



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Alexis Likos

Tasapainon mittausaseman suunnittelu ja testaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikan tutkinto-ohjelma

Insinöörityö

29.4.2021

Tekijä(t) Otsikko	Alexis Likos Tasapainon mittausaseman suunnittelu ja testaus
Sivumäärä Aika	32 sivua + 4 liitettä 29.4.2021
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Koneautomaatio
Ohjaaja(t)	Lehtori Heikki Paavilainen
<p>Tässä insinööriyössä tutkitaan Hioma-aine Oy:n valmistaman hiomalaikan testauksen aikana tapahtuvan tasapainon sekä heiton muutosta. Työn tarkoituksena on perehtyä värähtelyn teoriaan sekä mittaustekniikkaan, joiden avulla voidaan toteuttaa tuotteen testaus asemassa. Testausasema on tarkoitus automatisoida ja sen tehtävä on toteuttaa värähtely- sekä geometrian mittaus tuotteelle.</p> <p>Työ tehtiin toimeksiantona Hioma-aine Oy:lle.</p> <p>Opinnäytetyö aloitettiin perehtymällä värähtelyn teoriaan sekä mittaustekniikkaan, jolla voidaan toteuttaa värähtelyn tiedonkeruu. Kartoitettiin komponentit sekä järjestelmät, joista rakennettiin testausaseman. Asema koostuu kiihtyvyyssanturista, etäisyydenmittausanturista, servomootorijärjestelmästä sekä Beckhoffin PLC:stä ja logiikkakorteista, joiden avulla voidaan automatisoida koko järjestelmä. Tulokset saatiin pyörittämällä tuotetta servomootorilla ja PLC-järjestelmällä kerättiin tietoa antureiden mittaamista arvoista.</p> <p>Värähtely on haastava ja laaja aihe, johon vaikuttaa monta tekijää, ja joita täytyy huomioida mittauksissa ja suunnittelussa. Automaatiomittauksessa voidaan käyttää valmiita ohjelmia tai kokonaisias kirjastoja, mutta niiden hyödyntäminen sekä ymmärtäminen vaatii vankkaa aikaisempaa osaamista.</p>	
Avainsanat	värähtely, anturi, testausasema

Author Title	Alexis Likos Design and Testing of a Balance Measuring Station
Number of Pages Date	32 pages + 4 attachments 29 April 2021
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Professional Major	Machine Automation
Instructors	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer
<p>This thesis focuses on getting acquainted with the investigation of change in the balance and throw during the testing of the grinding wheel manufactured by Hioma-aine Oy. The objective of this thesis is to examine get acquainted with the theory of vibration and measurement techniques, which can be used to implement product testing on a test bench. The purpose of the testbench is to automate the test bench it and its task is and to carry out the measurements of vibration and geometry for the product.</p> <p>The thesis was done as an assignment for assigned by Hioma-aine Oy.</p> <p>The thesis was started by getting acquainted familiarizing with the theory of vibration and the measurement technique that can be used to collect vibration data. Demanding components and systems from which could be used to build a test bench were mapped. for building a testbench demanding components and systems were mapped.</p> <p>The test bench consists of an accelerometer, displacement measurement sensor, servomotor system and Beckhoff PLCs as well as logic cards for automating the entire system. The results were obtained by rotating the product with a servomotor, while the PLC system collected the data of the values measured by the sensors.</p> <p>Vibration is a challenging and wide-ranging issue, influenced by many factors that need to be considered in the measurement process and design. Ready-made programs and libraries can be used in automation measurement, but utilizing and understanding them requires previous knowledge and experience is needed</p>	
Avainsanat	vibration, sensor, test bench

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Kunnonvalvonta ja värähtelyt	2
2.1	Kunnonvalvonta	2
2.2	Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset	3
2.3	Mekaaninen värähtely ja aaltoliike	3
2.3.1	Värähtelysuureet	4
2.4	Värähtelytyypit ja valvontamenetelmät	5
2.4.1	Värähtelytyypit	5
2.4.2	Valvontamenetelmät	6
2.5	Anturit	7
2.6	Projektin kannalta oleelliset anturit	7
2.6.1	Kiihtyvyyssanturit	7
2.6.2	Etäisyydenmittausanturi	8
3	Testausaseman suunnittelu ja rakentaminen	10
3.1	Vaatimukset	10
3.2	Komponenttien valinnat	11
3.2.1	Kiihtyvyyssanturi	11
3.2.2	Etäisyydenmittausanturi	13
3.3	Servomoottori	15
3.4	PLC-laitteisto	16
3.5	Kytkenät	18
3.6	Komponenttien asennus käyttökohteisiin	19
3.7	Mittausten ja automaation suunnittelu	21
3.7.1	Signaalin esitystavat	21
3.7.2	Kiihtyvyyssanturin mitattavan signaalin käsittely	22
4	Aseman testaaminen	23
4.1	Värähtelymittaus	23
4.2	Etäisyydsmittausanturin mittausesimerkki	24
4.3	Moottorin ohjausesimerkki	26
5	Tulokset	29

5.1	Värähtelymittaukset	29
5.2	Epäkeskeisyydenmittaukset	31
5.3	Jatkokehitysehdotukset	31
6	Yhteenveto	32
	Lähteet	33
	Liitteet	
	Liite 1: Etäisyydenmittausohjelma	
	Liite 2: Moottorin ohjausohjelma	

Lyhenteet

IEPE	Integrated Electronic Piezoelectric Accelerometer. Pietsosähköisesti toimiva kiihtyvyyssanturi, jossa on sisäinen vahvistin.
PLC	Programmable Logic Controller. Tietokone, jota käytetään teollisuudessa sähkömekaanisten prosessien automaatioon.
CPU	Central Processing Unit. Prosessori, on tietokoneen osa, joka suorittaa tietokoneohjelman sisältämiä konekielisiä käskyjä.
PC	Personal Computer. Laite, joka suorittaa tietojenkäsittelytehtäviä.
r/min	Revolutions per minute. Pyörimisnopeus, joka kertoo montako kierrosta jokin kappale pyörähtää akselinsa ympäri aikayksikössä.
INT	Integer. Numero, joka voidaan kirjoittaa ilman murto-osaa.
GND	Ground. Maadoitus, sähkölaitteen tietyn osan maadoittaminen.
I	Input. Tuloportti, jonka kautta ohjelmoitava logiikka saa tietoa järjestelmän tilasta.
Q	Output. Lähtöportti, jonka kautta ohjelmoitava logiikka voi ohjata järjestelmää

1 Johdanto

Nykyisin teollisuuden laitteet ja komponentit ovat erittäin monimutkaisia ja niissä on paljon eri tekniikkaa. Laitteen toiminnan aikana voidaan kerätä tietoa ja myös käsitellä sitä halutulla tavalla, esimerkiksi vikojen ehkäisemiseksi tai tutkimiseksi. Tähän tarkoitukseen on kehitetty kunnonvalvontaprosesseja sekä mittaustekniikkamenetelmiä vikojen analysoimiseksi. Tietoa voidaan kerätä antureilla, joita hyödynnetään fysikaalisten suureiden mittaamiseen.

Työ on tehty tuotteenvalmistaja Hioma-aine Oy:n toimeksiannosta. Porvoolainen teknisen kaupan asiantuntijayritys on erikoistunut metalliteollisuuden hiomalaitteiden sekä tarvikkeiden tuotantoratkaisuihin. Tämä työ on osa jo suunniteltua automaatiokeskus-konseptia, jonka tarkoitus on puhdistaa sekä suorittaa kunnonvalvontaa valmistetuille hiomalaikoille. Keskuksen halutaan tehostavan tuotannon kokonaisuutta. Tässä työssä siis tutkitaan miten hiomalaikkojen tasapaino ja mittaheitto voidaan testata automaattisesti kivien puhdistusaseman yhteydessä.

Projekti toteutetaan asiakkaan toiveesta automaatiotekniikkaa hyödyntäen. Projektin tarkoituksena on kartoittaa automaatiotratkaisuja, joita voidaan hyödyntää yrityksen tuotannon tehostamisessa. Tehokas ja edullinen tapa oli rakentaa testausasema, jossa toteutetaan hiomalaikkojen halutut mittaukset. Testausasemalla saadaan selville, miten mittaus voidaan toteuttaa, automaation toiminta sekä järjestelmän haasteet.

Työn alustukseksi käytiin läpi teollisuuden kunnonvalvontaa, värähtelyn teoriaa sekä antureita. Käytännössä testausasema suunniteltiin, rakennettiin sekä testattiin. Mittauksista kerättiin tulokset ja niiden perusteella päätettiin jatkotoimenpiteet.

2 Kunnonvalvonta ja värähtelyt

Teollisuudessa käytettävät laitteet ovat kooltaan ja käyttötarkoituksiltaan erilaisia. Laitteiden hankinnan kriteereinä vertaillaan esimerkiksi laitteen käyttöikä ja takaisinmaksuaikaa. Laitteen käyttöiällä voidaan hyvin helposti perustella tuotteen kannattavuus ja laatu. Yritykset yleensä yrittävät vähentää ylimääräisiä kuluja ja siksi panostavat laatuun. Hintavampi laite voi olla pidemmällä ajalla kannattavampi hankinta verrattuna edullisempaan, jolla on lyhyempi käyttöikä. Parempilaatuinen laite on suunniteltu kestävämpään ja yllättävien vikojen määrä laskee. Ilmenevillä vioilla on aina suuri vaikutus tuotannon prosessiin. Yksikin vika vaikuttaa negatiivisella tavalla prosessin tuottavuuteen. Vika voi johtaa tuotannon seisahtumiseen ja se vaikuttaa ketjureaktiona muihin vaiheisiin. Nykyään on kuitenkin paljon tapoja ylläpitää, huoltaa sekä valvoa laitteita. Kunnossapidosta täytyy pitää kiinni ja sen on oltava jatkuvaa ja huolellista toimintaa, jotta tuotanto pysyy sujuvana. Tässä työssä näitä asioita pohditaan automaation näkökulmasta sekä myös, miten hyödyntää antureita kunnonvalvonnassa.

2.1 Kunnonvalvonta

Prosessiautomaatio

Prosessiautomaatio on automaatiojärjestelmä, jonka tarkoitus on suorittaa komentoja raja-arvojen puitteissa sekä monitoroida laitteen tilaa ja siten suorittaa vaadittavat toimenpiteet vian ennaltaehkäisemiseksi tai poistamiseksi.

Automaatioteknologian hyödyntäminen kunnonvalvonnassa yleistyy yhä enemmän. Lisäämällä antureita ja kytkimiä laitekokonaisuuden eri vaiheisiin, voidaan niillä saada aikaan reaaliaikaista kunnonvalvontaa ympäri vuorokauden esimerkiksi painemittausanturi ja hätäseis-kytkin. Automaatiota hyödynnetään vikojen havainnoimisessa ja sen ohjelmaan voidaan asettaa toimenpiteet, jotka se suorittaa vian tapahtuessa. Lisäksi automaatio pystyy prosessin aikana myös laatimaan raportteja ja keräämään historiatiedostoja. Yleensä isoimmissa kokonaisuuksissa on operointitila, jossa asiantuntija valvoo monitoreista järjestelmää sekä tarvittaessa tekee muutoksia laitteen ohjaukseen.

2.2 Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset

Värähtelymittaukset

Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty menetelmä kunnonvalvonnassa ja sitä hyödynnetään myös käytönvalvonnassa sekä vikaselvityksissä. Oikein sovellettuna värähtelymittaus on useimmissa tapauksissa paras ennakoivan kunnossapidon mittaussmenetelmä, mutta väärin sovellettuna ajan ja resurssien tuhlausta.

Värähtelymittausmenetelmiä ja mittalaitteita on tarjolla lähes rajattomasti, ja ilman aikaisempaa kokemusta on vaikea tietää, mikä mittalaite ja -menetelmä olisi omiin kunnonvalvontatarpeisiin riittävä.

Riippumatta siitä, minkä tasoista mittalaitteistoa käytetään koneiden kunnonvalvontaan, oleellista on mittaustulosten järkevä käsittely ja dokumentointi. Ilman niitä ei vauriokehitystä pystytä havaitsemaan ja vaurioitumisen ajankohtaa arvioimaan. Tämä pätee myös useimpiin muihinkin mittaussmenetelmiin kuin värähtelymittaukseen. [1.]

