



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

Mehhatroonikainstituut

Mehhatroonikasüsteemide õppetool

MHE40LT

Kalle Novikov

METALLDETAILI KVALITEEDIKONTROLL
KOOSTELIINILE
Bakalaureusetöö

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn
2015

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis Priit Põdra juhendamisel

“.....”2015a.

Töö autor

..... allkiri

Töö vastab bakalaureusetööle esitatavatele nõuetele.

“.....”2015a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppekava kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2015a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE

2015 aasta kevadsemester

Üliõpilane: Kalle Novikov 112421MAHB

Õppekava: MAHB02/09

Eriala: Mehhatroonika

Juhendaja: dotsent, Priit Põdra

Konsultandid:

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

(eesti keeles) **Metalldetaili kvaliteedikontroll koosteliinile**

(inglise keeles) **Metal Detail Quality Control for Assembly Line**

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	Ülesande püstitus. Ülevaade ja andurite taustauuring.	06.04.2015
2.	Andurite valik, mõõteparameetrite ja tehniliste parameetrite valik. Projektarvutused.	24.04.2015
3.	Lisaseadme koosteliini integreerimise lahenduste välja töötamine.	08.05.2015
4.	Tehniliste kooste- ja detail jooniste koostamine	15.05.2015
5.	Töö lõppvormistus, trükkimine ja köitmine	21.05.2015

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid: Töö eesmärk on teha koosteliini täiendus, mis kontrolliks enne koostesse minekut pulbermetallurgiaga toodetud detaili kvaliteeti. Detailide tootja ei garanteeri 100% kvaliteeti. Võib esineda mikropragusid, mis vähendavad detaili eluiga. Töös pakutakse välja majanduslikult otstarbekas konstruktsiooni lahendus ja käsitletakse vajalike andureid. Koostatakse ka lahendus lisaseadme intregreerimiseks koosteliini, koos detaili- ja koostejoonistega.

Täiendavad märkused ja nõuded: Seade valmib Norma AS

Töö keel: eesti

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 18.05.2015

Töö esitamise tähtaeg 22.05.2015

Üliõpilane Kalle Novikov /allkiri/

kuupäev...03.2015

Juhendaja Priit Põdra /allkiri/

kuupäev...03.2015

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöörde

SISUKORD

BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE -----	3
EESSÕNA -----	6
SISSEJUHATUS-----	7
1. VABASTUSVARRAS -----	9
2. TESTMEETOD -----	11
2.1 Testmeetodi valimine -----	11
2.1.1 Pöörisvool-----	11
2.1.2 Akustiline Emissioon-----	13
2.1.3 Magnetiliste osadega inspeksioon -----	14
2.1.4 Ultraheli testimine -----	15
2.1.5 Elektromagnet akustiline andur (EMAT)-----	16
2.1.6 Röntgen pildistamine (masinnägemine) -----	17
2.2 Sobiv testmeetod -----	18
3. TESTSEADE – EMATEST-EC-----	19
3.1 Kontroller-----	19
3.2 Andur -----	22
4. SORTEERIMISE MEHAANIKA -----	23
4.1 Vibrokauss -----	23
4.2 Lineaarrenn, testrakis ja detaili suunaja -----	23
5. SORTEERIMISE JUHTIMINE-----	25
5.1 Voodiagramm-----	26
KOKKUVÕTE -----	27
SUMMARY -----	28
KASUTATUD KIRJANDUS -----	29
LISAD -----	30
L1. Lõik Tallinna Tehnikaülikooli Testraportist-----	30
L2. Lõik Nordinkraft AG testraportist – EMAT testing -----	31
L3. Seadme CAD mudel -----	32

JOONISTE LOETELU

Joonis 1. Vabastusvarras	9
Joonis 2. Eddy current - tööpõhimõte.	12
Joonis 3. Akustiline emissioon – tööpõhimõte.....	13
Joonis 4. Magnetvoo illustratsioon.....	15
Joonis 5. Tavalise heligeneraatori läbilõige	16
Joonis 7. EMAT ja piezoelektrilise testimise võrdlus.....	17
Joonis 6. EMAT'it ei mõjuta väike nurk materjali suhtes	17
Joonis 8. Kontroller	19
Joonis 9. Tööpõhimõtte diagramm.....	21
Joonis 10 Pneumaatikaskeem.....	24
Joonis 11. Voodiagramm.....	26

TABELITE LOETELU

Tabel 1. Testmeetodite võrdlus	18
Tabel 2. Testsüsteemi põhilised parameetrid	20
Tabel 3. Anduri parameetrid	22

EESSÕNA

Töö teema arenes välja AS Norma vajadusest kontrollida koosteliinil pulbermetallurgias toodetud detaili kvaliteeti. Töö koostamine ja algandmete kogumine toimus AS Norma's. Firmas aitas andmete kogumisega tootmisinseneride juht, Andres Simuland.

Vajalike andurite sobivuse määramisel oli eelnevalt tehtud koostööd Tallinna Tehnikaülikooliga ja Olympuse esindajaga Leedus, kuid sobiva lahenduseni ei jõutud.

Lahenduse otsimiseks kontakteeruti mitmete testseadmetega tegelevate firmadega:

- Nordinkraft AG – Saksamaa
- Vallen Systeme GmbH – Saksamaa
- X-RIS sprl – Belgia
- Fertigungsgerätebau Adolf Steinbach GmbH & Co. KG – Saksamaa
- TECNATOM S.A. – Hispaania
- Ether NDE Ltd – Suurbritannia
- UAB VEGASTEL – Leedu

SISSEJUHATUS

Bakalaureuse töö eesmärgiks on leida töötav lahendus pulbermetallurgias valminud detailide kvaliteedi kontrolliks. Selle jaoks tuleb leida mittepurustav testmeetod, mis sobib väikeste metallosade testimiseks ja suudaks tuvastada materjalis olevaid defekte. Lisaks on vajalik integreerida testsüsteem koosteliinile nii, et operaatoritel oleks mugav seadet kasutada. Eesmärgiks on leida täisautomaatne lahendus.

Detaili kasutatakse auto turvavöö eelpinguti koostus. Õnnetuse hetkel on oluline, et sõitja oleks kõvasti turvavööga istme vastu surutud. Vastasel korral saab keha kiirenduse enne turvavööni jõudmist ning suureneb risk vigastustele. Selle tagamiseks kasutatakse tänapäevastes turvasüsteemides pürotehnilist eelpingutit, mis annab kokkupõrkel sõitja turvavööle vajaliku pingsuse. Peale pingutust lastakse turvavöö kindla jõuga järgi, et vähendada inimese kehale mõjuvat kiirendust. Selle tagamiseks on trumli sees metallist pulk, mis sõitja ettepaiskumisel plastselt väändub. Töös käsitletud detaili ülesandeks on pürotehnilisepinguti trossi vabastamine, et see ei takistaks turvavöö liikumist. Defektse vabastusvarda puhul järgi andmine ei toimi, sest detail murdub enne tööülesande täitmist.

Esimese etapina tuleb leida sobiv testmeetod. Algatuseks tehti internetis uurimistööd erinevate testmeetodite kohta. Seejärel leiti sobivate andurite tootjate ja esindajate kontaktid ning arutati nendega, milline meetod oleks kõige sobivam. Saades tootjaga kokkuleppele ning nõusoleku, saadeti neile testimiseks korralikke ja defektseid detaile. Umbes kahe kuni kolme nädala jooksul saadi testi tulemuste kohta tagasisidet. Need aitasid kaasa sobivaima meetodi leidmisel.

