TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Modernit tuotantojärjestelmät

Tutkintotyö

Mikko Huiku

KEINUVIPUVALMISTUKSEN KAPASITEETIN LISÄÄMINEN

Työn ohjaaja DI Arto Jokihaara

Työn teettäjä Sisu-Diesel Oy, valvojana Ins. Mika Mattila

Tampere 2005

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät
Huiku, Mikko
Keinuvipuvalmistuksen kapasiteetin lisääminen
Tutkintotyö 42 sivua + 4 liitesivua
Työn ohjaaja DI Arto Jokihaara
Työn teettäjä Sisu-Diesel Oy, valvojana Ins. Mika Mattila
Maaliskuu 2005
Hakusanat keinuvipu, koneistaminen, tehdasautomaatio, robotti

TIIVISTELMÄ

Työn kohteena oleva Sisu-Diesel Oy:n keinuvipuvalmistus on toistaiseksi pystynyt vastaamaan tuotantovaateeseen. Tuotantokoneet ovat kuitenkin yli 20 vuotta vanhoja ja kovassa käytössä kuluneita. Käyttövarmuuden heikkeneminen on ollut ilmeistä usean vuoden ajan, pitkiä seisokkeja on ollut yksi tai kaksi vuodessa. Yhdessä materiaalitoimitusten epävarmuuden kanssa tahtiaikansa puolesta nopean koneen epävarmuus ja vanhanaikaisuus pakottaa etsimään uusia ratkaisuja tuotantoon. Tärkeimpinä ominaisuuksina ovat käyttövarmuus ja laaduntuottokyky.

Valmistuksen osista keskitytään eritoten viimeistelyyn. Viimeistelyyn esitetään kaksi periaatteeltaan erilaista ratkaisua. Vipujen koneistaminen on todettu olevan kannattavinta talon sisällä, koneistuskeskuksella. Menetelmästä on alihankkijalla kokemusta, jota myös tulevassa valmistuksessa aiotaan hyödyntää. Koneistuksesta esitetään kaksi vaihtoehtoa. Ratkaisuvaihtoehdoista esitellään periaate, kapasiteettilaskelma, laitteiden sijoitus ja tilatarpeet sekä komponenttien kustannusarvio vertailun helpottamiseksi.

Vaihtoehdot jakautuivat selkeästi rakenteeltaan haastavampiin ja erikoistuneempiin, sekä valmiimpiin ja yleisempiin ratkaisuihin. Tahtiajaltaan nopeammissa vaihtoehdoissa korostui suunnittelutyön tarve ja kauan kestävä käyttöönotto.

TAMPERE POLYTECHNIK
Mechanical and Production Engineering
Modern Production Systems
Huiku, Mikko Increasing the capacity of rocker arm production
Engineering Thesis 42 pages, 4 appendices
Thesis Supervisor Arto Jokihaara (MSc)
Commissioning Company Sisu-Diesel Oy. Supervisor: Mika Mattila (BSc)
March 2005
Keywords rocker arm, machining, factory automation, robot

ABSTRACT

The rocker arm production of Sisu-Diesel Oy discussed in this work has so far been able to keep up to requirements. However the machinery is over 20 years old and worn in constant use. The decreasing reliability has been observed over several years. There has been at least one longer stop in production in each year. In addition the unreliable material deliveries have worsened the situation. These circumstances have forced to renew the system, with reliability and quality as main properties.

The focus of this work is in finishing. Two solutions with different working principles are presented. The machining of rocker arms has already been determined to be most efficient in house with machining centre. Sub-contractor has cumulated experience in machining rocker arms with this method and that knowledge is available to Sisu-Diesel. Two solutions are presented for machining. Following details are presented from all options: principle, capacity, simple lay-out and some approximation of component costs for easier comparing of systems.

Options are clearly divided into two classes. The first is faster specialised and more challenging mechanically. The other is basic and more readily available as a complete system. Faster systems with short thru-put times require more engineering of unique parts and long start-up time.

ALKUSANAT

Sisu-Diesel Oyj, Nokian Linnavuoressa, valmistaa dieselmoottoreita mm. työkoneisiin, generaattoreihin ja eritoten Valtra-traktoreihin. Vaihteistoja ja niihin hammasrattaita valmistetaan pienempiä määriä esimerkiksi moottorikelkkoihin. Yrityksen emokonsernin omistus on siirtynyt ja uuden omistajan myötä tulevaisuuden näkymät muuttuneet. Uuden omistajan tavoitteisiin kuuluu mm. käyttää omia moottoreita konsernin traktorimerkeissä. Uudella toimintaperiaatteella saavutetaan suurempi joustavuus verrattuna ulkoisiin suuriin moottorivalmistajiin nähden. Nämä tavoitteet kasvattavat Sisu-Dieselin markkinoita merkittävästi ja lisäävät tuotantojärjestelmän vaatimuksia. Kapasiteettia pyritään nostamaan automatisointi- ja tuotantokoneinvestoinnein, henkilöstöä lisätään projektien valmistuessa. Enimmillään moottoreita on valmistettu noin 27 000 vuodessa, nykyisellään vaatimus kasvaa yli 30 000 moottoriin vuodessa.

Tampereella 25. huhtikuuta 2005

Mikko Huiku

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ 2
ABSTRACT 3
ALKUSANAT 4
SISÄLLYSLUETTELO 5
1 JOHDANTO 6
2 LYHYESTI TUOTTEISTA 6
3 KEINUVIPU 6
4 VALMISTUS 8
4.1 Tulevaisuuden vaatimukset 8
4.2 Nykytilanne 8
5 UUDISTAMISEN LÄHTÖKOHDAT 9
5.1 Koneistus 9
5.2 Viimeistely 13
6 KEHITYSRATKAISUJEN ESITTELY 15
6.1 Työstökone vaihtoehdot 16
6.1.1 Pystykarainen koneistuskeskus 18
6.1.2 Vaakakarainen koneistuskeskus 21
6.2 Viimeistely 22
6.2.1 Joustava robottisolu 22
6.2.2 Nopea linja 24
6.3 Viimeistelyn työvaiheista 27
6.3.1 Induktiokarkaisu 27
6.3.2 Kokoonpano 28
6.3.3 Hionta 29
6.4 Syöttölaitteet 30
6.5 Robotit 31
6.6 Kiinnittimet 33
6.7 Järjestelmän sijoitus 34
7 VANHAN KONEEN MODERNISOINTI 35
8 KUSTANNUSVERTAILU 36
8.1 Pystykarainen koneistuskeskus 37
8.2 Vaakakarainen koneistuskeskus 37
8.3 Robottiviimeistely 38
8.4 Linjaviimeistely 38
9 YHTEENVETO 39
LÄHDELUETTELO 40
LIITTEET 42

1 JOHDANTO

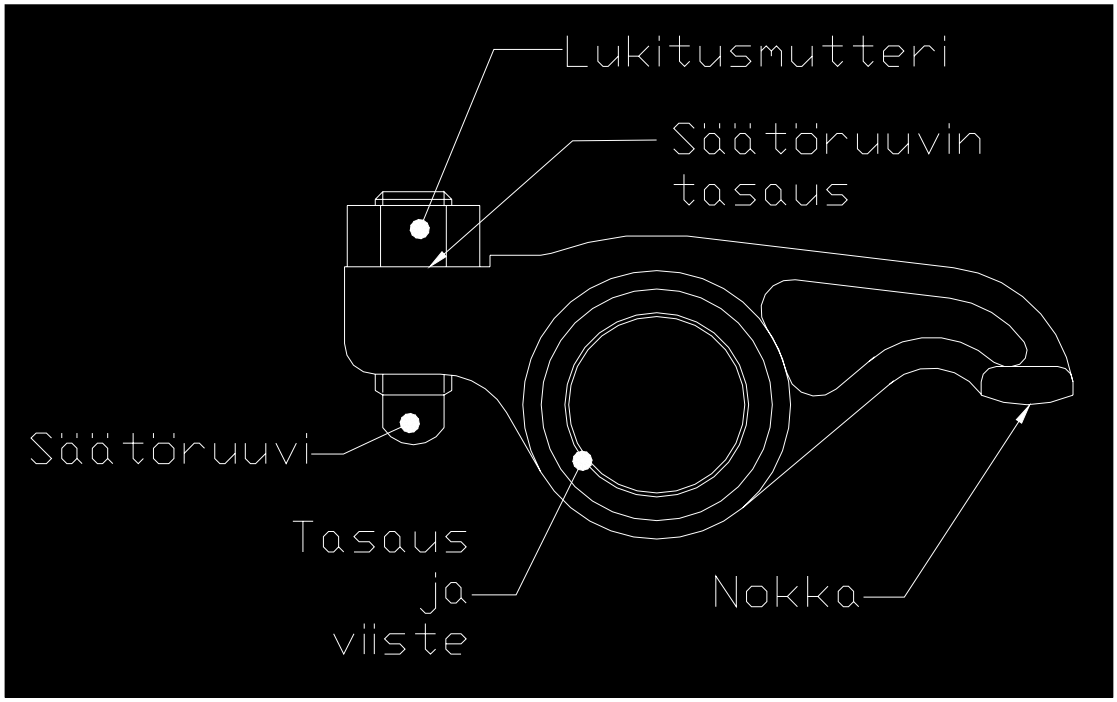
Tehtävänä on valmistuskapasiteetin lisäämisen suunnittelu ja arviointi. Työtä aloittaessa syksyllä 2004 ei ollut olemassa mitään alustavaa suunnitelmaa. Työn aihealue on erittäin laaja sisältäen kokonaisen tuotantolinjan. Jotta ongelmaa voidaan järkevästi ryhtyä ratkaisemaan, toteutusmahdollisuuksia on rajoitettu ja keskitytty vertailemaan ennalta sovittuja menetelmiä. Varsinaista järjestelmän suunnittelua ei ole ryhdytty tekemään. Tuotannon kahdesta vaiheesta on esitetty kaksi eri vaihtoehtoa. Järjestelmät eroavat kapasiteetiltaan, toteuttamiskustannuksiltaan ja suunnittelun vaativuudeltaan. Eri vaihtoehdoista kuvataan toimintaperiaate ja arvioidaan kapasiteettia ja kustannuksia.

2 LYHYESTI TUOTTEISTA

Sisu-Dieselit ovat tyypillisiä nopeakäyntisiä dieselmoottoreita. Teho vaihtoehtoja on 66 kW:sta 400:aan, iskutilavuudet 4,4 l:sta 8,4:ään ja sylintereitä 3–6. Venttiilikoneisto, rakenteeltaan työn kannalta oleellinen, on työntötanko–tyyppinen. Puhutaan myös työntötankomoottoreista. Toimintaperiaatteeltaan Sisu-Dieselit ovat nelitahtisia puristussytytysmäntämoottoreita. Toiminta perustuu polttoaineeseen sitoutuneen kemiallisen energian vapauttamiseen. Energia vapautuu palamisreaktiossa lämpönä, joka pakottaa reaktiotuotteina syntyvät kaasumaiset aineet kasvattamaan tilavuuttaan. Tilavuuden kasvusta saadaan mäntäkoneistolla mekaanista energiaa.

3 KEINUVIPU

Materiaali on DIN standardin C55 mukaista terästä. Edellä on kuvattu valmiin moottorin toiminnan keskeiset vaiheet. Venttiilien toimintaa ohjataan nokka-akselilla, johon on koneistettu epäkeskeisiä osuuksia. Epäkeskoja seuraa nostaja, joka noustessaan epäkeskon huipulle työntää työntötankoa. Työntötangon päässä oleva kuppi pitää tangon keinuvivun säätöruuvin alla. Akselin ympäri laakeroitu keinuvipu kääntää liikkeen suunnan kansiventtiilirakenteelle sopivaksi. Kuvassa 1 on keinuvipu yksityiskohtineen ja kuvassa 2 valmiita keinuvipuja.



Kuva 1 Keinuvipu sivulta

Kuva 2 Valmiita vipuja

4 VALMISTUS

4.1 Tulevaisuuden vaatimukset

Valmistusmäärän kasvu edellyttää keinuvipujen tuotannon lisäämistä vanhan viputyypin osalta. Vaatimuksia lisää uuden neliventtiilitekniikkaan perustuvan moottorityypin käyttämät kaksi erityyppistä keinuvipua. Uudet moottorimallit tulevat vähitellen omaan tuotantoon, resurssien kehittyessä ja kysynnän lisääntyessä. Tilannetta helpottaa vanhojen mallien menekin vähentyminen. Siirtymäaika kuormittaa kuitenkin raskaasti. Vuonna 2004 osa neliventtiilimoottorien komponenteista teetettiin alihankkijoilla. Valmistajia tutkittaessa on todettu, että maailman markkinoille, suhteellisen pienen vuositarpeen teettäminen tilaustyönä on erittäin kallista. Ulkoistetun tuotannon rinnalle tarvitaan vaihtoehto.

