



TALLINNA TEHNIKAKÕRGKOO

Andrus Jagnitš

**TESTPESADE
PROJEKTEERIMISE JA
TOOTMISE PROTSESSI
OPTIMEERIMINE
INTEGREERITUD CAD/CAM
JA
ANDMEHALDUSTARKVARA
JUURUTAMISEGA**

LÕPUTÖÖ

Mehaanikateaduskond
Tehnomaterjalide ja turunduse eriala

Tallinn 2013

SISUKORD

Lühendite loetelu.....	5
Sissejuhatus	7
1. Ettevõtte tutvustus.....	10
1.1. Ajalugu	10
1.2. PKC Group OY ülevaade	11
1.3. PKC EESTI AS	12
2. Testpesade tootmine.....	15
2.1. Osakonna ülevaade	15
2.2. Osakonna struktuur.....	16
2.3. Tooted.....	19
2.4. Protsessi voodiagramm (Flow Chart)	20
2.5. Hetkeolukord. CAD ja CAM tarkvara.....	23
2.6. Mittevastavused	25
2.7. Kulud testpesade taastootmisel mittevastavuste korral	26
2.7.1. Näide 1. Kulud ettevõttele.....	26
2.7.2. Näide 2. Kulud ettevõttele.....	28
3. Uus tarkvara	31
3.1. CAD tarkvara SolidWorks.....	31
3.2. SolidWorks Enterprise PDM juurutamine.....	33
3.2.1. Efektiivsus.....	33
3.2.2. Rahvusvaheline koostöö.....	34
3.2.3. Investeeringute tasuvus (EPDM ROI).....	34

3.3. Integreeritud CAD/CAM süsteem	35
3.4. Võimalik CAM lahendus.....	35
4. Protsessi parendamine.....	38
4.1. Arendustegevus	39
4.1.1. Uued tehnoloogiad	39
4.1.2. Testpesade standardiseerimine	40
4.2. Vea liigi ja mõju analüüs FMEA	40
Kokkuvõte	42
Summary	44
Viidatud allikad	46
Lisa 1. PKC asukohad.....	48
Lisa 2. Erineva keerukusega näidised (pistikud) ja nende testimiseks toodetud testpesad	49
Lisa 3. Testpesal valesti projekteeritud avad, näide 1	50
Lisa 4. Koostatud defektne ja taastoodetud testpesa peale CNC töötlust, näide 2	51
Lisa 5. Projekteeritud 3D mudelid testpesade tootmiseks.....	52
Lisa 6. Investeeringute tasuvuskalkulaator (EPDM ROI).....	53
Lisa 7. Tabel nõuetele mittevastavate testpesade kaardistamiseks.....	54
Lisa 8. Disaini vea liigi ja mõju analüüs DFMEA	55
Lisa 9. Vea liigi ja mõju analüüs FMEA.....	56
Lisa 10. Kontrollplaan.....	57

LÜHENDITE LOETELU

3D – Kolmemõõtmeline raalprojekteerimine

API - Rakendusliides ehk programmiliides

BOM – Bill of Materials (Materjalide nimekiri)

CAD - Computer-Aided Design (Arvuti abil projekteerimine)

CAM - Computer-Aided Manufacturing (Arvuti abil tootmine)

CNC - Computer Numerical Control (APJ – Arvprogrammjuhtimine)

DFMEA – Design Failure Mode and Effect Analysis (Disaini vea liigi ja mõju analüüs)

ERP - Enterprise resource planning (Ettevõtte Ressursside Planeerimine)

FM – Leak test (Lekke test)

FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Vea liigi ja mõju analüüs)

FV – Optical color detection (Optiline värvituvastus)

ISO – International Organization for Standardization (Rahvusvaheline Standardiorganisatsioon)

ISO 14001 - Environmental management systems. Requirements with guidance for use
(Keskkonnajuhtimissüsteemid. Nõuded koos kasutusjuhistega)

ISO 9001 – Quality management systems. Requirements (Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Nõuded)

ISO/TS 16949 – Quality management systems. Particular requirements for the application of ISO 9001:2008 for automotive production and relevant service part organizations. Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Spetsiifilised nõuded standardi ISO 9001 rakendamiseks autotööstuse ettevõtetes.

PDM - Product Data Management (Toote andmete haldus)

PFMEA – Process Failure Mode and Effect Analysis (Protsessi vea liigi ja mõju analüüs)

POM – Polyoxymethylene, polüoksümetüleen

PPAP - Product Part Approval Process (Toote heakskiidu protsess-THP)

ROI – Return on investment (Investeeringute tasuvus)

S – Seal test pin (Tihendi testpinn)

SL – Secondary locking test (Lisalukusti test)

SISSEJUHATUS

PKC Group on rahvusvaheline projekteerimise ja lepinguliste tootmisteenuste pakkuja juhtmeköidiste ja elektroonika valdkonnas. Grupi tooteid ja teenuseid tarnitakse peamiselt auto-, telekommunikatsiooni - ja elektroonikatööstusele.

PKC EESTI AS Keila tehases on testpesade tootmise osakond, kus projekteeritakse, valmistatakse ja koostatakse testpesasid. Testpesad on vajalikud juhtmeköidiste testimiseks. Testpesa on erinevate testimisfunktsioonidega vastaspool testitavale pistikule või muule tootele, millel on vaja kontrollida vastavust kliendi nõuetele. Testpesade osakond on loodud PKC EESTI AS Keila tehases aastal 2009. Varem asus testpesade tootmine Soomes. Üksuse loomine Keila tehasesse on tingitud kliendikesksusest ja vajadusest olla tootjale lähemal. Keila juhtmeköidiste tootmise tehas oli kuni 2011. aasta neljanda kvartalini PKC Grupi üks suurimaid. Suurema koostöövõime loomiseks on vajadus ühtlustada CAD tarkvaralist ressursi ja rakendada ühiste projektide andmete haldamise lihtsustamiseks ja ühildamiseks kokkusobivat, harmoniseeritud, faili- ja andmehaldustarkvara.

Hetkel puudub Keila tehase testpesade tootmisosakonnas efektiivne andmehaldustarkvara. Andmehaldustarkvara aitab hallata projektidega seotud andmeid ja dokumentatsiooni, võimaldab operatiivset info liikumist projekteerijate vahel ja olla reaalajas inseneridel-konstruktoritel kursis kõikide muutustega, mis toimuvad projektis, tagades seda ka rahvusvaheliselt. Projekteerimine (CAD) ning CAM programmide loomine toimub hetkel eri keskkondades. Ümberseletatult tähendab see, et tellimuse, pistiku põhjal CAD-is projekteeritud testpesa mudel avatakse järgmises (CAM) etapis hoopis teises tarkvaras ja eraldi keskkonnas. Tekib ajakadu mudelite avamisel ja mittevastavuste (vigade parandamise vajadusega) puhul on vajalik korduv mudeli sisse transleerimine.

Järgmistes tootmisprotsessi etappides on CAD vigade tõttu pooltoodete mittevastavuste arv suur ning parandamine on aeganõudev ja seeläbi lisakulusid (ja kasumit vähendades) tekitav tegevus. Ka on erinevates CAD ja CAM keskkondades loodud failivea tekke ja selle tiražeerimise oht samuti suur.

Siit kujuneski välja väga reaalne ja suur protsessi- ja tootearenduse vajadus ning teema ja eesmärk lõputööle: PKC EESTI AS testpesade tootmise osakonna projekteerimise ja tootmise protsessi optimeerimine CAD/CAM süsteemi integreerimisega ja SolidWorks Enterprise PDM tarkvara juurutamisega, et muuta testpesade tootmine efektiivsemaks ja tõsta kasumlikkust. Tootearenduse seisukohalt on oluline nii erinevate valdkonna programmide kokkusobivus kui ka nende poolt loodud andmete kättesaadavus kogu arendusprotsessis osalevale personalile. Tulemusliku tootearenduse eelduseks on integreeritud tarkvarakeskkond.

Osakonnas testpesade valmistamise koguprotsessi probleemiks on mudelite sagedane mittevastavus ja seetõttu vajadus kogu CAD ja CAM etappide parandamiseks peale testpesa valmistamist ja kontrollimist. See põhjustab märkimisväärset tööaja ja materjalide kadu, eriti kui vead selguvad alles peale testpesa valmimist. Siis tuleb see lisaks projekteerimise paranduste sisse viimisele ja uuesti töötlemisele ka veel lammutada.

Kaasaegsed tootmissüsteemid on arenenud nii, et CAM tarkvara on integreeritud juba CAD tarkvaraga ühte keskkonda. Suurimate projekteerimistarkvaradega on lahendused sellised, et CAM on võimalik installeerida lisana ja on täielikult integreeritud olemasoleva CAD tarkvaraga.

Kavandatud lahendus on väga suur samm osakonnas tootmise ja tootmisprotsesside efektiivsemaks muutmisel. Põhimõte seisneb selles, et projekteerimine ja tootmine toimub ühes kõigile konstruktoritele ja CAM insenerile tuttavas keskkonnas. Ühes ja samas keskkonnas tootmisel on omad plussid:

- üks tuttav keskkond
- lihtne muutuseid sisse viia
- puudub 3D mudeli konverteerimisaeg
- suurem produktiivsus
- parem tarnekindlus
- väiksemad tootmiskulud
- väiksemad tööjõukulud
- suurem kasum
- hästi toimiv funktsioonide tuvastus

SolidWorks Enterprise PDM tarkvara juurutamine võimaldab vähendada ajakulu projekteerimisel, jälgida täpselt projekteerimise kulgu ja parendada seeläbi kogu tootmisprotsessi sisendit. Näiteks suur, ligi ~90% ajavõit on võimalik saavutada projektiga seotud andmete otsimisel. Lisaks aitab kaasa kord juba varem valmistatud mudelite taasloomisele, vähendab pooltoodete mittevastavuste teket tootmisprotsessis, aitab oluliselt vähendada üleliigset materjali kulu vältides ümbertegemisi.

CAD/CAM süsteemi integreerimine koos SolidWorks Enterprise PDM tarkvara juurutamisega:

- parandab faili- ja andmehaldust,
- kiirendab info liikumist projekteerijate vahel,
- parandab oluliselt koostööd ja vastastikust mõistmist CAD projekteerija ja CAM inseneri vahel,
- aitab tagada testpesade tootmisprotsessi käigus valmivate pooltoodete kvaliteeti,
- tagab parema tarnekindluse ja seeläbi suureneb kliendi rahulolu.

Lõputöö eesmärgiks on optimeerida testpesade tootmisprotsessi kasutades integreeritud CAD/CAM süsteemi andmehaldustarkvaraga SolidWorks Enterprise PDM. Lõputöös on kaardistatud olemasolev, toimiv, CAD ja CAM lahendus ning seni kasutatav, toimiv tootmisprotsess. Kirjeldatakse uut võimalikku tarkvaralahendust, selle efektiivsust osakonnale ja kogu ettevõttele ning seeläbi parendusettepanekuid, mille rakendamisel on võimalik tootmisprotsessi efektiivistada ja tõsta osakonna kasumlikkust läbi kvaliteetsema teostuse.

Ettevõttes kasutatav dokumentatsioon on soome- ja ingliskeelne. Lisad ja lisades esitatud tabelid sisaldavad soome- ja ingliskeelset teksti, mida pole vajadust lõputöö jaoks ümber tõlkida.

1. ETTEVÕTTE TUTVUSTUS

1.1. Ajalugu

Oulus asuv Nokia tütarettevõte Pohjolan Kaapeli asutas Kempeles 1969. aastal juhtmeköidiste valmistamise üksuse. Oma esimesel tegevusaastal pakkus see üksus tööd 40 inimesele. Ettevõtte võttis täiesti uue väljakutse, kui ta hakkas tootma alltöövõtjana juhtmetikke auto tehasele Uusikaupunkis, mis loodi samuti samal aastal.

Ettevõtte edu on alati tuginenud kolmele nurgakivile: sihikindel töö, „know-how” ning rahvusvahelisus. 1970ndate keskel tehti tehingud Scania ja Volvoga, kellega jätkub edukas koostöö tänaseni. Teistest olulistest klientidest lisandusid 1970 Kone ja IBM.

1981-1990. aastatel toimus ühinemine Nokia'ga.

Kempele juhtmeköidiste üksus sai tihedamalt seotud Nokia Group'iga 1981, kui Pohjolan Kaapeli liitus Nokia Kaapeli'ga. Kempele juhtmeköidiste tehas oli eraldiseisev üksus, mille toodang erines paljuski grupi muudest toimingutest.

1990 - äriühing nimetati ümber Nokia Johdinsarjat Oy.

Kempele tehas oli suurim 1988 aastal, kui see pakkus tööd üle 900-le inimesele. Koostöö oli kandnud vilja ja 1990 nimetati äriühing ümber Nokia Johdinsarjat Oy. Esimene Põhja-Soome börsifirma aastatel 1990-2000.

Eestis ja Venemaal algas alltöövõtt 1990 ja 1992 vahel.

1994 otsustas Nokia keskenduda telekommunikatsioonile, mis viis müüki Nokia Johdinsarjat Oy. Samal ajal katkes juhtmeköidiste tootmine sõiduautodele. Põhitegevusalaks sai tootmine, mis keskendus tarbesõidukite juhtmeköidistele. Edasine areng:

1994 – omandas juunis PK Cables Nokia Johdinsarjat Oy juhtmeköidiste äri.

1997 - noteeriti PK Cables Oyj Helsingi börsil esimese Põhja-Soomes asutatud ettevõtte

1998 - alustas tegevust tütarettevõtte PK Cables do Brasil.

1999 - omandati Oy Raahen TH-Elektronika AB (praegune PKC Electronics Oy) Raahes

1999 - ISO9001 ja ISO14001 Kempele sertifitseerimine, Soomes [17].

2000 - ettevõtte tegutseb PKC Group Oyj nime all ning oma tegevust alustas tütarettevõtte PK Cables Nederland BV.

2002. aastal pärast uuendust on grupis kaks põhilist sektorit: juhtmeköidised ja elektroonika.

2002 - omandas PKC Group Eestis ettevõtte Eesti AS AJT Harju Elekter (praegu PKC EESTI AS).

2003 - investeeriti Venemaale, tehtud investeeringud sellesse tehasesse on suurimad PKC Group'i ajaloos.

2004.a loodi PKC Grupis oma elektroonika ärist eraldi alagrupp ning asutati üks Ameerika Ühendriikides. PKC laienes Põhja-Ameerikasse, omandades Electro Canada ettevõtte üksustega Kanadas, USA's ja Mehhikos. Nende omandamistega sai PKC Group'ist peamine ülemaailmne juhtmeköidiste tarnija Bombardier Recreational Products'le.

2005 - asutati tütarettevõtte Hiinas, kus tootmine algas 2006. [1]

Oluliseks usaldusvääruse seisukohast tuleb nimetada 2004 - ISO9001 ja ISO14001 Kostamuksha sertifitseerimine Venemaal ja ISO/TS 16949 Kempele, Kostamuksha, Keila ja Haapsalu sertifitseerimine [17].

1.2. PKC Group OY ülevaade

PKC Group ärisegmendid

- Juhtmeköidiste äri (The Wiring Systems business) - arendab ja toodab keerulisi ja kohandatud juhtmeköidiseid klientidele, kes tegutsevad auto-, telekommunikatsiooni-ja elektroonikatööstuses. PKC on juhtiv ülemaailmne juhtmeköidiste tarnija raskeveokitele. Ettevõtte toodab juhtmeköidiseid ka sõiduautodele, bussidele, vabaajasõidukitele, samuti ehitus-, metsa- ja põllumajandusseadmetele. Komponentide valmistamine ja juhtmetega PKC toodete täiendamine ning teenuste pakkumine. PKC valmistatud juhtmeköidiseid kasutatakse toitejuhtmetena ja andmete edastamiseks. Juhtmeköidiste projekteerimine ja tootmine käib tihedas koostöös

klientidega ja vastavalt klientide nõudmistele. Kõrgetasemeline „know-how” koos tasuva tootmise ja majandamisega tagab tellimus-tarneahela konkurentsivõime.

- Elektroonika äri (The Electronics business) - pakub projekteerimise ja lepingulise tootmise teenuseid telekommunikatsiooni- ja elektroonikatööstusele ja üha enam tarbesõidukitele ning energiatööstusele. [3]

Grupil on tootmisüksused Soomes, Brasiilias, Hiinas, Eestis, Iirimaa, Saksamaal, Mehhikos, Poolas, Venemaal, Ukrainas ja USA's. Tehaste asukohad on ära toodud lisas 1. Kokku töötab nendes tehastes ca 23 000 töötajat. [5]

PKC visioon - on olla kliendile orienteeritud, proaktiivne lepingujärgne tootja ja tootearenduse partner, pakkuda konkurentsivõimelisi hindu, kvaliteetseid teenuseid ja tooteid. Praktikast tähendab see seda, et ollakse paindlik partner tehes tihedat koostööd klientidega. Otsitakse aktiivselt lahendusi, mis tagab konkurentsivõime oma toodetele ja teenustele ka tulevikus. Tegevuse põhieesmärk on pakkuda klientidele olulist lisaväärtust, samas püüdes hoida kõrget tootlikkust ja kuluefektiivsust kogu tegevuses.