Teiseks leitakse sobiv andurist ja kontrollierist koosnev seade, mida saab kasutada vajaliku testimise läbiviimiseks. Tagada tuleb kõikide detailide kindel kontroll.

Järgmine etapp on testseadme mehhaanilise osa projekteerimine. Koosteliinile kvaliteedikontrolli integreerimiseks uurisin põhjalikult koosteprotsessi ja liini ehitust. Tulemusena tõdeti, et liini korpuses on piisavalt ruumi lisamiseks sinna lisaseade. Hetkel kasutatakse robotkäele etteandmiseks vibrokaussi ja lineaarrenni, kus detaile liigutatakse edasi suruõhu abil.

Eesmärgiks oli olemasolevat süsteemi võimalikult vähe häirida, et tootmine saaks maksimaalselt töötada ja ei oleks pikalt peatunud. Kõige mõistlikum oleks teha testsüsteem täielikult iseseisev. Mehaanilise osa projekteerimiseks, mudelite tegemiseks ja jooniste koostamiseks kasutasin *SolidWorks 2014* tarkvara.

Lõplikku lahendusena valmib firmas lõputöö tulemusena väljatöötatud seade. Seadme lisamisel tuleb koosteliini tööjuhendites ja dokumentides viia sisse muudatused. Samuti tuleb töökindluse tagamiseks sooritada regulaarseid kontrole, näiteks iga vahetuse alguses testitakse defektse detailiga seadme tööd.

Probleemiks olevad mõrad tekivad tõenäoliselt protsesside vahepealsel transpordil. Tallinna Tehnikaülikoolis PhD Priit Peetsalu ja Tiiu Mürk'i poolt läbiviidud testides leiti purunenud detaili mõra seest tsink katet. Testraport on näha lisas. See tõendab, et mõra tekkis enne viimast protsessi - pinnakatmist. [2]

Tootaja ei nõustu enda tootmisprotsessi parandama, sest tootmismahud on liiga väikesed ja nende hinnangul on piisav kvaliteet tagatud.

2. TESTMEETOD

Testmeetodid jagatakse kahte suurde rühma: Purustav ja mittepurustav testimine.

Purustav testimine (*destructive testing*) – andmete saamiseks hävitatakse testitav ese. Enamasti rakendatakse teatud jõud, et näha kas testobjekt talub piisavalt koormust. Purustava testimise tulemusi saab visuaalselt hinnata, sest ese on koormuse tõttu deformeerunud, kulunud või purunenud. Mehaanilist vigastust hinnates saab tuletada resultaadi. Purustavat testimist kasutatakse mingi kindla hulga testimiseks. Näiteks 1000-st detailist testitakse valikuliselt kümmet, kui tulemused on rahuldavad, eeldatakse, et kõik ülejäänud vastavad samuti kriteeriumitele. [3]

Mittepurustav testimine (*non destructive testing* - NDT) – andmete saamiseks kasutatakse meetodeid, mis ei mõjuta testitava detaili omadusi ja ei põhjusta selle kasutuselt kõrvaldamist. Õigesti kasutatud meetodid võimaldavad tagada kõikide testitud objektide kvaliteeti. Testida on võimalik materjali omadusi, sisepingeid, mõrasid, pinnakatte paksust ja defekte materjalis. [4]

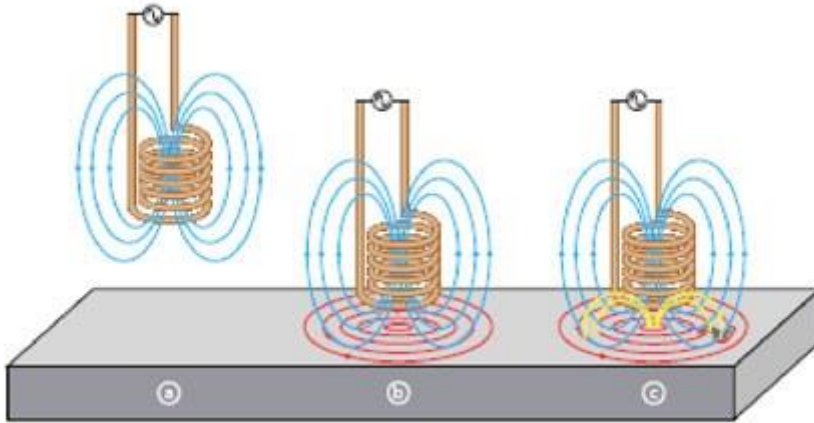
Käesolevas töös on vaja tagada kõikide koostusse minevate vabastusvarraste kvaliteet. Seega ei saa kasutada selektiivset purustavat testimist, mis ei taga piisavalt kindlust kõikide detailide korrasolekust. Järgnevalt kirjeldatakse erinevaid tehnikaid NDT'st sealhulgas eeliseid ja puudusi.

2.1 Testmeetodi valimine

2.1.1 Pöörivool

Pöörivooluga testimise aluseks on magnetism. Seda kasutatakse laialdaselt lennunduse valdkonnas ning mujal tootmise ja hooldusega tegelevates asutustes, kus on vajalik tagada turvakaalutlustel metalldetailide kvaliteet. Lisaks mõra tuvastamisele lehtmetailis ja torudes, sobib pöörivool metalli paksuse mõõtmiseks, termotöötamise efekti jälgimiseks ja pinnakatte paksuse hindamiseks. [5]

Pöörivooluga saab kiiresti kontrollida suuri alasid, kus ei ole vaja kasutada kontakti vedelikke. Testitav materjal peab juhtima elektrit, seega ei ole võimalik testida plastikust detailide kvaliteeti. [5]



Joonis 2. Eddy current - tööpõhimõte.

Meetod põhineb elektromagneetilisel induksioonil. Pöörivoolu sondis genereerib magnetvälja võnkuv vahelduvvool (Joonis 1, punkt *a*). Magnetväljaga sond ja testitav materjal viiakse üksteise lähedale, tekib ringlev elektronide voog- pöörivool, mis hakkab liikuma läbi metallikihtide nagu keeris (Joonis 1, punkt *b*). Selline vool tekitab enda magnetvälja vastupidises suunas sondi väljaga. Defektid ja materjali paksus mõjutavad pöörivoolu ja selle tekitatud magnetvälja, mis omakorda väljendub sondi mähise takistuse muutumises (Joonis 1, punkt *c*). [5]

Pöörivoolu kontsentratsioon on suurim pinna lähedal, seega saab kõige täpsemad tulemused pinnadefektide kohta. Standard läbistamissügavus on defineeritud kihiga, kus kontsentratsioon on võrreldes pinnakihiiga 37%. Testimistundlikkust, resolutsiooni ja läbistamist mõjutavad materjali elektrijuhtivus, magnetiline läbilaskvus, poolis kasutatav vahelduvvoolu sagedus ja pooli geomeetria. [5]

Testi sobivuse kinnituseks kontakteeruti seadme tootjatega. Näidisenäi sai saadetud mõradega ja terveid detaile. Tootjad said teostada katsed ja andsid tagasisidet tulemuste kohta.