4.2 Nykytilanne

Vipuja valmistetaan vuonna 1982 Linnavuoressa rakennetulla ja käyttöönotetulla kaksiosaisella koneella. Kone jakautuu koneistus- ja viimeistelyosiin. Nykyistä viputyyppiä valmistettiin 250 000 kappaletta vuonna 2003 ja tarve lisääntyy vielä tulevina vuosina. Tahtiaika hitaammassa koneistuksessa on 40 sekuntia ja viimeistely kestää 25 sekuntia. Nelivuorolla tehdään 7200 tuntia vuodessa ja lisäksi tehdään useasti ylitöitä. Vuonna 2004 oli huoltoseisokki ja yksi suurempi konerikko karkaisussa.

Tarkasteltaessa vipukoneen tahtiaikaa, tehtyjä tunteja ja käytännössä saatua tuottoa, huomataan suuri ero käytännön ja laskennallisen kapasiteetin välillä (esimerkki 2). Käyttöaste on koneen ja materiaalitoimitusten häiriöiden takia ollut 30–40 % (esimerkki 1). Muutamia kokeiluja tahtiajan lyhentämiseksi on tehty, mutta niistä tehtyjä raportteja ei ole tiedossa. Akseliporauksen muutos kolmesta kaksivaiheiseksi, pelkkä poraus ja kalvinta ilman avarrusta, lyhentäisi tahtiaikaa noin 10 sekuntia. Onneksi muutamia tärkeitä yksityiskohtia on säilynyt perimätietona. Koneella tehdään nelivuorossa 600 kappaleen erä kerrallaan. Enemmän pystyttäisiin tekemään, mutta pikku viat ja häiriöt rajoittavat käytännöllisen määrän noin 600 kappaleeseen 12 tunnissa. Kiireiset viime vuodet on selvitty pitämällä suurta välivarastoa, seuraavan

seisokin tai materiaalipulan varalle. Ylitöitä on välillä jouduttu tekemään varmuuden vuoksi.

Käyttöaste saadaan kaavasta:

Käyttöaste = *Vuoden käyntiaika* / *Koko vuoden työaika* * 100 % (1)

Esimerkki 1 Vipukoneen käyttöaste vuonna 2003.

250 000 kpl * 40 s/kpl / 60 s / 60 min / 7200 h * 100 % = 38,6 %

Esimerkki 2 Laskennallinen kapasiteetti 70 % käyttöasteella.

7200 h * 60 min * 60 s * 0,7 / 40 s/kpl = 453600 kpl

Viat ja korjaukset sekä niihin kulunut aika kirjataan konekirjaan. Konekirjasta työnjohtaja kirjaa tiedot omaan tietokantaansa ja edelleen valvontajärjestelmään. Solun työnjohtaja pitää yllä tietokantaa viikoittain. Osa huomion arvoisia yksityiskohtia uuden järjestelmän suunnittelussa, on havaittu seuraamalla koneen käytännön toimintaa. Varsinaista valmista konekohtaista analyysiä kunnosta ja toiminnasta ei ole tiedossa. Kattavan raportin puuttuminen vipuvalmistuksen kunnosta ja mahdollisuuksista on osittain haitannut koneen asianmukaista huoltoa ja korjauksia. Raaka-ainetoimitusten ongelmat taas ovat tehneet kunnollisen ja säännöllisen huolto- ja korjausohjelman suunnittelemisen lähes mahdottomaksi. Viimeisenä haittana valmistuksen kehitysprojektia joudutaan tätä kirjoittaessa kiirehtimään. /9, 10/

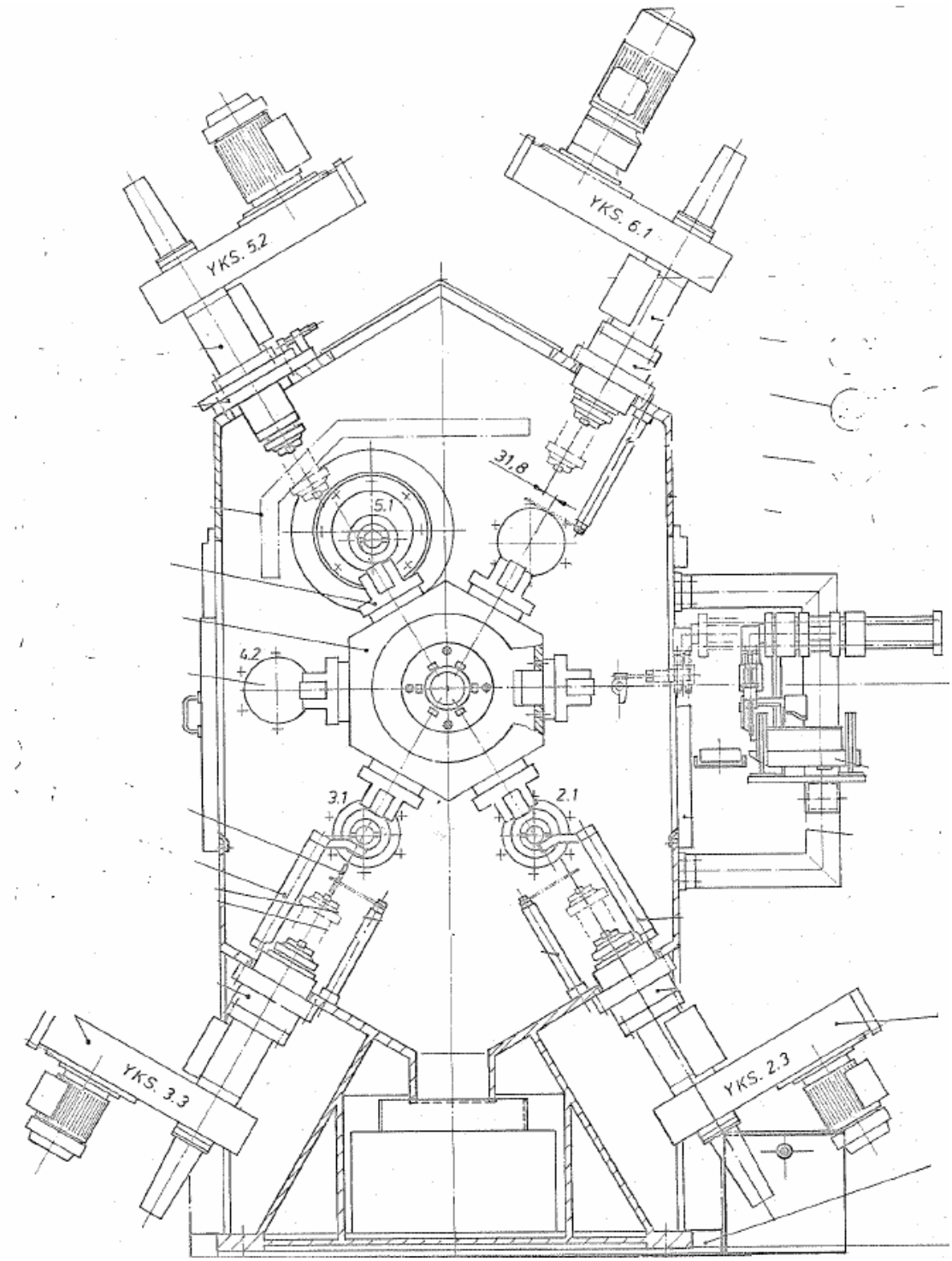
5 UUDISTAMISEN LÄHTÖKOHDAT

5.1 Koneistus

Vipukone koostuu koneistus- ja viimeistely-yksiköstä (kuva 4). Takeeseen koneistetaan akselin poraus, säätöruuvin poraus kierteellä ja jyrsitään venttiilinpään painonokan säde(kuva 1). Koneistetut kappaleet kulkevat täryhiomasäiliön läpi. Keinuvipujen nokat induktiokarkaistaan nopean kulumisen estämiseksi ja säätöruuvi

lukitusmuttereineen asennetaan. Runko on työstökoneelle poikkeuksellisesti hitsattua teräslevyä. Seuraavissa luvuissa kuvataan koneen päivittäistä toimintaa ja tuotosta.

Koneistusyksikön ytimenä on kuuden kiinnittimen kääntöpöytä, jonka leukapareihin hydraulinen manipulaattori asettaa takeet (kuva 3). Takeita syötetään 50 kappaleen erissä vaihdettavilla kourumakasiineilla. Latauksen jälkeen sähkömoottori kääntää pöytää ja paineilmatoiminen asemointitappi varmistaa oikean asennon. Kääntöpalapora työstää avausporauksen ja vastapuolella oleva pikateräksinen avarrin suurentaa läpimitan viimeisteltäväksi. Porauksen aikana pikateräksinen otsajyrsin tekee tasauksen lukitusmutterille. Seuraavassa kiinnittimessä olevaan takeeseen työstetään tasaukset ja viisteet akselin porauksen päihin. Kolmannessa vaiheessa kalvin viimeistelee porauksen. Neljäs yksikköpari tekee porrasporalla säätöruuvin reiän viisteellä ja jyrsii nokan säteen monileikkuujyrsimen vaippapinnalla. Viimeisenä ennen latausta on kierretappi.



Kuva 3 Halkileikkaus koneistusosasta, keskellä oleva kuusikulmio on kääntöpöytä, kiertosuunta myötäpäivään. /5/

Kuvassa numeroidut yksiköt ovat:

2.1 Avauspora

2.3 Otsajyrsin lukitusmutterin tasaukselle

3.1 Tasaus ja viistejyrsin

3.3 Öljykanavan pora (ei yleisesti käytössä, tarpeellisuutta harkitaan)

4.2 Kalvin

5.1 Monileikkuujyrsin nokalle

5.2 Porraspora säätöruuvin poraukselle

6.1 Kierretappi säätöruuvin poraukselle

Kuva 4 Koneistusosa sivulta, vastakkaisesta suunnasta kuin kuvassa kolme. Monileikkuujyrsinyksikkö keskellä, porraspora oikealla ylhäällä.

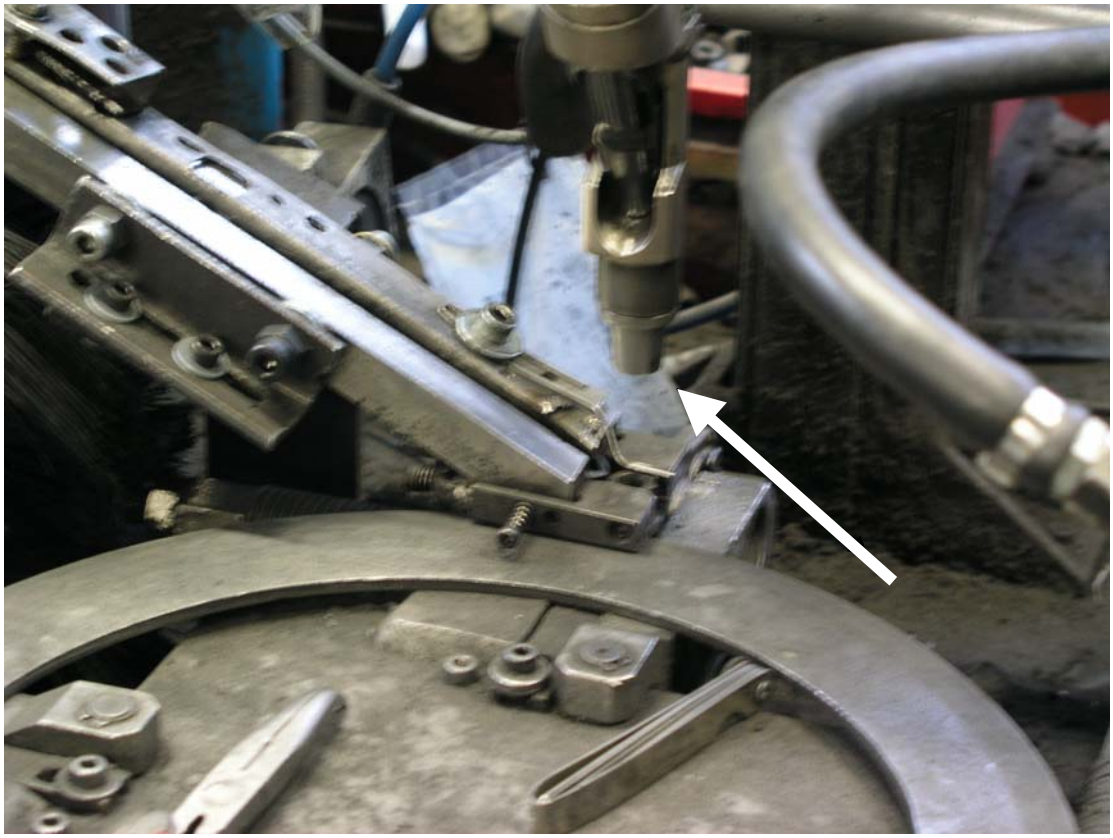
Koneistuksen vakavin laatuongelma on nokan säteen suuruus teroitetuilla jyrsimillä. Jyrsinyksikkö on nykyisellään toleranssin ylärajalla ja käytettäessä teroitettuja työkaluja säteestä tulee liian suuri. Toistaiseksi toleranssin ylitys on ollut hyväksyttävissä, mutta se on laatuperiaatetta vastaan. Pelkkien uusien jyrsimien käyttöön ei ole ryhdytty, kustannussyistä. Säteen suuruuden vaikutuksista ei ole tehty tarkkoja tutkimuksia. Periaatteessa suuri säde ei sovi venttiilikoneiston suunniteltuun geometriaan ja aiheuttaa ylimääräistä kulumista. Vaikutus on kuitenkin vähäinen, yleensä keinuvivut ja venttiilikoneisto kestävät koko moottorin taloudellisen

käyttöiän. Syöttölaitteissa esiintyy joskus ongelmia, kuten vivun putoaminen poistokourun siirtäjästä. Pudonnut vipu estää siirtäjän pääsyn aloitus asemaan ja estää uuden työkierron alkamisen.