2.3 Mekaaninen värähtely ja aaltoliike

Projektin tärkeimpänä elementtinä on värähtely. Värähtely on teollisuudessa yleinen ilmiö. Lähes jokainen dynaaminen järjestelmä, joka on liikkeessä, aiheuttaa jonkinlaista värinää tai on sitä kuljettava elementti. Siksi on hyvä tietää signaalinkäsittelyn sekä mittauksen teoriataustaa, jotta tätä voi soveltaa järjestelmän suunnittelussa. Kuitenkin nykypäivänä on olemassa paljon järjestelmiä sekä laitteistoja apuvälineinä värähtelyn tulkitintaan ja käsittelyyn, joten käyttäjältä ei vaadita erityistaitoja, mutta huolellisuutta tarvitaan. Epätasapaino on kaikkein yleisin syy pyörivien koneiden värähtelyn syntyyn ja se voi johtua toleransseista, materiaalista tai kohteen vioista. Epätasapainon värähtely ilmenee koneen tai laitteen pyörimistaajuudella ja sen suuruus on verrannollinen painopisteen etäisyyteen pyörimisakselin keskipisteestä. [2, s. 297.]

Mekaanisen värähtelyn määritelmä

Rakenteissa ja koneissa esiintyy värähtelyjä, vaikka niitä ei tietoisesti aiheuteta. Värähtelyt syntyvät siten, että systeemissä olevat herätteen tuottajat, esimerkiksi moottori, kohdistaa voiman järjestelmän rakenteeseen ja sitä kautta välittyy muihin osiin. Yleensä tämä aiheutuu iskumaisista herätteistä, jotka johtuvat tietyn osan vaurioitumisesta.

2.3.1 Värähtelysuureet

Alempi taulukko 1 sisältää yleisemmin käytetyt suureet ja mittayksiköt värähtelymittauksissa ja niihin liittyvissä laskutoimituksissa.

Taulukko 1. Värähtelysuuretaulukko [2, s. 230.]

Suure	Lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	s	µm
Nopeus	v	mm/s
Kiihtyvyys	a	m/s ² tai g = 9,81 m/s ²
Vaihekulma	φ	Aste (°) tai radiaani (360° = 2πrad)
Taajuus	f	Hz
Jakso	T	s

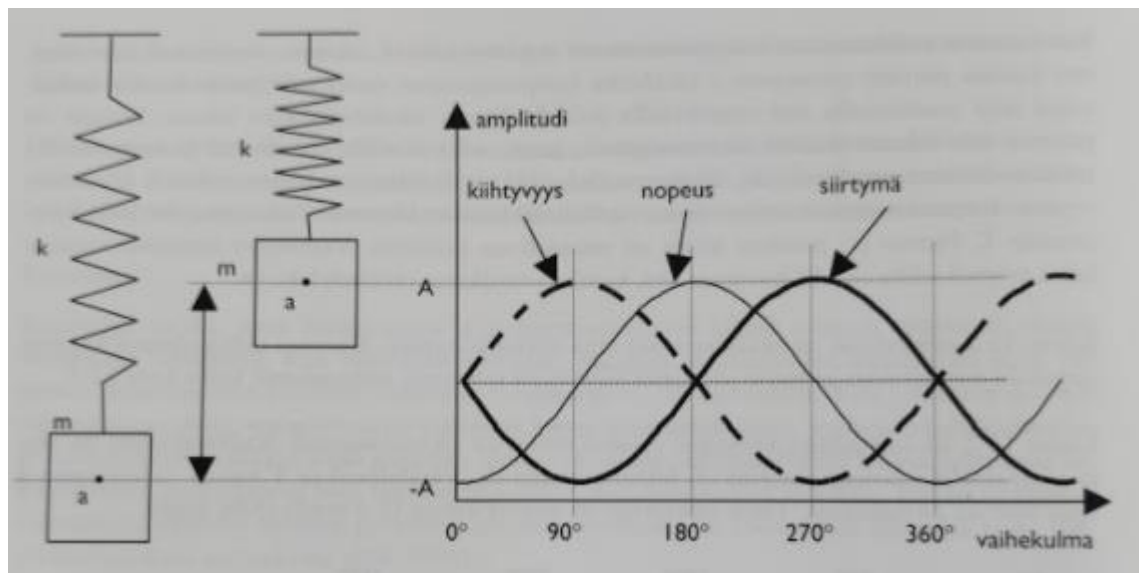
Yleisin kunnonvalvonnassa käytetty mittaussuure on nopeus, mutta tarkasteltavan kohteen mukaan voidaan tarkastella myös kiihtyvyyttä ja siirtymää. Derivoimalla voidaan perustella suureet. Nopeus voidaan käsittää siirtymän eli paikan muutosnopeutena ja kiihtyvyys vastaavasti nopeuden muutosnopeutena. [2, s. 227.]

Värähdysliike eli jaksoittain toistuva liike on tietyn pisteen (tasapainoaseman) ohi edestakaisin tapahtuvaa jaksoittaista liikettä. Maksimipoikkeamaa tasapainoasemasta kutsutaan amplitudiksi. Värähdysliikkeen jaksonajalla "T" tarkoitetaan yhteen edestakaiseen värähdykseen kulunutta aikaa. Värähdysliikkeen taajuus "f" ilmoittaa aikayksikössä tapahtuvien värähdysten lukumäärän. [3, s. 67.]

Taajuuden yksiköksi saadaan $f = \frac{1}{T}$

Vaihekulma kertoo jakson kohdan, johon värähtely on edennyt vertailukohdasta. Vaihekulma ilmoitetaan asteina ($^{\circ}$) tai radiaaneina ($360^{\circ} = 2\pi\text{rad}$).

Amplitudi (A) on värähdysliikkeen maksimipoikkeama tasapainoasemasta. Värähtelyamplitudi voidaan lukea pystyakselilta eli sillä kuvataan sitä, kuinka voimakasta värähtelyliike on.



Kuva 1. Jousi-massasysteemin pisteen a värähtelyn siirtymä, nopeus ja kiihtyvyys [2, s. 228.]

2.4 Värähtelytyypit ja valvontamenetelmät

2.4.1 Värähtelytyypit

Herätetaajuus

Värähtelymekaniikassa nimitystä heräte käytetään sellaisesta rakenteeseen kohdistuvasta voimasta, joka pyrkii saamaan rakenteet värähtelemään. Tyypillisissä teollisuuden koneissa herätetaajuuksien määrä on suuri ja niiden tarkka tunnistaminen on usein vaikeaa [2, s. 225.]

Ominaistaajuus

Rakenteilla on useita ominaistaajuuksia eli taajuuksia, joilla ne pyrkivät herätteen vaikutuksesta värähtelemään. Ominaisvärähtelyt aiheuttavat suuren osan rakenteellisista värähtelyongelmista. [2, s. 225.]

Resonanssi

Tila, jossa herätetaajuus ja ominaistaajuus ovat lähellä toisiaan aiheuttaen yleensä voimakasta värähtelyä. Kun resonanssi ohitetaan, muuttuu taajuusvasteen vaihekulma n. 180 astetta. Resonanssissa värähtely vahvistuu tyypillisesti 5...50-kertaiseksi. [2, s. 226.]

2.4.2 Valvontamenetelmät

Spektrivalvonta

Spektrivalvonta on useita vikaantumismekanismeja kattava valvontamenetelmä. Siinä verrataan mitattua spektriä aikaisempien mittausten perusteella muodostettuun hälytysrajaspektriin. [4, s. 4.]

Verhokäyrävalvonta

Verhokäyrävalvonnalla voidaan havaita jo varhaisessa vaiheessa syntyvien vikojen iskumaista herätettä. Vian aiheuttama korkeataajuinen värähtelysignaali muokataan amplitudimodulaatiolla matalataajuiseksi signaaliksi, jota voidaan valvoa tunnusluvun, aikatazon tai spektrin avulla. Soveltamiskohteena ovat esimerkiksi hitaasti pyörivät laitteet [4, s. 4.]

Vektorivalvonta

Vektorivalvonnalla seurataan pyörimistaajuisen tai sen monikerralla tapahtuvan värähtelyn voimakkuuden (A) ja vaihekulman (ϕ) muodostamaa vektoria napakoordinaatistossa [4, s. 5].

2.5 Anturit

Anturit mittaavat koneen toiminnan kannalta tarpeellisia fysikaalisia suureita ja muuttavat mittaustuloksen koneen ohjausjärjestelmän ymmärtämään muotoon. Useimmiten tietoa tarvitaan liikkuvien osien asemasta, liike- tai pyörimisnopeudesta. Joissakin tapauksissa esimerkiksi voimien, paineiden tai lämpötilojen mittaaminen voi olla tarpeen. [5, s. 3.] Anturit aistivat ja keräävät dataa sen mukaan, mitä niiden mittausalueella tapahtuu asetettujen raja-arvojen puitteissa.

Anturi muuntaa mitattavan suureen arvon siihen verrannolliseksi viestiksi. Viesti voi olla esimerkiksi muotoa: sähköinen 0-20mA, 4-20mA tai 0-10V, +-10V. Anturin mittauselin määrittää suureen arvon, minkä jälkeen anturiosa muuttaa tuloksen halutun muotoiseksi viestiksi [6, s. 187.]

Jännitesignaali on helpompi toteuttaa, mutta se on alttiimpi ulkoisille häiriöille. Kun taas virtasignaalissa kaapelin resistanssi ei vaikuta mittausarvoon.

2.6 Projektin kannalta oleelliset anturit

Antureita on useita ja moneen eri käyttöön. Projektissa käytetään kiihtyvyyssanturia värähtelyn mittaukseen ja etäisyysanturia aseman mittaukseen.

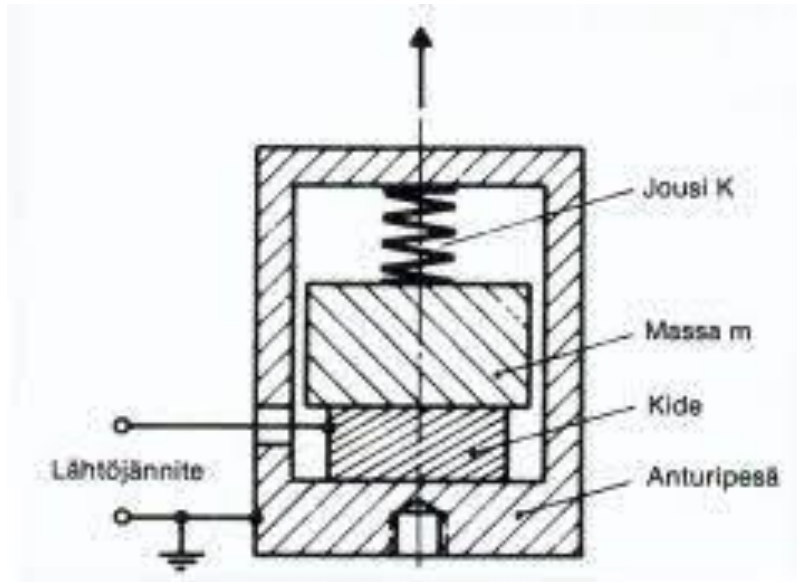
2.6.1 Kiihtyvyyssanturit

Anturitekniikka perustuu Newtonin toiseen lakiin: Voima on massan ja kiihtyvyyden tulo. Silloin kun massa tunnetaan, voidaan selvittää voiman suure. Tavallisesti kiihtyvyyttä mitataan pietsosähköisillä antureilla, mutta myös induktiivisia ja venymäantureita käytetään [5, s. 56.]

Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit

Pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu siihen, että kun tapahtuu liikettä niin massa aiheuttaa kiteeseen varauksen, joka on suoraan verrannollinen kiihtyvyyteen. Anturi koostuu pietsosähköisestä kiteestä, seismisestä massasta ja jousesta. Kiihtyvyydestä aiheutuvan voiman vaikuttaessa anturin runkoon nuolen sunnassa johtaa se kiteen

puristumaan massavaikutuksesta. Tällöin anturilta saadaan puristusvoimaan ja myös kiihtyvyyteen verrannollinen signaali. Jousen tehtävänä on esijännittää massa kidettä vastaan, jolloin on mahdollista mitata kiihtyvyys molempiin suuntiin. [5, s. 56.] Kuvassa 2 alempana näkyy anturin rakenne. Anturia käytetään lähinnä pyörivien koneiden kunnon valvontaa. Teollisuuskäytettävät anturit ovat taajuualueeltaan 1–5000 Hz.



Kuva 2. Pietsosähköisen kiihtyvyyssanturin rakenne

2.6.2 Etäisyydenmittausanturi

Etäisyydenmittausantureilla voidaan mitata suoraviivaista liikettä tai kulmaliikettä. Suoraviivaisen liikkeen mittauksessa on kyse jonkin kappaleen kulkemasta matkasta tai suhteellisesta liikkeestä johonkin osaan nähden. Tehtävänä on määrittää liikkeen aiheuttama kahden pisteen välinen etäisyys. Kulmanmittauksessa käsitellään kappaleen kiertymistä tunnetun akselin ympäri.