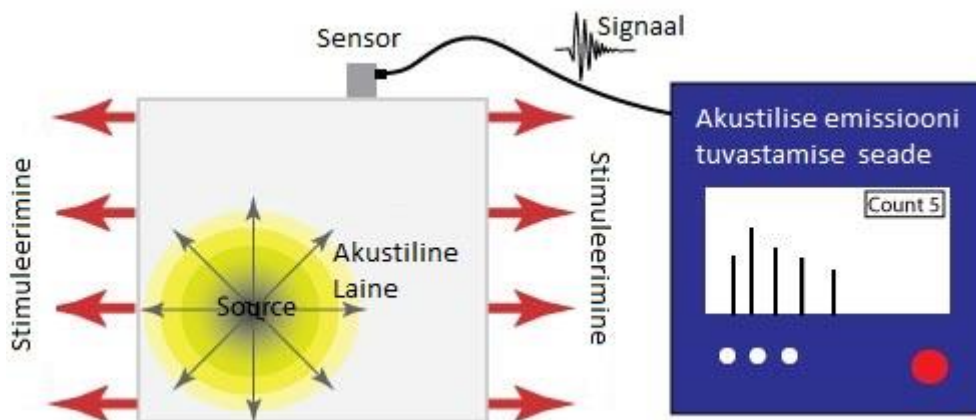
Olympuse esindaja Leedus, Vegastel UAB, teostas mõõtmised pliiatsanduri ja kaasaskantava seadmega. Tagasisidena kirjeldas tehtud mõõtmisi ja tõestas tehnoloogia sobivust. Seadmetest polnud neil automatiseerimiseks mõeldud tehnikat. Nende ainus pakkumine oli operaatori poolt

jälgitav lahendus, mis ei oleks antud probleemile piisav. Esindaja lubas uurida ka teisi sobivaid lahendusi, kuid kahjuks lõputöö valmimise ajaks ei ole laekunud edasist infot. [6]

Mittepurustavate testseadmetega tegelev Saksamaa firma FGB Steinbach Grupp, kasutas samuti manuaalseks inspekteerimiseks mõeldud andurit koos kontrolleriiga. Tagasisideks saadi samuti positiivse vastuse, et raportis märgitud seadmetega ja parameetritega on võimalik tuvastada kõikide saadetud detailide staatus, kas mõraga või mitte. [7] Nende pakutavad seadmed on sobivad automatiseerimiseks. Firma on nõus edasiseks koostööks ja vajadusel ka välja töötama testseadme mehhaanilise osa.

2.1.2 Akustiline Emissioon

Selle meetodi puhul uuritakse elastseid laineid, mis on genereeritud järskude pingete ümberjaotamisega materjalis. Rakendades struktuurile välist stiimulit (rõhu, koormuse või temperatuuri muutus) vallanduvad lokaalsed sisepingeenergiad, mis avalduvad pingelainetes. Pingelained levivad pinnale ja neid saab sensorite abil salvestada. Õige seadme ja tehnikaga on võimalik tuvastada kuni 10^{-12} meetri suuruseid liikumisi. Materjali koostis pole tähtis, testida saab nii puitu, betooni, komposiitmaterjale, polümeere ja metalle. [8]



Joonis 3. Akustiline emissioon – tööpõhimõte.

Akustiline emissioon on teistest mittepurustavatest testidest erinev kahe aspekti poolest. Esiteks ei anta uuritavale objektile energiat juurde, vaid kuulatakse lihtsalt objektilt vallanduvat energiat. Teiseks tegeletakse dünaamiliste protsesside või muutustega materjalis, see tähendab, et välja tulevad ainult aktiivsed tegurid, näiteks mõra suurenemine. Kuigi on võimalik, et vead ei tule ilmsiks. See võib juhtuda, kui koormus ei ole piisav, et tekitada pingelaineid. [8]

Kahjuks võimaldab antud meetod ainult tuvastada kui palju on struktuuris vigastusi. Saamaks andmeid suuruse ja sügavuse kohta, peaks kasutama teisi mittepurustavaid testimismeetodeid. Teiseks puuduseks on kõrvalised helid, näiteks koormuse tekitamiseks kasutatavate seadmete müra. Tulemuslikuks testimiseks on vajalik signaali puhastamine ja müra vähendamine. [8]

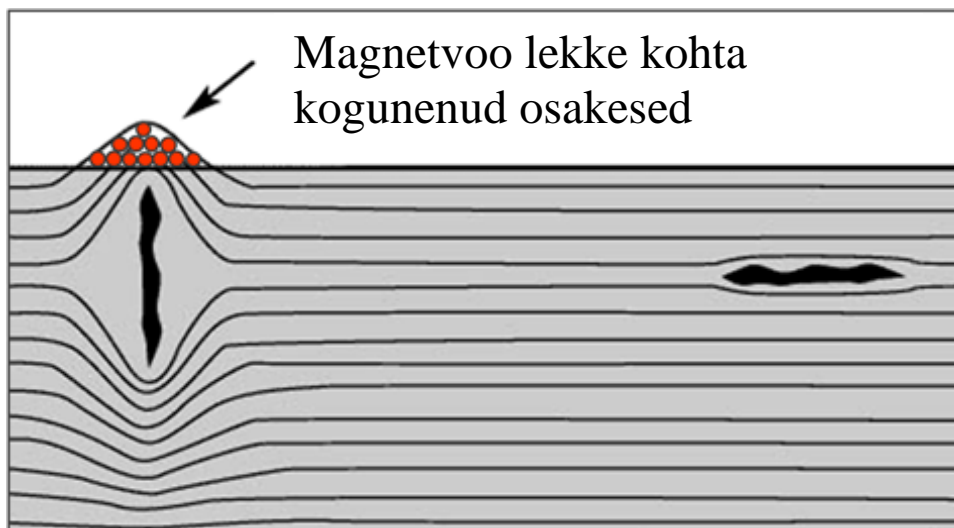
Kirjelduste järgi otsustades ei sobi antud meetod vabastusvarda testimiseks. Esiteks on detail liiga väike ja sellele oleks ebamugav koormust rakendada, kaasaarvatud on meetod mõeldud struktuuridefektide tuvastamiseks.

2.1.3 Magnetiliste osadega inspeksioon

Meetod on väga populaarne ja soodne viis pinnapealsete ja -kihtide all olevate mõrade tuvastamiseks ferromagneetilistes materjalides nagu raud, nikkel, koobalt ja nende sulamid. Protsessi käigus magnetiseeritakse uuritav detail, otseselt või kaudselt. Otsene magnetiseerimine avaldub, kui elektrivool lasta läbi testitava objekti ja detaili tekib magnetväli. Kaudne, kui kasutatakse välist magnetvälja allikat. [9], [10]

Mõra võimaldab magnetvoolul lekkida, sest õhk ei kannu sama hulka magnetvälja mahuühiku kohta. Lekete tuvastamiseks lisatakse rauaosakesi, olenevalt kasutuskeskkonnast, kas kuivalt või märja lahusena. Magnetvoo lekkepiirkond tõmbab rauaosakesi ligi ning need kogunemispunktid ongi defektse koha indikaatoriks. Seejärel uuritakse, mis sorti defektiga on tegemist. [9]

Magnetiliste osade inspeksiooniga on võimalik tuvastada ainult katkeid, mis on risti magnetväljaga. Kui mõra on magnetvälja lainetega paralleelne, ei toimu magnetvoo lekkimist ja magnetiliste osakeste kuhjumist. Tuvastamaks mõlema suunalisi defekte, peab kontrolli teostama kaks korda pöörates testseadet 90 kraadi. [9]



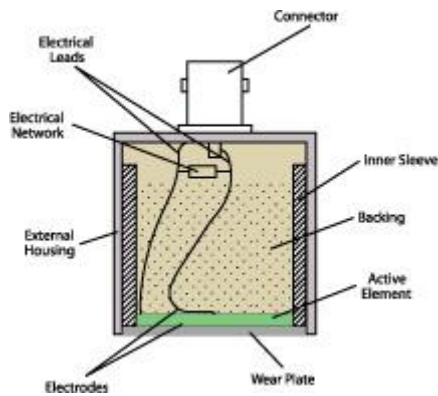
Joonis 4. Magnetvoo illustratsioon.