5.2 Viimeistely

Viimeistelykoneessa on 90 asteen askelein kääntyvä neljän kiinnittimen pöytä. Jokaisessa kiinnittimessä on aina vipu. Vipu asettuu leukoihin pneumaattisella manipulaattorilla. Manipulaattori on yksinkertainen ja toimiva, mutta kulunut. Väljyys aiheuttaa kappaleiden putoamisia tarttujasta ja muita syöttöhäiriöitä. Latauksen jälkeen on induktiokarkaisu. Sammutus on vedellä, jonka jälkeen päästetään pienemmällä virralla. Karkaisu- ja päästövirran suuruudet ja lämmön leviämistä vivussa rajoittava yläjäähdytysveden syöttö säädetään siten, että kovuus on 57–63 HRC toleranssialueella. Ylävesi syötetään nokan päälle noin 3 mm:n suuttimella pienellä paineella. Koneen ohjauslogiikka avaa ja sulkee veden kulun magneettiventtiilillä. Hienosäätö tehdään käsin pienellä palloventtiilillä.

Karkaisun jälkeen on kokoonpano. Säätöruuvi ruuvataan vivun kierteille syöttökourussa olevan lukitusmutterin läpi. Ruuvaimena on saksalaisen Weberin valmistama automaattinen ruuvinasennin. Kokoonpanon ongelma on lukitusmutterikourun huono toiminta. Mutterit siirtyvät suoraan tärymaljalta täryttimen vauhdittamaan kouruun, jonka päässä on ruuvaimen ja vivun väliin jäävä päätypala. Kouru on pinnoittamaton ja mutterit liukuvat huonosti. Kourun kiinnitys on liian joustava, eikä mutteri sijoitu ruuvaimen ja vivun väliin aina oikein. Viimeisen työvaiheen hionnasta tulevan metallipölyn on myös todettu jumiuttavan kierteille jo hyvin menneen ruuvin (kuva 2). Karkeasti arvioituna noin kolmannes kokoonpanon päivittäisistä häiriöistä johtuu hiomapölystä. Ruuvin asennuksen epäonnistumiset eivät näy tuotannossa, koska koneen käyttäjä korjaa ne käsin muiden tehtävien ohessa.

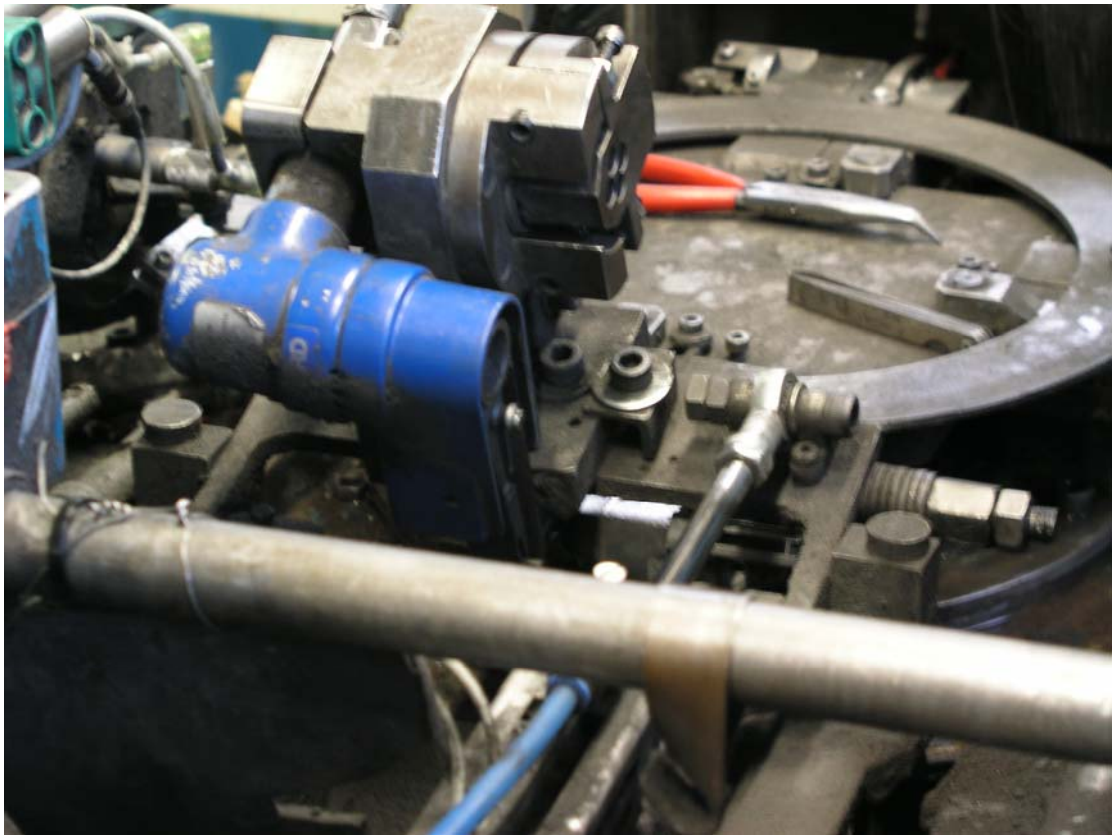


Kuva 5 Ruuvain, jonka kärjen (nuoli) alla mutterikourun päätykappale.

Hionta tehdään pienellä paineilmatoimisella nauhahiomakoneella. Hiomakone on kiinnitetty vivun nokan sädettä seuraavaan runkoon. Hiontaliikkeen tekee paineilmasylinteri ja hiomanauha pidetään kiinni nokassa jousella painaen. Hiomanauha kestää keskimäärin 270 vivun hiomisen. Nauha vaihdetaan käsin, kun enintään 300 on hiottu tai nauhan kuluminen alkaa näkyä. Nauhojen laatu on vaihdellut, välillä katkeamiset ovat haitanneet. Yllättävä katkeaminen aiheuttaa miehitetyssäkin käytössä hylkyä, koska hiomakonetta ei ehditä jatkuvasti valvoa. Kokeiltaessa erityyppisiä nauhoja on löydetty myös herkästi tukkeutuvia laatuja. Tukkeutuneen hiomanauhan huokoset täyttyvät hiomalastusta, eivätkä hiovat rakeet pääse kosketuksiin työstettävän pinnan kanssa.

Viimeistelyn hankalin laatuongelma on nokan kovuuden toteaminen. Koska käytössä ei ole automaattista mittausta, ei tiedetä tarkkaan, ovatko kaikkien vipujen nokat karaistuneet riittävästi. Vuoron alussa muutaman ensimmäisen vivun kovuudet tarkistetaan ja tähän tulokseen on luotettava loppuaika. Jokaisen vivun mittaaminen manuaalisesti ei onnistu nykyisellä työkuormalla. Pehmeiden vipujen on siis

mahdollista päästä eteenpäin. Myös säätöruuvien kovuudet mitataan. Alihankkijoiden toiminnassa on ollut tässäkin parantamisen varaa. Pehmeitä ruuveja on saatu suuria eriä, joten mittaus on tarpeellinen. Toimittajan vaihdolla asiaan on saatu ainakin tilapäinen parannus.



Kuva 6 Nauhahiomakone etualalla.

6 KEHITYSRATKAISUJEN ESITTELY

Sisu-Dieseliltä toivottiin eritoten viimeistelyn kehittämistä. Uuden järjestelmän toivottiin pohjautuvan olemassa oleviin ja koeteltuihin, laitteisiin ja menetelmiin, vivun valmistusmenetelmiä ei ole muutettu. Koneistukseen ei ollut vaihtoehtoja, koneistus tulee tapahtumaan osin vanhalla koneella ja koneistuskeskuksilla. Uutta mittatilaustyönä tehtyä erikoiskonetta ei suuren alkuinvestointinsa takia voitu harkita. Toiminnan tarkkaa simulointia esimerkiksi virtuaaliympäristössä pidettiin tarpeettomana, koska Sisu-Dieselillä on kymmenien vuosien kokemus robottien käytöstä tuotannossa. Simuloinnin hinta on tässä tapauksessa todettu saavutettuihin

hyötyihin nähden kohtuuttomaksi. Tuotanto on uudistettava ja valmiita tehokkaita vaihtoehtoja on vähän.

Uuden järjestelmän lähtökohdiksi on esitetty seuraavat tavoitteet:

1. Kapasiteetin nostaminen 30 prosentilla, noin 325 000 vipuun vuodessa.

2. Käyttöaste parannettava 70 prosenttiin.

3. Kaksi miehittämätöntä vuoroa kolmivuorotyössä, 16 tuntia vuorokaudessa.

4. Tilastollinen prosessin hallinta, SPC (Statistical Process Control), vivun nokan ja säätöruuvin kovuudenmittauksen osalta.

5. Yksi koneenkäyttäjä.

Esitetyistä vaatimuksista seuraa, että kolmivuorossa tahtiaika saa olla enintään 43 sekuntia. Vaaditulla käyttöasteella valmistuu 16 tunnissa 1340 kappaleen erä, joka on huomioitava syöttölaitteiden koossa ja työkaluissa. Kovuudenmittaus laitteiston on kyettävä tallentamaan ja analysoimaan mittaustietoa, jotta tilastoon perustuva valvonta voidaan toteuttaa. Tilastollinen valvonta on tarpeellinen, koska mittauksessa on suuret virherajat ja yksittäinen toleranssin ylittävä arvo ei saa pysäyttää prosessia. Toleranssin ylittävät kappaleet on voitava lajitella erilleen ja prosessin pysäytys tulee tapahtua vasta ylityksen toistuessa useasti.

6.1 Työstökone vaihtoehdot

Koneistuskeskuksen ongelma monikarakoneeseen verrattuna on hitaus. Sisu-Dieselin kanssa yhteistyössä toimiva alihankkija, konepaja Mäkivirta, on valmistanut keinuvipuja joustavalla järjestelmällä. Mäkivirran kehittämillä menetelmillä on tahtiaika saatu 45 sekuntiin. Vuodessa olisi kyetty valmistamaan noin 270 000 vipua. Käytössä oli kolmivuoro, eikä ylitöitä tehty. Käyttöaste oli erittäin hyvä, 80 prosenttia. /8/

Vivun tarvitsemat koneistusvaiheet ovat seuraavat:

1. Säätöruuvin tasauksen jyrsintä
2. Säätöruuvin porauksen teko
3. Säätöruuvin kierteiden teko
4. Akselin porauksen avaus
5. Akselin porauksen reunojen viisteiden jyrsintä
6. Akselin porauksen reunojen tasausten jyrsintä
7. Akselin porauksen kalvinta
8. Nokan säteen jyrsintä

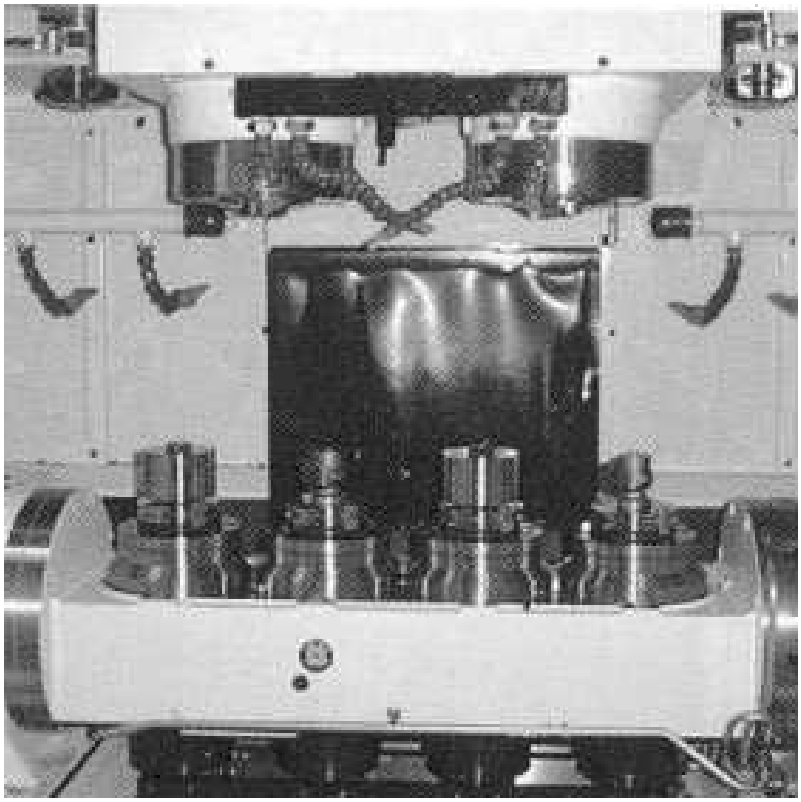
Työstökonevaihtoehdot ovat pysty- ja vaakakarainen koneistuskeskus. Pystykarainen kone on halvempi, mutta tarvitsee toimiakseen suuremman automaatioinvestoinnin. Vaakakarainen kone on kalliimpi mutta soveltuu lyhyiden miehittämättömienkin jaksojen käyttöön lähes suoraan valmistajan toimittamana. Mäkivirran konepaja käytti valmistuksessaan vaakakaraista ja tornipalettia. Kiinnittimien lukumäärä paletissa määrää työajan ja työkalun vaihtoajan suhteen. Mäkivirralla oli paleteissa 50 vipua kerrallaan. Ihanteellisessa tapauksessa samaa vaihetta voidaan toistaa terän kestoaika ja vaihdetaan seuraavan vaiheen työkalu.