PKC strateegilised eesmärgid. PKC eesmärgiks on kasumlik kasv. Otsitakse kasvu, süvendades olemasolevaid kliendisid ja laiendades oma tegevust nii geograafiliselt kui ka liikudes uutesse kliendirühmadesse. Kõikides töodes püütakse saavutada kõrget klientide rahulolu, pakkudes kõrget kvaliteeti, konkurentsivõimelisi tooteid ja teenuseid, samal ajal arvestades klientide ootusi.

Tihe koostöö klientidega võimaldab tõhusat tarneahelat ja teenuste osutamist tekitab lisaväärtust. Visiooni ja strateegiliste eesmärkidega on tihedalt seotud lõputöö teema – tootmise arendusetapi optimeerimine ja kvaliteetse kontrollietapi tagamine.

Arendades enda funktsioone ning nende vastastikust koostööd, luuakse jätkusuutlik kasumlik äritegevus. Grupi strateegia edu ja realiseerimine tagatakse läbi pädeva personali, kes tunnevad töökeskkonda ja mõistavad klientide nõudmisi. [2]

1.3. PKC EESTI AS

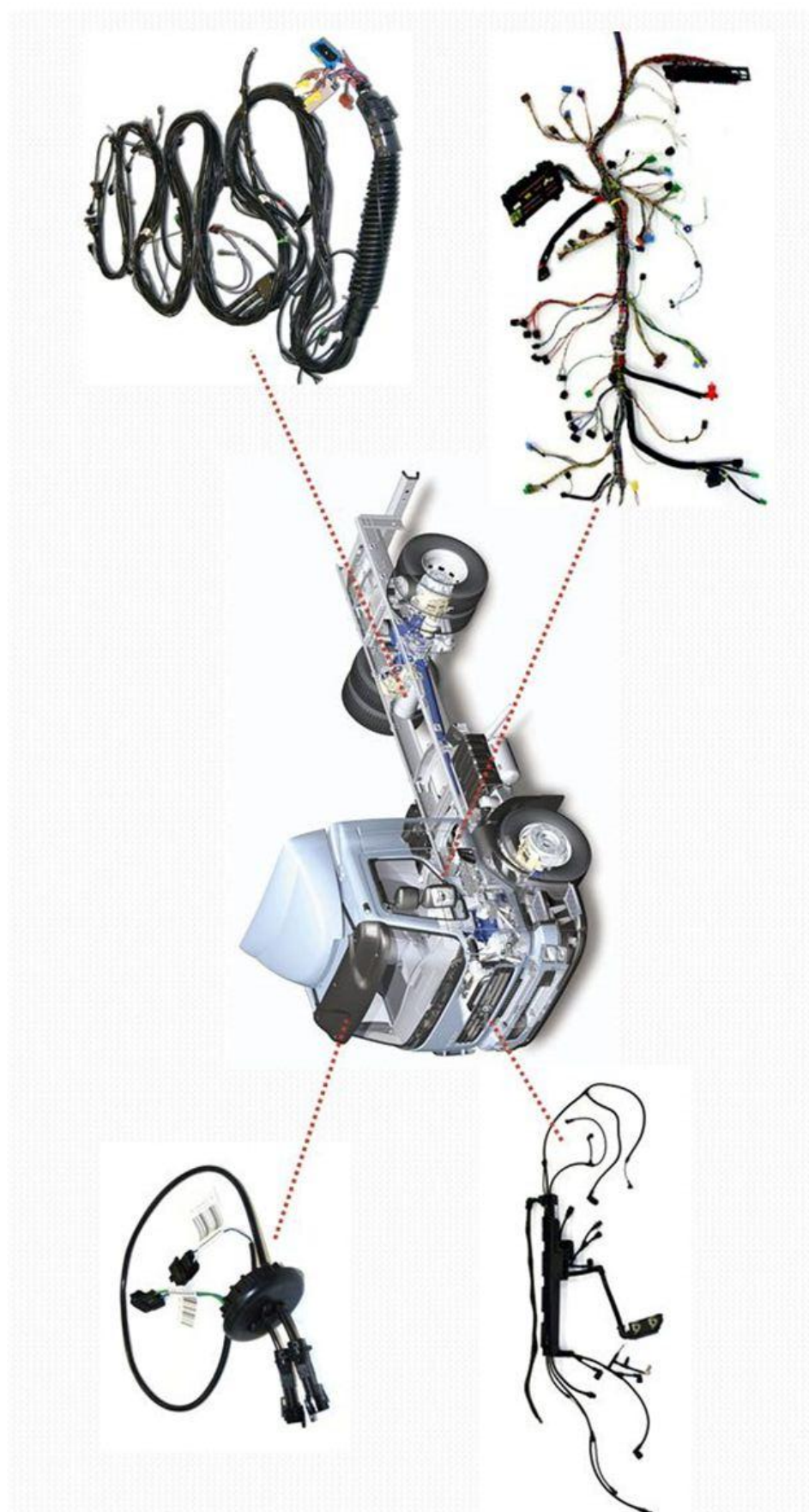
Ettevõtte ärikulude kasv samaaegselt müügihindade langusega 1980ndatel Soomes andsid üsna selge indikatsiooni, et juhtmeköidiste valmistamine ainult Soomes ei ole väga kasumlik ettevõtmine. 1990ndate lõpus- ajal mil Eesti oli veel osa Nõukogude Liidust, alustati koostööd Nokia Johdinsarjat Oy poolt juhtmeköidiste valmistamiseks Eestis, mille kohalikuks partneriks sai

Harju Elekter. Allhanketööde teostamine toonasele Nokian Johdinsarjat OY-le, oli esmaseks sammuks Lääne turu suunas. Toona oldi rajamas uut äri ja arendati ning anti sellega panus kogu Eesti majanduse arengusse. 1991.aasta veebruaris käisid esimesed eestlased Kempeles, Soomes kolme nädalasel koolitusel. Kolm neist töötavad siiani PKC-s. Mõne aja möödudes võeti lisaks 70 töötajat ja tehase ametlik avamine toimus 26. aprillil 1991. Nii algas 20 aastat tagasi PKC Eesti ajalugu. [4]

Ettevõtte areneb ja laieneb jõudsalt. PKC Eesti AS-il on tehased Keilas ja Haapsalus. 1200 töötajat jaguneb: Keilas 900 ja Haapsalus 300 töötajat. Keila tehas on juhtmeköidiste äri üks euroopa suurimaid tehaseid.

PKC Eestis lõigatakse ja pannakse iga päev kokku ca 500 000 m juhtmeid ja 38 000 m kaablit. Üks keskmine veoauto mahutab endasse ca 2,3 km juhtmeid. Nende juhtmete-kaablite kogumist ja koostamise kvaliteedist oleneb sõiduki töökindlus ja ohutus, mistõttu iga juhe ja ühendus peab olema projekteeritud ja valmistatud kontrollitult ja kvaliteetselt. [4]

Lisaks juhtmeköidiste valmistamisele on Eesti Keila tehases ka testpesade osakond, kus projekteeritakse, valmistatakse ja koostatakse põhiliselt testpesasid, millede projekteerimine ja valmistamine ongi käesoleva lõputöö objekt. Testpesad on vajalikud toodetavate juhtmeköidiste – kogumite (vt joonis 1) kvaliteedi kontrollimiseks, testimiseks. Peale Eestis asuva osakonna valmistatakse testpesasid Euroopa tehastest veel kolmes PKC Group'ile kuuluvas tehases Poolas ja Saksamaal. Uue tarkvara kasutusele võtmine Keilas võimaldab paremat koostööd ka nende tehastega.



Joonis 1. Juhtmeköidised veoautos

2. TESTPESADE TOOTMINE

2.1. Osakonna ülevaade

Kvaliteet on üks PKC Grupi väärtusi. Kõrge kliendirahulolu on igapäevaste kvaliteetsete toimingute tulemus. PKC Grupi tegevus põhineb ISO 9001 ja ISO 14001 kvaliteedi-ja keskkonnanõuete standardil ja autotööstuse ISO / TS 16949 kvaliteedistandardil.

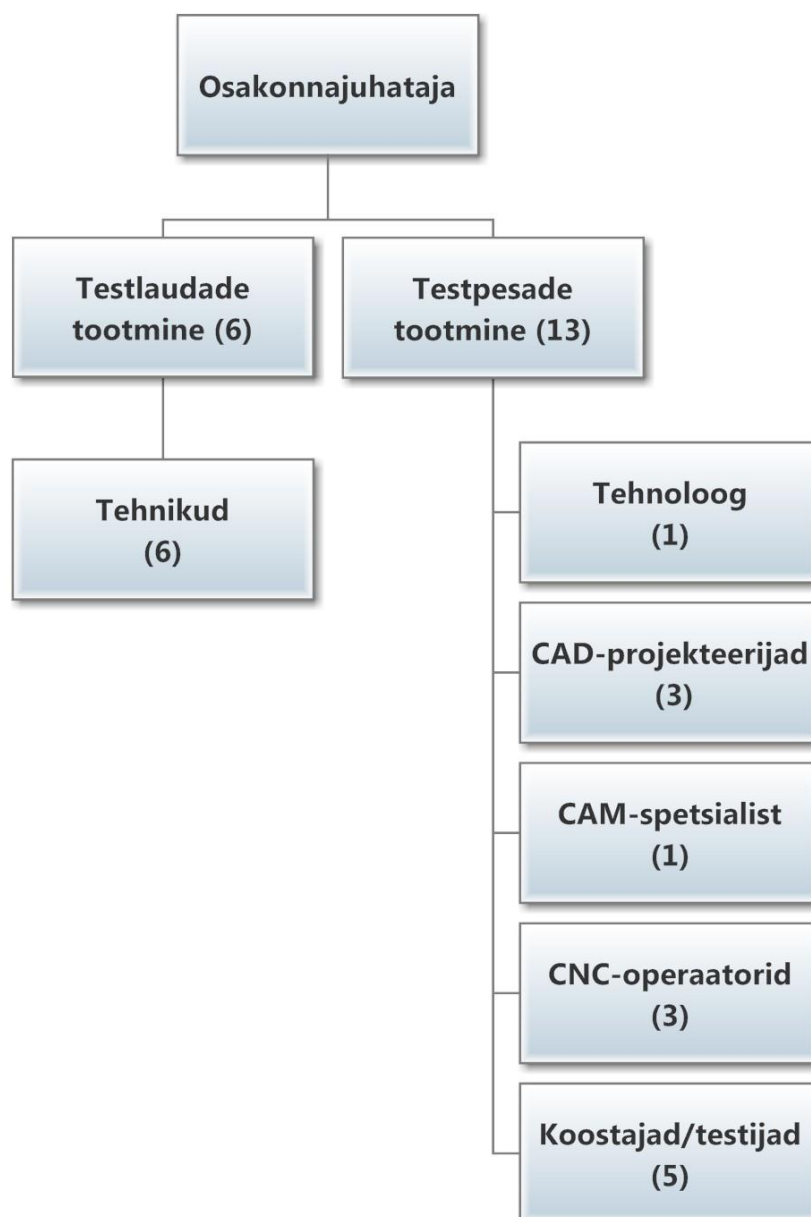
Testpesade osakond on suhteliselt uus tootmisüksus, kus toodetakse testpesasid (vt lisa 2) juhtmeköidiste testimiseks. Keila testpesade tootmisosakonnale ei laiene veel täies ulatuses tervele tehasele kehtivad ISO standardid. Seoses sellega on vajadus teha ettevalmistusi, mis aitavad kaasa edukale ISO standardite juurutamisele.

Tootmine nimetatud osakonnas algas seitsme töötajaga, kellest üks oli projekteerija, üks CAM spetsialist, kaks CNC-freespingi operaatorit, kaks koostajat/testijat ja osakonnajuhataja. Tootmismahtude suurenedes ja uute arengusuundade juurde tekkimisega on hetkel selles osakonnas 14 töötajat, kellest kolm projekteerijat, üks CAM spetsialist, kolm CNC-freespingi operaatorit, viis koostajat/testijat, üks tehnoloog ja osakonnajuhataja. Lisaks on toimunud muutused ettevõtte struktuuris ja jätkuva arendustegevusega on vajadus suuremale koostööle erinevate osakondade vahel.

Et grupil on tootmisüksused eri riikides ja vajadus suurema koostöö järele seoses tootmismahtude kasvuga on suurema koostöövõime loomiseks tekkinud terav vajadus ühildada grupisisest CAD tarkvaralist ressursi. Teistes Euroopa tehastes on CAD tarkvarana kasutusel SolidWorks. PKC EESTI AS Keila tehases on testpesade projekteerimiseks tarkvara CATIA. Üleminekuga uuele tarkvara kasutusele osakonnas on oluline säilitada/ja parendada toodete kvaliteedinäitajaid.

2.2. Osakonna struktuur

Peale 2012 aasta teises pooles toimunud struktuuri muudatust liideti testpesade tootmine testlaudade tootmisega ning tekkis üks suur testseadmete valmistamise üksus (TSO), tooteväljundiks testlaud testpesadega. Testpesade tootmisosakond (TPO) on osa testseadmete tootmisüksusest. Kahe osakonna liitmine aitab kaasa testseadmete tootearendusele. Erinevate osakondade vahel on parem, täpsem ja kiirem info liikuvus, mis soodustab testseadmete projekteerimise ja tootmise parendamist ja aitab tagada paremat kvaliteeti. Peale muudatusi struktuuris (vt joonis 2) on osakonnas 19 töötajat.



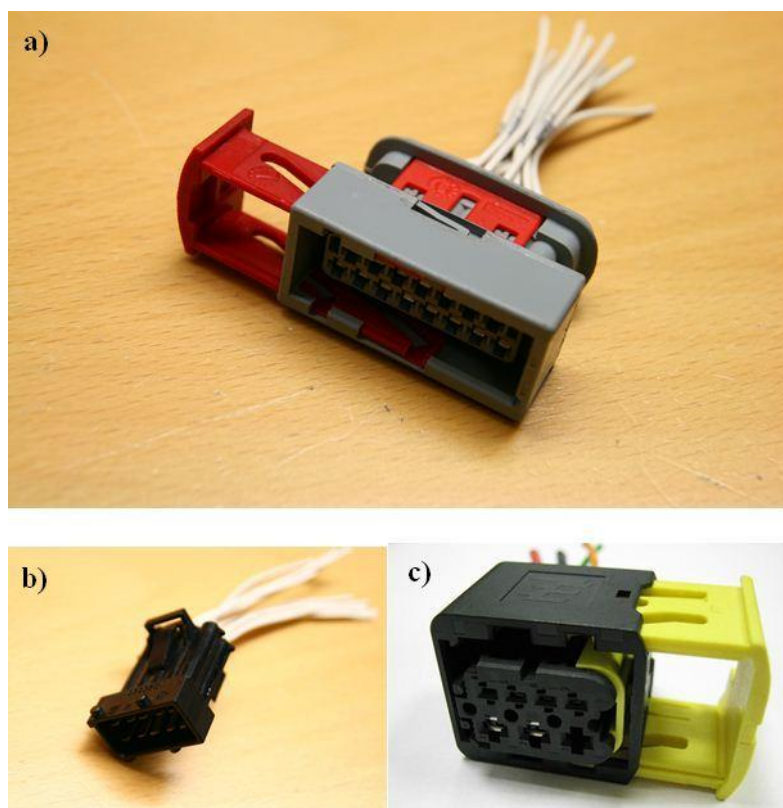
Joonis 2. Testsüsteemide tootmisüksuse struktuur

Testseadmete valmistamise osakonnas (TSO) töötab kuus tehnikut, kes tegelevad testlaudade valmistamisega ja nende hooldusega peale paigaldust.

Testpesade osakonnas (TPO) töötab 13 töötajat. Tehnoloogi ülesandeks on:

- tellimuste esmane vastuvõtmine klientidelt
- tehnilise dokumentatsiooni kontroll
- andmete sisestamine (BOM)
- valmistamiseks vajalike komponentide tellimine tarnijatelt
- teiste osakonna töötajate juhendamine vastavalt juhenditele
- osakonnas töökeskkonna korrashoiu ja nõuetest kinnipidamise jälgimine
- vajalike tööriistade ja mõõteriistade olemasolu ning nõuetele vastavuse tagamine (sh. taatlemine)

Osakonnas töötab kolm CAD projekteerijat, kelle põhiülesandeks on vastavalt kliendi näidisele, milleks on materiaalne pistik (vt joonis 3), vastaspoole 3D mudeli (vt lisa 5) projekteerimine. Kliendid on väliskliendid ja sisekliendid.