Hiljem on vaja testitud osad demagnetiseerida. Selleks kasutatakse vahelduvvoolu või alalisvooluga töötavaid demagnetiseerijaid. [10]

2.1.4 Ultraheli testimine

Enim kasutatud testimise viis peidetud mõrade, defektide, poorsuse ja teiste katkete tuvastamiseks materjalides - metall, komposiitmaterjal, plastik ja keraamika. Põhineb heli peegeldumise seadusel – kõrgsageduslikud helilained peegelduvad defektidel ettearvataval viisil tekitades erilisi kajamustreid, mida saab kuvada ja salvestada vastavate seadmetega. Ultraheli testimine on täielikult turvaline ja leidnud koha paljudes tootmis-, töötlemis- ja hooldusfirmades, eriti keevitus- ja materjalstruktuuri kvaliteeti nõudvates rakendustes. [11]

Lihtsalt öeldes on helilained korrapärased mehaanilised võnked, mis liiguvad läbi materjali (tahke, vedel või gaasiline). Nende lainete jõudmisel teise keskkonda peegelduvad või kanduvad need edasi lihtsate reeglite järgi. Kasutatakse sagedusega 500 kHz kuni 10 MHz helilaineid, igale materjalile leitakse sobivaim. Sagedused alates 1 MHz kanduvad õhus ebaefektiivselt edasi, seetõttu kasutatakse anduri ja testitava materjali vahel sideainet, nt geel, vedelik. [11]



Joonis 5. Tavalise heligeneraatori läbilõige.

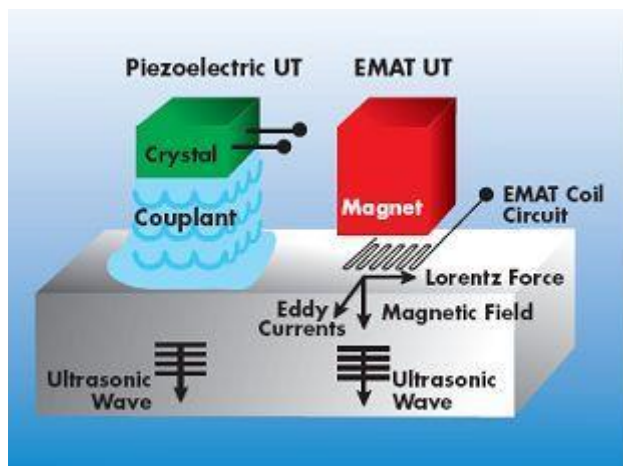
Tüüpiline anduri aktiivelement koosneb piezoelektrilisest keraamikast ja komposiitmaterjalist või polümeerist. Selle tööpõhimõte on sarnane kõlarile ja mikrofoni. Element hakkab vibreerima, kui seda ergutatakse kõrgepingelise elektriimpulsiga, tekitades konkreetse sageduste spektri. Element toodab elektriimpulsi, kui sellele mõjub sissetulev helilaine. Viis levinud ultraheli andurite tüüpi:

- Kontakt andur – nagu nimest võib järeldada kasutatakse neid otseses kontaktis testitava objektiga. Helilained levivad risti testitava pinnaga ning mõõdavad materjali paksust ja tuvastavad defekte, poorsust, mõrasid või kihtide eraldumist.
- Nurga kiire andur – andurile lisatakse plastikust või komposiidist alus, et lained tungiksid materjali vastava nurga all. Kasutatakse enamasti keevisõmbluste kontrolliks.
- Viivitusega andur - andurile lisatakse plastikust lainejuht või viivitusliin. Kasutatakse pinnakihtide uurimisel, resolutsiooni parandamiseks, ja kõrgetel temperatuuridel, kus viivitusliin kaitseb anduri elementi kuumuse eest.
- Immersioon andur – andurid on disainitud edastamiseks helilaineid läbi veejoo. Sobivad automatiseerimiseks ja kohtades, kus on vajalik parandatud resolutsioon.
- Dupleeritud elementidega andur – ühes korpuses on mitu elementi. Kasutatakse ebatasaste pindade testimiseks ja kohtades, kui on vajalik suur temperatuuri tolerant.

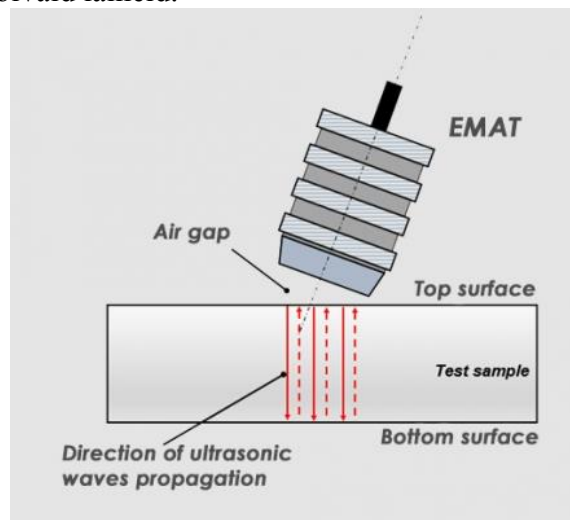
2.1.5 Elektromagnet akustiline andur (EMAT)

Elektromagnet akustiline testimine (edaspidi EMAT) on meetod, mis ei vaja otsest kontakti testitava objektiga ega ka vaheainet heli edasi kandmiseks, sest ultraheli genereeritakse otse detaili sees. Heli tekib materjalis, kus pole oluline anduri nurk detaili suhtes. Tänu nendele eelistele kasutatakse seda just seal, kus on vajalik testimise automatiseerimine: kuumas-, külmas-, puhtas- või kuivas keskkonnas. Samuti, kui teiste ultraheli testimis meetoditega, on võimalik ka EMAT'iga tuvastada materjali paksust, defekte ja omadusi.

EMAT andur koosneb kahest põhilisest komponendist - magnet ja elektrimähis. Magnet võib olla nii püsomagnet kui ka elektromagnet. See on ainuke sensor, mis suudab ilma detailiga kontaktis olemata saata ja vastu võtta materjali läbivaid laineid.



Joonis 7. EMAT ja piezoelektrilise testimise võrdlus.



Joonis 6. EMAT'it ei mõjuta väike nurk materjali suhtes.