Koneistus tapahtuu kahdesta suunnasta, yhdellä kiinnityksellä. Toiselta kyljeltä avataan akselin poraus. Väljennetään työkalulla, jossa on terät myös viisteen ja tasauksen tekoon. Väljennys on todettu käytetyn tyyppisellä Cermet-kalvaimella tarpeelliseksi. Kalvain vaatii tarkan työstövaran, mutta työstöjälki on todettu erinomaiseksi. Toisen kyljen viisteet tehdään avarretun porauksen läpi, kiertosuuntaa vaihtaessa avautuvalla ja sulkeutuvalla työkalulla ja nokka jyrsitään vaippajyrsimellä. Vivun päältä tehtävät tasaus, poraus ja kierteytys voidaan tehdä tornin toisella kyljellä oleviin vipuihin.

6.1.1 Pystykarainen koneistuskeskus

Koneeseen tulisi nelikylkinen 90 asteen välein indeksoitu vaaka-asentoinen kääntöpöytä. Kiinnittimet tulevat pöydän neljälle kyljelle ja ovat automaattiset. Panostajana toimii robotti, joka noutaa takeet syöttölaitteelta. Konetta valittaessa on huomioitava yhteensopivuus kuvatun tyyppisen kääntöpöydän kanssa. Sisu-Dieselin antamien valmistajien joukossa oli yksi valmistaja, Matsuura, joka esitteli vaaka-asentoisen molemmista päistä tuetun kiinnitinjärjestelmän lisävarusteena. Koneisiin lisävarusteena tarjottava neljäs akseli soveltuu tähän, mutta tällöin on huomioitava kääntöpöydän koko ja paino. Pystykaraisiin koneisiin saa myös paletinvaihtajan lisävarusteena, mutta vipujen tarvitseman kahden suunnan koneistamisen toteuttaminen on silloin kalliimpaa ja vaikeampaa kuin vastaava vaakakaraisella. Kiinnittimien määrästä riippuu koneen tehokkuus ja toimiva määrä olisi sama kuin vaakakaraisellakin.

Koska vipujen valmistus tulee käyttämään siihen tarkoitetun koneen resurssit kokonaan, kannattaa huomioida hieman erikoistuneempi vaihtoehto. Valmistajilla on myös kaksikaraisia malleja. Kyseessä ei ole moniakselinen kone, vaan karat ovat samassa karalaatikossa samoilla johteilla. Kiinnitys järjestetään pareittain niin, että kahta vipua voidaan koneistaa kerrallaan. Kaksikarainen kone on harkinnan arvoinen, jos vipujen tarve kasvaa vielä huomattavasti.



Kuva 7 Kaksikarainen koneistuskeskus ja kääntöpöytä /16/

Seuraavaksi on lueteltu pystykaraisen koneistuskeskuksen tarvitsemat komponentit kuvauksineen.

Kääntöpöytä

Pöydän runko ja kääntömekanismi on saatavilla lisävarusteena, riippuen valmistajasta. Kiinnittimien toimilaitteet, kiinnittimet ja asennus on teetettävä erikseen. Runkoon on rakennettava kiinnittimien tarvitsemat käyttömekanismit. Käyttömekanismi voi olla hydraulinen, pneumaattinen tai sähköinen ja valitaan kiinnitysvoiman sekä soveltuvuuden mukaan.

Robotti

Robotin on kyettävä siirtämään kappaleet syöttölaitteelta kiinnittimiin. Esimerkiksi Fanuc M-6iB noin 1,3 metrin ulottuvuudella, yltää CAD-mallin perusteella tekemään siirrot. Robotti joutuu kosketuksiin lastuamisnesteen roiskeiden kanssa, joten käsivarsi on suojattava kuten maalausroboteissa.

Syöttölaitteet

Tähän tarvitaan takeille tehdyt versiot. Eri viputyyppien takeet eroavat niin paljon mitoiltaan, että tarvitaan erilliset syöttölaitteet.

Työvaiheet ovat tekojärjestyksessä seuraavat:

1. Robotti ottaa takeen syöttölaitteelta.

2. Tae asetetaan kiinnittimen leukoihin, leuat suljetaan.
   Tae asetetaan selkäpuoli ulospäin. Säätöruuvin tasaus ja kierteet tehdään tästä suunnasta. Robotin tarttujaan voidaan asentaa paineilmasuutin, jolla voidaan taetta asettaessa vielä varmistua kiinnittimen puhtaudesta.

3. Kääntöpöytä kääntyy 90 astetta.
   Robotti jatkaa takeiden asettamista viereisellä kyljellä oleviin kiinnittimiin.

4. Koneistuksen ensimmäinen vaihe.
   Tehdään säätöruuvin tasaus, poraus ja kierteet.

5. Kääntöpöytä kääntyy 90 astetta.
   Vipu on kyljellään karaan nähden.

6. Koneistuksen toinen vaihe.
   Tehdään akselinporaus. Jyrsitään poskien viisteet ja tasaukset, sekä vivun nokka.

7. Kääntöpöytä kääntyy 90 astetta.
   Koneistus on valmis, pöydän kylki on alaspäin. Vipu voidaan pudottaa poistokuljettimelle. Vaihtoehtona on käyttää robottia poistamaan kappaleet seuraavan käännön jälkeen ennen latausta kiinnittimistä ja siirtämään ne eteenpäin.

8. Täryhionta
   Vipu viedään täryhiomakoneen säiliöön.

6.1.2 Vaakakarainen koneistuskeskus

Vaakakarainen vaihtoehto ei tarvitse suurta suunnittelutyötä eikä eri järjestelmien yhdistämistä. Koko laitteisto saadaan kiinnittimiä lukuun ottamatta valmiina toimittajalta. Työstömenetelmät ovat samat kuin pystykaraisellakin, kahdesta suunnasta ja yhdellä kiinnityksellä. Koneenkäyttäjä kiinnittää ja poistaa kappaleet paleteista, joita on kaksi tai useampia. Paletit viedään koneeseen automaattisella paletinvaihtajalla (Automatic Pallet Changer), joka kuuluu koneen lisävarusteisiin. Tässä vaihtoehdossa on edelleen kehittämismahdollisuuksia. Kiinnitystä voidaan automatisoida ja palettia käyttävä kone voidaan myös kytkeä haluttaessa joustavan valmistusjärjestelmän hyllystöhissiin (Flexible Manufacturing System, FMS). /2./

Koneistuskeskuksessa on oltava riittävä pystyakselin liike tornipaletit huomioiden. Varustukseen on erityisesti kuuluttava kääntöpöytä ja automaattinen paletinvaihtaja. Tuotanto voidaan käynnistää käyttämällä palettien manuaalista latausta. Kuten edellä on mainittu, menetelmä on valmiina ja koeteltu. Vaihtoehdon selkeänä haittana on manuaalinen lataus. Takeiden asettelu on paljon toistuva ja yksitoikkoinen toimenpide, josta nykyään on pyritty eroon tuotannossa.

Kiinnitystä voidaan kehittää ainakin kahdella eri periaatteella. Tornipaletti voidaan vaihtaa automaattikiinnittimeen, jota robotti lataa ja purkaa. Toimintaperiaate on sama kuin pystykaraisessa vaihtoehdossa. Tarvittava ohjaus ja hydraulipaine saadaan koneesta. Myös palettien kiinnittimet voidaan vaihtaa automaattisiin. Kiinnitys tapahtuu hydromekaanisilla leuoilla, jotka lukittuvat mekaanisesti ja tarvitsevat hydrauliikkaa ainoastaan avaamiseen ja sulkemiseen. Hydraulipaine saadaan paletille latausasemassa olevalta automaattisesti kytkeytyvältä pikaliittimeltä. /4./

6.2 Viimeistely

6.2.1 Joustava robottisolu

Ensimmäinen vaihtoehto, jota Sisu-Dieseliltäkin ehdotettiin, on robotin ympärille koottu koneryhmä. Robotti suorittaa kaikki siirrot työvaiheiden välillä, järjestys on sama kuin vanhalla koneella.

Ratkaisun etuja perusteluineen lueteltuina ovat seuraavat seikat:

–Halvempi, laskelman mukaan hankintakustannus on pienempi, kuin muilla vaihtoehdoilla. Syynä vähemmän tilaustyönä tehtäviä osia ja suunnittelu korvautuu ohjelmointityöllä.

–Yksinkertainen, sisältää vähemmän ohjattavaa mekaniikkaa ja kiinnittimiä.

–Joustava, robotin ohjelma ja tarttuja vaihdetaan viputyypin vaihtuessa.

Haittana puolestaan on:

–Hidas, vaiheet peräkkäin. Viimeistelyn tahtiaika kasvaa pahimmillaan kaksinkertaisesti nykyisestä.

Järjestelmän toimintaa voidaan kuvata seuraavasti. Robotti käyttää kappaletta järjestyksessä kaikilla vaiheilla toimien myös kiinnittimenä toimenpiteiden aikana. Kokemus on osoittanut robotin soveltuvaksi myös kappaleen pitämiseen paikallaan työvaihetta suorittaessa. Arvio tahtiajasta perustuu nykyisten työvaiheiden kestoon ja valmistajien antamiin tietoihin.

Työvaiheet ovat tekojärjestyksessä seuraavat:

1. Kappaleen nouto

Tae on syöttölaitteessa, robotti aloittaa nollapisteestä tai palaa valmiiden korilta.

2. Siirto karkaisuun

Robotti siirtyy niin, että vivun nokka on sopivalla etäisyydellä karkaisulaitteen silmukan pinnasta.

3. Karkaisu

Karkaisuvirta kytkeytyy silmukkaan, nokka alkaa lämmetä. Lämmitys 900°C:seen kestää valmistajan mukaan on noin 2 s. Aika on huomattavan lyhyt vanhaan koneeseen verrattuna. Seurauksena lämmön leviäminen kappaleessa on vähäisempää ja rajoittaminen helpompaa. Vanhassa koneessa nk. ”yläveden” säädöllä on ratkaiseva merkitys vivun kovuuteen.

4. Siirto kokoonpanoon

Vivun ruuvin kierteet sijoitetaan robotin sallimissa rajoissa mahdollisimman tarkasti ruuvaimen nokan alle.

5. Kokoonpano

Paineilmatoiminen ruuvain kiertää säätöruuvin paikalleen. Lukitusmutteri asetetaan soveltuvalla manipulaattorilla ruuvaimen nokan ja vivun väliin.

6. Siirto hiomakoneelle

7. Hionta

On viimeistelyn vaativin vaihe. Nokan säteellä on pystyttävä seuraamaan kiinteää hiomatyökalua tarkasti. Onnistumisen varmistamiseksi on tässä käytetty

nauhahiomakonetta. Nauha saadaan joustamaan sopivasti, jotta robotin toistotarkkuus ei vaikuta haitallisesti hiontajälkeen.

8. Siirto kovuudenmittaukseen

Mittaus tapahtuu sähköisesti, niin kutsuttua Barkhausenin kohina ilmiötä käyttäen. Robotin tarkkuus ja voima eivät ole merkitseviä ominaisuuksia.

9. Mittaus

Mittaus tapahtuu siirtämällä mitattavat pinnat kevyesti kosketukseen mittapäiden kanssa.