Joonis 3. Kliendilt saadud näidised (pistikud) testpesade projekteerimiseks: *a* – 15 testpunktiga pistik; *b* – kümne testpunktiga pistik; *c* – seitsme testpunktiga pistik

Tööjaotus on erinev, kus üks projekteerija tegeleb sisemiste tellimustega ja kaks põhiliselt väliskliendi tellimustega. Sisetellimused (sisekliendid) hõlmavad PKC Grupi erinevate tehaste tellimusi testpesadele. Projekteerijate tööülesandeks on lisaks projekteerimisele kliendiga tellimuse kooskõlastamine. Täpsustatakse testide arv ja tüübid ning kooskõlas osakonnajuhatajaga määratakse tarneaeg.

Tootmise järgmiseks CAM etapiks on vastavalt 3D mudelile CNC freespingile G-koodi loomine. G-kood on nimetus programmeerimiskeelele, mida kasutatakse CNC töötlemiskeskustel [22].

CAM – spetsialist avab 3D mudeli ja hakkab vastavalt mudelile välja mõtlema plastik materjalist (POM) tooriku töötlemistehnoloogiat: kuidas vastav testpesa valmistada. Protsess hõlmab:

- tööriistade valikut
- režiimide (spindli pöörlemine ja löikekiirus) valikut
- töötlemisjärjekorda

Pärast tööradade loomist tuleb pingi postprotsessoriga genereerida tekstifail, mida juba freespink on võimeline lugema. Loodud koordinaatide järgi suudab freespink valitud tööriistadega projekteeritud 3D mudelile vastava testpesa või muu vajaliku testpesa komponendi välja töödelda (freesida).

Vastavalt tellimuste järjekorrale toimub CNC-freespingis testpesade väljatöötlemine. CNC-operaator impordib pinki eelnevas CAM etapis loodud G-koodi ja lähtuvalt joonisel ning G-koodis antud andmetele tuleb seadistada freespink. Selleks tuleb valida vajalikud lõiketööriistad, fikseerida nende pikkused. Tuleb määrata sõltuvalt detaili suurusest vajalikud töötlemise näitajad ja pärast detaili valmimist teostada vajalike ja nõutavate kvaliteeditunnuste mõõtmised. Vajadusel teostatakse muud lisaoperatsioonid poolautomaat freespingil (näiteks avade puurimine).

Peale CNC operaatori poolt valmistatud testpesa valmimist viib ta selle koostamise ja testimise järjekorda koostajate kätte. Koostajad lisavad valminud testpesa korpusele vajalikud lisakomponendid: hülsid, testpinnid, joodetakse külge juhtmed ja vastavalt testidele lisatakse vajalikud pooltooted või komponendid. Mitmest detailist koosnev testpesa pannakse kokku nn. koostuna. Testpesa koostamisele järgneb tema testimine, kus kontrollitakse testpesa kõiki ettenähtud funktsioone, mis võivad olla näiteks FM (lekke test), S (tihendi testpinn), SL (lisalukusti test), FV (optiline värvi tuvastamine) jpt. Toimiva ja kontrollitud testpesa puhul järgneb pakendamine ning kliendile saatmine. Tehnoloog vastutab saatmiseks vajalike testpesa andmete eest ja tagab saatedokumentatsiooni olemasolu.

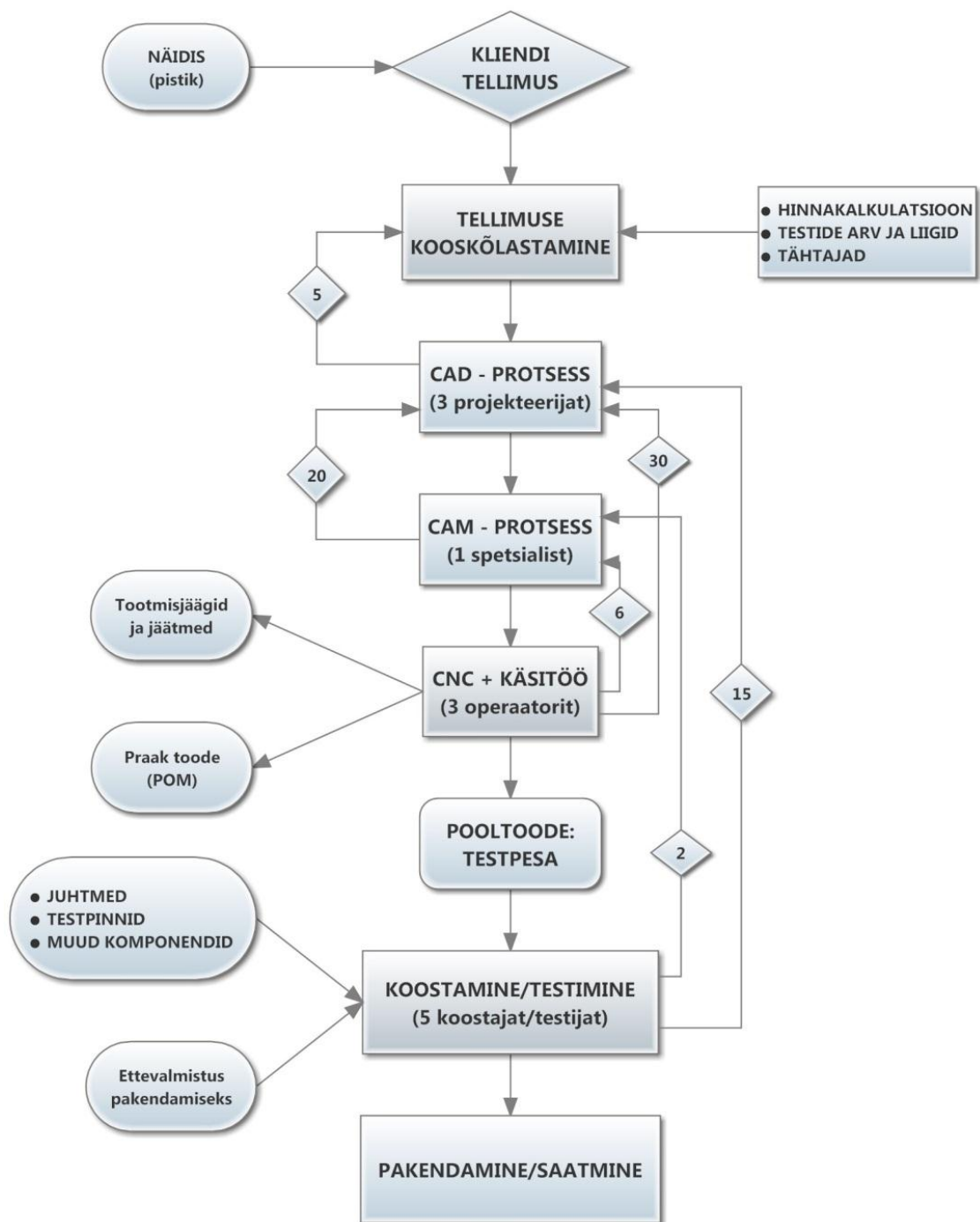
2.3. Tooted

Tootmises on erinevat tüüpi testpesad (vt joonis 4). Testpesa tüübi ja vajaliku testide arvu ning liigid kooskõlastab projekteerija kliendiga tellimise protsessi käigus. Valmistatud testpesas kontrolltestide vajaduse määrab enamasti ära kliendilt näidiseks saadud pistiku tüüp või vastav juhtmeköidis, mille testimiseks testpesad tellitakse. Valmistatakse ka lihtsalt koostepesi, mille põhiülesandeks on pistiku fikseerimine (paigal hoidmine) juhtmeköidises.



Joonis 4. Erinevat tüüpi testpesade näidised: *a* – pistiku kaane testidega testpesa; *b* – kahest osast koosnev testpesa; *c* – liikuva osaga ja alumiinium FM huulikuga testpesa; *d* – testpesa mitme pistikuga raami testimiseks

2.4. Protsessi voodiagramm (Flow Chart)



Joonis 5. Testpesade tootmisosakonna protsessi voodiagramm (Flow Chart). Lisatud on mittevastavused keskmiselt ühe kuu lõikes

Voodiagramm esitab toote teostamise etappe, toote marsruuti (teekonda). Tootmise protsessi voodiagrammil (vt joonis 5) on ära toodud kõik peamised testpesade valmistamise etapid. Peamisteks tootmise etappideks on:

- kliendi tellimus, vajadusel koos uue näidisega (pistikuga);
- tellimuse kooskõlastamine;
- CAD projekteerimine;
- CAM protsess;
- CNC töötlemine, käsitöö;
- koostamine ja testimine;
- pakendamine ja saatmine kliendile.

Järgnevalt on lühidalt ära toodud erinevate protsessi etappide sisu ja kirjeldus.

1. **Kliendi tellimus ja kooskõlastamine.** Klient saadab tellimuse ja tellimust hakatakse käsitlema. Pistikute näidised on osakonnas olemas, kuid kui ilmneb, et pistik on uus ja vastav näidis puudub, siis palutakse see kliendil saata. Kliendiga kooskõlastatakse vajaliku testide liigid ja erinevate testide vajadus. Teostatakse hinnakalkulatsioonid ja määratakse tarneajad toodete tarnimiseks.
2. **CAD – Computer -Aided Design e. raalprojekteerimine.** CAD on üks paljudest tööriistadest, mida insenerid kasutavad uute toodete loomisel. CAD süsteemid võimaldavad kasutajal luua tootest virtuaalse mudeli, mille alusel on võimalik toodet enne tootmist testida, hinnata tema visuaalset sobivust ja valmistada ette dokumentatsioon tootmiseks. [6] Testpesade projekteerimiseks kasutatakse hetkel CATIA tarkvara. Vastavalt kliendiga kooskõlastatud tellimusele projekteeritakse 3D mudelid (vt lisa 5). Kliendilt saadud näidise (vt joonis 3) põhjal selgub testide arv ja kooskõlastatakse kliendiga vastavate testide vajadus.
3. **CAM - Computer-aided manufacturing, raaltootmine.** CAM süsteemid on mõeldud CAD programmiga loodud 3D mudelite tootmiseks CNC seadmetele koodide genereerimiseks, millega juhitakse numbriliselt juhitavaid tööpinke [7]. CAD projekteerija poolt projekteeritud 3D mudelile tuleb genereerida CNC pingis mudeli välja töötlemiseks G-kood. Tarkvaras Mastercam tuleb avada eelnevalt projekteeritud mudel ja hakata välja mõtlema töötlemistehnoloogiat ning instrumentide ja lõikekiiruste valikut.

Kui kõik töötlemisoperatsioonid on teostatud siis genereeritakse CNC pingi jaoks G-kood, mida suudab pink lugeda. G-kood salvestatakse serverisse eraldi kaustadesse, mis on jagatud kliendipõhiselt ja süsteemselt.

4. **CNC – protsessis valmistatakse põhiliselt materjalist POM testpesade korpused, pooltooted.** CAD etapis valminud ja CAM etapi läbinud joonise põhjal valmistatakse ette (saetakse) toorikud, millest töödeldakse CNC-freespingis peale pingi vastavat seadistamist tooted. CNC-freespingis valminud detailil on vaja läbi viia mõned käsitöö operatsioonid ja seejärel viiakse valmistatud detailid järgmisesse tootmisetappi.
5. **Koostamine ja testimine.** Koostamise ja testimise etapis lisatakse valminud testpesa korpuse detailile testpinnid, erinevad eelnevalt ettevalmistatud pooltooted, joodetakse külge juhtmed ja lisatakse muud vastavalt tellimusele vajalikud komponendid. Peale koostu valmimist testitakse testpesa vastavust kliendi nõuetele vastava pistiku abil ehk kontrollitakse üle kõikide vajalike testide toimivus.
6. **Pakendamise ja saatmisega** tegeleb tehnoloog, kes valmistab ette saatedokumentatsiooni ning teostab vajalikud toimingud tellimuse toimetamiseks kliendile.

Peamistele tootmisetappidele on lisatud ligikaudsed mittevastavused arvuliselt ühe kuu lõikes. Sõltuvalt tellimustest ja tootmismahust võivad need arvud oluliselt erineda välja toodutest.

Mittevastavuste andmete kogumiseks on kasutatud tabelit, mille näidis on lisas 7. Tabelis on ära toodud järgmised andmed:

- järjekorra number;
- avastamise kuupäev;
- mooduli kood;
- klient;
- tellimus;
- parandatav (tk) – mitu detaili on võimalik parandada;
- uus (tk) – mitu detaili tuleb teha uued;
- viga - millises etapis viga on tehtud (CAD, CAM, CNC);
- vea kirjeldused lühidalt.

2.5. Hetkeolukord. CAD ja CAM tarkvara

Testpesade osakonnas on kasutusel eraldiseisvad CAD ja CAM tarkvarad. See tähendab, et CAD tarkvaras projekteeritakse mudelid ja seejärel transleeritakse valminud mudel CATIA translaatori abil CAM tarkvarasse Mastercam. Translaator teeb mudeli faili ühilduvaks CAM tarkvaraga. Tarkvaradest on kasutusel:

- CAD - CATIA v17
- CAM - Mastercam X2 MR2

Kasutatava projekteerimistarkvara versioonid on olnud kasutusel väga pikka aega. Suurimaks pikaajaliseks kasutamise põhjuseks on tarkvara versiooni väljavahetamisel tekkivad ühilduvuse probleemid. Muutuste korral disainis pole varem projekteeritud mudeleid ja disaini ilma ümber projekteerimata võimalik vahetult korduvkasutusse lasta. Uue tarkvara versiooniga tuleb uuesti üle vaadata kogu endise, muudetava mudeli toimivus ja vastavus. Lühidalt: selleks tuleb teha kõik toimingud algusest peale, korrata kogu teostusprotsessi, vastasel juhul ei ole võimalik tagada nõutavat kõrget kvaliteeti.

Hetkel kasutusel olevatel tarkvaradel on omad positiivsed ja negatiivsed küljed (vt tabel 1). Palju sõltub konkreetsest tootmise iseloomust. Käesolevas töös on käsitletud peamiselt testpesade tootmiseks sobilikke tarkvara funktsioone, mugavust ja efektiivsust ning testpesade tootmisest tulenevaid iseärasusi puudutavaid küsimusi. Esiteks on negatiivseks puuduseks suur ajakulu mudelite ümbertransleerimisele. See ajakulu võib olla vastavalt mudelist mõnest minutist ja ulatuda kümnetesse minutitesse. Teiseks on suur vigade tekke oht erikeskkondade tõttu ja sellest tulenevalt veel täiendav suur ajakulu töö parandamiseks. Mõningate mudelite puhul võib mudeli CAM tarkvarasse sissetransleerimise aeg ulatuda isegi ~30 minutini. Kui mudel on sisse imporditud, siis tuleb sellele luua „tööriistad“. See on simuleeritud lõikeriistade liikumine ehk koordinaadid, mida mööda lõikeriistad liiguvad tooriku töötlemisel ja mille alusel genereeritakse CNC-freespingi jaoks loetav G-kood. Genereeritud G-koodi alusel saab mudeli toorikust välja töödelda.

Positiivne on, et eraldiseisev CAM tarkvara sisaldab palju erinevaid töötlusvõimalusi ja tal on väiksemad hoolduskulud. Tavaliselt sobib selline lahendus väikeettevõtetele. Eraldiseisev CAM tarkvara on odavam lahendus just neile, kes töötavad allhanke korras ja neile saadetakse klientide poolt joonised või 3D mudelid valmis kujul. Testpesade tootmise puhul toimub projekteerimine kohapeal ettevõtte siseselt.