Anturin tehtävä on mitata liiketila tietyllä alueella. Tämän tulee tapahtua riittävän herkästi, nopeasti, häiriöttömästi ja toistuvasti samalla tavalla. Anturia valittaessa joudutaan tekemään kompromisseja eri ominaisuuksien välillä. Anturin valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat käyttöolosuhteet, toimintaperiaate ja rajoitukset, joita anturi asettaa käyttösovellukselle. Häiriötekijöitä toiminnan heikentämiseen ovat mm. olosuhteet, lämpötila, kuluminen, värinä ja iskut. [5, s. 21.]

Lasermittaus

Laseranturit voidaan jakaa mittausperusteiden mukaan kolmeen eri kategoriaan.

1. Valosäteen sironta

Laseranturi koostuu mittapäästä sekä keskusyksiköstä, joka suodattaa ja käsittelee mittaustuloksen muodostaen niistä etäisyystiedon. Mittapäässä valolähteenä käytetään laserdiodia, jonka lähettämä valo muodostaa infrapunavalopisteen mitattavan kohteen pinnalle. Pinta siroaa valoa ja mittapään valoherkän ilmaisimen pinnalle muodostuu pisteen kuva. Pisteen sijainnin perusteella määritellään mitattavan kohteen etäisyys mittapäästä. Laitteilla voidaan mitata kohteen etäisyys, paksuus ja pinnan profiili. [5, s. 52.]

2. Valopulssin kulku aika

Valopulssin kulku aika voidaan määrittää joko vaihe-eromittauksessa tai suorana pulssina kulku aikamittauksena. Vaihe-eromittauksessa lähtevää valosädettä moduloidaan tunnetulla taajuudella. Vastaanotettu säde vahvistetaan ja suodatuksen jälkeen verrataan sitä lähetetyn säteen vaiheeseen ja ilmaistaan säteiden välinen vaihe-ero. Suoran pulssin kulku ajan mittauksessa puolijohdelaseriin perustuva lähetin lähettää voimakkaita valopulsseja antaen samalla lähtevästä pulssista aikamerkin aikavälimittaukseen. Vastaanotin havaitsee kohteista heijastuneen kaiku pulssin ja muodostaa sen perusteella toisen ajoitus pulssin. Lähetetyn ja vastaanotetun pulssin välinen aikaväli ilmaisee mitattavan etäisyyden. Mitattavasta kohteesta saatavan heijastuspulssin teho riippuu lähettimen tehosta, kohteen etäisyydestä, pinnan heijastusominaisuuksista sekä heijastuskulmasta. [5, s. 52.]

3. Laser-interferometria

Mittalaitteen pääosat ovat mittapää, interferometri, heijastimet ja laskin. Mittapää lähettää koherenttia laservaloa interferometriin, jossa valo jakautuu mittaussäteeksi ja vertailusäteeksi. Jakautuneet säteet palaavat heijastimesta interferometriin, jolloin ne interferoivat keskenään ja vastaanottimessa lasketaan syntyneiden interferenssijuovien lukumäärä. Laskimessa interferenssijuovien lukumäärä muutetaan pituusyksiköksi. Tärkein käyttökohte on tarkka pituusmittaus. Pituusmittauksessa kahden pisteen välinen etäisyyden muutos voidaan helposti mitata. [5, s. 53.]

3 Testausaseman suunnittelu ja rakentaminen

3.1 Vaatimukset

Tämä projekti on osa suurempaa kokonaisuutta. Työn tarkoitus on alustaa vaihetta projektissa, joka perustuu toisen opiskelijan suunnittelemaan konseptisovellukseen. Konseptissa on suunniteltu asema, jossa mitataan pyörivän hiomalaikan epätasapainoa. Arvojen ylittyessä järjestelmä ohjaa tuotteen sorvattavaksi. Sorvauksen jälkeen sille tehdään vielä varmistusmittaus sekä testataan, täyttääkö kohde asetetut vaatimukset. Tuote sen jälkeen hylätään tai hyväksytään. Alustavasti testauksen kesto olisi 30 s. Sorvaus ja varmistusmittaus voivat pidentää tätä aikaa.

Tehdään siis sovellus testausasemasta, joka pystyy toteuttamaan vaaditut toimenpiteet. Aseman on tarkoitus havainnoida laikkaan kohdistuva värähtely sekä tuottaa analysoitava suure. On myös suotavaa liittää toteutukseen järjestelmä, joka mittaa laikan geometrisen epämuodostuman. Järjestelmä toteutetaan automaatiotekniikalla, jolloin järjestelmän ohjaus, laikan pyöriminen sekä antureiden mittauksien toteuttaminen voidaan automatisoida. Koska pyörimisnopeus vaikuttaa mittaustulokseen, täytyy se vakioida tässä sovelluksessa 2000 r/min:iin.

3.2 Komponenttien valinnat

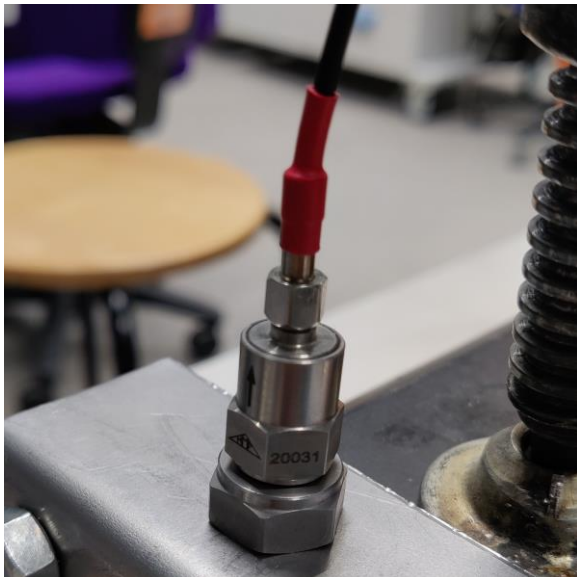
Tavoitteena on valita konseptisovellukseen anturit.

3.2.1 Kiihtyvyyssanturi

Epätasapainon mittaamiseen soveltuu kiihtyvyyssanturi. Sovelluksessa voitiin valita anturityyppi perustuen hiomakiven pyörimisnopeuteen 2000 r/min. Olettaen epätasapainon syyksi pistemäinen massa, esiintyy pyörimisnopeus taajuudella 33,33 Hz. Nyquistin teoreeman mukaan näytteitä täytyy ottaa vähintään kaksinkertaisella taajuudella verrattuna muunnettavan signaalin maksimitaajuuteen. Muutoin tapahtuu laskostumista (aliasing), ja digitaalinen signaali vääristyy ja muuttuu "oudoksi". [7.] Tavoite on saada kierroksen aikana vähintään 10 näytettä.

Anturilta edellytettiin sopivaa taajuuskaistaa, mittaussuuntaa vähintään (Y-akselin) suunnassa sekä helppoa kytkettävyyttä PLC-logiikkaan datan käsittelyä varten.

Anturiksi valikoitui MiP kiihtyvyyssanturi KS78B10 (kuva 5), koska sellainen oli laboratoriossa käytettävissä. Anturin ominaisuudet: 10 mV/g:n mittausherkyys, IEPE-tyyppi, mittausalue ± 500 g ja lineaarinen taajuusalue (+/-3dB) 0.6–18000 Hz soveltuivat testausasemaan. Tiedonsiirto anturilta logiikalle toimii koaksiaalikaapelin avulla. Kyseisellä anturilla voidaan suorittaa vaadittavat toimenpiteet. [11.]



Kuva 3. MiP kiihtyvyyssanturi KS78B10

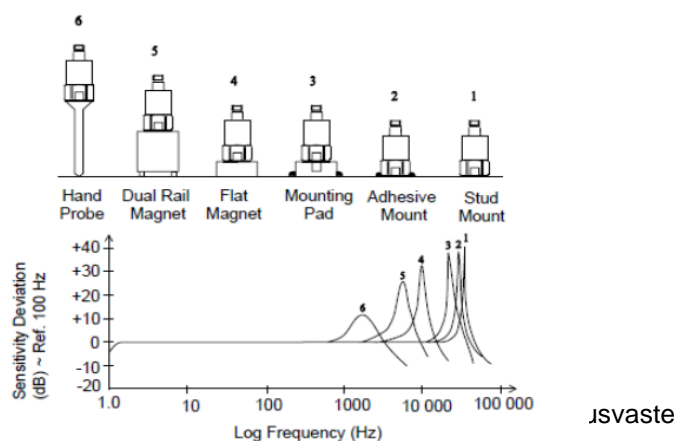
Mittauspiste

Kiihtyvyyssanturin asentamisessa täytyy valita piste, josta se kerää mittausdataa. Valinnassa täytyy huomioida mitattavan kohteen muoto ja mihin materiaaliin se kiinnitetään.

Anturin kiinnittämiseen on useita eri tapoja. Kiinnitys riippuu aina kohteesta ja toteutusmahdollisuuksista. Eri kiinnitystavat vaikuttavat lopulliseen mittaustulokseen, liittyen mittauslaitteen kosketuksesta kohteen pintaan. Tarkoituksena on kuitenkin asettaa mittauspiste mahdollisimman lähellä värähtelyn aiheuttajaa. Optimaalisin kiinnitys on mitattavan laitteen rungon kierteinen reikä, johon anturi kierretään. Tämä mahdollistaa jäykän kiinnityksen runkoon. Jos laitteessa ei ole valmiiksi kierteitä, on vaihtoehtoina joko liimaus, jolloin anturin poistaminen on hankalaa, tai magneettikiinnitys, jolloin anturin ja laitteen välillä on välikappale eikä saada kunnon kosketusta pintaan ja resonointiin. [8.]

Anturin kiinnitystapa on merkittävämpi mittausalueen ylärajataajuutta rajoittava tekijä kuin anturin tekniset ominaisuudet. Magneettikiinnityksellä lineaarisen mittausalueen ylärajataajuus on noin 2 kHz, johon saakka on mahdollista saada tarkka amplitudin arvo. Korkeampitaajuisissa mittauksissa tarkkaillaan yleensä amplitudin muutosta eikä sen tarkkaa arvoa. Mittausasetuksissa pitää ottaa huomioon kumpaa tarkoitusta varten mitausta tehdään. Vaarnaruuvikiinnityksellä päästään anturinvalmistajan ilmoittamaan maksimitaajuuteen. [9, s. 4.]

Tähän sovellutukseen voidaan käyttää magneettikiinnitystä, koska mitattava taajuus on riittävän matala. Kuvasta 4 selviää eri kiinnitysmenetelmien taajuusvasteet suurilla taajuuksilla. Riippuen valitun asennuksen tavasta anturi luo taajuusvastekäyriä, jotka ovat tyypillisiä asennetun anturin toiminnalle. [10.]

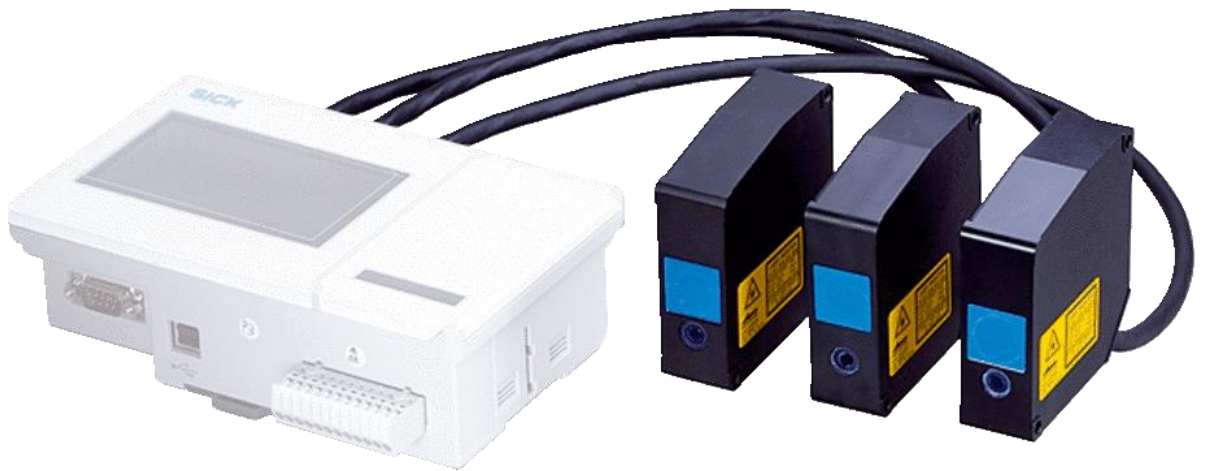


3.2.2 Etäisyydenmittausanturi

Projektiin haluttiin myös liittää geometrinen pyöreiden mittaus. Valmistettavalle tuotteelle on pieni mahdollisuus olla geometrisesti epämuodostunut valmistuksen jälkeen. Tätä ilmiötä halutaan tarkastella anturin avulla. Sovelluksessa kuitenkin laikan profiilin epämuodostuma on hyvin selkeästi ilmenevä, jotta tavallisella pistemäisellä laseretäisyydenmittauksella voidaan havaita muutos kohteen profiilissa tai asemassa.