Taulukko 1 Arvio työvaiheiden kestosta, aika sekunteina

Vaihe	Aika s.
Kappaleen nouto (lähtö kpl syöttölaitteelta karkaisuun)	5
Karkaisu + päästö (1 silmukalla)	14
Siirto + ruuvin ja mutterin asennus	9
Siirto + hionta	10
Kovuuden mittaus (paluu nollapisteeseen tai syöttölaitteelle)	10
	48

6.2.2 Nopea linja

Toinen vaihtoehto viimeistelyn toteuttamiseen on monileukainen kääntöpöytä. Vanhan viimeistelyn periaatetta on paranneltu uudemman tekniikan avulla ja pyritty huomioimaan heikosti toimivat ratkaisut. Kappaleet kääntyvät kiinnittimien leuoissa työvaiheelta toiselle, jokaista vaihetta varten on oma kiinnitin. Jokainen asema toimii yhtä aikaa. Periaate on sama kuin vanhassa koneessa. Tämän työn valmistuessa uusien vipujen piirustuksia ei ollut vielä vapaasti saatavilla. Näin ei voida selkeästi osoittaa tarvittavia muutoksia kiinnittimissä ja asemien sijoituksessa eri viputyypeillä. Konfigurointi voidaan suunnitella nopeaksi. Kääntöpöytä (kuva 8) on tunnettu työstökoneteollisuudessa, esimerkiksi lisäakselina koneistuskeskukseen. Laajimmillaan laitteiston lataajarobotille on mahdollista tehdä ohjelma leukojen

vaihtoa varten. Raskaammalla robotilla koko kiinnitin leukoineen voidaan nostaa kääntöpöydän päältä ja vaihtaa tai tietenkin toimenpiteet voidaan suorittaa käsin.

Kuva 8 Kääntöpöytä

Linjan etuja perusteluineen lueteltuina ovat seuraavat seikat:

–Vaiheet rinnakkain, uusien nopeiden karkaisulaitteiden ansiosta tahtiaika saadaan puolitettua entisestä.

–Kestävä, mekaniikka ja kuumennuspäät kokevat vähemmän syklejä kappaletta kohden.

Linjan heikkouksia ovat mm. seuraavat seikat:

–Joustamaton, asemien ja leukojen asetusta on muutettava viputyypin vaihdellessa

–Kallis, enemmän komponentteja

Työvaiheet ovat tekojärjestyksessä lueteltuna seuraavat:

Työvaiheet on rakennettu kuuden kiinnittimen kääntöpöydän ympärille. Kiinnittimet ovat 60 asteen välein tasajaolla (liite 3).

1. Kappaleen nouto

Tae on syöttölaitteessa, robotti aloittaa nollapisteestä tai palaa valmiiden korilta.

2. Kappaleen asetus leukoihin

Robotti siirtyy niin, että vipu on ladattavana olevan kiinnittimen leukojen välissä. Leuat suljetaan ja robotti avaa tarttujan siirtyen pois tieltä.

3. Pöydän kääntö

Pöytä kääntyy 60 astetta.

4. Työvaiheet suoritetaan

Asemien työkierrot käynnistyvät, toiminta työvaiheittain kuten robottisolussa.

5. Valmis vipu poistetaan kiinnittimestä

Robotti odottaa latauksen jälkeen seuraavaa kappaletta ja siirtää sen valmiiden koriin. Tartunta vipuun leuoissa, jonka jälkeen ohjaus avaa kiinnittimen. Hydraulisylinteri pakottaa jousella suljetun leukaparin auki. Kovuudenmittaus on mahdollista toteuttaa robotilla tai vivun ollessa kiinnittimessä.

Taulukko 2 Arvio työvaiheiden kestosta, aika sekunteina. Ainoastaan pisin työvaihe ja lataus lasketaan yhteen.

Karkaisu (kuumennus 2 s + jäähdytys 2–4s)	6
Päästö (omalla kuumennuspäällä)	5
Kokoonpano ja hionta	8
Robotti lataa	8
Pöydän kääntö	1
	9

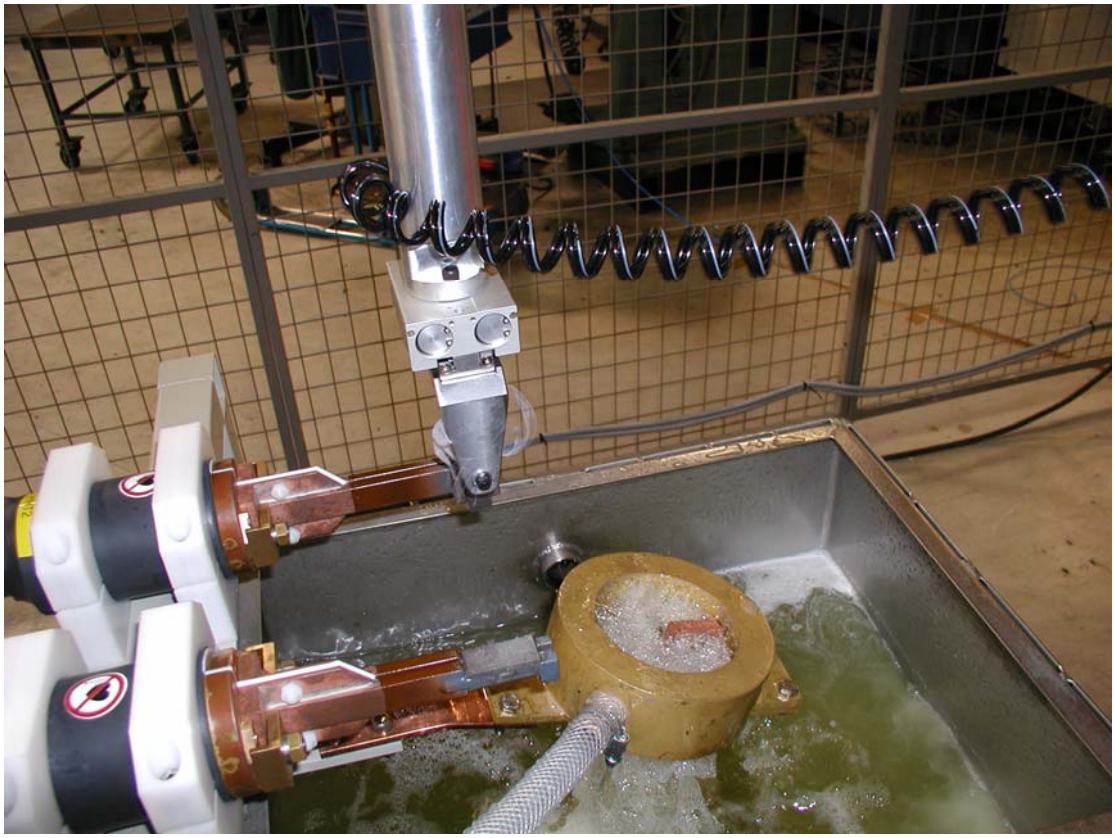
6.3 Viimeistelyn työvaiheista

6.3.1 Induktiokarkaisu

Kuva 9 Karkaisukela ja vipu

Tässä on esimerkkinä ruotsalainen Minac 18/25. Kilpailevia vaihtoehtoja on, mutta periaate on sama. Koostuu karkaisukelasta jäähdyttimineen, käyttöyksiköstä ja veden jäähdytysyksiköstä. Karkaisukela on jäähdytetty sähköjohde, johon taajuudeltaan hallittu vaihtosähkövirta johdetaan. Vaihtosähkön kelan läheisyyteen synnyttämä vaihteleva magneettikenttä, aikaansaa pyörrevirtoja työkappaleessa aiheuttaen kuumenemisen. Kuumennus 900°C:seen kestää noin 2 s. Saavutettu lämpötila riittää hyvin karkaisuun. Karkaisukelan ympärillä on sammutusveden syöttävä sammutuskela. Päästö on suoritettava karkaisussa syntyneiden jännitysten ja liian kovan rakenteen välttämiseksi. Päästö tehdään pienemmällä sähkövirralla. Muilta valmistajilta saatuihin kokemuksiin perustuen päästön tarpeellisuutta kuitenkin epäillään. Nopea kuumennus ja karkaisukelan oikea muoto rajoittaa lämpenemisen

niin, että nokka ei karkene kuin aivan pinnasta. Nokan pysyessä viileänä, runkoaineen rakenteeseen muodostuu vähemmän haitallisia jännityksiä ja liiallista karkenemista.



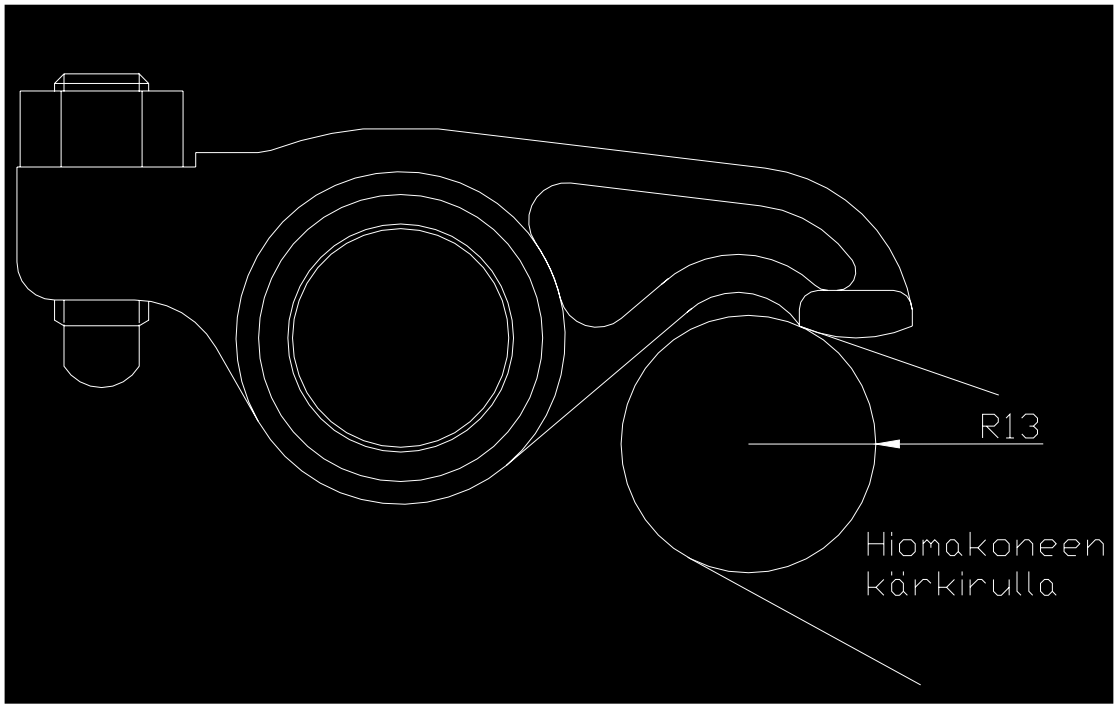
Kuva 10 Karkaisu-, päästö- ja sammutuskela erikseen

6.3.2 Kokoonpano

Kokoonpano suoritetaan kuten ennen. Ruuvi asennetaan esimerkiksi Weberin ruuvaimella, joka sisältää ruuvin syöttölaitteet. Mutterin asennukseen on teetettävä soveltuva manipulaattori, jonka rakenteeseen tai suunnitteluun ei tässä tarkemmin perehdytä. Periaate pysyy samana, mutteri tuodaan mahdollisimman tarkasti vivun ja ruuvaimen väliin oikealle kohdalle. Weberin suomalainen markkinoija, IS-Automation toimittaa myös tilaustyönä tehtäviä asennus laitteita ja on toimittanut nykyisen ruuvaimen. Kuvassa 5 näkyy selkeästi nykyisen kokoonpanon tärkeimmät osat ja sijoittelu. /6./

6.3.3 Hionta

Valmiin ratkaisun saamisen kannalta hionta osoittautui vaikeimmaksi. Hionnassa työstövoiman tulee olla sopiva ja asennon oikea. Robotilta vaaditaan erityistä tarkkuutta nokan hionnassa. Nokan pintaa hioessa, robotin on pystyttävä seuraamaan hiomatyökalun muotoa riittävän tarkasti. Selkein ratkaisu on nauhahiomakone. Nauha saadaan joustamaan ja mukautumaan nokan pintaa vasten. Koneen nauhanohjainrullat voivat olla myös joustavia ja akseleita voidaan jousittaa. Kuormitusanturin käyttö robotin ranteessa on kalliimpi vaihtoehto ja asettaa kovat vaatimukset robotille. Ongelmia aiheuttaa hiomakoneelta vaadittu poikkeuksellinen rakenne. Nokkaa ei mahdu hiomaan kovin suurella työkalulla (kuva 11). Työkalun koko rajoittuu käytännössä samaan kuin vanhassa hiomakoneessa.



Kuva 11 Säde 13 millimetriä havainnollistaa nokan alla olevan tilan vähäisyyttä.

Robottisolussa ratkaisuna on pitkällä ja leveällä nauhalla varustettu nauhahiomakone /15/. Koneen kärkirullan on oltava suunnilleen vanhan koneen luokkaa. Pitkä nauha kestää kauemmin ja leveydestä voidaan käyttää osa kerrallaan. Näin saavutetaan riittävän pitkä kestoaika ilman automaattista nauhan vaihtoa. Linjaviimeistelyyn hiomakonetta on vaikeampi toteuttaa. Yksinkertainen ratkaisu on kasvattaa vanhan

hiomakoneen mittakaavaa, jotta saadaan käyttöön isompi nauha ja mahdollisuus sivuttaissiirtoon.