Tabel 1

Hetkeolukord võrreldes SolidWorksi integreeritud CAM tarkvaraga

Hetkeolukord		Integreeritud CAD/CAM	
Plussid	Miinused	Plussid	Miinused
Palju töötlusvõimalusi CAM-is saab aluseks võtta juba tehtud mudelid Väiksemad hoolduskulud Sobib väikeettevõttele	Aeganõudev mudelite konverteerimine Vigade tekkimise oht Suur ajakulu tööle	Üks tuttav keskkond Lihtne muutuseid sisse viia Puudub 3D mudeli konverteerimisaeg Suurem produktiivsus Parema tarnekindlus Väiksemad tootmiskulud Väiksemad tööjõukulud Suurem kasum Üks insener Funktsioonide tuvastus	Suured investeerimiskulud Piiratud funktsioonide kasutus Koolituskulud

Testpesade tootmine toimub peamiselt prototüüpide tootmise põhimõttel. Iga uus testpesa on nagu prototüüp, mis tähendab, et tellitakse üksikud testpesad või väikesed kogused. Sellega kaasnevad tootmisprotsessi algfaasis projekteerimisel tekkivad mittevastavused ning kui testpesa on vaja ümber projekteerida, sõltumata vea suurusest, siis tuleb see järjekordselt sisse transleerida CAM tarkvarasse. Lisaks võivad tekkida erinevused mudelite failides. Näiteks, kui välja freesitud pooltootes on võimalik viga manuaalselt ära parandada ja koheselt CAM faili muutusi sisse ei viida. Paranduseks kasutatakse teisi abivahendeid nagu nt manuaalfreespink, puurid jne. Sellisel juhul on muutused sisse viidud ainult ühes keskkonnas, CAD-is, siis järgmisel korral sarnase või isegi sama toote tellimisel võib viga korduda, sest CAM faili jäid muutused sisse viimata. Eelnevalt kirjeldatud olukorras on testpesade osakonnas kasutusel olevad tarkvaralahendused tänaseks iganenud, mis takistavad tootearendust ja koostööd teiste grupi tootjatega. Suur osa väärtuslikust tööajast kulub mittevastavuste likvideerimisele, vigade parandamisele.

2.6. Mittevastavused

Peamised mittevastavused on CAD protsessis pistikule testpesa mudeli projekteerimisel. Mittevastavusi, st vigu tekib ka teistes protsessi etappides, kuid need pole arvuliselt nii märkimisväärsed. Sõltuvalt veast ilmnevad need erinevates tootmisetappides ja võivad kanduda kuni testimiseni, kus moodulile on juba komponendid lisatud ja detailid koostatud. Mida varem viga avastatakse, seda väiksemad on kulud taastootmisele. Tootmise lõppfaasis (koostamisel ja testimisel) avastatud veaga kaasnevad ettevõttele juba suuremad kulud, sest moodulid tuleb uuesti lammutada ja lisaks pole paljusid komponente võimalik korduvkasutada. Osad komponendid purunevad välja võtmisel ja mõningaid ei ole võimalik kätte saada. Suur lisakulu on POM materjalile. Eelpool kirjeldatu vähendab ettevõtte tulemit ja ei võimalda kinni pidada kliendiga kooskõlastatud tarneaegadest.

Esinevaid mittevastavusi on pidevalt, sh on korduvaid ja tüüpilisi vigu. Järgnevalt ongi lühidalt kirjeldatud võimalike vigade avastamise faasi ning kaasnevaid kulusid. Peamisteks mittevastavusteks ja nendega kaasnevaks on:

1. *Vale geomeetria* (pistik ei lähe testpesasse sisse) – sellist olukorda on võimalik vastavalt kogemustele avastada ka CAM protsessis, kuid peamiselt ilmneb taoline viga peale CNC pingis töötlust. Mõnikord on võimalik peale muutuste sisse viimist selline detail parandada. Kaasneb POM materjali- ja ajakulu. Sagedane viga.
2. *Vale geomeetria (FM (õhulekkestest) ei toimi)* - selgub testimisel ja tuleb valmistada uus detail või üks koostu osa. Suur aja- ja materjalikulu.
3. *Valed testpinnide koordinaadid* – olukord, kus projekteerija on määranud vale testpinni asukoha ja tavaliselt selgub lõppfaasis (testimisel). Peale muutuste sisseviimist tuleb tavaliselt kogu protsess korrata. Suur materjali- ja ajakulu. Sagedane viga.
4. *Taskute (pocketite) kõrgused on valed* – pistik ei ulatu testpinnideni või läheb liiga sügavale. Võib selguda CNC töötlemise etapis, kuid tavaliselt koostamisel ja testimisel. Suur materjali- ja ajakulu. Sagedane viga.
5. *Testpinnide uputuste sügavused on valed* – esineb tihti ja selgub lõppfaasis. Sõltuvalt olukorrast on võimalik ära parandada isegi koostatud testpesa. Tihti läheb detail taastootmisele. Suur kulu ajale ja materjalile.
6. *Vajalik testpinn puudu* – Vajalik testpinn on sisse projekteerimata.
7. *Joonise ja 3D mudelite erinevused*- uut joonist pole uuendatud (välja prinditud) peale muutuste sisse viimist. Tekitab küsimusi ja lisa ajakulu. Esineb tihti.

8. *Kodeeringu tapid peegelpildis või vales kohas* - esineb, kuid mitte tihti. Selgub peale CNC töötlemist. Tavaliselt tuleb valmistada täiesti uus detail.
9. *8mm tapid vales kohas. A ja B tükk ei lähe kokku.* – esineb harva ja on võimalik detailid parandada. Kaasneb ajakulu, kuid olulist materjalikulu ei kaasne.
10. *Tööjoonistelt töötlemiseks või koostamiseks vajalikud andmed puudu* – andmed on joonisel uuendamata või unustatud lisada. Esineb tihti. Olulist materjalikulu ei ole.
11. *Testpinnide süvised liiga väikse diameetriga, võtmega ei pääse keerama* – tavaliselt saab parandada. Kaasneb ajakulu, kuid mitte materjalikulu.

Testpesasid on erinevaid tüüpe. Erinevused seisnevad gabariitides ja testide ning komponentide arvudes jne. Juba lihtsamate testpesade taastootmisega kaasnevad märkimisväärsed kulud ning materjali- ja ajakadu. Keerulisemate testpesade puhul võib ühe mooduli valmimine kesta päevi või enam. Harvematel, erandjuhtudel koos projekteerimisega isegi nädalaid.

2.7. Kulud testpesade taastootmisel mittevastavuste korral

Iga testpesas esineva mittevastavuse korral kaasnevad osakonnale ja ettevõttele ressursside lisakulud, mis võivad olla nii ajalised kui materiaalsed. Ettevõtte jaoks on ajal ja materjalidel väärtus. Isegi pisema vea tõttu tekib liigne ajakadu, kus erinevad töötajad proovivad selgusele jõuda, milles viga seisneb, et probleem lahendada.

Järgnevalt on ära toodud arvutused mõnede reaalsete tootmisest võetud näidete (vt lisa 7) põhjal testpesade taastootmiseks kulunud ajale ja on kirjeldatud hinnanguliselt kaasnevaid kulutusi ettevõttele. Voodiagrammilt (vt joonis 5) on aluseks võetud suurimad arvulised ja suurema kuluga mittevastavused. Ettevõtte keskmiste tööjõukulude hindamiseks ühe inimese kohta Harjumaal on lähtutud Statistikaameti andmete põhjal [13].

Keskmine kuutööjõukulu Harjumaal töötaja kohta 2012. a neljanda kvartali seisuga on 1406 eurot. See teeb ühes tunnis keskmiselt 8,4 eurot. [13]

2.7.1. Näide 1. Kulud ettevõttele

Ühe lihtsama testpesa korduvtootmisele kulunud ajad on toodud tabelis 2. Vea kirjeldus: testpesal kahe kodeeringu tapi avad valede koordinaatidega (vt lisa 3). Viga avastatud peale CNC tööetappi. Sellise vea parandus tähendab CAD projekteerijale vaid kaks minutit tööd, kuid kokku kulub testpesa uuesti tootmiseks ca 40 minutit. Lisaks ajakulule on testpesa kasutuskõlbmatu ja tuleb

CNC freespingis uus töödelda ning teostada käsitöö operatsioonid. Tootmises tekivad tööseisakud, kus ettevõtte kaotab raha: aeg seisab, raha ei teenita.

Tabel 2

Lihtsa testpesa taastootmiseks kulunud aeg

Tööetapp	Aeg (min)
CAD	2
CAM	10
CNC töötlus ja käsitöö	1
Saagimine	
Seadistus 1-op.	6
Töötlus 1-op.	4
Seadistus 2-op.	2
Töötlus 2-op.	7
Käsitöö	8
Aeg kokku:	40

Ettevõtte lisakulud:

- üleliigne ajakulu 40 min;
- topelt POM materjali kulu;
- CNC-töötlemiskeskuse tööaeg suureneb 27 minutit, see teeb ühes kuus 30-ne sarnase mittevastava testpesa puhul 13 tundi ja 30 min.

Võttes arvesse sarnaseid juhtumeid, siis voodiagrammil (vt joonis 5) toodud 30-ne mittevastavuse puhul teeb see rahaliselt üleliigseks tööjõukuluks ühes kuus ligikaudu 166 eurot. POM materjali kuluks ligikaudu 90 eurot kuus.

Kokku on sellise lihtsa vea tõttu ettevõttele lisakulusid ühes kuus 256 eurot.

Lisanduvad masinaajakulu ja tööseisakutest põhjustatud kulud. Ettevõttel jääb praagi parandamiseks kulunud kasumi osa saamata.

2.7.2. Näide 2. Kulud ettevõttele

Neljaosalise detaili taastootmiseks kulunud aeg (vt tabel 4). Vea kirjeldus: testpesal pistiku kinnitus lukustid valesti projekteeritud ja testpesas vaja pistikut keerata 90°. Viga avastatud testimisel peale täielikku koostamist, kus testpesale on lisatud kõik vajalikud komponendid.

Antud juhul on tegemist neljast detailist koosneva testpesaga, kus pistikut tuleb testpesas keerata 90°. See tähendab kõigi nelja detaili ümber projekteerimist ja uuesti tootmist. Kokku kulub konkreetse testpesa puhul taastootmiseks aega ligikaudu 5,5 tundi. Lisaks tuleb see testpesa lammutada ja vajalikud komponendid kätte saada, mis on aeganõudev töö. Lisaks POM-le, võib sõltuvalt testpesast komponentide väärtusest ~10% olla kasutuskõlbmatud materjalid seoses purunemisega välja võtmisel. Osa komponente ei sobi korduvkasutamiseks. Tabelis 3 on ära toodud ligikaudsed kulud ettevõttele, näites käsitletud testpesa (vt lisa 4) taastootmiseks.

Tabel 3

Ligikaudsed kulud testpesa taastootmisel (vt lisa 3)

	Hind (€)	Aeg (h)	Kokku (€)
Tööjõukulu	8,4	5,5	46,2
POM materjalikulu	13		13
Kasutuskõlbmatud materjalid koostamisel ~10%	29,5		29,5
Kulud kokku			88,7

Ettevõtte lisakulud:

- üleliigne ajakulu 5 tundi ja 27 min;
- topelt POM materjali kulu;
- CNC-töötlemiskeskuse tööaeg suureneb 1 tund ja 37 minutit, see teeb ühes kuus 15-ne sarnase mittevastava testpesa puhul ligikaudu 24 tundi ja 30 min (~3 tööpäeva).

Kui võtta arvutuses arvesse sarnased juhtumid, siis voodiagrammil (vt joonis 5) toodud 15-ne mittevastavuse puhul teeb see rahaliselt üleliigseks tööjõukuluks ühes kuus ligikaudu 693 eurot.

POM materjali kuluks ligikaudu 195 eurot kuus. Kasutuskõlbmatud materjalid ligikaudu 442,5 eurot.

Kokku teeb see sarnaste mittevastavate testpesade tõttu ettevõttele lisakulusid ühes kuus 1330 eurot ja 50 senti.

Lisades siia näites 1 käsitletud testpesa taastootmise arvutatud kulud ühes kuus, saame kokku kuludeks 1586 eurot ja 50 senti.

Lisanduvad masinaajakulu ja tööseisakutest põhjustatud kulud. Samuti jääb ettevõttel praagi parandamiseks kulunud kasumi osa saamata, mis on antud juhul märkimisväärne summa.

Tabel 4

Neljast projekteeritud detailist koosneva testpesa taastootmiseks kulunud aeg (vt lisa 4)

Tööetapp	Aeg (min)
CAD	50
CAM	90
CNC töötlus ja käsitöö	
Saagimine (4tk)	6
Detail A	
Seadistus 1-op.	4
Töötlus 1-op.	5
Seadistus 2-op.	2
Töötlus 2-op.	10
Detail B	
Seadistus 1-op.	4
Töötlus 1-op.	10
Seadistus 2-op.	2
Töötlus 2-op.	4
Detail C	
Seadistus 1-op.	6
Töötlus 1-op.	10
Seadistus 2-op.	2
Töötlus 2-op.	4
Detail D	
Seadistus 1-op.	4
Töötlus 1-op.	7
Seadistus 2-op.	2
Töötlus 2-op.	5
Käsitöö (A+B+C+D)	10
Koostamine/testimine	90
Aeg kokku:	5h 27min

3. UUS TARKVARA

3.1. CAD tarkvara SolidWorks

SolidWorks töötab Microsoft Windowsi keskkonnas ja on kolmemõõtmelise raalprojekteerimise (CAD) programm. Tarkvara on välja töötatud Dassault Systèmes SolidWorks Corporation poolt, mis on Dassault Systèmesi tütarfirma. SolidWorksi tarkvara kasutab rohkem kui 1 878 300 inseneri ja disainerit, kes töötavad enam kui 165 900 firmas üle maailma. [10]

SolidWorksis kätte saadavate tööriistadega on võimalik teostada hõlpsalt tootearendust. Tarkvara võimaldab luua mudeleid 3D-s, teostada tugevusarvutusi, hallata hõlpsasti toodetega seotud andmeid, luua toodete dokumentatsiooni ja automatiseerida korduvaid projekteerimisülesandeid. Sõltumata ettevõtte suurusest on võimalik äriettevõtetal soetada erinevaid SolidWorks 3D CAD tarkvara pakette:

- SolidWorks Standard
- SolidWorks Professional
- SolidWorks Premium

SolidWorks CAD tarkvara on kasutusel PKC Poola ja Saksamaa tehastes, seoses sellega otsustati üle minna uuele tarkvarale ka Eesti tehases testpesade tootmisel. Arvestades projekteerijate, CAM inseneri ja tehnoloogi töötunde ja tarkvara kasutust on järgnevast tabelist (vt tabel 5) näha aastane rahaline võit võttes kasutusele SolidWorks CAD tarkvara.

Tabel 5

Aastane rahaline võit. Hetkeseis võrreldes SolidWorksiga

	Töötunde kokku	Projekteerimise tunde	Keskmine tunnitasu kulu ettevõttele
Projekteerija 2,6 kohta	156	120	8,40 EUR
CAM insener	40	40	8,40 EUR
Tehnoloog	32	20	8,40 EUR
3D Projekteerimine	70	588 EUR	
Efektiivsuse tõus raamatukogu kasutamisel	10%	58,8	
Joonise vormistamine	25	210 EUR	
Efektiivsuse tõus	30%	63	
Mudelite võrdlemine vanade mudelitega	12	100,8	
Efektiivsuse tõus võrdlemisest ja vanade mudelite taaskasutusest	0%	0	
BOMi loomine joonise põhjal	15	126 EUR	
BOM tuleb SW mudelist ja imporditakse WISEsse pool automaatselt	70%	88,2	
Mudeli import CAMi	5	42 EUR	
Efektiivsuse tõus sellest, et CAM töötab SW aknas	70%	29,4	
CAMi töö - uute programmide loomine	20	168 EUR	
CAMi töö, olemasolevate programmide muutmine	10	84 EUR	
CAMi töö efektiivsuse tõus, muudatuste sisseviimisel	50%	42	
	Hetkeseis	SW kasutamisel	Aastane rahaline võit
Projekteerija tööaeg	107	92,5	6 333,60 EUR
Tehnoloogi tööaeg	15	4,5	4 586,40 EUR
CAM tööaeg	47	38,5	3 712,80 EUR
Võit igapäevasest tööst aastas		1 742	14 632,80 EUR

Tabel 5 arvutustes ei kajastu järgmised väga olulised lisaväärtust andvad punktid:

- lüheneb uute töötajate koolitusaeg;
- koolitused toimuvad Eestis ning on konkurentsivõimeliste hindadega;
- tööturul on kasutuskogemusega spetsialiste;
- tekib võimalus kasutada tarkvara müüja tehnilist tuge reaalajas;
- võimalus teha koostööd Poola ja Saksamaa analoogsete tootmisüksustega;
- saab integreerida CAM protsess projekteerimisega ning parandada sellega osakonnasisest asendatavust;
- tekib võimalus integreerida BOM-i loomise protsess projekteerimisega ning parandada sellega efektiivsust.