Firma Saksamaal, Nordinkraft AG, kes tegeleb EMAT testsüsteemidega, oli lahkelt nõus testima saadetud näidisdetaile. Testimine osutus edukaks, kõiki defekte oli võimalik tuvastada, ja terved detailid läbisid testi ilma vigadeta. Vead on võimalik välja lugeda signaali spektrilt. Tervetel osadel oli 1,2 MHz ja 1,7 MHz kohal kõrged piigid. Defektsetel detailidel piigid puudusid või olid oluliselt väiksema amplituudiga.

2.1.6 Röntgen pildistamine (masinnägemine)

Röntgenkiirgus on elektromagnetilise radiatsiooni vorm, mille lainepikkus on 0,01 kuni 10 nanomeetrit ja vastavad sagedused $30 \cdot 10^{15}$ Hz kuni $30 \cdot 10^{18}$ Hz. Röntgen on nime saanud avastaja Wilhelm Röntgeni järgi. Hea läbistamisomaduste tõttu kasutatakse kiirgust, et näha objektide sisse. Kõige enam teatakse röntgeni kasutusvaldkondadest meditsiinilist pildistamist, lennujaamade pagasikontrolli ja nüüdsest otsitakse lennujaamade turvakontrollis röntgeni abil ka inimesi. [12]

Samuti, kui arsti juures kontrollitakse inimestel luumurdu, on võimalik tuvastada ka muudes detailides defekte ja mōrasid. Teoreetiliselt on võimalik testida kõiki tahkeid tasapinnalisi, sfäärilisi või silindrilisi materjale. Kasutatakse enamasti manuaalseks inspeksiooniks, kuid seadme esindaja sõnul on võimalus ka automatiseerimiseks. Automatiseerimine toimib pildi

analüüsimisel programmi poolt - masinnägemine. Programm kontrollib pildil määratud parameetreid, kontuure ja alasid, ning annab läbitud või mitteläbitud tulemuse.[13], [14]

2.2 Sobiv testmeetod

Tabel 1. Testmeetodite võrdlus.

Meetod	Eelised	Puudused	Sobivus tootja arvates
Pöörisvool	Kiire – võimalik testida detaili liikumise ajal Lihtne automatiseerida	Anduri kaugus on oluline, väikse detaili testimine raskendatud	Positiivne, võimalik testida
Akustiline Emissioon	Lihtne testseade	Väikse detaili ergutamise raskendatud	Negatiivne, pole võimalik. Testimisproovi ei teostatud
Magnetiliste osadega inspeksioon	Lihtne testseade	Vajab testimiseks lahust, automatiseerimine raskendatud	-
Ultraheli testimine	Lihtne automatiseerida	Kõrvalised helid võivad segada, vajalik vaheaine kasutus	Negatiivne. Testiproovi ei teostatud
Elektromagnet akustiline andur (EMAT)	Anduri kaugus ja asetus ei pea väga täpne olema	Detail peab testimise ajal olema paigal	Positiivne, võimalik testida
Röntgen pildistamine (masinnägemine)	Automatiseerida võrdlemise lihtne	Visuaalne kontroll, pildi võrdlemine, täpsus väike	Positiivne, võimalik testida

Võrdlusest paistis teiste seast positiivses valguses silma EMAT testmeetod, olles kõige sobivam automatiseerimiseks, töökindel ja vähenõudlik töökeskkonna suhtes.

3. TESTSEADE – EMATEST-EC

Nordinkraft AG poolt pakutav EMATEST-EC on suure kohaldatavusega, mis võimaldab seda paigaldada igale komponendi tootmisele.

Standardkomplektis on: [15]

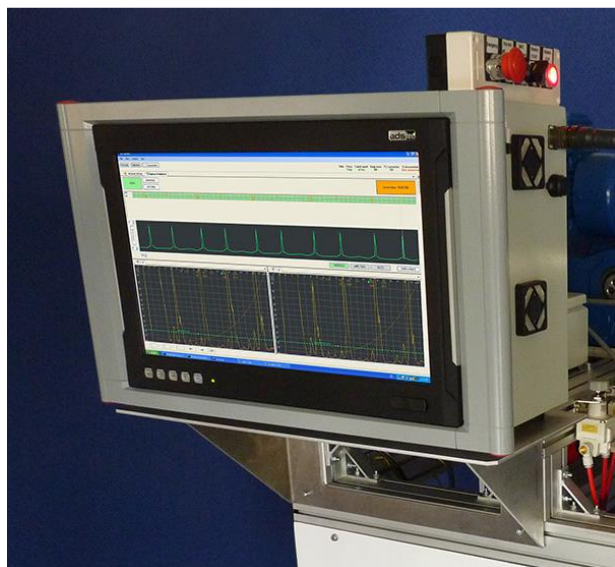
- Kontroller/test elektroonika
- Üks EMAT andur

Lisaks on võimalik tellida:

- Kinnitusraam
- Pöördlaud
- Andurihoidik
- Komponentide sorteerimise seade

3.1 Kontroller

Kontroller on mõeldud ultraheli signaalide genereerimiseks, vastuvõtmiseks, analüüsimiseks ja andmete visualiseerimiseks. Kõik elektroonika on koondatud ühte kompaktsesse korpusesse koos integreeritud arvuti ja TFT puutekraaniga. [15]



Joonis 8. Kontroller.

Tabel 2. Testsüsteemi põhilised parameetrid [15]

Parameeter	Väärtus
Operatsiooni meetod	Automaatne või manuaalne
Võimekus	Kuni 17 testi sekundis
Anduri sagedus	0,5 MHz - 6,0 MHz
Kanaleid	4
Kanalite sagedusvahemik	
	Kanal #1 0,5-1,0
	Kanal #1 1,0-2,0
	Kanal #1 2,0-3,5
	Kanal #1 3,5-5,5
Sorteerimise signaali viivitus	Mitte rohkem kui 0,7 sekundit
Toitepinge	220 V +/- 5%
Toitepinge sagedus	50 Hz +/- 2,5%
Voolutarve	Max. 1 kW

Test elektroonika sisaldab:

1. Signaali töötlemise osa:

- Reguleeritav võimendi (PR-8D) – 2 tk
- Voolu generaator/võimendi (GP-8D) – 1 tk
- Pingestabilisaator (PS-6P) – 1 tk
- Plaat (CBUS) – 1 tk
- Analoog – digitaal konverter ja signaali protsessori plaat (ADC-7) – 1 tk

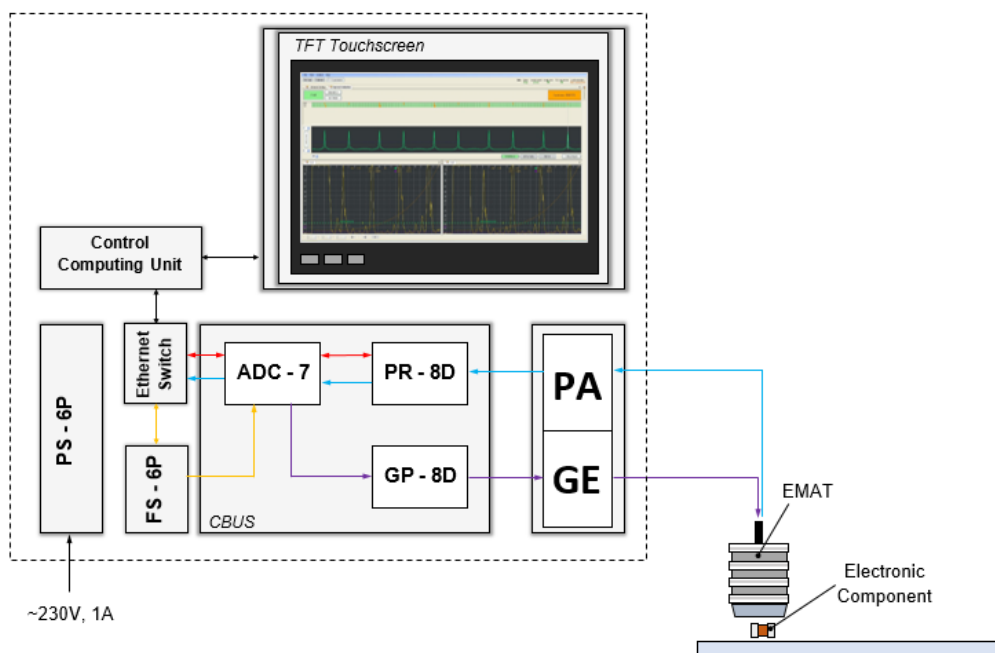
2. Genereerimise osa:

- Genereeriv plaat (Gen.40.8p) – 2 tk, mõlemad koosnevad:
 - Pulsi generaator (GA) – 2 tk
 - Signaali eelvõimendi (PA) – 2 tk

3. Sünkroonpulsside generaator (FS-6A) – 1 tk

4. Tööstuslik *Ethernet switch* -1 tk

5. Ühenduskaablid



Joonis 9. Tööpõhimõtte diagramm.

Kontrolli kompuuter edastab FS-6P üksust hetke operatsiooni algoritmiga. Vastavalt algoritmile genereerib FS-6P töötavate kanalite aadressid ja sünkroonimpulsid, mis omakorda edastatakse ADC-7 plaadile, et ühildada signaali töötlemise protsessi.

Elektroniliste seadmete kontrollseade on ADC-7 plaadi osa. See tekitab madalapingelised pulsud. Pulsud saadetakse GP-8D moodulisse ja peale võimendamist generaatorisse GA. Vastusena genereeritakse signaal andurisse. Ultrahelilained edastatakse testitavasse objekti.

Ultrahelilained peegelduvad defektidelt ja detaili seintelt ning püütakse kinni vastuvõtja poolt, mis asub samas anduris. Akustiline laine muundatakse nõrgaks elektriliseks signaaliks.

Signaal võimendatakse eelvõimendiga PA ja edastatakse võimendisse PR-8D. PR-8D võimsust kontrollitakse ADC-7 poolt iga kanali kohta eraldi.

Peale viimast võimendamist muundatakse signaal digitaalseks ja töödeldakse (ADC-7). Signaali töötlemine hõlmab digitaalset filtreerimist ja vajalike parameetrite hindamist. Andmed liiguvad ADC-7 –st läbi *Ethernet Switch*'i kontrolli kompuutrisse.

3.2 Andur

Andur on väga oluline osa süsteemist. See genereerib ja võtab vastu testimiseks vajalikke ultrahelilaineid. Saadetud lained levivad läbi materjali ja peegelduvad tagasi andurisse.

Põhilised anduri näitajad:

- Korpus on tehtud kõrge kvaliteediga roostevabast terasest. Tagades vastupidavuse roostele ja mehaanilistele vigastustele.
- Anduri tööpind on kaitstud plastiku või keraamikaga, mis kaitseb andurit ja pikendab selle eluiga.
- Topelt varjustusega elastne kaabel tagab madala müra.

Tabel 3. Anduri parameetrid.

Parameeter	Väärtus
Möödud	40 mm läbimõõt, 55 mm kõrgus
Kaal	178 g
Poolide arv	1
Kanalite arv	1
Pooli aktiivse osa suurus	2 mm x 8 mm
Ultrahelilainete tüüp	<i>share wave</i>
Ultrahelilainete suund	Pinna normaal
Nominaalne sagedus	4 MHz kuni 7 MHz

4. SORTTEERIMISE MEHAANIKA

Sorteerimiseks on plaanis koosteliinile paigaldada veel üks vibrokauss, mis hakkab detaile ette andma. Seejärel liiguvad vabastusvardad mööda lineaarrenni testtrakisesse, kus neid ükshaaval testseadme poolt kontrollitakse. Peale testrakist suunatakse detailid vastavalt staatusele. Korras detailid liiguvad mööda renni edasi juba koosteliinil olevasse vibrokaussi. Defektsed detailid suunatakse siibri abil kõrvale ja kukutatakse praagikasti.

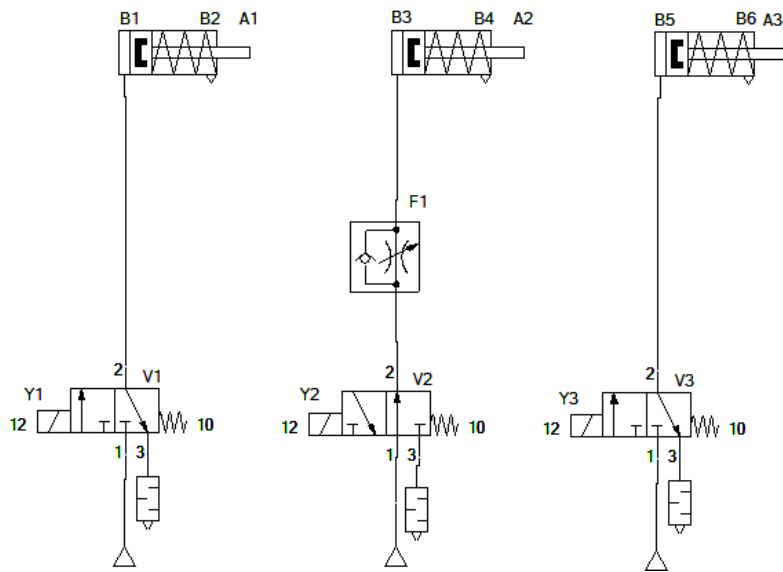
4.1 Vibrokauss

Vibrokausi eesmärk on ära teha automaatselt töö, mida manuaalselt teeks operaator. Kaussi kallatakse detailid, mis hakkavad kausi vibreerimise toimetel, mööda selle seinal olevat spiraali, reas edasi liikuma. Automaatliinidel on üldiselt vajalik ebasümmeetriliste koostedetailide õige orientatsiooni tagamine, mida on võimalik tagada kavala vibrokausi projekteerimisega. Nende projekteerimistega tegelevad spetsialiseerunud firmad. Vabastusvarras ei ole sümmeetriline, aga valitud testmeetodi jaoks pole oluline, mis suunaga või milline pikisuuna külge on anduri poole. Antud lahenduse jaoks on oluline, et detail liiguks pikki suunal testtrakiseni, selle tagab spiraali astme laius ja ava suurus. Lõpuks jõuavad detailid järjest kausi ülemises ääres asuvasse avasse, kus need vastavalt rakendusele edasi liiguvad.