6.4 Syöttölaitteet

Koska robottien toiminta on ennalta ohjelmoitua, työkappaleet on sijoitettava määrättyyn kohtaan tartuntaa varten. Suurilla valmistusmäärillä ei ole käytännöllistä sijoitella erikseen jokaista kappaletta määrättyyn asemaan. Tärysyöttölaitteet ratkaisevat paikoitusongelman tehokkaasti ja ne ovat edullisia ja luotettavia. Laitteisto on täysin riippumaton kappaleiden lisäämistavasta, täyttäminen voidaan suorittaa yksinkertaisesti kaatamalla esiannostelijan säiliö täyteen. Vaihtoehtoa suositeltiin myös Sisu-Dieselin puolesta.

Kuva 12 Tyypillinen tärymalja

Järjestelmä on yleinen teollisuudessa yksinkertaisten pienten osien, kuten ruuvien ja mutterien, käsittelyssä. Suomalaisissa konepajoissa on kuitenkin vähän näin suurimenekkisiä koneistettavia tuotteita, joten valmista esimerkkiä ei ollut löydettävissä. Täryttimissä kappaleita siirretään ja käännellään haluttuun asemaan alustan tärinän, muotojen ja ohjureiden avulla. Keinuvipu on onneksi ulkomuodoiltaan

kohtuullisen yksinkertainen ja siten soveltuu tärysyöttöön. Kaikissa esitetyissä ratkaisuissa, käytetään kappaleiden syöttämiseen robotille samaa periaatetta. Laitteisto koostuu esiannostelijasta, orientointilaitteesta, annostelijasta ja tarvittavasta ohjauslogiikasta. Suunnittelussa on otettava huomioon seuraavia erityisvaatimuksia. Tärysyöttö suurilla määrillä saattaa vaurioittaa koneistettuja pintoja. Kappaleiden ollessa kasautuneena päällekkäin tärinä liikuttaa niitä toistensa lomitse aiheuttaen hiovaa liikettä. Suurin vahinko aiheutuu akseliporauksen ja nokan pintojen naarmuista.

Laitteiston yksityiskohtien suunnittelu on kokeneen asiantuntijan tehtävä eikä siihen perehdytä tässä tarkemmin. Komponenttien valinta ja suunnittelu jää toimittavan yrityksen tehtäväksi. Suunnitelmat tehdään kappaleen piirustusten ja mallien perusteella. Kerralla syötettävän erän koko on kuitenkin määriteltävä, koska haluttu kapasiteetti voidaan mitoittaa hyvinkin tarkasti. Suunnittelussa on sovittu kahden vuoron miehittämättömästä jaksosta kolmivuorotyössä. Tavoitteiden mukaan 16 tunnissa pitäisi valmistua noin 1300 kappaletta. Automaattisesti on voitava syöttää ainakin mainitun suuruinen erä kerrallaan. Esiannostelijan on oltava hihnatoiminen vastaan täryttävä edellä kerrottujen rajoitusten tähden. Tärymaljan (kuva 12) korvaaminen lineaaritäryllä saattaa olla tarpeellista vaurioiden välttämiseksi, toisaalta maljan täytös voidaan pitää pienenä esiannostelijan oikealla asetuksella /10/. Malja on soveltuvampi orientointiin kuin lineaari.

Laitteiston valintaan on saatu apua Vibratec Oy:ltä. Tiedoista selvisivät tarvittavat komponentit toimivan järjestelmä rakentamiseen ja kustannus karkeasti. Laitteisto on valmisteltu kappaleen ulkomittojen perusteella, joten tiedot ovat suuntaa antavia.

6.5 Robotit

Vaihtoehtoja on tutkittu Fanucin hinnaston sekä Fanucin ja ABB:n verkkosivujen avulla /13; 14/. Robotit ovat hyvin yleisiä konepajatekniikassa, joten robottivalmistajien verkkopalvelut ovat esimerkilliset. Verkkosivustojen perusteella saattoi tehdä valinnan tarjouspyyntövaiheeseen saakka. Robottisolun suunnitelmaa hahmotellessa tuli selväksi, että robotin määräävä ominaisuus on ulottuma. Vivut ja

takeet ovat erittäin kevyitä, noin 160–200 g, verrattuna pienimpään hyötykuorma vaihtoehtoon, kolme kilogrammaa. Tarttujan massa on huomattavasti suurempi kuin vivun. Harkittuja ulottuvuus vaihtoehtoja oli 700 ja 1800 mm:n väliltä. Mitoituksessa on tässä varauduttu käytännössä mahdollisesti esiin tuleviin ongelmiin. Ilmoitetut ulottumat ovat suurimpia mahdollisia. Suurimmilla ulottumilla nopeus ja tarkkuus ovat huonommat. Robottien kannalta toiminta on tehokkainta kohtuullisilla etäisyyksillä. Sopivien mallien valinta on tehty lopuksi hinnan perusteella.

Fanuc valittiin hyvien kokemusten perusteella. Fanucin etuina on kerrottu olevan hyvän asiakaspalvelun ja henkilöstö hallitsee sen hyvin ennestään /10/. Robottisolua varten valittiin kahden malliston halvimmat perusversiot M-6iB ja M-16iB/10L. Valinta tarkennettiin CAD-piirustusten perusteella (liite 1). On huomattava, että pelkkä CAD-kuva jättää vielä paljon tulkinnan varaa. Kuvaan sijoiteltiin työasemat tärkeimpine yksityiskohtineen, kuten ulkomitat ja työkalujen paikka. Eniten tilaa vei lämpökäsittelyn vesiallas, jonka ylle karkaisun induktiosilmukka sijoitetaan jäähdytysnestesuuttimineen. Allas voidaan toimittaa mittojen mukaan, kuitenkin riittävän isona sammutusveden keräämiseksi talteen. Laitteiden ympärille on pyritty jättämään työskentelytilaa häiriöiden ja vikojen korjaukseen. Hyvänä vertailukohtana mitoitukselle neloshallin layoutissa oli valmiiksi mallinnettuna akselisolu. Vivuston akselin valmistukseen on käytännössä voinut tutustua, selventäen etenkin robotin toiminta mahdollisuuksia. Robotiksi valittiin Fanuc M-6iB, koska käsivarsi ylsi kaikkien asemien yli riittävällä marginaalilla (liite 1).

Linjaviimeistelyssä (liite 3) robotti toimii ainoastaan kappaleenvaihtajana. Tarkoitukseen on valittu mahdollisimman halpa robotti. Tälläkin ratkaisulla on kyettävä valmistamaan kolmea viputyyppiä, joista jokainen vaatii oman syöttölaitteensa. Pienin vaihtoehto ei soveltunut tähänkään tarkoitukseen. Syöttölaitteiden tilavaatimus pakottaa sijoittamaan ne leveälle, joten 700 millimetrin ulottuvuus robotilla jää liian lähelle suurinta ulottuvuutta. Seuraavan kokoluokan M-6iB:n ulottuma ylitti sopivasti syöttölaitteet ja kiinnittimet.

Kuva 13 Fanuc M-6iB, hyötykuorma kuusi kilogrammaa, ulottuma 1 373 millimetriä.

6.6 Kiinnittimet

Sisu-Dieselillä kiinnittimet viputuotantoon ostetaan erikseen, suunnittelua ei ole määritelty tehtäväksi tässä tarkemmin. Toimivat kiinnittimet ovat kuitenkin osa tehokasta ja luotettavaa tuotantojärjestelmää, joten niitä käsitellään tässä lyhyesti. Järjestelmässä tarvitaan koneistuskiinnitintä työstökoneelle ja robotin tarttujaa. Viimeistelyn toisena vaihtoehtona esitellyssä kääntöpöydässä tarvitaan oma soveltuva kiinnittimensä.

Vanhassa koneessa käytetään kahta kiinnitintyyppiä. Koneistuksessa on kahdesta pisteestä tarttuva hydraulinen leukapari. Tarttumakohdat ovat nokan varressa ja säätöruuvin korvakkeen ja akseliporauksen korvakkeen välissä. Paikoitus tapahtuu lataajan manipulaattorilla ja vasteilla. Lataajan koura tuo vivun leukojen väliin kevyesti takana olevia paikoitusruuveja vasten ja leuat suljetaan. Lataaja tarttuu

takeeseen säätöruuvin korvakkeesta ja ote sallii vivun kääntyä hieman. Alihankkijan koneistuskeskuksen paleteissa käytetään kolmen pisteen periaatetta kiinnityksessä. Kappaleet asetetaan paikalleen manuaalisesti.

Karkaisussa tartutaan akselinporauksen tasauksista. Paikoitus tapahtuu nokan ja akselinporauksen pinnoilla. Lataajassa on vaste nokalle ja leuoissa paineilmakäyttöinen tappi. Tappia liikutetaan kuten leukojakin. Leuoissa on kitkapinnat, jotka estävät vipua kääntymästä. Kiinnitysvoima on mitoitettu niin, etteivät tasauksien koneistukset vaurioidu. Kiinnitysvoima saadaan lautasjousipakalla, leukoja käytetään latausasemassa hydraulisesti. Sylinteri pakottaa aseman kohdalla olevan kiinnittimen auki, kääntöpöydässä ei tarvita käyttömekanismia. Jousilla on vältytty pöydän akselin läpi tuotavilta ohjaus- ja käyttölaitteilta, kuten hydrauliikkakanavilta ja sähköjohtimilta. Vastaavaa periaatetta kannattaa hyödyntää myös uuden linjan kiinnittimessä.

6.7 Järjestelmän sijoitus

Valmista tilaa ei ole ja tilanpuute on yksi projektin ongelma. Valmistus olisi pidettävä yhtenäisenä samassa tilassa, jotta soluperiaate toteutuisi /3/. Solu on konepajassa yhden osan tai kokoonpanon valmistukseen keskittynyt tuotantoyksikkö. Solun koneet ja työpisteet ovat samassa tilassa tai lähekkäin, jotta materiaalin siirrot olisivat lyhyitä ja tiedonkulku katkeamatonta. Koska solu on yhtenäinen ja toiminta tarkoin määritelty, tuotannonohjaus on helppoa. Vipusolua ohjataan imuperiaatteella, eli puskurivaraston pienenentyessä tehdään lisää tilalle ilman erillistä käskyä. Sijoituspaikkana on halli numero 4, jossa nykyinen vivunvalmistus sijaitsee. Uudelle valmistukselle on otettu tilaa suurinta osaa hallin päädyssä käyttävästä nelosvarastosta. Varastossa on joustavia ja jäykkiä putkia, joita hallin viereisessä osassa valmistetaan. Jotta vipusolu kuitenkin saataisiin pysymään yhtenäisenä ja toimivana, varastotilaa on tiivistettävä.

Tilantarvetta ja sijoitusta on tässä arvioitu valittujen komponenttien mitoilla. Laitteiden AutoCAD-mallit ovat auttaneet hahmottamisessa ja suunnittelussa (liite 2). Neloshallin päädyn käyttöä rajoittaa myös suurin sallittu lattiakuorma,

pohjakerroksessa olevien varasto- ja sosiaalitilojen vuoksi. Lattia ei kestä koneistuskeskuksen massaa, mikä on mallin mukaan vaihdellen noin 18–22 tonnia. Vaihtoehtona on viereisessä osassa oleva putkisolu, josta uudelleen järjestelyin saadaan lisää tilaa. Vanha tuotantojärjestelmä jätetään rinnalle vanhalle paikalleen.

7 VANHAN KONEEN MODERNISOINTI

Vertailuun toivottiin myös arviota vanhan järjestelmän modernisoinnista. Teoriassa suorituskyky on lähes riittävä. Vanhat vika-alttiit laitteet on uusittava, jotta käyttövarmuus saadaan riittävälle tasolle. Lyhyesti ilmaistuna kaikki uuteen järjestelmään tulevat koneet olisi hankittava myös vanhaa varten. Projektin kestäessä vivut on hankittava muualta. Työn kestoa on vaikea arvioida, koska vanhojen laitteiden todellisesta yhteensopivuudesta ja kunnosta ei ole tarkkoja tietoja. Uusia vipuja ei voida mitenkään valmistaa vanhalla koneella. Neliventtiilivivuissa koneistukset eivät ole samassa linjassa kuin vanhoilla. Koneen karojen sijoitus ja kiinnitys pitäisi suunnitella ja rakentaa uudelleen. Uudet laitteet tarvitsisivat myös uuden ohjauksen. Modernisointiehdotuksessa keskitytään viimeistelyyn, koska viimeistely on työvaiheiltaan ja rakenteeltaan poikkeuksellisempi.