3.2. SolidWorks Enterprise PDM juurutamine

SolidWorks Enterprise PDM on toote andmehaldustööriist, mis võimaldab SolidWorksi kasutajatel samaaegselt erinevates kohtades tegeleda projekti raames disainiga, disaini muutustega ja muude projekti puudutavate tegevustega nii, et muutused on kohe nähtavad kõigile projektiga seotud isikutele reaalajas. SolidWorks Enterprise PDM võimaldab disaineritel otsida ja vaadata projekteerimise andmeid, säilitades täpse disaini ajaloo. Enterprise PDM säilitab kontrolljälje, mis on ühilduv erinevate raal-tehnoanalüüsi pakettidega (AutoDesk, Siemens, PTC, Catia jne.), et säilitada failidevaheline seos ja hallata muudatusi dokumendis, mis on salvestatud hoidlasse. Enterprise PDM kasutab ka töövoo diagrammi, et automaatselt teavitada rühmakaaslasid projekti edasiliikumisest järgmisse staadiumisse ning jälgida kommentaare. Enterprise PDM on võimeline liidestama eri MRP/ERP süsteeme ja seda saab kasutada võrku ühendatult, et suhelda klientidega ja tarnijatega. [11]

3.2.1. Efektiivsus

SolidWorks Enterprise PDM tarkvara juurutamine aitab oluliselt kaasa efektiivsuse kasvule. [8]

Olulisemateks näitajateks, kus tekib ajaline võit, on:

- parem failihaldus;
- disaini taaskasutus;
- efektiivne BOM-de haldus ja eksport otse ERP süsteemi;
- versioonihaldus;

- rahvusvaheline koostöö;
- erinevates testpesades kasutatavate identsete detailide haldus. [9]

Hetkel puudub täielikult versioonihaldus projekteeritud failidele. Kord loodud failile muutuste sisse viimisel ei jää vana versiooni alles ja selle tõttu ei ole seda vajadusel võimalik ka taastada, vaid tuleb luua uus mudel. Erinevates testpesades on kasutusel identsed detailid, kuid see pole jälgitav. Tihti luuakse üleliigseid mudeleid, mis tegelikult on juba varem projekteeritud. Versioonihaldusega on võimalik muutuste sisse viimisel joonisel kirjeldada ära täpsed toimud muutused mudelis. Hetkel on muutuste kohta edasi antav info väga puudulik. Suured ajalised kaod on testpesade BOM-de sisestamisel. EPDM abil on võimalik eksportida BOM-e otse ERP süsteemi.

3.2.2. Rahvusvaheline koostöö

Suurenevate tootmismahitudega on vaja leida ressursse tellimuste täitmiseks ja kliendirahulolu säilitamiseks ning suurendamiseks. SolidWorks CAD tarkvara kasuks otsustati suurema rahvusvahelise koostöö tegemiseks. Ühiste projektide puhul on võimalik jagada tööd erinevate tehaste vahel, kui on kasutusel ühtne tarkvara. Projekteerijad saavad projekteerida mudeleid erinevates grupi tehastes ja jagada tootmistööd vastavalt ressursside hõivatusele. Näiteks kui Keila tehases on tooted valmis projekteeritud, aga CNC pinkide ressurss on koormatud, siis on võimalik lasta tooted välja töödelda mõnes teises tehases ja vastupidi. Samuti võimaldab ühtne tarkvaraline ressurss kiiremini projekteerijatel omavahelist infot vahetada, sest mudelite avamiseks ei ole vaja leida alternatiivseid lahendusi. Samas keskkonnas avatud 3D mudel annab täpse ülevaate mudeli infost ja muudest andmetest.

Lisades SolidWorks CAD tarkvarale SolidWorks Enterprise PDM mooduli on eri riikides viibivatel projekteerijatel võimalik reaalajas olla kursis projektis toimuvate muutustega. Projektis toimuvad muutused on nähtavad kõigile projektiga seotud isikutele ja inseneridele, kellel vastavad õigused on olemas. [9]

3.2.3. Investeeringute tasuvus (EPDM ROI)

SolidWorks EPDM ROI (vt lisa 6) on investeeringute tasuvuskalkulaator tabeli kujul, kuhu on võimalik sisse kanda hetkeolukorda kirjeldavad andmed ettevõtte, kes ei kasuta veel SolidWorks Enterprise PDM andmehaldustarkvara. Tabelis on välja toodud erinevad lahtrid, kuhu saab sisse kanda tööle kuluvad ajalised näitajad. Projektidega seotud andmete otsimisel ajalised kaod. Täielikult kaotsi läinud informatsiooni ja projekteeritud mudelite taastamiseks kulunud ressurss

ning aeg. Erinevate projektidega seotud andmete sisestamiseks kuluv ressurss ja aeg. Lisaks tehtud investeeringud koolitustele ja tarkvarale. Kalkulaatorist on võimalik saada ülevaade kui kiiresti tehtud investeeringud ära tasuvad ja millised on säästud kolme aastase perioodi peale.

3.3. Integreeritud CAD/CAM süsteem

Integreeritud CAD/CAM süsteeme on kahte liiki. Üks neist on CAD keskne ja teine CAM keskne. CAM keskne süsteem põhineb CAM tarkvaral, kuhu tarkvara arendaja on lisanud piiratult CAD võimalusi. Vastav tarkvaraline sobivus sõltub ettevõttes töödeldavate toodete iseloomust ja olemasolevast tootmisprotsessist.

CAD keskne süsteem põhineb projekteerimistarkvaral, kuhu on lisatud CAM võimalus. See tähendab, et CAM programm avatakse programmiliidesena (API) CAD tarkvara sees või käivitatakse rakendusliides (API) automaatselt. Eraldiseisvat CAM tarkvara sellisel juhul installitud ei ole. SolidWorks on parim näide CAD tarkvarana, mis toetab API integratsiooni CAM.

Dassault Systèmes SolidWorks Corporation ei müü ise CAM tarkvara, aga vähemalt 14 CAM tarkvara arendajat pakuvad „Sertifitseeritud kuld“ või „Sertifitseeritud CAM“ partnerina tooteid SolidWorksiga koostöös. Selleks, et saada ühte neist tasemetest peab CAM olema täielikult SolidWorksi integreeritud ja toimima koostöös SolidWorksiga. Kuldpartner peab lisaks eelnevale võimaldama „üksiku akna“ funktsiooni toimides samas SolidWorks keskkonnas. [12]

Integreeritud CAD/CAM lahenduse eelised:

- suurem produktiivsus;
- vähendatud projekteerimise aeg;
- täpsemad disainilahendused;
- vähem aega kulub muudatuste sisse viimiseks;
- korratavus;
- asendatavus inseneride vahel.

3.4. Võimalik CAM lahendus

Vastavalt toodete iseärasustest ei sobi kahjuks kõik CAM tarkvarad testpesade tootmiseks. Erinevad tarkvarad võimaldavad testpesade tootmiseks programme luua, kuid see on väga aeganõudev töö ja kasvavate tootmismahdade juures tuleks leida võimalikult efektiivne CAM lahendus. Efektiivsuses

on võimalik võita CAM tarkvara integreerimisel CAD tarkvaraga, kus suurimateks plussideks on olematu faili avamise aeg ja kiire muutuste sisse viimise võimalus. Lisaks erinevad kaasaegsed funktsioonid ja tööriistad, mis võrreldes hetkel kasutusel oleva, ajale jalgu jäänud, tarkvaraga võimaldavad kiirendada tootmist. [19]

Testpesade tootmiseks sobilik CAM lahendus peaks võimaldama:

- võimalikult kiiret koodi loomist CNC töötlemiskeskusele,
- mugavalt ja kiiresti muutuste sisse viimist,
- head automaatset geomeetria tuvastust,
- täielikku ühilduvust SolidWorks keskkonnaga.

Kui kõik CAM tarkvarad seda ei võimalda, tuleks siiski leida parim sobiv lahendus testpesade tootmiseks. Tarkvarast täpsema ülevaate saamiseks tuleks pidada läbirääkimisi erinevate tarkvara arendajatega ja edasimüüjatega. Tarkvara müüjatele tuleb tutvustada enda toodete iseärasusi ja lasta teha demosid konkreetsete mudelite põhjal ning selgitada välja vastavat tarkvara tundvate spetsialistide abiga tarkvara sobivus.

Ühe võimaliku lahendusena on ettepanek proovida SolidCAM tarkvara. SolidCAM tarkvara suurimad eelised on:

- SolidCAM on juba üle 10 aasta SolidWorksi kuldpartner
- SolidCAM on täielikult integreeritud SolidWorksi aknas

Võimalused:

- tööradade uuendamine kui disain muutub
- võimalus kasutada geomeetriapuud geomeetria selekteerimiseks

Lisaks on SolidCAM tarkvara eeliseks rohkelt tasuta üksikasjalikke SolidCAM Professori õppevideosid, mille vaatamiseks ei pea registreeruma. [20]

Selleks, et selgusele jõuda testpesade tootmiseks sobilikus CAM tarkvaras, tuleks leida võimalus koostöös tarkvara arendajaga tööle saada hetke süsteemiga paralleelselt toimiv uus lahendus. See võimaldab kokku hoida kasutute investeeringute pealt. Kui selgub lahenduse toimivus ning saab testpesasid toota, siis edasi sõlmida tarkvara ostu- ja hoolduslepingud.

Hetkel cnc-failide hoidmiseks serverina kasutatav arvuti on väga vana. Arvutit ei ole lihtne välja vahetada, sest seal toimib tarkvara, mis ühildub CNC-freespinkide ja hetkel kasutusel oleva CAM lahendusega. Uue CAD/CAM tarkvara puhul on võimalik koostöös CAM tarkvara tarnijaga leida parim sobiv lahendus cnc-failide transportimiseks CNC-freespinkide. Peale seda saab arvuti uue vastu vahetada, millega on võimalik automaatseid tagavarakoopiaid salvestada. Vana arvuti puhul toimub tagavarakoopiate salvestamine manuaalselt.

Integreeritud CAD/CAM lahenduse kasuks otsustanud ettevõttest Essai Corporation edulugu kirjeldab, kuidas tehtud valik on ennast igati ära õigustanud. Valitud lahenduseks on SolidWorksi integreeritud SolidCAM.

Essai Corporation on üks juhtivaid testimistoodete pakkujaid, kes toodab testsüsteeme mikrokiipide testimiseks. Üks peamistest edu põhjustest on integreeritud tarkvarakeskkonnas tootmine.

Olulised näitajad, mis tõi kaasa integreeritud tarkvarakeskkond:

- esimese korra läbilaskevõime oli 10% ja kasvas 90%-le;
- kasvas suuremahuliste tellimuste läbilaskvus;
- saavutatakse täpsus ja järjepidevus tootmisprotsessides.

Essai Corporation-i looja ja omanik Barabi seletab, et suurim kulu tootmises ei ole seotud materjalide praagi tekkega ja masina ajaga vaid kulusid põhjustavad seisakud. Kui tootmises tekivad seisakud, siis ettevõtte kaotab raha. Testpesade tootmise korral on siiski tegemist märkimisväärsete materjalikogustega, mistõttu tuleb neid arvestada (need on kõik sisseostetavad).
[21]

4. PROTSESSI PARENDAMINE

PKC Grupile ja Keila tehasele kehtivad ISO standardid ei laiene testpesade tootmise osakonnale ja on vajadus teha ettevalmistusi edukaks ISO standardi juurutamiseks osakonnas. Soovitatav on alustada protsessi parendavate tegevuste sisse viimist. Kuigi testpesade tootmine toimub prototüübi põhimõttel on võimalik kasutada osaliselt PPAP (Product Part Approval Process) standardi elemente tellimisprotsessi parendamiseks. Prototüübina tootmine on osakonnas tootmisprotsessi omapära, mida tuleb standardi rakendamisel arvestada.

PPAP eesmärk on teha kindlaks, kas tarnija on õigesti aru saanud kõigist kliendi toote projekteerimise dokumentidest ja spetsifikatsioonide nõuetest ja et kas tootmise protsess vastab pidevalt sellele ette nähtud nõuetele kogu tegeliku tellimuse ulatuses. [14]

Ennetava tegevusena mittevastavuste vältimiseks näeb ISO/TS 16949:2009 standard ette, et organisatsioon peab kindlaks määrama meetmed potentsiaalsete mittevastavuste põhjuste kõrvaldamiseks, et vältida nende esinemist. Ennetav tegevus peab olema kooskõlas potentsiaalse probleemi tagajärgedega. [15]

Tuleb sisse seada dokumenteeritud protseduur, milles määratletakse nõuded

- a) potentsiaalsete mittevastavuste ja nende põhjuste väljaselgitamiseks,
- b) sellise tegevuse vajaduse hindamiseks, mis hoiab ära mittevastavuste esinemise,
- c) vajalike kontrolli ja seiremeetmete kindlaks määramiseks ja rakendamiseks,
- d) rakendatud meetmete tulemuste kohta tõendusdokumentide säilitamiseks, ning
- e) teostatud ennetavate tegevuste mõjususe ülevaatuks.

Mittevastava toote ohje seisukohalt peab organisatsioon tagama, et tootenõuetele mittevastav toode on selle juhusliku kasutamise või väljastamise vältimiseks märgistatud (erimarkeering) ja ohjatud (kõrvaldatud töökohalt ja välistatud tema kasutamine).

Organisatsioon peab seal, kus võimalik käsitlema mittevastavat toodet ühel või enamal järgneval viisil:

- a) rakendades meetmeid avastatud mittevastavuse kõrvaldamiseks;
- b) hankides asjakohase volitatud isiku või sobival juhul kliendi käest möönduse selle kasutamiseks, väljastamiseks või aktsepteerimiseks;
- c) rakendades meetmeid selle algselt ettenähtud kasutuse või rakenduse takistamiseks;
- d) kui mittevastav toode avastati pärast väljastamist või kasutuselevõtmist, peab organisatsioon rakendama meetmeid, mis on kooskõlas mittevastavuse tagajärgedega või potentsiaalsete tagajärgedega.

Kui mittevastav toode on parandatud, tuleb vastavuse demonstreerimiseks selle nõuetekohasust uuesti tõendada. [15]

Üheks tootmisprotsessi parenduse võimaluseks on luua ühtne erinevate testpesade toomisüksuste vaheline andmebaas, kus on ära kirjeldatud testpesade tootmises esinevad vead ja nende analüüsimisel püüda tulevikus sarnaseid vigu vältida.

4.1. Arendustegevus

Kaasaegses tootmises konkurentsivõimelisena püsimiseks peab pidevalt tegelema arendustegevusega nii toodete osas, kui ka töötajate arendamises. Töötajate silmaringi laiendamine võimaldab tuua häid mõtteid tootearendusse ja meeskonna töösse. Ettevõttes oleks soovitav inimeste silmaringi laiendada läbi erinevate koolituste, messide ja grupi tehaste külastuste. Koolitustelt ja messidelt on võimalik saada häid ideid ja käia kaasas uute tehnoloogiatega. Grupi erinevate tehastega tutvumine võimaldab töötajatel suurendada omavahelist koostööd ja suhtlust. Hetkel puudub ajaline ressurss, et arendustegevust teostada. Palju aega kulub testpesade taastootmisele, vigade parandamisele, enamuses CAD protsessi mittevastavuste tõttu, mis on oluline takistus tänapäeval konkurentsivõimelisena püsimisel.

4.1.1. Uued tehnoloogiad

Testpesasid toodetakse mitmetes grupi tehastes ja igas tehases valmistatud testpesad on tootmise tehnoloogialt väga erinevad. Tähtis on funktsionaalsus ja testpesa eesmärk testida konkreetsetele nõuetele vastavalt, kuid tuleks kaaluda testpesade tootmistehnoloogiate ühtlustamist, mis võimaldaks muuta testpesade tootmist paindlikumaks ja suurendaks koostöö võimalusi erinevate

tehaste vahel. Erinevate tehaste toodete puhul on tehnoloogiaid, mille puhul tuleks kaaluda selle sisse viimist ühtsel tasandil, kuid on ka tooteid, mille puhul tuleks tootmistehnoloogia üle vaadata ja vältida mõningaid etappe. Kindlasti on oluline samm eduks grupisisene standardiseerimine.

4.1.2. Testpesade standardiseerimine

Mitimest detailist koosnevate sarnaste testpesade puhul on võimalik kasutada osasid detaile erinevates koostudes. Hetkel on see lahendatud vähesel määral, aga on võimalik rohkem, kui juba projekteerimisel arvestada sarnaste pistikute iseärasustega. Näiteks testpesadele universaalsete detailide tootmine, kus vajadusel muudetakse ära ainult pistiku tasku asukoht ja testpinnide koordinaadid ning sügavused. Kirjeldatud tegevus kiirendab oluliselt CAD etapi läbivust ja CAM tarkvaras on võimalik kiiresti luua töötlemisprogramme (G-koode). Kirjeldatud lahenduse puhul on võimalik ära kasutada juba varem CAM tarkvaras loodud tööradasid neid uutele moodulitele aluseks võttes. Selline tegevus võimaldab oluliselt kokku hoida nii CAD, CAM kui ka CNC protsessi aega, millest tulenevalt vabaneb ressurss arendustegevuseks.