AS Normas on kohapeal erinevaid vibrokausse, nende juurde hankimine ei ole vajalik. Seal leitakse vajaliku suurusega kauss. Sorteerimismasina mudel saadi tootja kodulehelt. [15]

4.2 Lineaarrenn, testtrakis ja detaili suunaja

Lineaarrenni projekteerimisel lähtuti vabastusvarda mõõtmetest ja vajalikkusest detaile testimise hetkeks anduri alla seisma saada. Testtrakis on ühildatud lineaarrenniga. Detailide kontrollitud liikumiseks kasutatakse pneumosilindreid [16], mis toimivad stopperitena. Kolmandaks on vaja defektsed vabastusvardaid suunata kõrvale, praagikasti. Selleks lisati rennile lahknevus ja suunamiseks siiber. Kui EMAT andur tuvastab praagi, liigutatakse siibrit, mis suunab detaili kõrvale renni, mille lõpus on praagikast. Siibri liigutamiseks on pneumosilinder, millel on positsiooni tuvastamiseks magnetsisu. [17]



Joonis 10 Pneumaatika skeem.

5. SORTEERIMISE JUHTIMINE

Sorteerimismasina juhtimine teostatakse induksioonandurite, silindritel olevate andurite ja testseadme signaalide järgi. Võimalusel kasutatakse testseadme võimekust töötada kontrollarina, vajadusel lisatakse süsteemile eraldiseisev kontrollar.

Vibrokauss edastab detailid lineaarrenni kaudu testseadmele, kuid seda pole mõistlik kogu aeg töös hoida. Põhjuseks on tekitatav müra ja tühi energiakulu. Lineaarrenni täitumisel ja tühjenemisel, sisse-välja lülitamise juhtimiseks, tuleb paigaldada kaks induksioonandurit:

- Üks anduritest tuvastab renni täituvust ja annab signaali vibrokausi väljalülitamiseks.
- Teine andur tuvastab tühjenemist ja lülitab vibrokausi uuesti sisse, et rennil detailid otsa ei lõppeks.

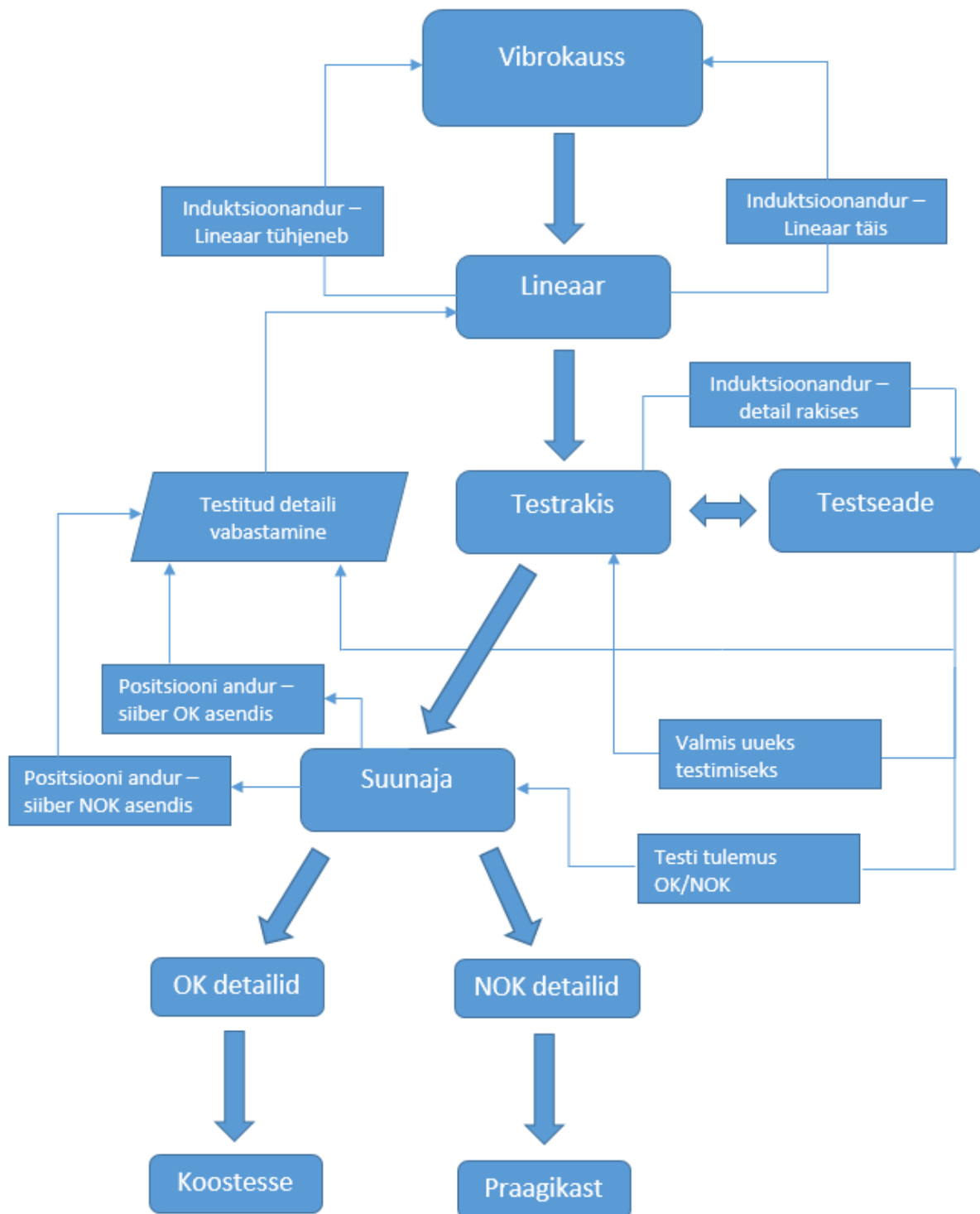
Vabastusvarda testimiseks peab detail hetkeks seisma jääma (teoreetiline ajakulu minimaalselt 0,7 sekundit). Peatamiseks on rennil stopper, mida liigutatakse pneumaatiliste silindriga. Peale testseadmelt saadud signaali, juhul kui eelmine testitud vabastusvarras on lõppandurist läbi liikunud, lastakse detail edasi liikuma. Selleks, et järgnev detail kohe edasi ei liiguks, hoitakse seda teise pneumaatilise silindriga kinni, seni kui stopper uuesti kinnises asendis on. Lõppandur tagab, et testitud detail jõuab ettenähtud sihtpunkti. Peatamiseks vajalike pneumaatiliste silindrite juhtimiseks kasutatakse induksioonandurite ja testseadme signaale. Induksioonandurid asetsevad:

- Testrakises – tuvastatakse, et detail on rakises
- Praagirenni otsas – praakdetaili lõppandur
- Pearenni otsas – OK detaili lõppandur

Pneumaatiliste silindrite õhutoite juhtimiseks kasutatakse solenoidklappe.

Sorteerimise siiber saab signaali testkontrollerilt. Sorteerimisluuki juhitakse pneumaatilise silindri jaoks mõeldud solenoidklapiga. Silindril kasutatakse positsiooni andureid, et enne detaili vabastamist testrakisest saaks kontrollida positsiooni õigsust.

5.1 Voodiagramm



Joonis 11. Voodiagramm.

KOKKUVÕTE

Bakalaureusetöö teema on pakutud Norma AS poolt ja teostatud Priit Põdra juhendamisel. Töö eesmärgiks on leida lahendus firma koosteliinil tähtsate detailide kindla kvaliteedi tagamiseks.