Sovelluksessa otetaan tarkkailuun tietty viivamainen alue hiomalaikan kehältä. Anturista ulostuleva laser mittaa etäisyyden anturin ja laikan välille. Hiomalaikassa fyysinen muodonmuutos, esimerkiksi kohoama tai uppoama, johtaa anturin mitta-arvon muutokseen ja tätä arvoa voidaan käsitellä halutulla tavalla.

Anturiksi valikoitui Sick Oy:n tarkkuusetäisyysanturi OD Precision (kuva 7). Yritys mahdollisti anturin lainauksen mittauksista varten. Anturin mukana on näyttö, josta näkee reaaliajassa etäisyyden millimetreinä. Anturin ominaisuuksia: mitta-alue 250 mm – 450 mm, mittauskohde: luonnolliset kohteet, vasteaika $\geq 0,1$ ms, mittaustaajuus ≤ 10 kHz. [12.]



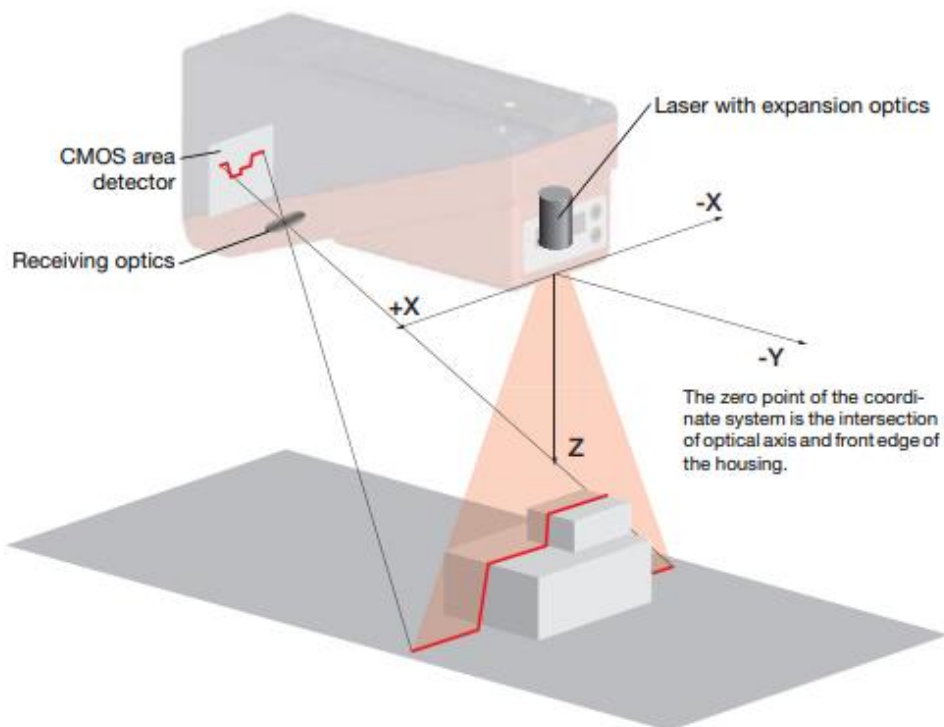
Kuva 5. Sick Oy:n Tarkkuus etäisyysanturi OD Precision

Vaihtoehtoja muodon mittaamiselle

Kohteen profiilia voidaan myös mitata leveämmältä alueelta. Erilaisella lasersiirtymään-
turilla voidaan kerätä korkeustietoa laserviivan mukaisesti yhden pisteen sijaan. Ne mit-
taavat kohteen profiilin kolmiomittauksella. Prosessissa valokaista lähetetään kohtee-
seen ja heijastunut valo vastaanotetaan 2D CMOS:n avulla korkeuden ymmärtämiseksi
lukuisissa viivan pisteissä. Tästä 2D-profiilista mitataan mm. korkeus, korkeusero, leveys
ja muut mittaukset koskematta kohteeseen.

Hyödyt

Verrattuna 1D-etäisyydenmittausantureihin, joiden mittaus perustuu yhden pisteen mit-
taukseseen, on koko pinnan 2D-mittaus monipuolisempi. Anturit ovat jonkin verran rajoitet-
tuja 2D- tai 3D-mittausten suorittamiseen, esimerkiksi korkeuseron tai vääntymisen las-
kemiseksi. Laserprofiilit taas soveltuvat suurten alueiden skannaamiseen yhdellä kertaa,
mikä mahdollistaa monimutkaisempien mittausten suorittamisen suurilla nopeuksilla.



Kuva 6. 2D-LPS-Line Profiler Sensor

3.3 Servomoottori

Mitattavan hiomalaikan on tarkoitus pyöriä. Servomoottori soveltuu hyvin testausasemaan, koska sen pyörimisnopeus on säädettävissä ja sitä on helppo ohjata PLC:n avulla. Hyödyt ilmenivät kiihtyvyyssanturin yhteydessä, kun pyörimisnopeuden nostolla pystyi kompensoimaan anturin liian pientä vahvistusta.

Oppilaitoksen tiloissa löytyi käyttämätön servomoottori ja sen mukana servo-ohjain ja siihen kuuluvat kaapelit. Moottorilta ei vaadita mitään erityistoimintoja. Oleellisinta oli, että moottorin akselin halkaisija on tarpeeksi iso kannattelemaan hiomalaikkaa ja adapteria. Pyöriminen täytyi toteuttaa mahdollisimman turvallisesti, joten moottori kiinnitettiin puristimella pöytään. Käynnistyksessä moottori muuten saattaisi kuorman takia tehdä äkkinäisen ponnahdusliikkeen. Kyseisellä menetelmällä tämän olisi ehkäistävässä. Tavoiteltava pyörimisnopeus hiomalaikalle oli n.1500–2000 rpm. Näillä nopeuksilla saadaan tarvittavat havainnot kappaleen värähtelystä sekä pyöreiden mittauksesta. Myös turvallisuuden kannalta tämä on hyvä vaihtoehto.

Moottoriksi valikoitui Kollmorgen 6SM 57M-3.000 (kuva 8) ja siihen servo-ohjain SERVOSTAR 600. Valinta perustui siihen, että se oli käytettävissä ja soveltui tähän käyttötarkoitukseen. Servo-ohjaimen avulla moottoria saadaan ohjattua. Ohjain saa moottorilta asematiedon ja vertaa sitä haluttuun asematietoon. Asematiedon avulla saadaan moottorin pyörimisliike toteutettua. Servo-ohjainta voi käyttää yrityksen sivuilta sille kuuluvan ja ladattavan ohjelman avulla "S400 / S600 DRIVE Setup Software". Kytkemällä RS243 kaapeli PC:n ja servo-ohjaimen välille, pystyy ohjelma tunnistamaan moottorin, jolloin ohjelman käyttö on mahdollista.



Kuva 7. Kollmorgen 6SM 57M-3.000

3.4 PLC-laitteisto

Beckhoff Automation Oy toimittaa PC-pohjaiseen ohjausteknologiaan perustuvia avoimia automaatiojärjestelmiä. Tuotevalikoiman pääalueita ovat teollisuus-PLC:t, I/O- ja kenttäväyläkomponentit, liikkeenohjaustuotteet ja automaatio-sovelluksien ohjelmistot. Tuotteita voidaan käyttää erillisinä komponentteina tai yhdessä täydellisenä ja yhteensovitettuna ohjausjärjestelmänä. [13.]

Projektissa hyödynnetään Beckhoffin tuotteita. Laitteiden tietoja käsitellään Beckhoffin PC-ympäristössä, TwinCat-nimisessä ohjelmassa. TwinCat on käyttöliittymäpaketti sisältäen monenlaisia eri sovelluksia ja kirjastoja, joita voi hyödyntää omassa PLC-sovelluksessa.

Projektissa käytetty PLC-järjestelmä koostuu CPU-prosessorista, virtalähteestä, sekä tulo- ja lähtö-logiikkakorteista, joiden avulla kerätään antureiden dataa. Kaikki osat on liitetty yhteen kiskoon, joka mahdollistaa virtapiirin syntymisen ja näin ollen komponentit saavat 24V:n jännitteen kuvan 9 mukaisesti. Virtalähteenä toimii 24VDC, joka on kytketty prosessoriin.

PLC:llä toteutettu automatisoitu projekti vaatii toimiakseen CPU-prosessorin, johon ohjelmointi ja raja-arvot tallennetaan. CPU huolehtii myös viestinnästä, keskinäisistä yhteyksistä PLC-ohjaimen muiden osien välillä, ohjelman suorittamisesta, muistin toiminnasta, tulojen valvonnasta ja lähdön asettamisesta.

Kiihtyvyyssanturin datan käsittelyyn on valittu Beckhoffin EL3632 2-kanavainen analoginen tuloterminaali, joka on tarkoitettu kunnon valvontaan. Se hyödyntää IEPE-tekniikkaa. Kiihtyvyyssanturi on suoraan kytköksissä logiikkakorttiin. [14.]

Etäisyydenmittausanturin signaalia on mahdollista käsitellä analogisena jännitteen tai virran arvona. Anturin mukana olevassa mittauslaatikossa on 0...20mA virtaportti. Tähän porttiin valittiin sopiva Beckhoffin EL3014 4-kanavainen analoginen tulo 0...20 mA -terminaali signaalin käsittelyyn. [15.]

Moottorin ohjain vaatii $\pm 10V$ jännitteen signaalin syötön sen tulo- ja lähtöportteihin. Tämä voidaan toteuttaa Beckhoffin EL4134 4-kanavaisella analogisella ulostuloterminaalilla, joka on tarkoitettu signaalin käsittelyyn. [16.]



Kuva 8. PLC-järjestelmä, CX5130, EL3632, EL 3014, EL4134, 24VDC-virtalähde

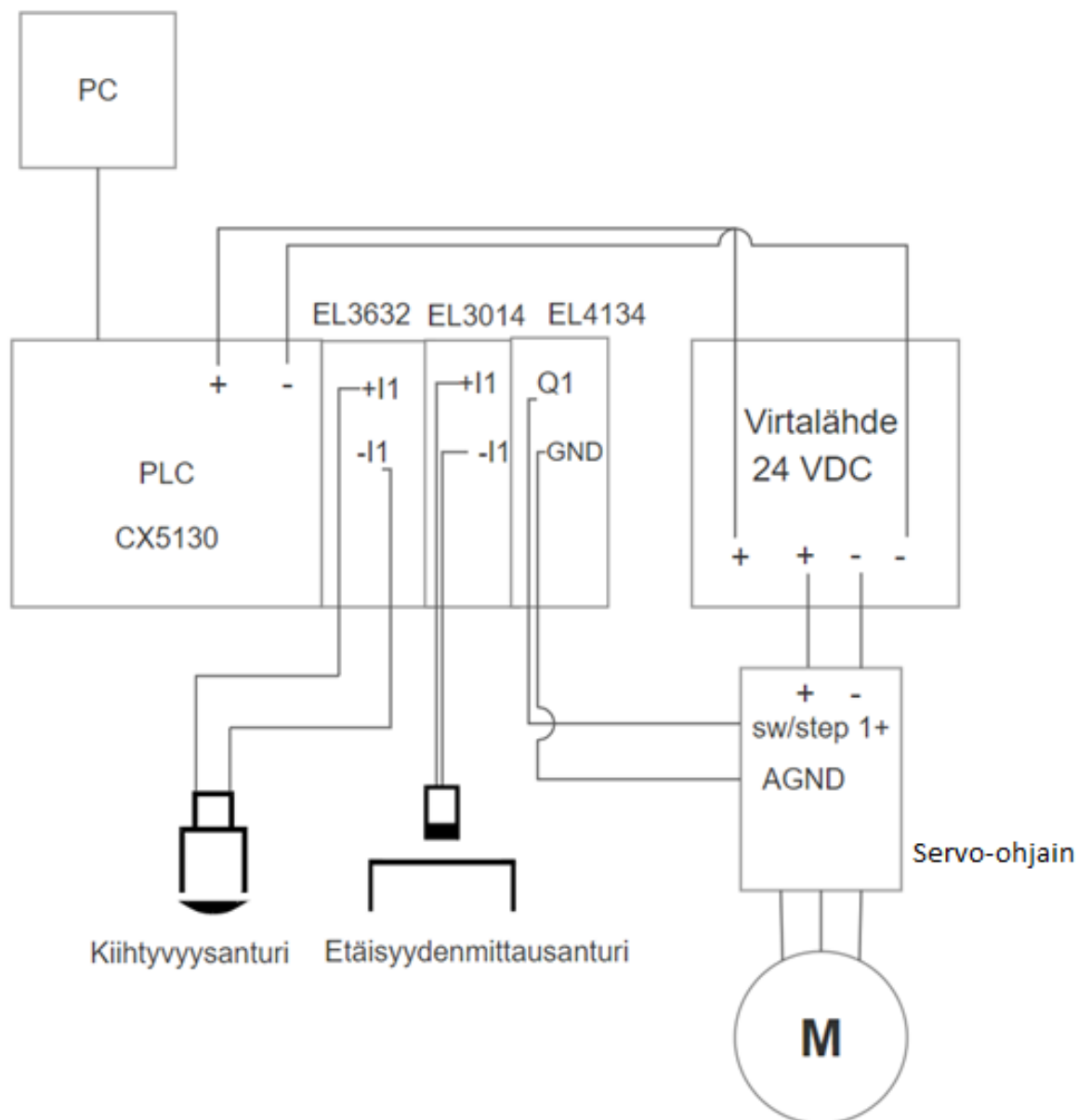
Testausaseman rakentaminen

Asiakkaan pyynnöstä värähtelyn mittaamisesta tehtiin testisovellus. Tarkoitus on selvittää, minkälainen testiasema voisi konkreettisesti olla ja mihin anturit ja muu tekniikka kiinnittyy. Mitä teknologiaa se sisältäisi, mitä asioita täytyy huomioida mittauksessa sekä signaalin tulokset. Testin valmistuttua asiakkaalle selviää teknologian potentiaali ja käytännön toteutus.