Detailide gabariidid on üks koht, mida tuleks kriitilise pilguga üle vaadata. Projekteerimisel peaks rohkem arvestama olemasolevate toormaterjalide mõõtudega. Tuleks fikseerida erinevad standardsed gabariitide mõõdud arvestades klientide huvid ja samas enda tootmisvõimalustega.

4.2. Vea liigi ja mõju analüüs FMEA

Väiketootmises pööratakse üldiselt vähe tähelepanu erinevate kvaliteediriskide analüüsimisele ja ei tegeleta ennetava tegevusega, et riske vähendada. Selleks puuduvad konkreetsed nõuded. ISO/TS 16949 juhtimisstandardi puhul on vea liigi ja mõju analüüsi läbiviimine kohustuslik. PKC Keila tehases neid analüüsi ja planeerimist ka läbi viiakse, kuid mitte testpesade tootmisel. Testpesade tootmisele ISO/TS 16949 standardi juurutamisel on ka need nõuded kohustuslikud.

Testpesade osakonnas tuleks läbi viia protsessi ja mittevastavuste kaardistamist ning analüüsides saadud tulemusi vältida tulevikus vigade kordumist. Selleks on vaja luua vastavad vormid, millised on võimalik meeskonnatööna ümber kohandada testpesade tootmises sobivateks PKC Keila tehases juba kasutatavatest. (vt lisad 8, 9 ja 10)

PFMEA on analüütiline tehnika, mille abil püütakse kaardistada tootmisprotsessis esineda võivaid või sellest tulenevaid veariske ning nende riskide minimiseerimise kaudu täiustada tooteid ja protsesse. Tootmise FMEA ehk PFMEA teostavad toote valmistamise eest vastutavad ja selle

valmistamises osalevad isikud. Lühidalt on PFMEA nimekiri kõigist võimalikest vigadest, milliseid võib protsessi käigus tootel või protsessis endas esineda. PFMEA koostamisel on hea kasutada abiks varasemaid andmeid ja sarnastest toodetest/protsessidest tehtud analüüse. Süstemaatilise lähenemisviisiga garanteeritakse tootmisprotsessi läbikäimine algusest lõpuni.

PFMEA-l on alljärgnevad omadused:

- identifitseerib võimalikud tootest põhjustatud protsessi veariskid;
- hindab veariskide võimalikku mõju kliendile;
- identifitseerib võimalikud tootmisest või tootekoostest tulenevad riskid;
- identifitseerib protsessimuutujad, mis mõjutavad veariskide ilmnemist ja avastatavust;
- klassifitseerib veariskid suuremast väiksemani, seega võib teha prioriteetse parandavate abinõude nimekirja;
- dokumenteerib tootmise ja kooste tulemused. [18]

DFMEA on analüüsimeetod, mis keskendub konkreetselt projekteeritava toote disainile, et vältida võimalikke vigu disainis, mis võiksid põhjustada toote mittetoimimise reaalses olukorras.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö põhieesmärgiks on testpesade projekteerimise ja tootmise protsesside optimeerimine läbi integreeritud CAD/CAM süsteemi ning juurutades SolidWorks Enterprise PDM andmehaldustarkvara. Lõputöö autor on käsitlenud võimalikke koguprotsessi parendusettepanekuid. Antud lõputöö tegemise ajendiks on testpesade tootmisprotsessis esinevad mittevastavused, mis kanduvad edasi järgnevatesse töötappidesse ja tekitavad omakorda suuri materjali- ning ajakadusid. Selgus, et töösse tuleb kaasata kogu testpesade tootmisprotsess.

Lõputöös on töö autor käsitlenud testpesade tootmisosakonna reaalsed probleemistikku ja sellega kaasnevaid kulusid ettevõttele. Töös on esitatud töö autori poolt koostatud osakonna struktuur ja kogu testpesa valmimisprotsessi voodiagramm. Voodiagrammil on kirjeldatud arvudega ligikaudsed mittevastavused ühe kuu arvestuses.

Testpesasid on lihtsaid kui ka väga keerulisi ja paljudest osadest koosnevaid. Sõltuvalt testpesas esinevast veast, võib see selguda erinevates tootmisetappides. Mida hiljem viga avastatakse, seda suuremad on ettevõtte kulud testpesa taastootmiseks. Töö autori poolt kaardistatud andmete põhjal selgus, et isegi väga väikese vea tõttu lihtsas mudelis on raisatav ajakulu märkimisväärne ja summeerudes rahalises väljenduses suur. Projekteerija tehtud väike viga, kus kahe ava koordinaadid on vales kohas, toob projekteerijale kaasa paranduse sisse viimise ajaks ca 2 min, aga juba läbitud etappide kordamine võtab aega 40 min. Lisanduvad veel POM materjali kulud (sest detail on kasutuskõlbmatu), töötajate tööaja kulud, CNC freespingi väärtuslik tööaeg ja praagi parandamiseks kulunud kasumi osa. Töös käsitletud lihtsa näite põhjal on ühes kuus üleliigne tööjõukulu ja POM materjalikulu kokku 256 eurot. Õnneks selgus näites 1 (punkt 2.7.1.) käsitletud viga CNC etapis ja enne koostamist.

Käesoleva lõputöö (punktis 2.7.2.) on käsitletud valmis toodetud neljast detailist koosnevat mitte väga keerulist testpesa (vt lisa 3), mille viga avastati lõppfaasis testimisel. Ainult ühe sellise testpesa korduvtootmiseks kulunud aeg oli kokku ca 5,5 tundi, rahaliselt teeb see ühes kuus ligikaudu 1330 eurot.

Vigane, mittevastav testpesa tuleb lammutada, mis on aeganõudev käsitöö. Testpesa koosneb paljudest erinevatest komponentidest ja sisaldab kalleid testpinne ning hülse, mille korduvkasutamine on tihti võimatu, sest need purunevad välja võtmisel. Lisanduvateks kuludeks on veel töötajate ajaline ressurss ja kõigi nelja detaili POM materjal. Praagi parandamisega samaaegselt ei ole võimalik toota uusi tooteid ja ettevõtte kasum väheneb ning lisaks võivad kannatada tarneajad.

Arvestades tootmisprotsessis esinevaid mittevastavusi, kulub ettevõttel rahaliselt märkimisväärne summa mittevastavuste parandamiseks.

Hetkel kasutusel olevad CAD/CAM tarkvaralised lahendused on iganenud ja ei võimalda mittevastavuste puhul kiiresti muutusi sisse viia. Kasutatava tarkvaraga ei ole võimalik rahvusvaheline koostöö ning hetkel puudub üldse faili-ja andmehaldustarkvara. Töö autori seisukohalt kaasaegne integreeritud CAD/CAM tarkvaralahendus koos SolidWorks EPDM andmehaldustarkvaraga võimaldab oluliselt kiirendada tootmisprotsessi. Teostatud hetkeolukorra ja uue CAD projekteerimistarkvara vaheline võrdlus näitab, et investeeringud tasuvad ära ja aastane võit on juba märkimisväärne. Samuti näitavad EPDM ROI esialgsed kalkulatsioonid, et andmehaldustarkvara juurutamine võimaldab ettevõttel säästa kolme aasta peale rahaliselt 71 667 eurot.

Tootearenduse ettepanekuna tuuakse töö autori poolt esile vajadus toodete standardiseerimiseks, uute tehnoloogiate juurutuseks ja FMEA rakendamiseks testpesade tootmisprotsessis. FMEA on vajalik ettevalmistus edukaks ISO standardi juurutamiseks tulevikus ka testpesade osakonnas. Testpesade protsessile kohandatud FMEA aitab kaardistada mittevastavusi ja võimaldab tulevikus potentsiaalseid vigu minimaliseerida, mille tulemusena parendatakse kogu testpesade tootmisprotsessi.

Koostöös tarkvara arendajatega on oluline juurutada testpesade tootmiseks sobilik CAM lahendus, mis on ka järgmiseks reaalseks sammuks testpesade tootmisprotsessis.

SUMMARY

Testing counterparts design and process optimization by implementation of integrated CAD/CAM and data management software. Andrus Jagnitš thesis. TTK University of Applied Sciences, Faculty of Mechanics, Engineering Materials and Marketing specialty. Tallinn, 2013. 5 tables, 5 illustrations, 10 annexes, 47 pages. In Estonian.

Key words: process optimization, product development, CAD software, CAM software, integrated CAD/CAM, data management software, design error reduction, reducing scrap, profit increase.

Designing and creating CAM programs for testing counterparts in PKC Keila factory are currently in different software environments and there is no well-established data management software. Also international cooperation is difficult. In the design stage (CAD), there are a lot of design errors that are passed on to subsequent stages of production. Frequent mismatches cause great loss of material, wasted time and work stoppages. The company spends a significant part of the profits on products remaking. According to the thesis, the example discussed in section 2.7.2, counterpart remaking takes 88 euros and 70 cents. Similar 15 design errors a month will be about 1,330 euros plus machine time and costs caused by work stoppages.

The above-mentioned problems - the need for process and product development - determined the topic and aim of the present thesis. The aim of the thesis is to optimize the manufacturing of testing counterparts using integrated CAD/CAM system with SolidWorks Enterprise PDM (product data management) software to make production more efficient and increase profitability.

Software solutions currently in use are obsolete. In order to increase cooperation with the other factories of the group, harmonization of the CAD software resources needs to be done. In order to reduce errors in designing a new integrated CAD/CAM system with SolidWorks Enterprise PDM software needs to be implemented.

CAD/CAM system integration with the SolidWorks Enterprise PDM software implementation

- improves file and data management,
- accelerates the flow of information between designers,
- easily produces customized bills of materials (BOMs),
- significantly improves cooperation and mutual understanding between CAD designer and CAM engineer,
- helps to ensure the quality of products,
- ensure better security of supply and thereby will increase customer satisfaction.

The current situation and new CAD software comparison shows that the investment will pay off, and the annual gains will be significant. EPDM ROI calculations also show that the implementation of data management software enables the company to save, which is financially 71,667 euros per three years.

Product development suggestion is the need for standardization of products, new technologies, deployment and implementation of FMEA in the manufacturing process of testing counterparts. FMEA, customized for testing counterparts production helps to map design errors and allows to minimize the potential errors in the future.

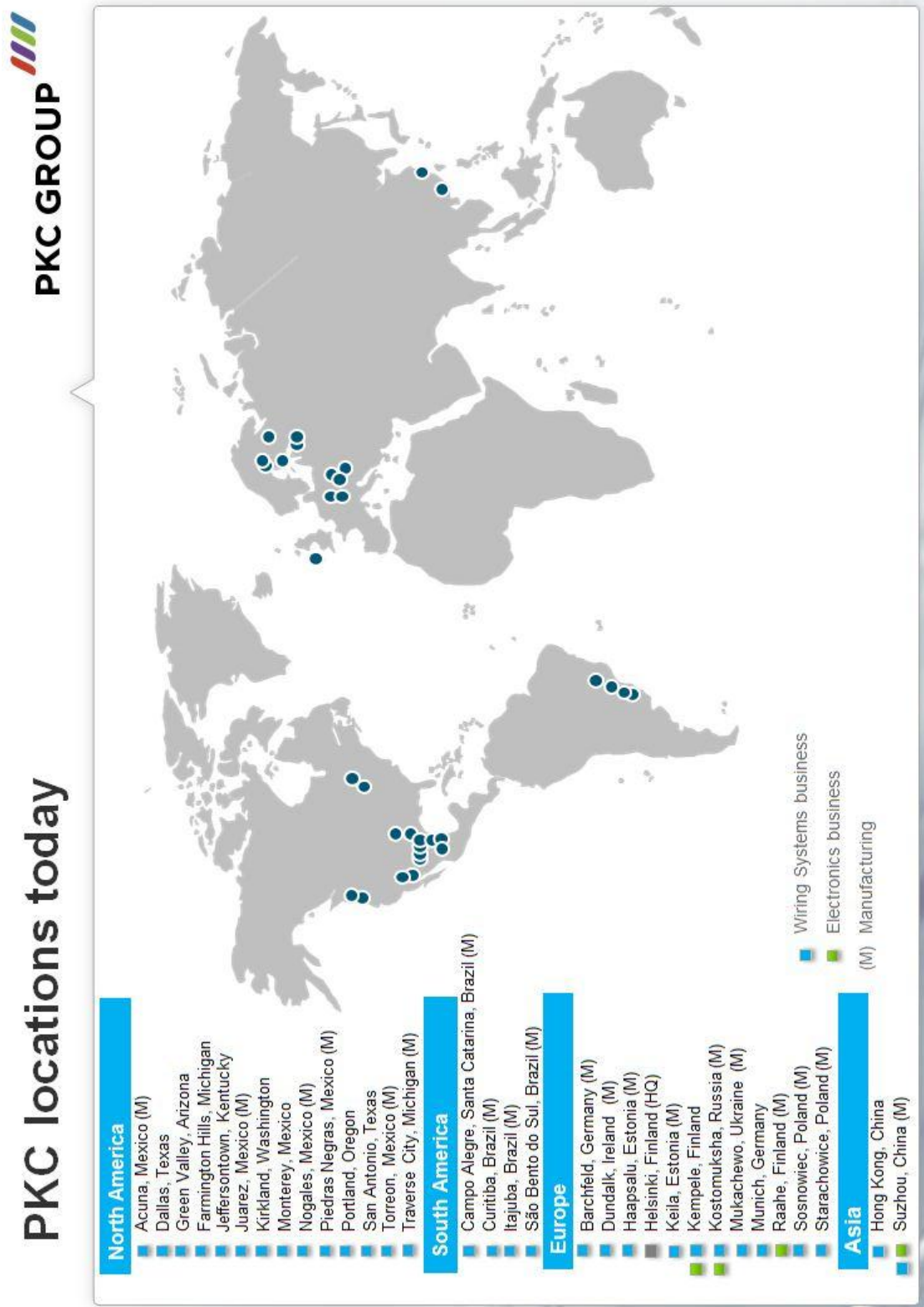
It is important in cooperation with software developers to implement a suitable CAM solution, which is also the next step in the testing counterparts manufacturing process.

.

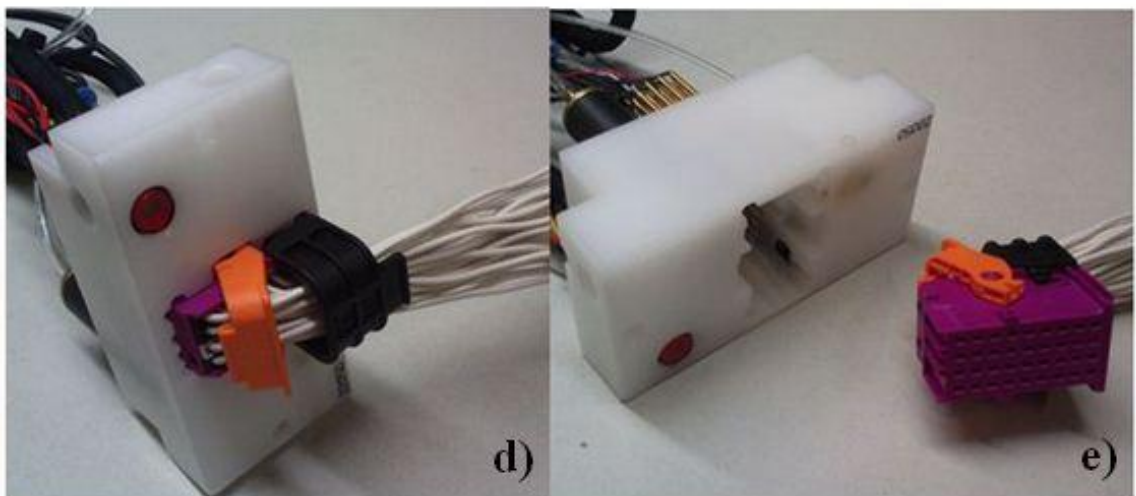
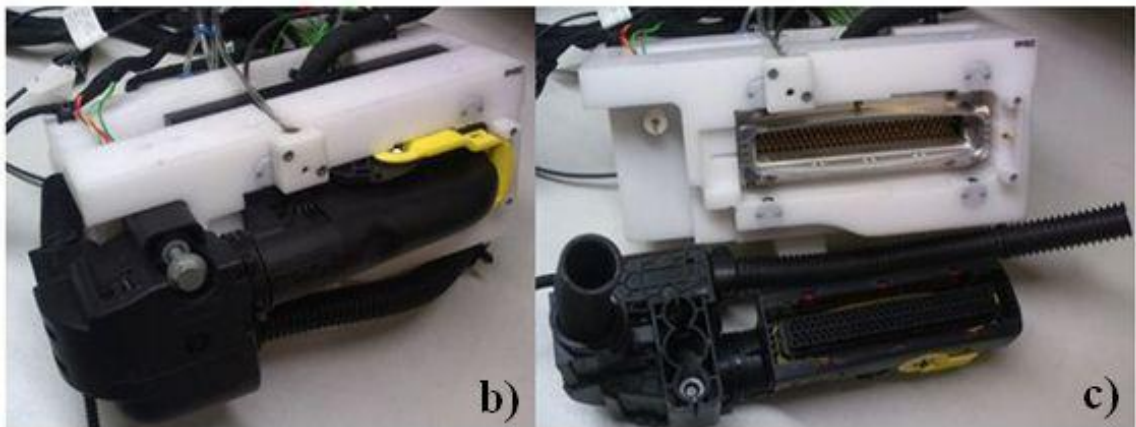
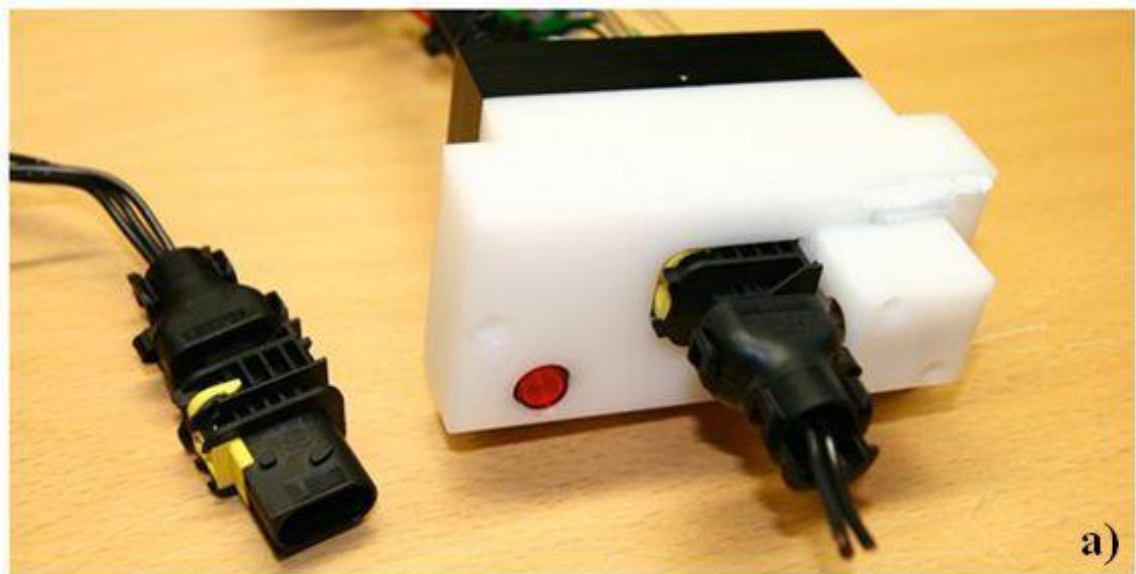
VIIDATUD ALLIKAD