Modernisointiin tarvittavia toimenpiteitä:

1. Lataus
Uusittava, jotta syöttöhäiriöt voidaan minimoida. Koska halutaan saada käyttöön automaattinen kovuudenmittaus, lataaja voidaan korvata pienellä robotilla. Robotti suorittaa mittauksen. Mittapäiden asennus yhteen jokin työvaiheen kanssa ei onnistu ilman vanhan rungon muuttamista. Nokan mittaus onnistuu vasta hionnan jälkeen nokan ollessa siisti. Hiomakone estää mittauksen asennuksen samaan asemaan.

2. Karkaisu
Alkuperäinen vuoden 1982 karkaisulaitteisto on loppuunkäytetty ja uusittava kokonaan. Tällaista mallia ei enää valmisteta, varaosat ovat kallista tilaustyötä.

3. Kokoonpano

Mutterinasennus on saatava toimimaan ja hiomapölyn pääsy tähän vaiheeseen estettävä. Ruuvain on hiljattain uusittu, mutta mutterinasennus on teetettävä uusiksi.

4. Hionta

Hiomapölyn poisto on järjestettävä uudelleen. Hiomakone on uusittava ja automaation parantamiseksi on voitava hioa enemmän kappaleita ennen käyttäjän väliintuloa. Hiomanauhasta on saatava pitkäikäisempi esimerkiksi pidentämällä nauhaa tai nauhan vaihto pitäisi automatisoida.

Kääntöpöytä on satunnaisesti pettänyt. Huolto ja korjaus toimenpiteet ovat vaikeita koneen nykyiseen toimintaan ylimitoitettujen rakenteiden takia. Ylimitoitus johtuu pois jääneistä työvaiheista. Koneessa on ollut akseliporauksen holkin asennus ja hoonaus, jotka kuuluivat vanhaan vipumalliin. Kiinnittimet ja niiden mekanismit on uusittava. Syöttölaitteisto on kapasiteetiltään liian pieni, 50 kappaletta, eivätkä kiinnittimet sovellu robotille.

Uudistamisen yhtenä tavoitteena oleva miehittämättömien jaksojen käyttö on nykyisellään mahdotonta. Uusien automaatiojärjestelmien integroiminen vanhaan ohjauslogiikkaan saattaa olla vaikeaa. Ohjausta ei kokonaisuudessaan tunne kukaan nykyisestä henkilökunnasta. Vastaavan tyyppisiä koneita on toimitettu entiseltä Valmetilta useita ja tietoa on vielä olemassa, mutta vaikeasti saatavissa.

8 KUSTANNUSVERTAILU

Lähteinä on käytetty Sisu-Dieseliltä saatuja hinnastoja sekä toimittajilta ja valmistajilta saatuja tietoja. Tarkoituksena on tutkia ja esittää vaihtoehtojen erot karkeasti. Kustannuksiin on laskettu tärkeimmät komponentit. Järjestelmän rakentamiseen ja käynnistämiseen tarvitaan myös rakennustyötä, jota ei erikseen yritetä arvioida.

Koneiden perustukset eivät ole kovin poikkeuksellisia. Robotit ankkuroidaan lattiaan sopivan korkuiselle jalustalle, muilla laitteilla on sopivan mittaisiksi katkaistut jalat ja ne ankkuroidaan lattiaan. Käynnistäminen on merkittävä kustannusten aiheuttaja.

Alussa tarvitaan suuret määrät sähkö- ja signaalijohteita, erityisesti robottien toimintaan saattamisessa. Kokemus on osoittanut, että pystytetyn solun käyttöönotto kestää noin kuukauden kaikkine toimenpiteineen /10/. Töissä on alan asiantuntijoita, tuntikustannus on noin 70 euroa. Mekaanisen asennuksen ja kokoonpanon hinta on noin puolet sähkötöiden hinnasta.

8.1 Pystykarainen koneistuskeskus

Pystykaraiseen tavoiteltua automaattikiinnitysratkaisua ei löydy valmiina. Kertyviä kustannuksia voidaan arvioida esimerkiksi yhden robotin tarttujan hinnalla. Kiinteä hydraulinen kiinnitin on hieman halvempi kuin robotin automaattisesti vaihdettava paineilma kiinnitin. Kuten edellä on todettu, kiinnittimiä tarvitaan tehokkaaseen toimintaan useita kymmeniä, mieluiten yhtä paljon kuin tornipaletissakin. Leuat tarvitsevat ainutlaatuisen rungon käyttölaitteineen. Rungon suunnittelu- ja valmistuskustannus yhdessä on lähes samansuuruinen leukojen kanssa, kiinnitin paikkaa kohden. Taulukossa kolme on koottu tehdyt arviot ja saadut hinnat yhteen.

Taulukko 3 Pystykaraisen koneistuskeskuksen kustannuksia

Laite	Kuvaus	Hinta euroa	Lähteet
Koneistuskeskus	Pystykarainen	220000	Sisu-Diesel
Kääntöpöytä	Arvio, vastaa neljättä akselia lisävarusteena	18000	Arvio
Kiinnitinrunko	Sisältää ohjauksen leuoille	120000	Arvio
Leuat 40 kpl	Koneistuskiinnittimet	120000	Arvio
Robotti	Fanuc M-6iB ja tarttuja	30500	Sisu-Diesel
Syöttölaitteet	Yhdelle viputyypille	12000	Vibratec
Oheistarpeita			
Suuoja-aita	Noin 10m	1000	Sisu-Diesel
Käyntiovi sähkölukolla		700	Sisu-Diesel
Yhteensä		522200	

8.2 Vaakakarainen koneistuskeskus

Vaakakaraisella voidaan tuotanto aloittaa nopeammin ja varmemmin ilman suuria lisäkustannuksia, koska rakennustyötä ja suunnittelua on vähemmän. Haittana paletteja tarvitaan useita pitkien erien valmistukseen. Taulukko 4 on koottu Sisu-

Dieselin saamista tiedoista. Kiinnittimiä ja työkaluja lukuun ottamatta koneen lisävarustevalikoimaan sisältyy kaikki tarvittava tuotannon aloittamiseen.

Taulukko 4 Vaakakaraisen koneistuskeskuksen kustannuksia

Laite	Kuvaus	Hinta euroa	Lähteet
Koneistuskeskus	Vaakakarainen	250000	Sisu-Diesel
Kiinnitystornit	Mäkivirran vastaava, 6 kpl	120000	Sisu-Diesel
Paletinvaihtaja	Koneen lisävaruste, sis. 6 palettia	90000	Sisu-Diesel
Kääntöpöytä	Koneen lisävaruste	17000	Sisu-Diesel
Yhteensä		477000	

8.3 Robottiviimeistely

Robotin ympärille kootun viimeistelyn kustannukset on koottu taulukkoon 5. Ratkaisussa on vähemmän mittatilausosia, mikä lieventää epävarmuutta käyttöönotossa ja helpottaa projektin toteuttamista.

Taulukko 5 Robottiviimeistelyn kustannuksia

Laite/Kustannuspaikka	Kuvaus	Hinta euroa	Lähteet
Induktiokarkaisulaite	Minac 18/25	60000	Sisu-Diesel
Robotti	M-6I-RJ3I-B-PPL 6kg 1,3m	27210	Sisu-Diesel
Tarttuja	Robotille vipujen käsittelyyn	3500	Sisu-Diesel
Ruuvain	Weber	21500	IS-automation
Mutterinasennin	Mittatilaustyö	15000	IS-automation
Hiomakone	Cimotec	4000	
Kovuusmittari	Stresstech	20000	Sisu-Diesel
Syöttölaitteet (yhdelle vivulle)	RNA	12000	Vibratec
Oheistarpeita			
Suoja-aita	Noin 16m	1600	Sisu-Diesel
Käyntiovi sähkölukolla		700	Sisu-Diesel
Yhteensä		165510	

8.4 Linjaviimeistely

Linjaviimeistelyssä on jouduttu käyttämään erikoiskomponentteja. Etuna on kuitenkin vanhasta koneesta saatu kokemus. Komponenttien valinnalla on vanhat epävarmuudet

pyritty välttämään. Näin nopeamman linjaviimeistelyn toteuttamisessa ei ole yhtä suurta riskiä kuin nopeammalla koneistuksella. Suurempi kustannus on hyväksyttävämpi tahtiajan pienentämiseksi. Olennaisimmat osat on kerätty taulukkoon 6.

Taulukko 6 Linjaviimeistelyn kustannuksia

Laite	Malli/Tyyppi	Hinta euroa	Lähteet
Robotti	FANUC M-6I-RJ3I-B-PPL 6kg 1,3m	27210	Sisu-Diesel
Tarttuja	Robotille vipujen käsittelyyn	3500	Sisu-Diesel
Kääntöpöytä	Haas HRT310CE	12600	Haas Automation
Kiinnittimet, yhdelle viputyypille	Teetetään	13500	Arvio
Runko kiinnittimille, yhdelle viputyypille	Teetetään	3000	Arvio
Syöttölaite	RNA	12000	Vibratec
Kovuusmittari	Stresstech	20000	Sisu-Diesel
Karkaisu	Minac 18/25 TWIN	60000	Sisu-Diesel
Mutterinasennin	Mittatilaustyö	15000	IS-Automation
Ruuvain	Weber	21500	IS-Automation
Hiomakone	Mittatilaustyö	8000	Arvio
Suuoja-aita	Noin 16m	1600	Sisu-Diesel
Käyntiovi sähkölukolla		700	
Yhteensä		198610	

9 YHTEENVETO

Investoinnin suuruuden ja toimintavalmiuden kannalta vaakakarainen koneistuskeskus ja robottiviimeistely ovat varmempia ratkaisuja. Halvemmissa ratkaisuissa ei ole merkittävästi uuden suunnittelua ja sisäänajoa, eli toimivuudesta tai kustannusraamissa pysymisestä on vähemmän epävarmuutta. Halvemman järjestelmän hyödyt ovat merkittäviä jos vipujen tarve ei radikaalisti nouse. Etenkin robottiviimeistely on lähellä täyttä kuormitusta nykytilanteessakin, koska vastaavaa laitteistoa ei ole muualla. Tilannetta on mahdollista parantaa uuden järjestelmän ulkopuoleltakin, kuten edellä on jo todettu. Allekirjoittaneen kokemusten ja työnjohdon haastattelujen perusteella, voidaan toimintaa parantaa raaka-ainevirran tasaamisella. Kuitenkin suositellut vaihtoehdot riittävät perustarpeen tyydyttämiseen ja antavat vaihtoehdon ulkoistukselle.

LÄHDELUETTELO

Painetut lähteet

1 Aaltonen, Andersson, Kauppinen, Konepajan Tuotantotekniikka, Koneistustekniikat. WSOY 1997.

2 Aaltonen, Andersson, Kauppinen, Konepajan Tuotantotekniikka, Konepaja-automaatio. WSOY 1996.

3 Aaltonen, Andersson, Kauppinen, Konepajan Tuotantotekniikka, Kone- ja metalliteollisuuden tuotantojärjestelmät. WSOY 1994.