Testisovellus on edullinen ja käytännöllinen tapa havainnoida mahdollisen järjestelmän hyödyt ja haitat. Sovellukseen valitaan laitteistot ja järjestelmät, jotka mahdollistavat testauksen toteutumisen. Olisi hyvä, että ne muistuttaisivat ja toiminnallisesti kuvastaisivat todellista kohdetta. Myös järjestelmän skaalattavuus on hyvä pitää mielessä. Järjestelmää halutaan yleensä jossain vaiheessa sen elinkaarta laajentaa, joko sen käyttöjärjestelmää tai komponentteja. Sovelluksessa on tärkeää, että tutkittavat tulokset vastaavat realistisia odotuksia.

3.5 Kytkenät

Virtalähde antaa jännitteen PLC:lle sekä moottorin ohjaimessa oleville tulo- ja lähtöterminaaleille. Kun PLC ja logiikkakortit on kytketty toisiinsa samalle kiskolle, syntyy virtapiiri. Anturit käsittelevät analogista tulotietoa ja ne kytketään omille korteilleen kahdella johdolla +I1 ja -I1 portteihin. Moottori oli kytketty ulostulokortin Q1:n ja GND:n portteihin, jolloin ohjaussignaalin syöttö mahdollistuu. PC kytketään CPU-prosessorille, jolla voidaan ohjelmoida sekä käsitellä koko järjestelmää. Kytkenät kuvassa 9.



Kuva 9. Testausaseman kytkentäkaavio

3.6 Komponenttien asennus käyttökohteisiin

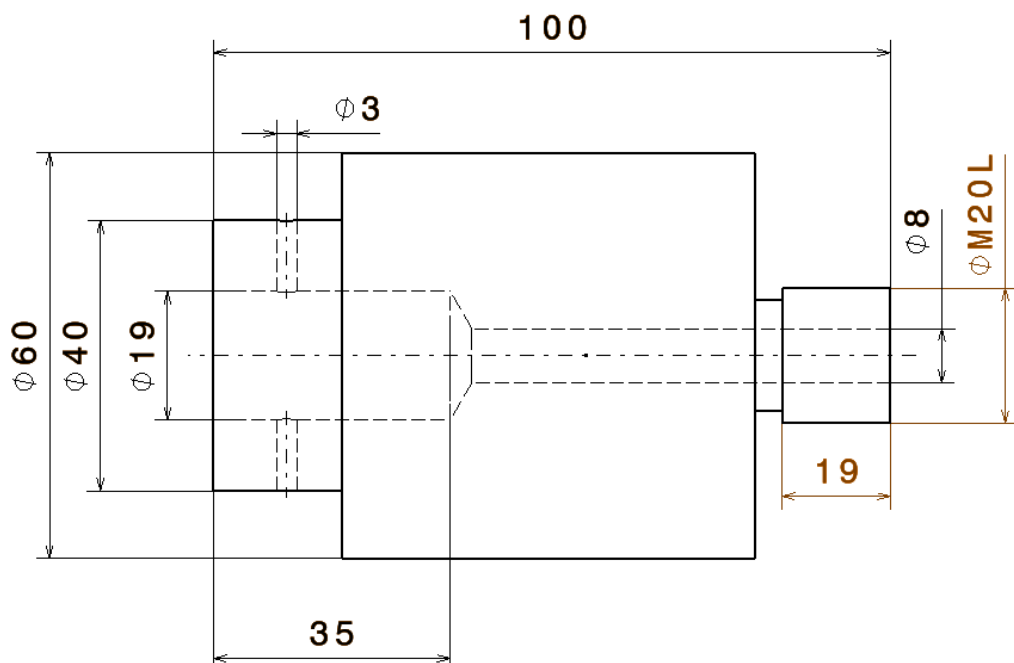
Liittimen valmistus

Kohdekäytössä mitattava laikka pyörii. Pyöriminen toteutetaan moottorilla ja laikka pyörii moottorin akselin mukaisesti. Kappaleen muodot eivät mahdollista sen suoraa kiinnitystä moottorin akseliin. Siksi moottorin akseliin täytyy valmistaa väliadapteri, jolla laikka yhdistyy moottoriin. Koska asiakkaalta ei löydy vara-adapteria ja demossa käytettävän moottorin akselin halkaisija on eri mitä asiakas käyttää, täytyy itse valmistaa adapteri.

Oppilaitoksen tiloissa on tuotantolaboratorio, jossa kappaleita voi sorvata. Laboratoriossa on käytettävissä eri materiaaleja. Materiaaliksi valikoitui alumiini, koska sen työstäminen on nopeata ja leikattuja aihioita oli valmiina käytettäväksi.

Liittimen suunnittelu

Kappale oli suunniteltu CATIA V5 3D-suunnitteluohjelmistossa. Adapteri on lieriön muotoinen. Sisään on porattu 35 mm reikä, jonka halkaisija 19 mm. Moottorin akseli kiinnittyy porattuun reikään.



Kuva 10. Liittimen 3D-luonnos

Liittimen ja kiihtyvyyssanturin kiinnitys

Adapterille täytyi taata jäykkä kiinnitys. Pituussuunnassa porattu läpäreikä mahdollisti kierreruuvikiinnityksen moottorin akseliin. Sivusuunnassa kiinnitys oli toteutettu neljällä kierreruuvilla.

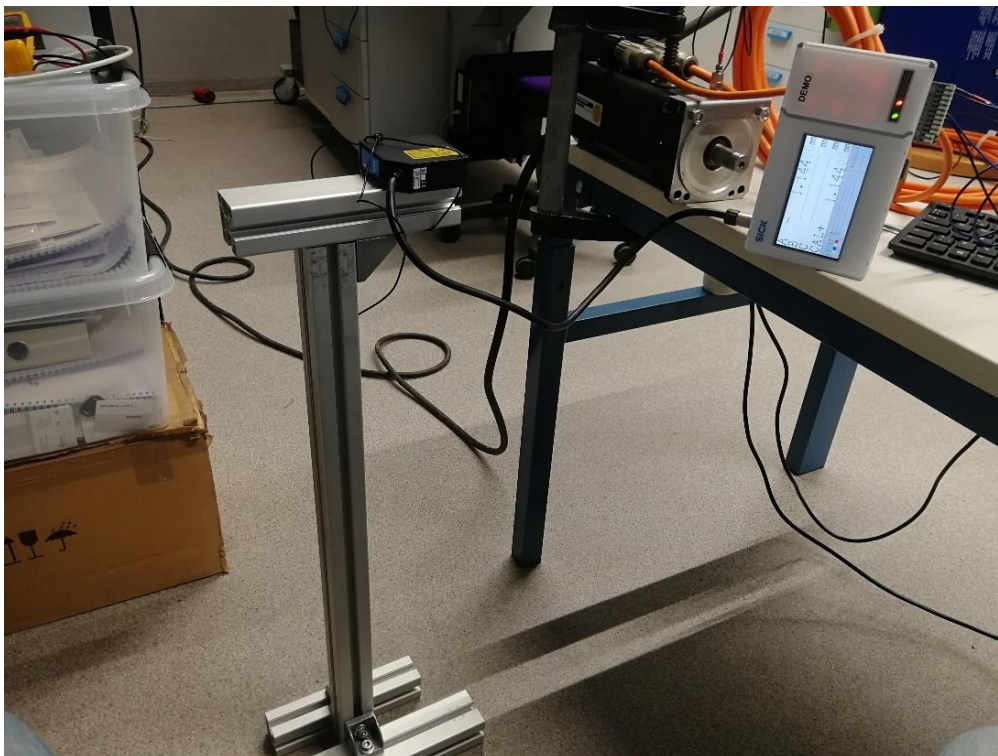
Kiihtyvyyssanturin kiinnityskohta valittiin sen mukaan, mikä oli mahdollisimman lähellä mittaavaa kohdetta, sekä kiinnitys toteutettavissa magneetilla. Hiomalaikan oli tarkoitus pyöriä akselin päässä, ja anturi olisi vaatinut kaapeli kiinnityksen, joten kohdetta ei voinut valita mittauspisteeksi. Myöskään magneetti ei kiinnity moottorin runkoon. Moottorin rungon akseli päädystä on reikäkiinnikkeet. Tähän teetettiin teräslevy ja siihen anturi kiinnittyy kuvan 11 mukaisesti.



Kuva 11. Anturin ja liittimen kiinnitys

Etäisyydenmittausanturin kiinnitys ja kytkentä

Anturi tarvitsee jäykän kiinnityksen, jotta mittaustulos olisi mahdollisimman tarkka, eivätkä ulkopuoliset häiriötekijät vaikuttaisi tulokseen. Anturille rakennettiin teline, jotta mitaus tapahtuisi oikealta korkeudelta ja etäisyydeltä sekä laserin saisi kohdistettua haluttuun kohtaan hiomalaikassa. Kuva kiinnityksestä alempana.



Kuva 12. Etäisyydenmittausteline, kuva ei täysin vastaa oikeaa toteutusta.

3.7 Mittausten ja automaation suunnittelu

3.7.1 Signaalin esitystavat

Käytännön värähtelymittauksissa mitataan aina aikatasosignaalia. Mittauksen jälkeen sitä käsitellään erilaisilla menetelmillä mittalaitteessa. Yleisin aikatasosignaalille tehtävä toimenpide on Fourier-muunnos. Muunnoksella saadaan selville signaalin taajuussisältö, joka antaa lisämahdollisuuksia värähtelyn lähteiden määrittämiseen ja analysointiin. Muunnokselle on olemassa erilaisia muotoja, jotka riippuvat analysoitavan signaalin tyyppistä. Kaikissa tapauksissa on kuitenkin lähtökohtana, että aikatasosignaalin oletetaan muodostuvan joukosta sinimuotoisia signaaleja, joilla on eri taajuudet, amplitudit ja vaihekulmat. [2, s. 181–182.]

3.7.2 Kiihtyvyyssanturin mitattavan signaalin käsittely

Signaalin käsittely

Anturi lukee analogista dataa, joka on muunnettavissa digitaaliseksi, tietokoneelle helpommin käsiteltäväksi dataksi. Tämä tapahtuu AD-muuntimessa. Muunnin on mittalaitteen anturisisäänmenossa oleva elektroninen piiri, joka ottaa näytteen analogisesta sisäänmenosi signaalista tasaisin aikavälein ja muuttaa jännitearvon binääriluvuksi digitaalista tietojenkäsittelyä varten. [2, s. 185.]

Esimerkiksi tässä työssä värähtelyanturissa käytettävän EL3632-kortin jännite on +/- 5V ja muunnin on 16-bittinen. Etumerkkiin menee yksi bitti, joten suurin lukema on 32 767, joka vastaa 5V. Jännite voidaan jakaa 32 767:ään osaan, jolloin 1 vastaa $5/32767 = 0,000153$.

Jännitelukemaksi saadaan siis $0,000153 \times$ muuntimen antama luku. 1 g:tä vastaa 10 mV, sitä vastaava lukema muuntimelta on $0,01/0,000153 = 65,534$ (kokonaislukuna 65). Eli kiihtyvyyssarvo saadaan bittiluvusta kertomalla se 0,00153:lla ja jakamalla 0,01:llä. Suurin mahdollinen kiihtyvyys voisi olla 500 g ja absoluuttisena kiihtyvyytenä n.5000 m/s^2 . Kiihtyvyyden resoluutio on $500 \times 9,81/32767=0,15 m/s^2$.