1. PKC Group OY, History [WWW] <http://www.pkcgroup.com/index.php?618> (23.02.2013)
2. PKC Group OY, Strategy [WWW] <http://www.pkcgroup.com/index.php?614> (23.02.2013)
3. PKC fact sheet [WWW]
<http://qfx.quartalflife.com/clients/fi/pkcgroup2/factsheet/CreatePdf.aspx?culture=en-US>
(23.02.2013)
4. Kiljala, J. (2011). „20“ aastat juhtmeköidiste valmistamise kogemust Keilas. PKC Eesti 20.juubeli – eri
5. PKC Group OY, [WWW] <http://www.pkcgroup.com> (23.02.2013)
6. CAD, [WWW] <http://www.pro-step.ee/index.php/cad> (24.02.2013)
7. CAM, [WWW] <http://www.pro-step.ee/index.php/cam> (24.02.2013)
8. PDM made easy for the mainstreamenterprise. (2010). Dassault Systèmes, 8 lk.
9. 5 ways PDM can help you succeed through design reuse. (2010). Dassault Systèmes, 9 lk.
10. Faktid SolidWorksi kohta [WWW]
https://www.solidworks.com/sw/docs/Corp_FactSheet_2012Q2.pdf (07.03.2013)
11. SolidWorks Enterprise PDM [WWW]
http://www.solidworks.com/sw/docs/SW_EPDM_DS_2013.pdf (07.03.2013)
12. Design World, Do you really need integrated CAD/CAM? [WWW]
<http://www.designworldonline.com/do-you-really-need-integrated-cadcam/> (07.03.2013)
13. Eesti statistikaameti veebiandmebaas [WWW] <http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=PA21&lang=2> (22.04.2013)
14. PPAP - Product Part Approval Process [WWW]
<https://sites.google.com/site/kellystechlibrary/home/ppap-production-part-approval-process>
(22.04.2013)
15. Tehniline spetsifikatsioon ISO/TS 16949:2009., (11.2011). Kvaliteedijuhtimissüsteemid. Erinõuded ISO 9001:2008 rakendamiseks autotööstuses ja vastavate teenusorganisatsioonide juures. Eesti Standardikeskus, 42 lk.
16. PKC Group OY, Investor Information, Publications, Presentations, Investor Presentation 1-12/2012 [WWW] <http://www.pkcgroup.com/index.php?1092> (15.04.2013)

17. Quality Presentation, Wiring Harnesses. (09.2010). PKC presentatsioon. PKC Group.
18. FMEA (11.2012). PKC Eesti AS juhendmaterjalid. PKC Eesti AS
19. Eeldused tulemuslikuks masinaehitusalaseks tootearenduseks [WWW] http://www.pro-step.ee/files/teadmus/Eeldused_tootearenduseks.pdf (24.02.2013)
20. Why you need SolidCAM? [WWW] <http://www.solidcam.com/us/why-solidcam/why-you-need-solidcam/> (25.03.2013)
21. Essai Corporation automates IC test system manufacturing with SolidWorks+SolidCAM integrated CAD/CAM [WWW]
http://www.solidcam.com/en/news/news/singleview/?tx_news_pi1%5Bnews%5D=383&tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=c697ba72ad547e40f76c9ea6d82feaca (25.03.2013)
22. CAD/CAM ja CNC-tehnoloogia [WWW]
<http://www.ene.ttu.ee/elektriamid/oppeinfo/materjal/IN660/NC-kood%20ISO-kood%20G-kood%20-%20slaidid.pdf> (24.02.2013)



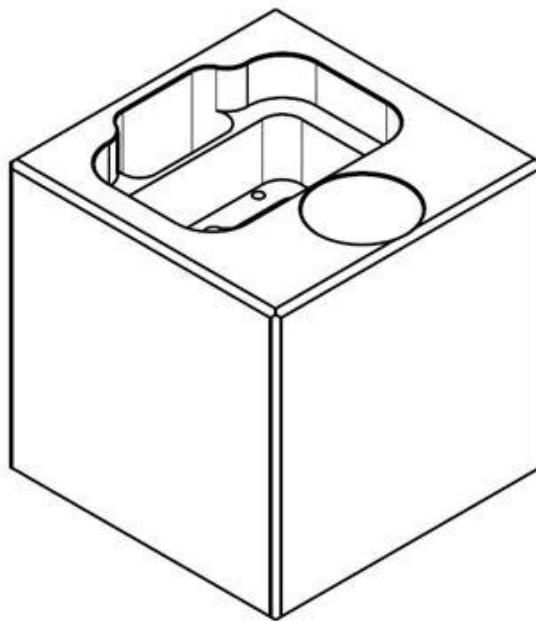
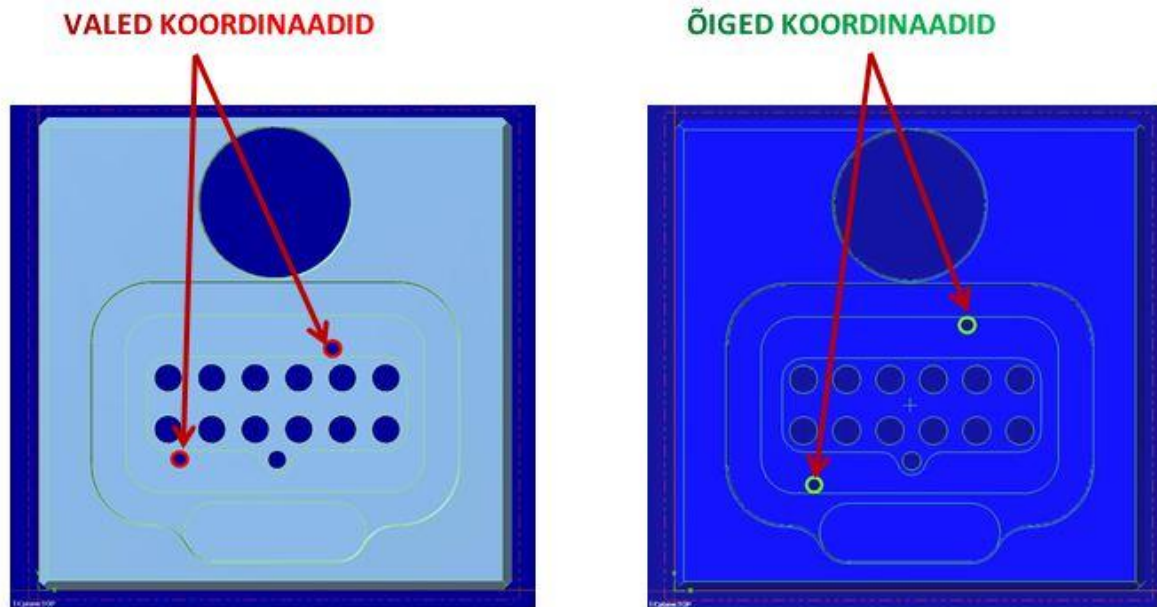
Lisa 2. Erineva keerukusega näidised (pistikud) ja nende testimiseks toodetud testpesad



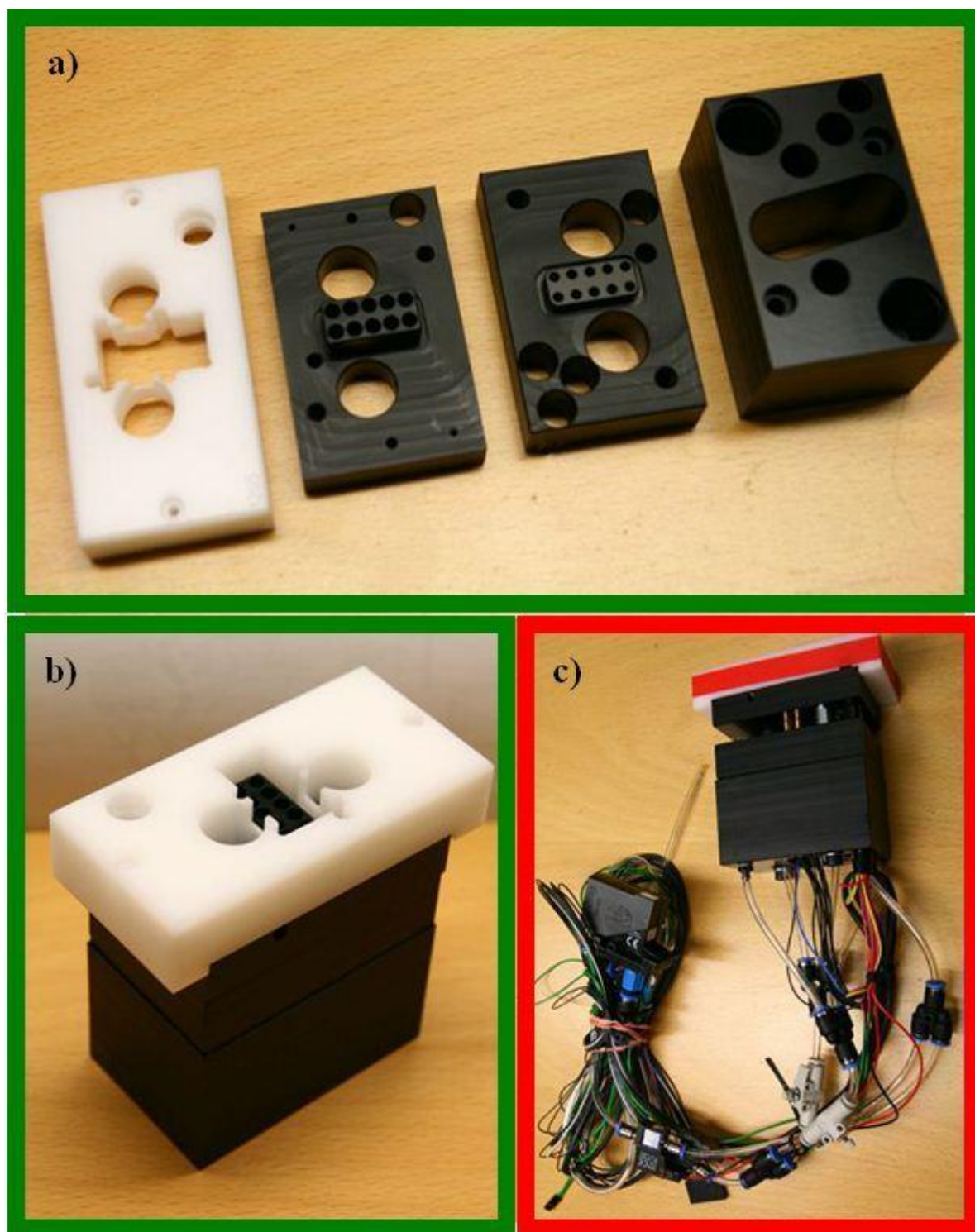
*a – pistikud ja testpesa; b – pistik testpesa sees; c – pistik ja testpesa;
d – pistik testpesa sees ; e – pistik ja testpesa*

Lisa 3. Testpesal valesti projekteeritud avad , näide 1

Valede koordinaatidega projekteeritud 2 X Ø1.7 avad

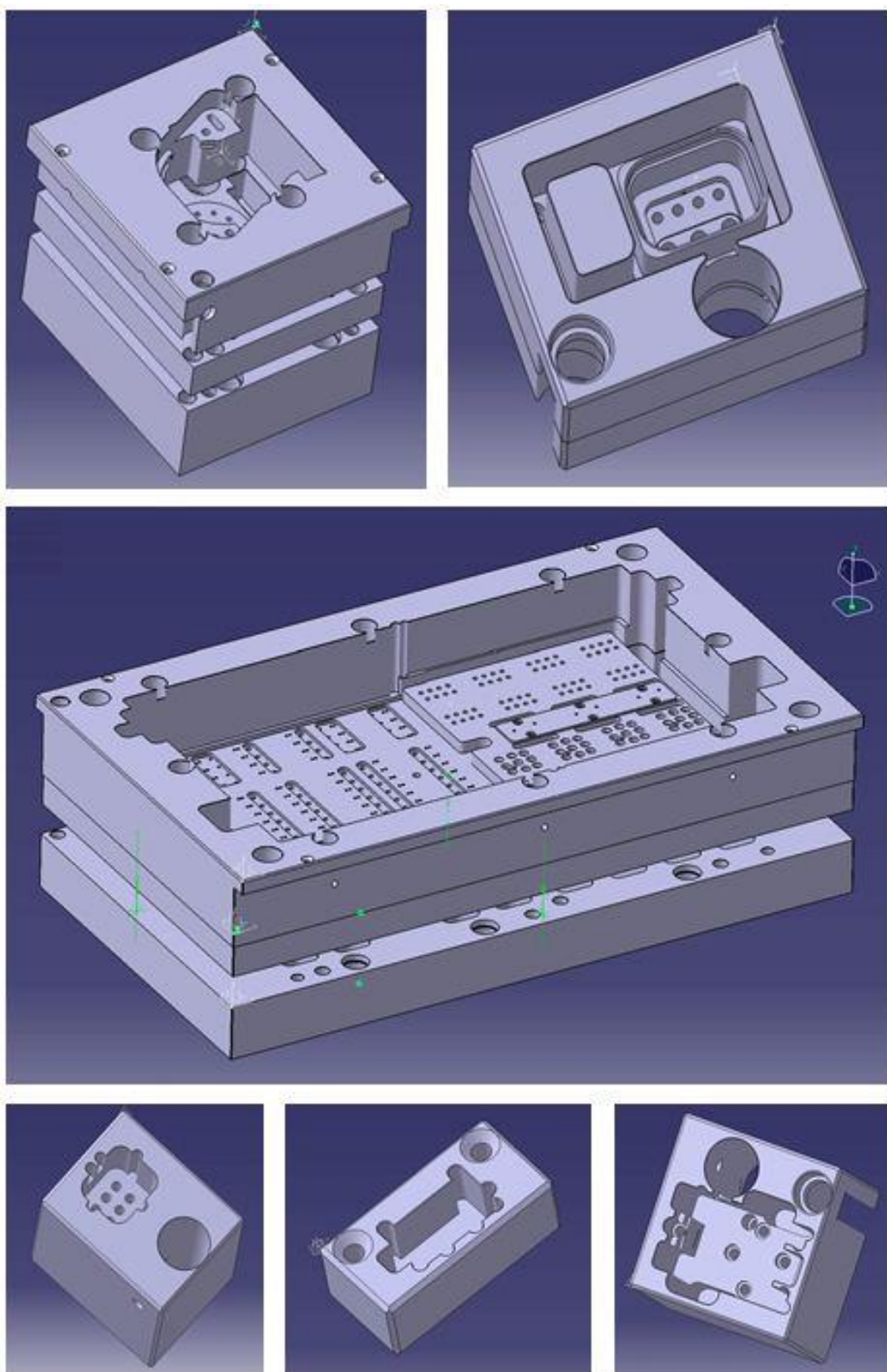


Lisa 4. Koostatud defektne ja taastoodetud testpesa peale CNC töötlust, näide 2



a ja b – CNC pingis valmistatud testpesa komponendid; *c* – defektne koostatud testpesa

