAR2DV3ReE-l8sl9fZfYZrCdcYKU5D8JOai3FEEiwN7J2VkvkHKNNIUSAFc>, [Kasutatud 11. aprill, 2023].
- [6] „An Overview of Design for Manufacturing or DFM“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://leadrp.net/blog/an-overview-of-design-for-manufacturing-or-dfm/?print=print>, [Kasutatud 11. aprill, 2023].
- [7] Engineering Department, „Why Design for Manufacturing (DFM) is Important“, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.pacific-research.com/why-design-for-manufacturing->

[dfm-is-important-prl/?fbclid=IwAR2LvDWdDGP8ows0VnQDd4AJv9Ho0iUymzfrXvokg-t5ok2xQP-x806BJI](https://www.rapiddirect.com/blog/design-for-assembly/?fbclid=IwAR2LvDWdDGP8ows0VnQDd4AJv9Ho0iUymzfrXvokg-t5ok2xQP-x806BJI), [Kasutatud 11. aprill, 2023].

[8] „Design for Assembly and its Use in Product Manufacturing,“ [Võrgumaterjal]. Available: https://www.rapiddirect.com/blog/design-for-assembly/?fbclid=IwAR1R_pLz-OwnWtIAbzhBURxTwiDomxXtBOKzYF17Ts7YkzfUiZQzuDgKTI, [Kasutatud 20. aprill, 2023].

[9] „Design For Assembly Principles: A Comprehensive Guide on DFA,“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://waykenrm.com/blogs/design-for-assembly-principles/>, [Kasutatud 20. aprill, 2023].

[10] “The Power of good design for assembly [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.idc.uk.com/news/2018/the-power-of-design-for-assembly/>, [Kasutatud 20.04.23].

[11] Andres Velling, „Design for Assembly,“ [Võrgumaterjal]. Available: [Design for Assembly \(DFA\) Principles Explained | Fractory](#), [Kasutatud 20. aprill, 2023].

[12] “Design for Manufacturing and Assembly (DFMA),“ [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/our-story/glossary/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/53982>, [Kasutatud 23. aprill, 2023].

[13] G Boothroyd, P Dewhurst, W Knight, Product design and manufacture and assembly, Taylor and Francis Group, 2011, p. 671.

[14] AT&G dokumendid

[15] [Võrgumaterjal]. Available: https://www.trumpf.com/en_CA/products/machines-systems/bending-machines/trubend-series-5000/, [kasutatud 24. aprill, 2023].

[16] [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.thyssenkrupp-materials.co.uk/stainless-steel-304-14301.html>, [kasutatud 28.aprill, 2023].

[17] H.- E. Kabral, Tootmine ja operatsiooni juhtimine, TTÜ kirjastus, 2007, p. 269, lk 123-124.

[18] [Võrgumaterjal]. Available: <https://hakkanettevotjaks.ee/oma-ja-muugihinna-arvutamise-abc/>, [Kasutatud 29. aprill, 2023].

- [19] [Võrgumaterjal]. Available: <https://tsenter.ee/lean/taktiaeg/>, [Kasutatud 29. aprill, 2023].
- [20] [Võrgumaterjal]. Available: <https://efinancemanagement.com/financial-management/takt-time-vs-cycle-time>, [Kasutatud 29. aprill, 2023].
- [21] H.- E. Kabral, Tootmine ja operatsioonijuhtimine, TTÜ kirjastus, 2007, p. 269, lk 123-124.

LISAD

Lisa 1. Lisaakukasti joonis