Jos kiihtyvyydet jäävät hyvin pieniksi, voisi anturin vahvistus olla suurempikin, esim. 100 mV/g.

4 Aseman testaaminen

Järjestelmä

Mittaus ja ohjaus toteutettiin hyödyntäen Twincat Beckhoff PLC-ohjelmistoympäristöä. Beckhoff erikoistuu myös erilaisiin teollisuusautomaatioratkaisuihin. Yrityksen tuotteisiin päädyttiin, koska oli jo projektin alussa tiedossa, että heiltä löytyvät tarvittavat sovellukset sekä laitteistot tiedostojen käsittelyyn.

4.1 Värähtelymittaus

Testauksessa otettiin kahdesta eri tilanteesta näytteet. Ensimmäisessä testissä tuotteen kunto oli hyvä eli sellainen mikä normaaliolosuhteissa pitäisi olla. Toisessa testissä tuotteelle oli määritelty suurin sallittu epätasapainoa vastaava 15 g:n massa hiomalaikan kehälle. Tätä voitiin testata kiinnittämällä tuotteen ulkopintaan painoa vastaava kappale. Tuotteen pyöriessä voitiin havaita värähtelyn arvon muutos. Saadaan siis vertailuarvo raja-arvon määrittämiseen sekä sitä voidaan hyödyntää kalibrointi-arvona. Testien avulla voidaan verrata ihanteellisen laikan kuvaajaa ja arvoja vialliseen laikkaan.

Ensin pyöritettiin moottoria 1000 r/min, sekä ehjällä että viallisella tuotteella, koska ajateltiin että se riittää tulosten tarkasteluun. Tarkoitus oli saada anturin signaali muodostamaan sinimuotoisen kuvaajan. Huomattiin kuvaajia tarkasteltaessa, että anturista tulee paljon kohinaa ja haluttu tulos hukkuu kohinan sekaan sekä se on vaikea tunnistaa. Epäselvä tulos voi myös johtua siitä, että anturin mittauskyky ei riitä sovellukseen. Kohinan tai epäselvien arvojen tulkintaan kuvaajassa on hyvä käyttää suodatinominaisuutta. Suodatuksessa signaalista pyritään poistamaan tietyllä taajuudella esiintyvät komponentit. Suodatinmahdollisuuksia on monia ja mahdollisesti laitetarjoajat ovat tehneet valmiit ohjelmat tai kirjastot suodattamisen toteuttamiseen. Esimerkiksi Beckhoffin yrityssivuilta löytyy valmiita eri digitaalisia suodatinohjelmia.

Digitaalisia suodattimia käytetään digitalisoitujen signaalien käsittelyyn. Manipulointi on ilmeistä taajuusalueella, jossa tiettyjä signaalien komponentteja korostetaan tai estetään.

[17.]

Taulukko 2. Suodatintyypit

Suodatin tyyppi	Kuvaus	Käyttökohteet
Alipäästö	Katkaisutaajuuden alapuolella olevat taajuudet voivat kulkea suodattimen läpi.	Anti-aliasing-suodatin tai signaalin tasoittava suodatin.
Ylipäästö	Katkaisutaajuuden yläpuolella olevat taajuudet voivat kulkea suodattimen läpi.	Häiritsevän DC-komponentin eliminointi signaalissa.
Kaistanpäästö-suodin	Tietyn taajuusvälin sisällä olevat taajuudet voivat kulkea suodattimen läpi.	Hyödyllinen amplitudimoduloituille signaaleille (radiotekniikka, optiset mittaussignaalit, ultraäänisignaalit jne.), ts. haluttu signaali jaetaan spektrisesti kantoaaltoaajuuden ympärille, niin että matalat ja korkeat taajuudet halutun signaalin ulkopuolella pahentavat SNR (signaali-kohinasuhde).
Kaistanesto-suodin	Tietyn taajuusvälin ulkopuoliset taajuudet voivat kulkea suodattimen läpi.	Induktiivisesti kytketyt taajuudet, esim. verkotaajuus.

4.2 Etäisyysmittausanturin mittausesimerkki

Anturi asetetaan siten, että sillä on tukeva alusta, ei ulkoisia häirtatekijöitä, eikä aiheuta vaaratekijöitä mitattavan kohteen yhteydessä, jolloin mitatusta tuloksesta voidaan saada mahdollisimman selkeä. Etäisyydellä ei ole tuloksen kannalta väliä. Tärkeintä on saada luotettava arvo, josta referoida etäisyys. Logiikka lukee anturin dataa INT-muotona, joka on 16-bittiiä. Sen skaala on 0–32767. Tavoite on asettaa arvo siten että se on mahdollisimman vakaa, koska arvo elää käytön aikana muutamia kymmenyksiä.

Demossa anturi oli asetettu 225 mm:n etäisyyteen hiomalaikasta. Tälle etäisyydelle löytyi skaalan mukainen arvo 10000. Tehtiin ohjelma, jolle asetettiin raja-arvot. Jos arvo pysyy halutun skaalan sisällä, ohjelma antaa silloin "Ok", jos arvo ylittää tai alittaa halutun arvon, tulee vikailmoitus. Arvon muutoksen aiheutti kohteen ja anturin väliin asetettu este. Ohjelman lähdekoodi liitteessä 1.

Visualisointi tehtiin kuvastamaan arvon muutosta. Ohjelma kertoo reaaliajassa mitatun arvon ja raja-arvojen mukaan vaihtaa tilaa. Kuva 14. Arvo pystyy sallitun sisällä, joten palaa vihreä valo. Kuva 15. Sallittu arvo ylittyy, jolloin virheilmoituksena palaa punainen valo.



Kuva 13. Toivottu arvo.



Kuva 14. Arvo ylittynyt.

Johtopäätös

Testin kannalta tärkeä on saada anturilta tarkat arvot, jotta voidaan asettaa rajat niiden mukaisesti. Myös anturin kyky pystyä mittaamaan pituussuunnassa molemmin puolin eli pystyä mittaamaan kohteen painaumet ja kohoumat. Tällöin voidaan havaita kohteen pintarakenteen muutos.

Esimerkkiä voi käyttää etäisyyden mittauksen havainnoimiseen. Tämä todistaa, että kohteessa tapahtuvat muodonmuutokset pystytään havainnoimaan laser-etäisyyden mittauksella.

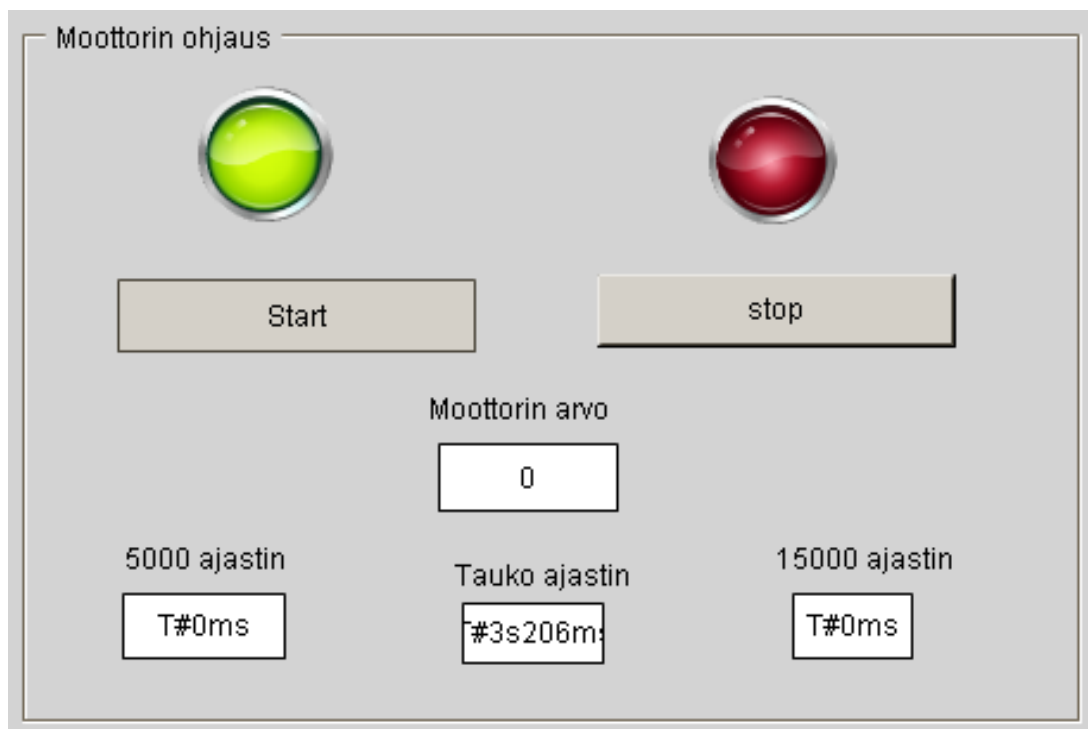
4.3 Moottorin ohjausesimerkki

PLC:n avulla voidaan toteuttaa "jatkumo-ohjelma", joka voisi kuvastaa moottorin toimintaa laikan mittauksen aikana. Logiikalle syötetään arvoja, jotka lähettävät jänniteviestin Servo-ohjaimeen. Ohjain antaa käskyn moottorille, jolloin akseli alkaa pyöriä. Arvojen asettamisessa täytyy huomioida laikan massan vaikutus pyörimisnopeuteen.

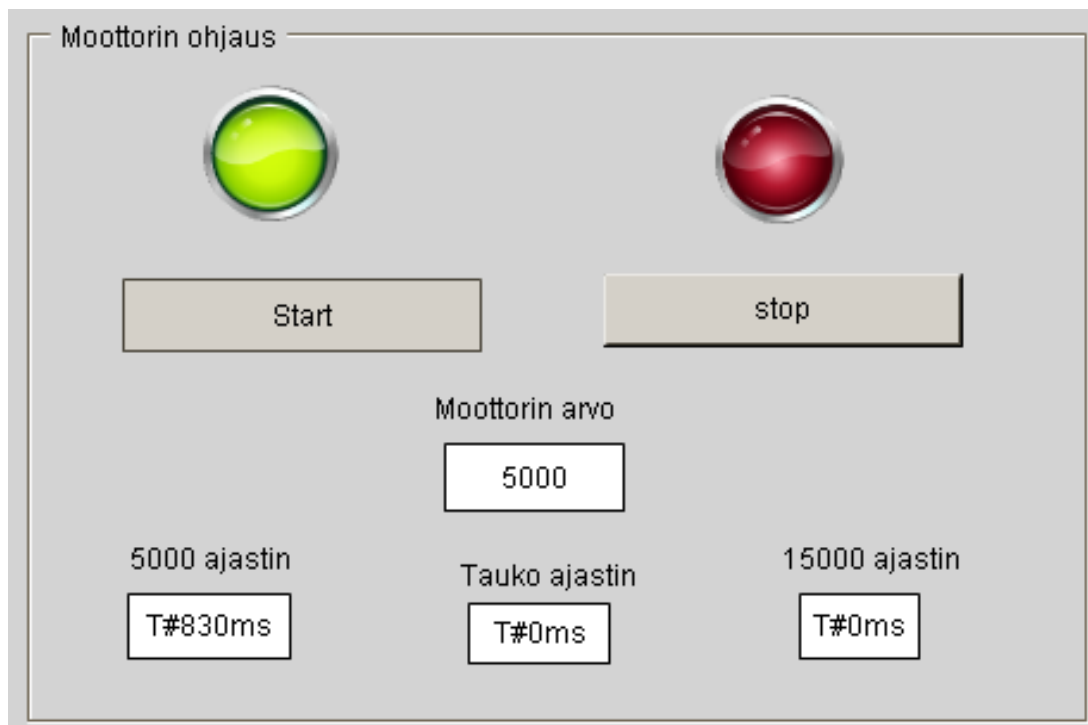
Ohjelma käynnistyy ja pysähtyy Start-painikkeesta. Stop-painike toimii hätäseis-kytkimenä, joka painettuna ei anna Start-painikkeen toimia. Stop-painikkeen vapautuessa nollaa ohjelman arvot. Kun painaa Start-painiketta, ohjelma aloittaa jatkumon alusta.

Ohjelman toteuttaa neljä vaihetta jatkumona. Ensin moottori on pysähtyneenä ajastimen mukaan 5 sekuntia ja silloin arvo on 0. Ajastimen jälkeen moottorin arvo muuttuu 5000:een, joka vastaa noin 150 r/min. Moottori pyörii annetulla arvolla 3 s, jonka jälkeen taas pysähtyy 5 sekunnin ajaksi. Viimeisessä vaiheessa arvo muuttuu 15000, joka vastaa n.100 r/min. Tämä vaihe kestää 5 sekuntia. Ohjelma on suorittanut tällöin kaikki vaiheet ja jatkumo alkaa alusta. Ohjelman lähdekoodi liitteessä 2.