Töö alguses sai selgeks, et parema kvaliteedi kindlustamiseks tuleks kasutada mittepurustavat testimismeetodit. Selleks uuriti põhjalikult meetodite eeliseid ja puuduseid ning suheldi lisainfo saamiseks erinevate firmade esindajatega. Asutustele saadeti näidised, millega saadi testida pakutavate seadmete sobivust. Kõik firmad, kes olid nõus detaili testimiseks, saatsid vastuse, kas raportina või vabas vormis e-mailina. Katsetatud meetoditega oli võimalik tuvastada praakdetalle.

Järgnevalt uuriti meetodeid põhjalikumalt ja valiti välja parim testimeetod, mis vastas nõudmistele ja mille kasutuskindlus, lihtsus ja mugavus olid parimad. Kirjeldati testseadet ja andurit, ning seadme eripärasid, võimalusi, tööpõhimõtet ja ehitust.

Projekteerimistöö etapil koostati sorteerimismasina tööpõhimõtte kirjeldus, mehaanikamudel ja pneumaatika skeem. Mudeli koostamiseks kasutati *Solidworks* tarkvara. Pneumaatika joonise koostamiseks *SMC Draw*. Kasutatud komponentide mudelid pärinevad tootjate kodulehtedelt.

Lõputöös käsitletud materjali koondamiseks tehtud töö põhjal on võimalik koostada firmale sobiv testseade, mis sordib välja praakdetailid. Seadme kasutamisega vähendatakse inimfaktorist tingitud vigade riske ja tagatakse suurem töökindlus koostatud tootele. Firmale on tähtis kliendi rahulolu, mis on otseselt seotud koostatud toodete töökindluse ja kvaliteediga.

SUMMARY

Bachelor's Thesis is offered by AS Norma and executed under the guidance of Priit Põdra. The aim of the work is to find a solution for assembly line to ensure the quality of important assembly parts.

At the beginning of the work, it became clear that non-destructive testing ensures the needed quality. The advantages and disadvantages of these methods were thoroughly examined and representatives of various companies were contacted in order to get more information. Samples were sent to them, to be tested in these test systems. All the firms, who were willing to test the component, sent a reply in the form of either a report or an e-mail. All tested techniques were able to detect defective parts.

The next step was to analyse the methods more profoundly and the best test method, which has all the specifications needed (user-friendly, simple and comfortable to use), was selected. Description of the device and the sensor device - features, options, working principles and construction – was given.

Specification of the sorting machine's working principles, mechanics' model and pneumatics' schematic were developed in the engineering phase of the work. The model and pneumatics scheme were created using SolidWorks and SMC Draw software respectively. Used components' models came from the manufacturers' websites.

According to this paper it is possible to assemble the appropriate test device for the company for sorting out defective details. Using this device can lower risks caused by human error and can ensure better reliability of manufactured product. Customer satisfaction, which is directly related to the reliability and quality of the products, has great importance for the company.

KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] „Operating Flow,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://www.sinteris.com/defaultxhtml/section_production-process/qs_operating-flow/operating_flow.html. [Kasutatud 1. mai 2015].
- [2] P. P. Peetsalu ja T. Mürk, „Releasing Arm PN6003128008 Analysis,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2015.
- [3] „Destructive testing,“ [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Destructive_testing. [Kasutatud 1. mai 2015].
- [4] „Nondestructive testing,“ Wikipedia, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Nondestructive_testing. [Kasutatud 5. mai 2015].
- [5] T. Nelligan ja C. Calderwood, „Introduction to Eddy Current Testing,“ Olympus, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.olympus-ims.com/en/eddycurrenttesting/>. [Kasutatud 15 mai 2015].
- [6] V. Gross, „Eddy current test video,“ UAB VEGASTEL, Mazeikiai, 2015.
- [7] R. Ehrlinger, „Crack detection at releasing arm,“ FGB: Fertigungsgerätebau A. Steinbach GmbH & Co. KG, Germany, 2015.
- [8] „Introduction to Acoustic Emission Testing,“ NDT resource center, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.nde-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Other%20Methods/AE/AE_Intro.htm. [Kasutatud 15. 5 2015].
- [9] „Magnetic Particle Examination,“ [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.nationalboard.org/index.aspx?pageID=164&ID=377>. [Kasutatud 16. 5 2015].
- [10] „Magnetic particle inspection,“ Wikipedia, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Magnetic_particle_inspection. [Kasutatud 16. 5 2015].
- [11] T. Nelligan, „Ultrasonic Flaw Detection,“ Olympus, [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.olympus-ims.com/en/applications-and-solutions/introductory-ultrasonics/introduction-flaw-detection/>. [Kasutatud 16 mai 2015].
- [12] „X-ray,“ Wikipedia, [Võrgumaterjal]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/X-ray>. [Kasutatud 16 mai 15].
- [13] „Industrial radiography,“ Wikipedia, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Industrial_radiography. [Kasutatud 16. mai 2015].
- [14] „Machine vision,“ Wikipedia, [Võrgumaterjal]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Machine_vision. [Kasutatud 16. mai 2015].
- [15] „EMATEST-EC,“ Nordinkraft AG, Heimsheim, 2014.
- [16] „Feeding components,“ afag, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.afag.com/en/products/komponenten.html>. [Kasutatud 17. mai 2015].
- [17] „Round cylinder EG-4-5-PK-2,“ Festo, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.festo.com/cat/et_ee/products_EG_PK. [Kasutatud 17. mai 2015].
- [18] „Round cylinders ESNU, ESNU-8-10-P-A,“ Festo, [Võrgumaterjal]. Available: http://www.festo.com/cat/et_ee/products_ESNU. [Kasutatud 17. mai 2015].

LISAD

L1. Lõik Tallinna Tehnikaülikooli Testraportist

Customer: AS Norma

Requested task: Releasing arm failure analysis

Specimens and materials: Broken releasing arm in assembly (Annex 1)

Date of receipt and testing:

Date of specimen receipt: 9 February 2015

Date of testing: 9 February 2015 – 13 February 2015

Testing methods:

Visual examination

Stereomicroscope Discovery V20

SEM and EDS analysis

Testing conditions:

Temperature 21 °C

Analysis results:

Received sample analysis is based on fracture surface analysis. Main focus of the study is to understand why releasing arm were broken.

Annex 2 shows optical microscope and SEM photo of the fracture surface. Corner 1 and 2 of the part are zinc coated up to the red dotted line (Annex 2). EDS analysis of the Zn coating is showed Annex 5 spectrum 3. Corners are magnified at Annex 3. Grey area at SEM photo figure 4 is corroded or etched area. EDS analysis is shown Annex 5 spectrum 5. Sample is Area 1 figure 4 and it is magnified Annex 3 figure 7. No ductile failures (sintering neck) were found at this area. Black areas at SEM photo (Annex 2 figure 4) are carbon based organic. EDS analysis of the black area is Annex 5 spectrum 1. Zn coated, grey area and black area were open before final failure. These areas were not able to take force.

White area samples in Annex 2 figure 4 are showed area 2, 3 and 4. Annex 3 figure 8 is deformed particles that were deformed after final failure. Annex 4 is showed ductile failure areas (sintering necking). Ductile fracture areas were together after zn coating and these areas can take force. Annex 5 spectrum 2 and 4 are EDS analysis of these areas.

Conclusion

1. Investigated releasing arm had defect before final failure
2. Part was not complete broken and for final failure was necessary to apply some force.

L2. Lõik Nordinkraft AG testraportist – EMAT testing



L3. Seadme CAD mudel