Lisa 5. Projekteeritud 3D mudelid testpesade tootmiseks



Lisa 6. Investeeringute tasuvuskalkulaator (EPDM ROI)

Company Name: Insert Company Name Here		EPDM "1503" Calculator 	Total Cost of Enterprise PDM			
Date:	May 1, 2013		EPDM Software Client	€/each	Qty	Extended
Number of CAD data authors? SolidWorks/Autodesk users?	4		EPDM CAD Editor	€1 536	4	€6 144
Number of Non CAD data authors? (MS Office, JPG, PDF, Etc...)	0		EPDM Contributor		0	€0
Number of data consumers? Require Search, View & Print?	0		EPDM Viewer Package (5 Pack)		0	€0
Burden rate/hour to use for calculations?	€8		Sub Total			
Weeks per year to use for calculations	48		EPDM CAD Editor Subs	€516	4	€2 064
Number of BOMs created per year	700		EPDM Contributor Subs		0	€0
Burden rate to process and ECO on average:	€8		EPDM Viewer Package Subs		0	€0
			Sub Total			
CBI Discovery Data		EPDM Savings	Year #1 Software & Subscription			
What's your time worth?		Impact	Year #2 Subscription			
Percentage of time/day spent searching for data?	30%	90%	Year #3 Subscription			
CAD User cost/year spent searching for data:	€19 354	€17 418	3 Year cost of Software & Subscription			
			Year #1 EPDM Admin Cost (hours)			
Number of lost files recreated/week?	0,1	99%	Year #2 EPDM Admin Cost (hours)			
CAD User cost/year spent recreating lost data:	€645	€639	Year #3 EPDM Admin Cost (hours)			
			3 year cost of EPDM Admin			
Time spent documenting/administrating projects? (Hours)	0,25		Hardware to support EPDM			
Number of times per project this happens?	2		EPDM Implementation/Day			
Number of projects per year?	1500	50%	EPDM Admin Training/Day			
User cost spent reconfirming project status prior to next step:	€6 300	€3 150	EPDM End User Training/Student			
			Hardware, Implementation & Training Cost			
Number of ECO's processed/year?	500	50%	Total Year #1 Get Started Cost			
Cost to process ECOs each year:	€4 200	€2 100	Total 3 Year Cost of Enterprise PDM			
			Summary / Duration			
Time spent entering BOM data into corporate system? (Hours)	0,10	99%	Investment			
Cost for manual entry of BOM data per year:	€588	€582	Benefit			
Total Yearly Cost of Discovered CBIs	€31 087	3 Year Savings	Return on Investment			
3 Year cost:	€93 260	€71 667	Payback Period (Months)			
Notes:						
Cells in Yellow are editable and can be cleared if non applicable						
Cells in Orange are defaults which can be changed						
Cells in Red are calculated automatically.						
Cells in Green are calculated automatically.						

Lisa 7. Tabel nõuetele mittevastavate testpesade kaardistamiseks

Nõuetele mittevastavad testpesad											
Jrk nr.	Kuupäev	Testpesa kood	Klient	Tellimus	Kogus	Parandatav	Uus	Viga			Vea kirjeldus
								CAD	CAM	CNC	
1	xxxx	xxx	PKC	xxx	1	1		X			B-detailil 8mm tapp vales kohas
2	xxxx	xxx	PKC	xxx	1	1		X			Tasku (pocketi) kõrgused valed
3	xxxx	xxx	xxx	xxx	1	0	1	X			A ja B detailil SLS sooned vales kohas
4	xxxx	xxx	PKC	xxx	1	0	1	X			Lukustid ei fikseeri pistikut piisavalt. Pistikut vaja testpesas keerata 90°
5	xxxx	xxx	PKC	xxx	1	0	1	X			Kodeeringuapid valed koordinaatidega.

Lisa 8. Disaini vea liigi ja mõju analüüs DFMEA

Customer		Customer part no.		FMEA Revision										
				01										
Supplier		Supplier part no.		FMEA Date										
Part Name		Drawing revision												
CPT connector box assembly														
FMEA core team		Design Responsibility												
		PKC												
Part / Function	Purpose	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	Cause(s) / Mechanisms of Failure	Current Design Controls	DTPN	RPN	Recommended Action	Responsible Person	Schedule Date	Action Taken	Actual Completion Date	p p p p p p r r r r n n	
	Cover housings and connections between harnesses						0						o	
	Isolated pass through for wire harness connections from frame to cabin						0						o	
CPT assembly							0						o	
	cover cpt box from outside	cover does not close properly	Cover will not seal the box correctly	7 5	the dimensions inside cover prevents correct closing	8	Design review, testing with rapid prototype	3	168	Change design according to test result		Design inside cover is changed		o
	cover cpt box from outside	cover or box breaks when closed	Protection of electric connections is lost	8 5	the dimensions inside cover prevents correct closing	8	Design review, testing with rapid prototype	2	128	Change design according to test result		Design inside cover is changed		o
	Cover housings and connections between harnesses	cover does not close properly	cover will not seal the box	7 5	cover seal is too narrow	8	Design review, testing with rapid prototype	4	224	Change design according to test result		Dimensions of seal changed after prototype		o
	Cover housings and connections between harnesses						0						o	
							0						o	
							0						o	
M6x12 screws	secure cover to box	cover does not close properly	cover will not seal the box	7 5	too long screw pushes threaded insert from box	10	Design review, test with prototypes	1	70					o
		screw breaks when tightened	cover will not seal the box	7 5	dimension of flanged section of screw wrong, material selection of screw wrong, tightening torque specified wrong			0						o

56

Fault risk analysis ,process FMEA in PKC Group Kelta Site																				
FMEA																				
ms Product no	Cone serial prod	Process function	Potential failure mode	Potential effect(s) of failure	Seve nity	Special ry char- eristics	Cause of failure	Process control, Prevention	Occur rence freq.	R,P, N	Recommended actions	Responsibility & target date	Actions taken	Solve rility	Occurrence freq.	Discovera bility	R,F, N	Date	Author	
000-010-0010	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Faulty supply (quantity error)	Wire cable error	3	3	Supplier fault	100 % control of marked marking, random sample	2	Store worker, visual control	5	30			0	0	0	0	3.05.2011	
000-010-0020	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Not notice faulty supply (wrong component)	Functional problem	8	2	Supplier fault	100 % control of code marking, random sample	2	Store worker, incoming inspector, sample class	2	32			0	0	0	0	13.04.2011	
000-010-0030	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Wrong type of an incoming product has not been noticed	Functional problem	8	2	Supplier fault	Sample class	2	Material incoming inspector, sample class	4	64			0	0	0	0	13.04.2011	
000-010-0040	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Uses of material without the incoming inspection	Functional problem	2	3	Wrong work routine	Initial sample routine for new component	1	Material incoming inspector, sample class	8	16			0	0	0	0	13.04.2011	
000-010-0050	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Defective material	Functional problem	7	2	Damaged during transport		2	Store worker, visual control	3	42			0	0	0	0	3.05.2011	
000-010-0060	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Functional problem (wrong code)	Functional problem	8	2	Supplier fault		2	Store worker, visual control	5	80			0	0	0	0	3.05.2011	
000-010-0070	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Defective material	Functional problem	6	2	The material has been damaged during unloading work	Training	2	Store worker, visual control	1	12			0	0	0	0	3.05.2011	
000-010-0080	Yes	Cable cutting	Damaged wire insulation	Short circuit	8	1	Wrong work routine	Control of the work routine	2	Visual control	2	16			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0090	Yes	Cable cutting	Wrong type of the cable	Brease joints, functional problems	8	1	Flaky tool, Wrong work routine	Control of the tool	1		2	16			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0100	Yes	Remove of mantle	Isolation damaged	Short circuit	8	1	Defective material	Control during the work	2		5	80			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0110	Yes	Remove of mantle	Partial wire damaged	Open circuit	8	1	Wrong setting	Control of the tool	3	Machine operator , control during the work	3	48			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0120	Yes	Remove of mantle	Wrong stripping length	Functional problem	5	1	Wrong setting	Control of the tool	5	Machine operator control starting the work	4	100			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0130	Yes	Stripping	Stripping fault	Open circuit	8	1	State of cutting blades	Measuring start of work	2	the work	2	48			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0140	Yes	Stripping	Stripping fault	Open circuit	8	1	State of cutting blades	Control of the tool	1		2	16			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0150	Yes	Stripping	Stripping partial wires	Open circuit	8	1	Wrong setting	Control at the start of work	2	Machine operator , control during the work	3	48			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0160	Yes	Stripping	Stripping partial wires	Open circuit	8	1	Wrong work routine	Control of the work routine	2	Machine operator , control during the work	3	48			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0170	Yes	Stripping	Stripping partial wires	Open circuit	8	1	Wrong work routine	Control during the work	2	the work	3	48			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0180	Yes	Stripping	Wrong stripping length of the mantle	Can not assemble, does not resist	7	2	Wrong setting	Measuring start of work	2	Machine operator / assembly	4	68			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0190	Yes	Stripping	Wrong stripping of the mantle	Short circuit	8	1	Wrong setting	Control at the start of work	3	worker, visual control	2	48			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0200	Yes	Stripping	Wrong stripping of the mantle	Short circuit	8	1	Isolation is inconsistent	Before incoming inspection	3		3	72			0	0	0	0	15.02.2011	
000-010-0210	Yes	Blum marking	Blum marking problems	Assembly problems	2	3	Printer problem	Control during the work	3	Employees control during the work	2	12			0	0	0	0	17.08.2011	
000-010-0220	Yes	Marking of material	Marking of material	Assembly problems	4	3	Wrong work routine	Checking of the assembly	3	Check with ingrid device	2	24			0	0	0	0	17.08.2011	
000-010-0230	Yes	Marking of material	Marking missing	Assembly problems	4	3	Wrong work routine	Control during the work	2	Check with ingrid device	2	16			0	0	0	0	17.08.2011	
000-010-0240	Yes	Marking of material	Marking missing	Assembly problems	4	3	Wrong work routine	Control at the start of work	2	Check with ingrid device	2	16			0	0	0	0	17.08.2011	
000-010-0250	Yes	Marking of material	Marking missing	Assembly problems	4	3	Wrong work routine	Control during the work	3	Employees control during the work	6	72			0	0	0	0	17.08.2011	
000-010-0260	Yes	Shrinking tube	Shrinking tube not tight	Functional problem	4	3	Wrong shrinking tube		3	Employees control during the work	2	12			0	0	0	0	4.05.2011	
000-010-0270	Yes	Shrinking tube	Shrinking tube not tight	Functional problem	3	3	Wrong method	Training	2	Final inspector, visual control	2	12			0	0	0	0	4.05.2011	
000-010-0280	Yes	Shrinking tube	Shrinking tube is not in the middle	Functional problem	7	2	Wrong method		2	Employees control during the work	2	28			0	0	0	0	4.05.2011	
000-010-0290	Yes	Shrinking tube	Shrinking tube is not in the middle	Functional problem	6	2	Wrong method		2	Employees control during the work	2	28			0	0	0	0	4.05.2011	
000-010-0300	Yes	Shrinking tube	Shrinking tube is not in the middle	Functional problem	7	2	Wrong method		2	Employees control during the work	2	28			0	0	0	0	4.05.2011	

PKC GROUP

Process CP in PKC Group Kella site															
Control Plan															
Production code	Concerns s prototyp e prod.	Process function	Potential failure mode	Special characte ristics	Process/Controlled object	Product/Controlled object	Sample size	Control frequency	Control method	Responsible	Corrective actions	Instructions	Date	Author	
000-010-0010	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Faulty supply (quantity error) not noticed	3		Amount / documents Product code, packing documents	All	100%	Visual control	Store worker	Informing of the failure by buyer	Respective work instruction	3.05.2011		
000-010-0020	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Not notice faulty supply (wrong component)	2			All	100%	Visual control	Store worker, incoming material inspector	Claim to supplier	Respective work instruction	13.04.2011		
000-010-0030	Yes	Receiving of material, incoming inspection	The non-conformance of an incoming product has not been noticed	2		Dimensions, colour, material	0-defect table	According to the sample class	Visual, vernier gauge, micrometer, profile projector	Material incoming inspector	Claim to supplier	Respective work instruction	13.04.2011		
000-010-0040	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Use of material without the procedure of initial sample	3		Control of initial sample routine for new component	0-defect table	According to the sample class	Initial sample routine for new component	Material incoming inspector	Control of work routine	Respective work instruction	13.04.2011		
000-010-0050	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Defective material	2		State of material	All	100%	Visual control	Store worker	Situation assessment, informing the incoming inspection	Respective work instruction	3.05.2011		
000-010-0060	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Not notice sending error (wrong code)	2		Code of the component	All	100%	Visual control	Store worker	Informing of the failure by buyer	Respective work instruction	3.05.2011		
000-010-0070	Yes	Receiving of material, incoming inspection	Defective material	2		Defective component	All	100%	Visual control	Store worker	Rejection of defects, control of work routine	Respective work instruction	3.05.2011		
000-020-0080	Yes	Cable cutting	Damaged wire insulation	1		Condition of the insulation	All	Control during the job	Visual control	Operator	Rejection of defects, control of work routine	Respective work instruction	15.02.2011		
010-020-0090	Yes	Cable cutting	Damaged wire insulation	1		Condition of the insulation	All	Control during the job	Visual control	Operator	Rejection the defects, change of cutting blades	Respective work instruction	15.02.2011		
010-020-0100	Yes	Cable cutting	Wrong type of the cable	1		Type of the cable	All	Control during the job	Visual control	Worker	Rejection of defects, control of work routine	Respective work instruction	15.02.2011		
020-010-0010	Yes	Remove of mantle	Isolation damaged	1		Insulation	All	Control during the job	Visual control	Worker	Rejection of defects, control of material	Respective work instruction	15.02.2011		
020-010-0020	Yes	Remove of mantle	Partial wire damaged	1		Part cables	All	Control during the job	Visual control	Worker	Rejection of defects, machine parameters adjustment	Respective work instruction	15.02.2011		
020-010-0040	Yes	Remove of mantle	Wrong stripping length	1		Length of stripping	All	Control during the job	Visual control, measuring tape	Worker	Repairing of defects, control of tool	Respective work instruction	15.02.2011		
020-030-0030	Yes	Stripping	Wrong stripping length	1		Length of stripping	1+1 (in the beginning and in the end of run)	Control during the job	Measuring tape	Operator	Repairing the defects, machine parameter adjustment	Cutting and crimping work instruction	15.02.2011		
020-030-0050	Yes	Stripping	Stripping fault	1		Result of stripping	1+1 (in the beginning and in the end of run)	Control during the job	Visual control, measuring tape	Operator	Rejection the defects, change of cutting blades	Cutting and crimping work instruction	15.02.2011		
020-030-0070	Yes	Stripping	Fault stripping partial wires	1		Result of stripping	1+1 (in the beginning and in the end of run)	Control during the job	Visual control	Operator	Repairing the defects, machine parameter adjustment	Cutting and crimping work instruction	15.02.2011		
020-030-0090	Yes	Stripping	Fault stripping partial wires	1		Result of stripping	1+1 (in the beginning and in the end of run)	Control during the job	Visual control	Operator	Repairing of defects, control of work routine	Stripping instruction	15.02.2011		
020-030-0110	Yes	Stripping	Fault stripping partial wires	1		Result of stripping	1+1 (in the beginning and in the end of run)	Control during the job	Visual control	Operator	Rejection of the defects, machine maintenance	Stripping instruction	15.02.2011		
020-030-0170	Yes	Stripping	Wrong stripping lenght of the mantle	2		Result of stripping	1+1 (in the beginning and in the end of run)	Control during the job	Measuring tape	Operator	Rejection of defects, machine parameters adjustment	Respective job instruction	15.02.2011		