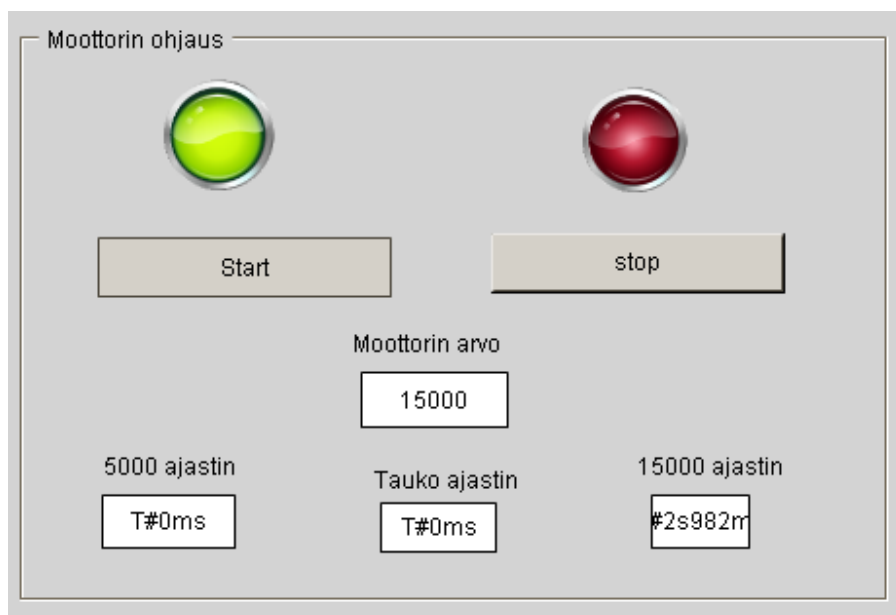
Visualisointi kuvastaa moottorin eri tiloja. Pysähtyminen sekä molemmat pyörimisnopeudet.



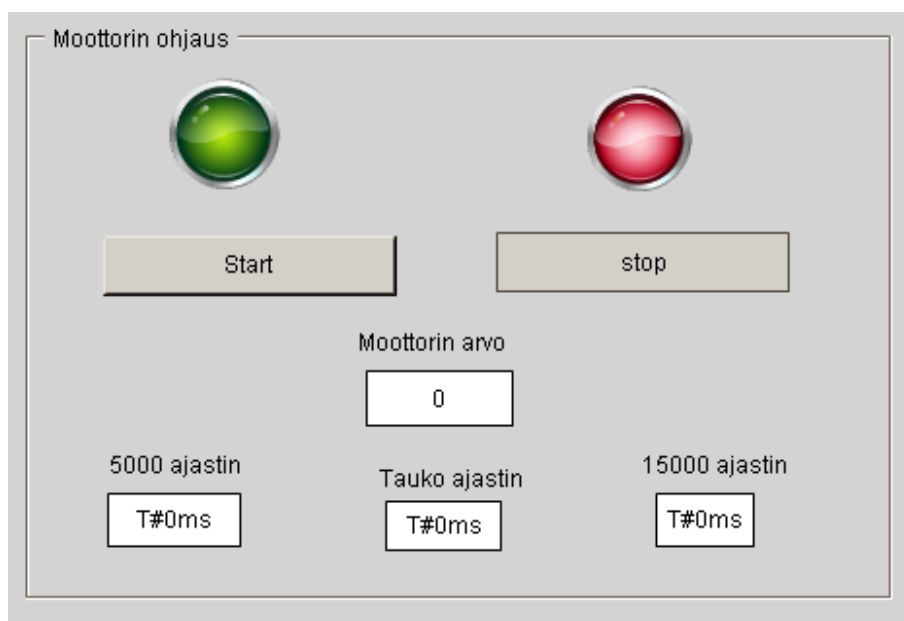
Kuva 15. Moottori pysähtynyt ajastimen ajaksi



Kuva 16. Moottori pyörii 150 r/min



Kuva 17. Moottori pyörii 1000 r/min



Kuva 18. Moottori pysäytetty manuaalisesti Stop-painikkeella

Johtopäätös

Demon kannalta on tärkeä nähdä, että minkälainen työkierto voidaan toteuttaa. Tarvi-taanko eri nopeuksia, pysähtymistä tai painikkeita. Moottorin ohjaus voidaan toteuttaa yksinkertaisesti PLC-ohjelman avulla. Ohjelma on helposti skaalattavissa. Myös muutostöitä on mahdollista tehdä.

5 Tulokset

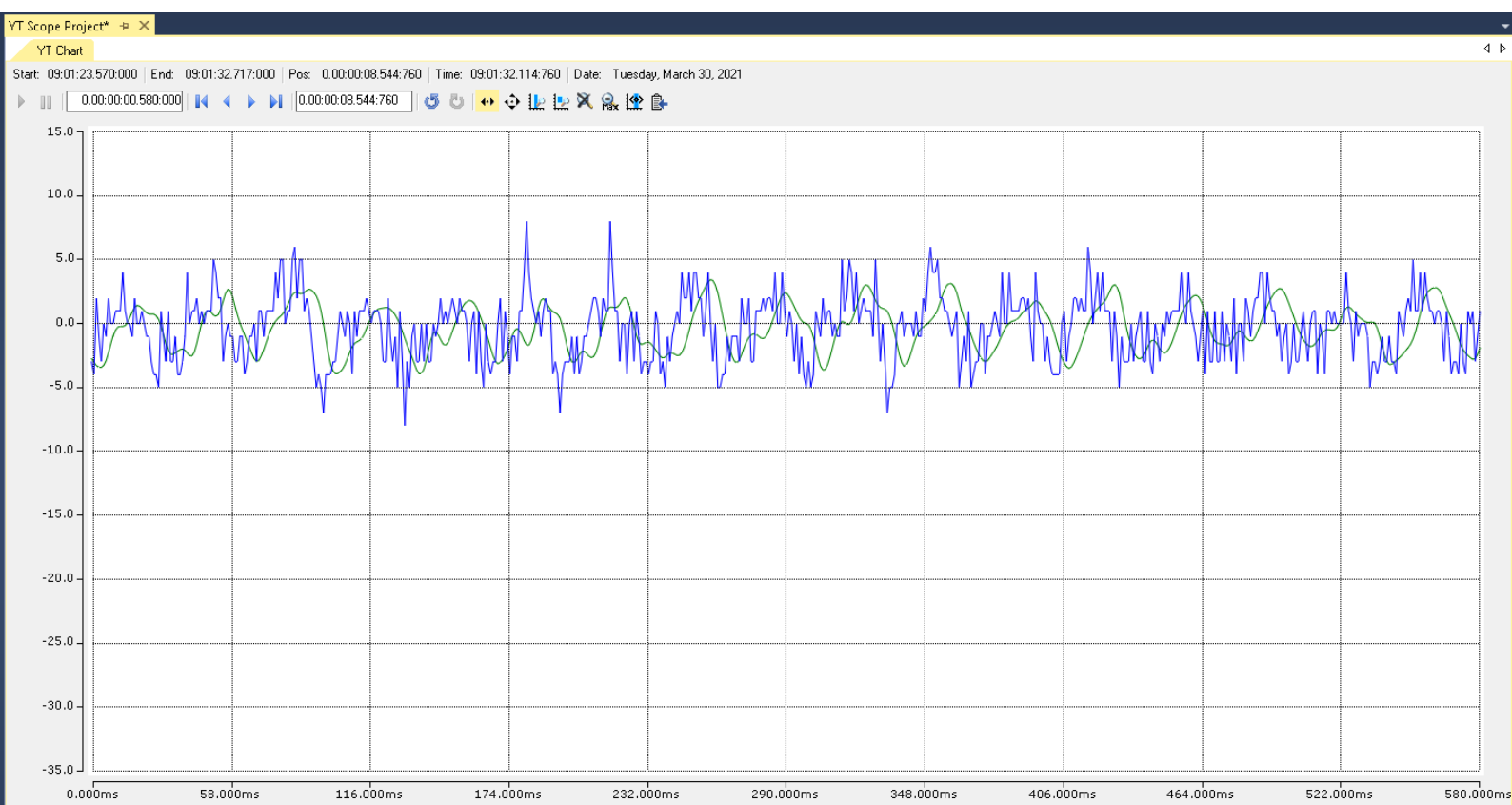
5.1 Värähtelymittaukset

Selkeämpien tulosten saamiseksi kierrosnopeus nostettiin 2000 r/min. Anturi tuottaa signaalin 10 mV/g ja logiikkakortti mittaa 5V:n jännitteeseen asti. PC:lle tuleva suurin arvo on $2^{15} (-1)$. Anturin signaaliviesti muuttuu AD-muuntimessa digitaalseksi, jonka arvo ilmenee kuvaajissa (16 ja 17) pystyakselilla ja vaaka-akselilla on jaksonaika. Sininen signaali on anturilta tuleva raakasignaali ja vihreä aalto on sen datasta suodatettua arvoa.

Näytteitä otettiin jälleen kahdesta eri tilanteesta: ehjällä- ja 15 g painotetulla hiomalakalla.

Normaali laikka:

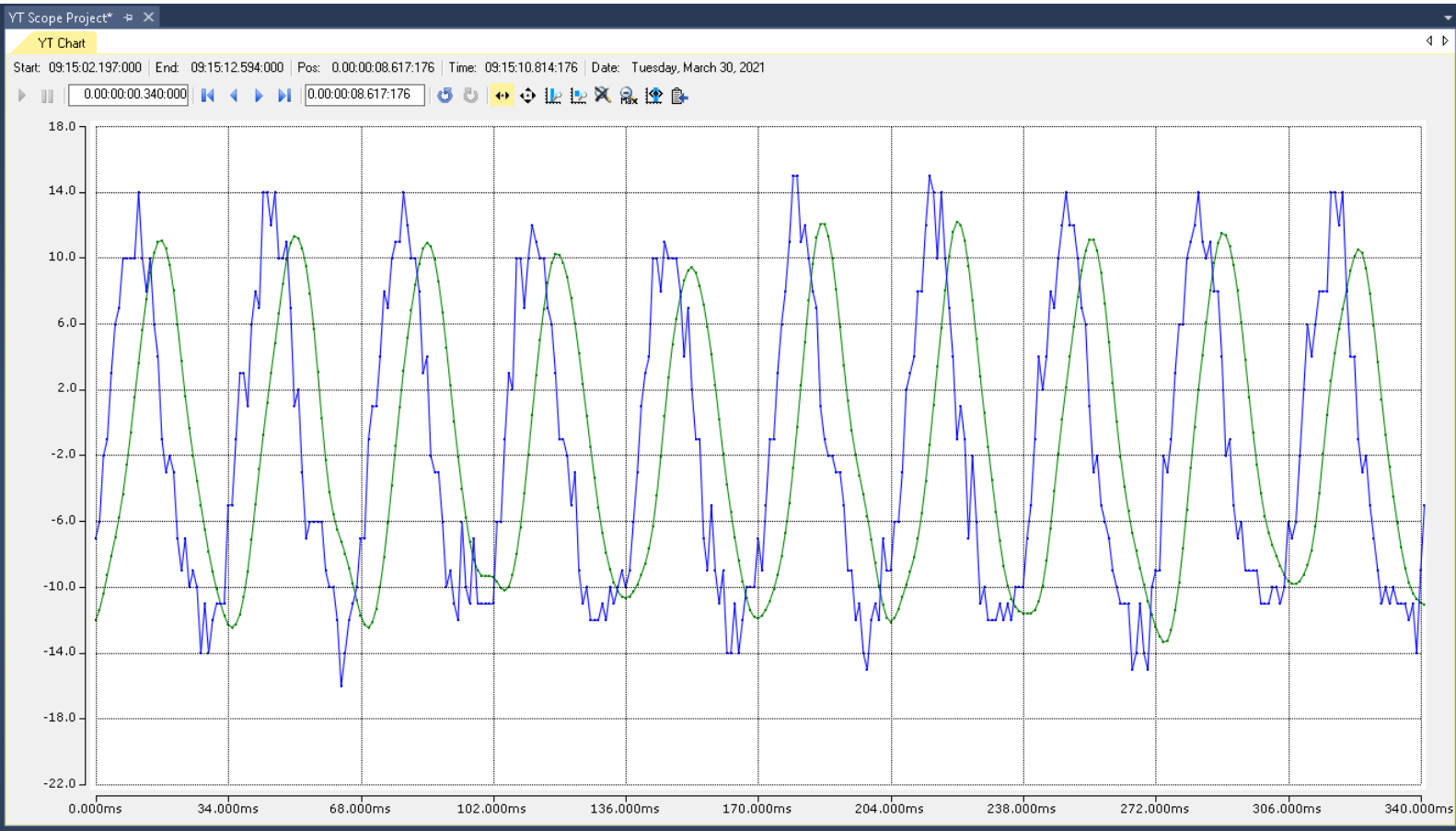
Ehjän laikan arvot ovat suhteessa hyvin pieniä maksimiin verrattuna. Suodatetut arvot pysyvät alle ± 5 . Kuitenkin jakso on erotettavissa suodatetussa arvossa.