4 Lehtimäki Aarre, Työvälinetekniikka. Kurssimateriaali. Tampereen Ammattikorkeakoulu 2003.

5 Vipukoneen konekansiot ja piirustukset. Sisu-Diesel 1982–2004.

Painamattomat lähteet

6. IS-Automation Oy. Lind, Roland, myyntipäällikkö. Puhelinkeskustelu 20.1.2005.

7. Vibratec Oy. Immonen, Aimo, myyntivastaava. Puhelinkeskustelu 10.2.2005.

8. Juhani Mäkivirta Oy, Kitinoja, Kimmo, kehitysvastaava. Puhelinkeskustelu 24.1.2005.

9. Sisu-Diesel Oy, Korpiaho, Veikko, työnjohtaja. Keskustelut 2004–2005.

10. Sisu-Diesel Oy, Mattila, Mika, kehitysinsinööri. Keskustelut 2004–2005

Sähköiset lähteet

11. Weber Schraubautomaten GmbH. [www-sivu]. Saatavissa: www.weberautomatic.com

12. Rhein-Nadel Automation GmbH. [www-sivu], esitteet. Saatavissa: www.rna.de

13. FANUC Robotics UK. [www-sivu]. Saatavissa: www.fanucrobotics.co.uk

14. ABB Oy. [www-sivu]. Saatavissa: www.abb.com/robotics

15. Cimotec Automatisierung GmbH. [www-sivu]. Saatavissa: www.cimotec.de

16. Matsuura Machinery Corp. [www-sivu]. Saatavissa: www.matsuura.co.jp

17. IS-Automation Oy. [www-sivu]. Saatavissa: www.isautomation.fi

18. Haas Automation Inc. [www-sivu]. Saatavissa: www.haascnc.com

LIITTEET

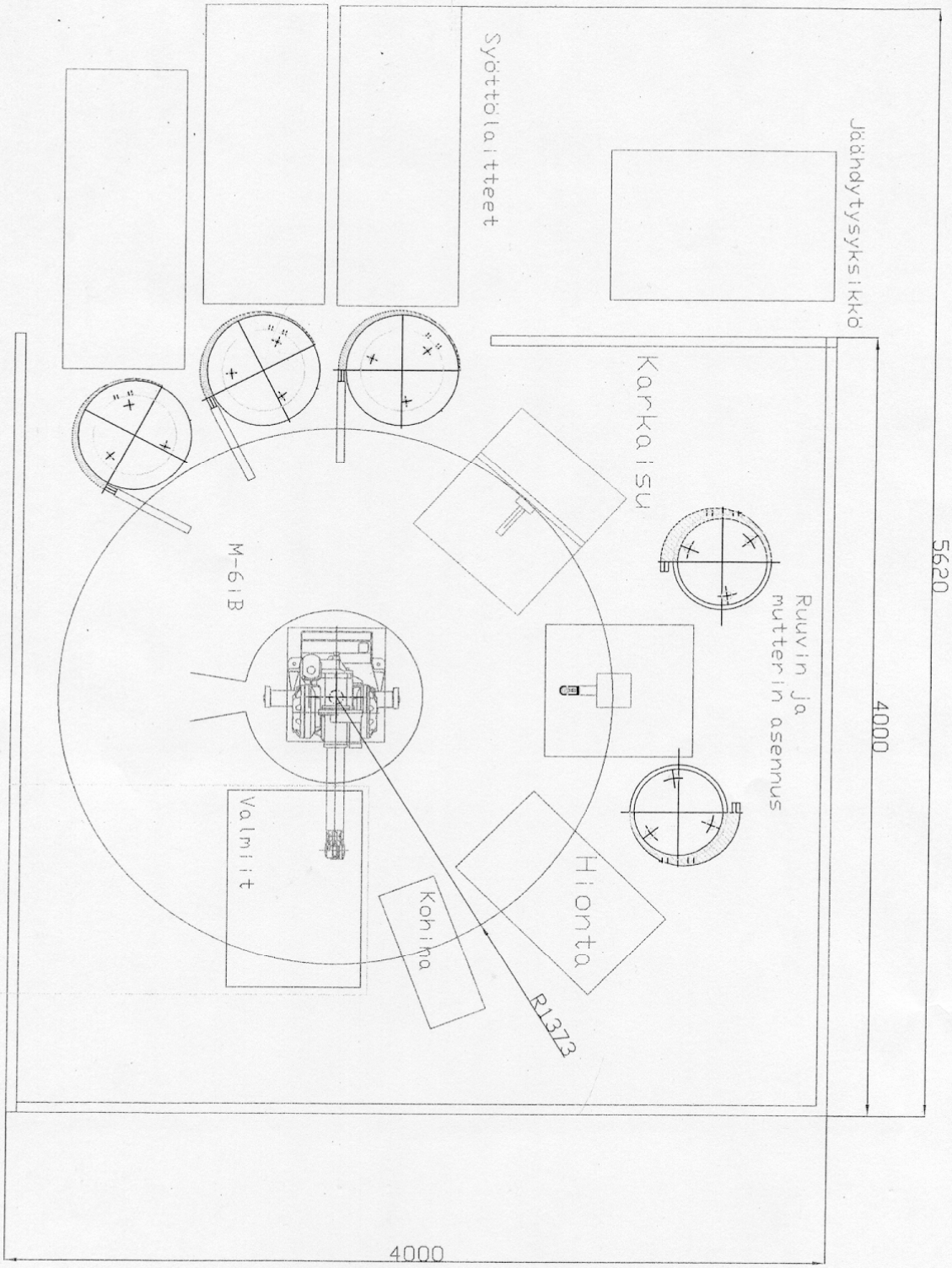
1. Robottiviimeistelyn layout suurennos

2. Vipusolu

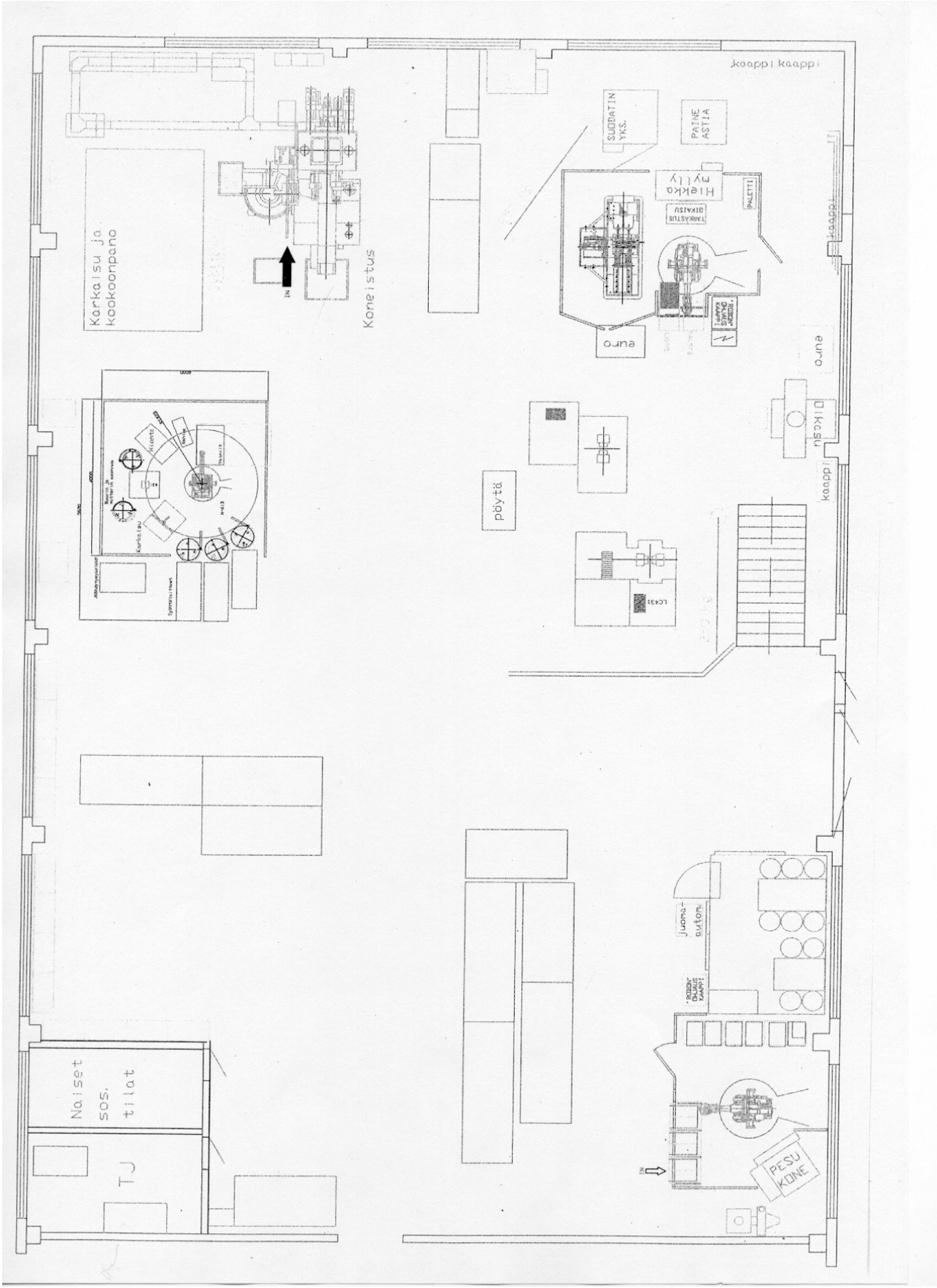
3. Linjaviimeistelyn layout luonnos

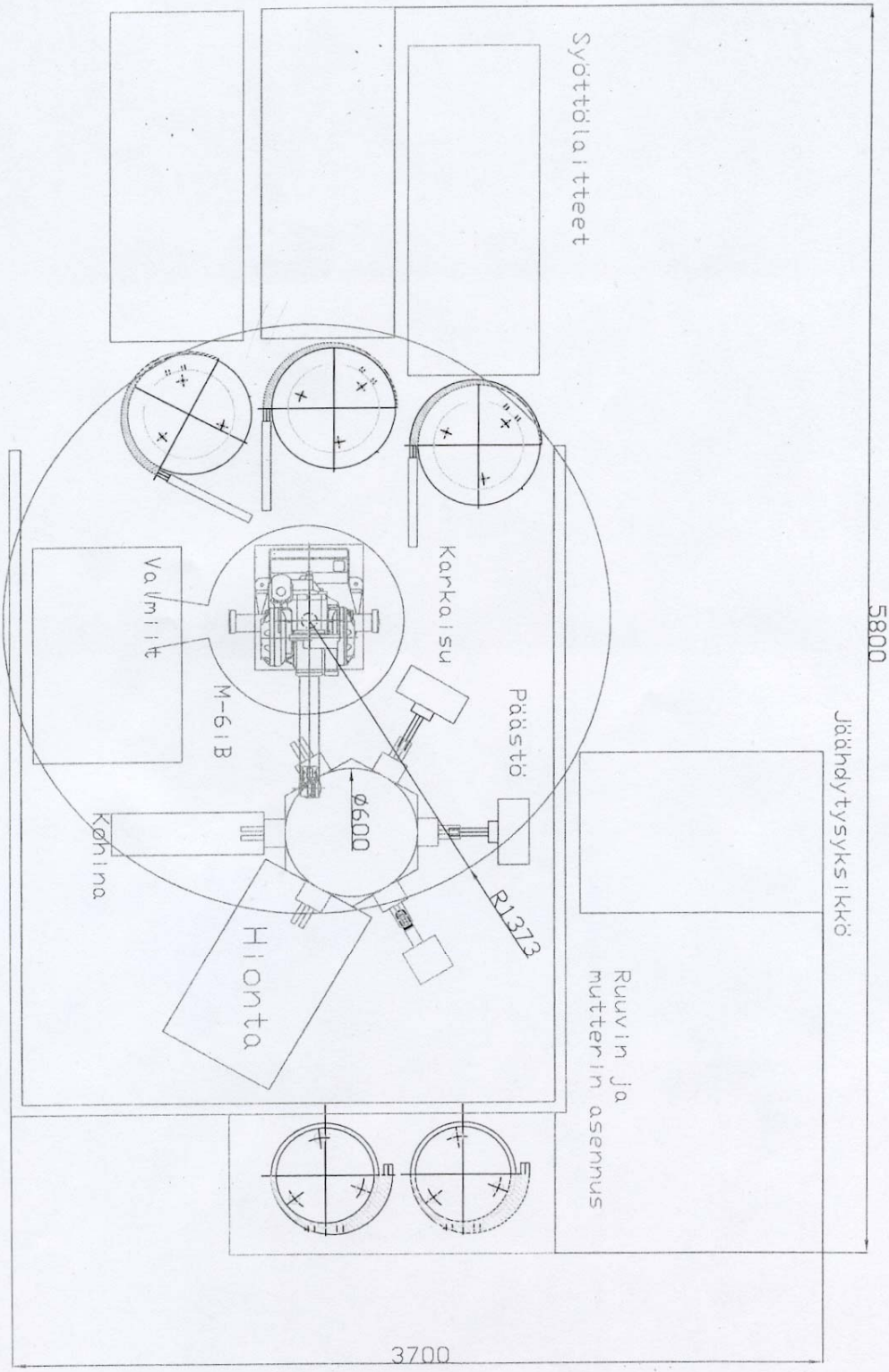
4. Vibratecin lähettämä tiedote

LIITE 1


Jäähdytysyksikkö
Syöttölaitteet
Karkaisu
Ruuvin ja
mutterin asennus
M-61B
Hionta
Valmiit
Kohima
R1373
5620
4000
4000

LIITE 2


Karkaisu ja kaakoonpano
Koneistus
IN
kaappi kaappi
SUODATIN YKS.
PAINE ASTIA
Hiekka myllY
TÄRÄSTUS DIXAISU
PALETTI
kaappi
uuna
uuna
DIKASU
kaappi
pöytä
LCA31
Naiset sos. tilat
TJ
Juoma-automaatti
PESU KONE
IN


Syöttölaitteet
Karkaisu
Päästö
Valmiit
M-61B
Köhina
ø600
R1373
Hionta
Jäähdytysyksikkö
Ruuvin ja
mutterin asennus
5800
3700

RNA laitteisto keinuvipujen syöttöön (9*4*2,5 cm).

Pos 1	1 kpl SRC-N 400-2 220 V 50 Hz
Pos 2	1 kpl TAG-N 400-50-200 AL porraslieriö
Pos 3	1 kpl PU pinnoite edelliseen
Pos 4	1 kpl Orientointi sekä ulostulotyökalu
Pos 5	1 kpl SRL–N 400 keskiölevy
Pos 6	1 kpl ESK 2001 2-kanavasäädin anturiliitännällä säädin
Pos 7	1 kpl GL-01 lineaari
Pos 8	1 kpl Rata lineaarille säädettävä
Pos 9	1 kpl Pohjalevy sekä runko lineaarille
Pos 10	1 kpl Esiannostelija n 100 litraa, varustettu moottoritäryttimillä sekä pinnankorkeudenvalvojalla. Ohjauskotelo sekä jalusta.

Orientointi varauksella, lopullinen päätös vasta kun olemme osat nähnyt.