Kuva 16. Anturilta tuleva data normaalin laikan testauksessa

Painotettu laikka:

Suurimmalla sallitulla epätasapainolla mitatut arvot ovat puolestaan alle ± 14 . Pieniä nekin, mutta epätasapaino on kuitenkin mitattavissa. Huomataan, että tulokset kasvoivat melkein nelinkertaisesti verrattuna normaalipainoiseen laikkaan, mikä sopii teoriaan, että epäkeskeisyydestä syntyvä voima $F = m \cdot r \cdot \omega^2$ kasvaa verrannollisesti nopeuden toiseen potenssiin.



Kuva 17. Anturilta tuleva data painoitettun laikan testauksessa

Mittauksen automatisointia varten voidaan suurin mittausarvo lukea esimerkiksi IF-lauseella (IF mittausarvo > Maxarvo, Maxarvo = mittausarvo). Kalibroitimittauksella suurimmalla sallitulla epätasapainolla saadaan Maxarvolle raja-arvo, jota voidaan verrata. Mittaustuloksen suodatus on tarpeen, jotta anturin kohina ym. häiriöt eivät aiheuttaisi häiritseviä poikkeamia.

5.2 Epäkeskeisyydenmittaukset

On oletettavissa, että epätasapaino näkyy sekä heittona ja epätasapainona. Tässä työssä epätasapainolle saatiin teettäjältä maksimiarvo, joka vastaa 15 g:n pistemäistä massaa kehällä. Heitolle vastaavaa arvoa ei ole määritetty. Heiton perusteella on mahdollisesti pääteltävissä kivissä esiintyvää muodonmuutosta, joka voi ennakoida esimerkiksi valmistuksessa käytettävien muottien kulumista.

Kiven epätasapaino aiheuttaa säteisvoiman, jonka suuruus on $F = m \cdot r \cdot \omega^2$, jossa m = pistemäinen epätasapaino, r = säde, jolla epätasapaino vaikuttaa ja ω = kulmanopeus.

Analyttisesti on vaikea arvioida, miten epätasapaino näkyy kiihtyvyyssanturilla. Siihen vaikuttavat kiihtyvyyssanturin sijoittelu ja kiinnitys sekä myös moottorin ja koko testausaseman rakenne. Tämän vuoksi testaaminen tunnetulla epätasapainolla (suurimmalla sallitulla) on tarpeen raja-arvon määrittämiseen. Koska testausasemassa saattaa tapahtua muutoksia mm. kiinnitysten jäykkyydessä, on tarpeen tehdä aika-ajoin kalibrointimitauksia.

5.3 Jatkokehitysehdotukset

Herkempi kiihtyvyyssanturi eli suurempi vahvistus kuin käytetty 10 mV / g on suositeltava. Tuloksen saamiseksi pyörimisnopeus oli nostettava 1000:sta 2000 r/min:iin, josta pääteltiin, että kiihtyvyyssanturin vahvistus saisi olla ainakin 100 mV/g (10-kertainen). Mittausolosuhteet on pyrittävä pitämään stabiileina, erityisesti kierrosluku, koska se vaikuttaa epäkeskeisyydestä syntyvään voimaan toisessa potenssissa. Ajoittainen kalibrointi tunnetulla epätasapainolla on suositeltavaa, koska mm. rakenteiden kiinnityksessä voi tapahtua ajan kuluessa muutoksia.

Epätasapainon aiheuttama heräte voi synnyttää rakenteisiin mm. resonanssia, mikä voi häiritä mittauksia. Myös muista laitteista rakenteiden kautta kulkeutuva värähtely voi häiritä mittauksia. Siksi resonointi on minimalisoitava. Epätasapainon mittauksen ajaksi on suositeltavaa keskeyttää muut toiminnot, koska ne saattavat aiheuttaa häiriöitä mittaus-tulokseen. Moottorin kiinnitys täytyy olla vankka ja se täytyy erottaa mahdollisuuksien mukaan rakenteista, jotka voivat aiheuttaa haitallista resonointia mittaukseen.

6 Yhteenveto

Työn tavoitteina oli aikaisempaan suunniteltuun konseptiin liittyen rakentaa testausasema. Asemaan liitettiin automaatio- sekä mittausjärjestelmä, jolla saatiin mitattavat tulokset. Aseman avulla voitiin kartoittaa vaadittavat järjestelmät sekä komponentit testauksen toteuttamiseen.

Työssä onnistuttiin rakentamaan testausasema, jossa pystyttiin suorittamaan tarvittavat mittaukset hiomalaikalle. Koko prosessi oli mahdollista automatisoida. Testausasemaan saatiin liitettyä värähtely- sekä etäisyydenmittaus. Testiasemalla tehtyjen mittausten avulla voitiin todeta, että kiven epätasapainon tunnistaminen kiihtyvyyssanturilla on mahdollista. Voitiin myös mitata hiomakiven epäkeskeisyys. Näiden keskinäistä riippuvuutta ei selvitetty tarkemmin.

Värähtelymittauksen aikana huomattiin, että kiihtyvyyssanturin signaalia tulee suodattaa kohinan ja häiriöiden poistamiseksi. Todettiin myös, että kiihtyvyyssanturin vahvistus saisi olla suurempi kuin käytetty 10 mV/g. Tällöin myös tulosten erottelukyky paranee. Mittausten raja-arvojen määrittämiseen tarvittaisiin tunnetulla epätasapainolla varustettu kalibrointilaite tai hiomalaikka.

Testausaseman suunnittelu ja rakentaminen oli suurin aikaa vievä vaihe. Työ sisälsi useita eri vaiheita: suunnittelua, teoriaa, komponenttien hankintaa, sorvausta, kokoonpanoa ja värähtelyn monitorointia PLC-logiikalla. Positiivista oli että, suurin osa komponenteista löytyi oppilaitoksen tiloista ja työtä pystyi tekemään siellä.

Lähteet

1. Opetushallitus, Kunnossapito menestyskäsikirja. 2 Värähtelymittaus. Verkkoaineisto <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k2_varahtelymittauk-set.html>. Luettu 10.3.2021.
2. Mikkonen, Henry (toim.). 2019. Kuntoon perustuva kunnossapito – käsikirja, Kunnossapidon julkaisusarja, n:o 13 (painos.1). Helsinki: KP-Media Oy.
3. Peltonen, Hannu; Perkkiö Juha & Vierinen, Kari. 2012. Insinöörin (AMK) Fysiikka osa II (painos.8). Lahden Teho-opetus Oy.
4. PSK.5706. 2015. Kunnanvalvonnan värähtelymittaus. Valvontamenetelmät. 4. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
5. Anturit koneautomaatioissa, Metalliteollisuuden Kustannus 1986.
6. Keinänen, Toimi; Kärkkäinen, Pentti; Lähetkangas, Markku & Sumujärvi, Matti. 2007. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjausjärjestelmät. Helsinki: WSOY Oppimateriaalit Oy.
7. Kuisma, Mikko. Nyquistin teoreema ja signaalin laskostuminen. Verkkoaineisto. <<http://www.kuisma.eu/elper/esim/aliasing.htm>>. Luettu 12.3.2021.
8. PSK 5702. 2007. Kunnanvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. 3. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry.
9. PSK. 5721. 2013. Kunnanvalvonnan värähtelymittaus. Mittausasetukset. PSK Standardisointiyhdistys ry.
10. Behavior of Accelerometers. Verkkoaineisto. <<http://www.modalshop.ru/calibration.asp?ID=200>>. Luettu 20.3.2021.
11. MIP. IEPE-tyyppinen TEDS kiihtyvyyssanturi yleiskäyttöön. Verkkoaineisto <<https://www.mip.fi/fi/tuotteet/tarina-ja-varahtely/kiihtyvyyssanturit/teds-kiihtyvyyssanturiks78-10,-10-mv-g-detail>> Luettu 26.1.2021.
12. Sick Oy. Tarkkuus etäisyysanturit OD Precision. Verkkoaineisto <<https://www.sick.com/fi/fi/etaisyysanturit/tarkkuus-etaisyysanturit/od-precision/od5-350w100/p/p185954>>. 4.3.2021.
13. Beckhoff Automation GmbH & Co. 2016. Verkkoaineisto <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/company/>>. Luettu 16.3.2021.
14. Beckhoff Automation GmbH & Co. 2016. EL3632-terminal. Verkkoaineisto <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el3xxx-analog-input/el3632.html>>.Luettu 9.2.2021.
15. Beckhoff Automation GmbH & Co. 2016. EL3014-terminal. Verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el3xxx-analog-input/el3014.html>>. Luettu 9.2.2021.

16. Beckhoff Automation GmbH & Co. 2016. EL4134-terminal. Verkkoaineisto. <<https://www.beckhoff.com/fi-fi/products/i-o/ethercat-terminals/el4xxx-analog-out-put/el4134.html>>. Luettu 9.2.2021.
17. Beckhoff Automation GmbH & Co. 2016. Digital Filters. Verkkoaineisto. <https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tf3680_tc3_filter/36028802862758283.html&id=>>. 2.3.2021.

Etäisyydenmittausohjelma:

```
PROGRAM MAIN
```

```
VAR
```

```
    etaisyys AT %I*      : INT;  
    Ok                  : BOOL;  
    virhe                :BOOL;
```

```
END_VAR
```

```
-----  
IF (etaisyys >= 9990) AND (etaisyys <= 10050) THEN
```

```
    Ok := TRUE;
```

```
ELSE
```

```
    Ok := FALSE;
```

```
END_IF
```

```
IF (etaisyys >=10051) OR (etaisyys <= 9989) THEN
```

```
    virhe := TRUE;
```

```
ELSE
```

```
    virhe := FALSE;
```

```
END_IF
```

Moottorin ohjausohjelma:

```
PROGRAM Moottori_main
```

```
VAR
```

```
Moottori AT %Q*           :INT := 0; //moottorin ulostulo
```

```
motor1: BOOL              :=TRUE; // 5000 kierros n. 150 rpm
```

```
motor2: BOOL              :=TRUE; // 15000 kierros on 1000rpm
```

```
(*Ajastimet*)
```

```
pitka_aika                : TON; //ajastin
```

```
lyhyt_aika                : TON; //ajastin
```

```
delay                    : TON; // odotusaika
```

```
aika_lyhyt                : TIME;
```

```
aika_pitka                : TIME;
```

```
delay_aika                : TIME;
```

```
icase                     : INT := 0; // 0 = tauko , 1 = hidas, 2 = tauko, 3 = nopea
```

```
case_on                   : BOOL;
```

```
stop                      : BOOL := FALSE; //resettaa ohjelman
```

```
start                     : BOOL;
```

```
END_VAR
```

```
IF start THEN
case_on := TRUE;
      start R=stop;
ELSE
      case_on := false;
END_IF

IF case_on THEN
CASE icafe OF
0:
delay(IN := TRUE, PT := T#5S, ET =>delay_aika);
      Moottori := 0;
IF delay.Q THEN
      delay(IN := FALSE);
      icafe := icafe + 1;
END_IF
IF stop THEN
      icafe := 0;
      delay(IN:= FALSE);
END_IF
1:
lyhyt_aika (IN:=TRUE, PT :=T#3S, ET=> aika_lyhyt);
Moottori := 5000;
motor1 := lyhyt_aika.Q;
IF lyhyt_aika.Q THEN
      lyhyt_aika(IN := FALSE);
      icafe := icafe + 1;
END_IF
```

```
2:
delay(IN := TRUE, PT := T#5S, ET =>delay_aika);
Moottori := 0;
IF delay.Q THEN
    delay(IN := FALSE);
    icase := icase + 1;
END_IF
IF stop THEN
    icase := 0;
    delay(IN:= FALSE);
END_IF

3:
pitka_aika (IN:=TRUE, PT :=T#5S, ET => aika_pitka);
Moottori := 15000;
motor2 := lyhyt_aika.Q;
IF pitka_aika.Q THEN
    pitka_aika(IN := FALSE);
    icase := 0;
END_IF
IF stop THEN
    icase := 0;
    pitka_aika(IN :=FALSE);
END_IF
END_CASE
END_IF
```