

RANNENIVELEN LIIKEANALYYSILAITTEISTON TUOTEKEHITYS

Mika Lähteenmäki

Opinnäytetyö
Toukokuu 2013

Hyvinvointiteknologian koulutusohjelma
Tekniikan- ja liikenteenala





Tekijä(t) LÄHTEENMÄKI, Mika	Julkaisun laji Opinnäytetyö	Päivämäärä PP.KK.VVVV
	Sivumäärä 78	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty (X)
Työn nimi RANNENIVELEN LIIKEANALYYSILAITTEISTON TUOTEKEHITYS		
Koulutusohjelma Hyvinvointiteknologia		
Työn ohjaaja(t) STRÖM, Markku SIISTONEN, Matti		
Toimeksiantaja(t) Karjalainen Teemu, Keski-Suomen keskussairaala, osaston ylilääkäri		
Tiivistelmä <p>Keski-suomen keskussairaalassa on ilmennyt tarve laitteistolle, joka mittaa niveltraumasta kärsivän potilaan nivelkulmia, hänelle luonnollisessa toimintaympäristössä on-line mittauksena. Opinnäytetyö toteutettiin yhteistyössä Keski-suomen keskussairaalan osaston ylilääkäri Teemu Karjalaisen kanssa.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena on löytää ratkaisu rannenivelen liikkuvuuden mittaamiseen langattomasti. Opinnäytetyössä on tarkoituksena löytää sopiva mittausmetodiikka jatkuvaan liikkuvuuden mittaamiseen ja siihen tarkoitukseen soveltuva teknologia. Opinnäytetyö on tuotekehitysprojekti ja opinnäytetyön lopputulemana on ensimmäinen prototyyppi liikkuvuutta mittaavasta laitteesta.</p> <p>Tuotekehityksen mallina käytettiin R. G Cooperin luomaa Stage Gate mallia, joka soveltuu uuden tuotteen tuotekehitystyöhön. Prototyypin valmistamisen pohjalle kerättiin tietoa AHRS ja MEMS antureista, sekä näiden lisäksi tarkasteltiin muita vaihtoehtoja. Rannenivelen anatomia ja rannenivelen liikeradat ovat myös tärkeä osa opinnäytetyötä, jotta voidaan paremmin prosessoida saatuja tuloksia.</p> <p>Prototyypillä saatuja tuloksia verrattiin astemitalla, goniometrillä ja robotilla saatuihin tuloksiin. Opinnäytetyössä onnistuttiin mittaamaan prototyypillä nivelkulmat $\pm 2^\circ$:een tarkkuudella, vertailutuloksiin nähden. Robotin kohdalla voidaan olettaa magnetismin aiheuttaneen mittauksiin ongelmia ja vääristymiä tuloksiin. Opinnäytetyön on tarkoitus avustaa toimeksiantajaa ja opinnäytetyöntekijää tulevissa tuotekehitysprojekteissa liikeanalyysilaitteistoon liittyen.</p>		
Avainsanat (asiasanat) Liikeanalyysi, MEMS, rannenivel, mittaukset, goniometri, prototyyppi, tuotekehitys		
Muut tiedot		



Author(s) LÄHTEENMÄKI, Mika	Type of publication Bachelor's Thesis	Date DDMMYYYY
	Pages 78	Language Finnish
		Permission for web publication (X)
Title PRODUCTION DEVELOPMENT OF THE WRIST MOVEMENT ANALYSIS UNIT		
Degree Programme Wellness Technology		
Tutor(s) STRÖM, Markku SIISTONEN, Matti		
Assigned by Karjalainen Teemu, Central Finland's Central Hospital, Senior Physician of the Department		
Abstract <p>The Central Hospital Finland's Central Hospital had need for a device that would measure joint angles of the patient who are suffering from the joint trauma. These measurements are made in patient normal operating environment. This thesis project was carried out in co-operation with the senior physician, Teemu Karjalainen of the Central Finland's central hospital's senior physician Teemu Karjalainen.</p> <p>The aim of this thesis was to find a solution to measure wrist movements wirelessly. The purpose of this thesis was to find a suitable measurement methodology for the continuous measurement of the patient's movements and the technology for that purpose. The thesis is a product development project. Outcome of the thesis is a first prototype of the device which measurements movements.</p> <p>R. G Cooper's Stage Gate was the basis for the product development. Stage Gate is a suitable method when creating a new product. For the basis of the prototype information was collected from a AHRS and MEMS sensor and in addition to these other choices were reviewed. The anatomy and motions of the wrist are also an important part of thesis so that the result can be analyzed better.</p> <p>The measurement results of the prototype were compared to the results of a degree meter, goniometer and robot. In the thesis project measuring the joint angles was successful within the accuracy of $\pm 2^\circ$ compared to the results of the degree meter, goniometer and the robot. In the case of the robot magnetism can be assumed to cause problems in the measurement and distortion in the results. The thesis is intended to assist the client and the author in the future development projects which are connected to movement analysis.</p>		
Keywords Movement analysis, MEMS, wrist, measurement, goniometer, prototype, product development		
Miscellaneous		

Sisältö

1	JOHDATUS AIHEESEEN	6
1.1	Opinnäytetyön lähtökohdat.....	7
1.2	Kohde ja hyödynsaajat.....	8
1.3	Kehittämiprojektin tavoite	8
2	TUOTEKEHITYS JA INNOVAATIO	9
2.1	Tuotekehitysprojektin aloitus	11
2.2	Projektinhallintaohjelmat.....	12
2.3	Stage gate.....	14
2.4	Stage Gate vaihe vaiheelta.....	16
3	RANNENIVELEN ANATOMIA SEKÄ TOIMINTA	20
3.1	Merkitys.....	20
3.2	Rakenne	21
3.3	Liikeradat.....	23
3.3.1	Fleksio ja ekstensio	23
3.3.2	Adduktio ja abductio	24
3.3.3	Kehäliike	26
4	MEMS TEKNOLOGIA	27
4.1	Kiihtyvyyssanturi	27
4.2	Gyroskooppi	29
4.3	Magnetometri.....	31
4.4	IMU ja AHRS	33
5	MITTAUSMETODIIKKA.....	34
5.1	Käytettävät komponentit.....	34
5.2	Ohjelmisto.....	34
5.3	Anturien sijoittelu	35
5.4	Testaaminen.....	36
6	PROJEKTIN ETENEMINEN	39
6.1	Gate 1.....	39
6.2	Vaihe 1: Tutkiminen	40

6.3	Gate2.....	43
6.4	Vaihe 2: Business case.....	44
6.5	Gate 3.....	45
6.6	Vaihe 3: Tuotekehitys.....	46
6.6.1	Tuotekehityksessä ilmenneet ongelmat.....	48
7	TULOKSET	50
7.1	Prototyyppi	50
7.2	Ensimmäisen vaiheen testaus	51
7.3	Toisen vaiheen testaus	53
7.4	Kolmannen vaiheen testaus	60
8	POHDINTA.....	62
8.1	Yhteenveto.....	62
8.2	Tuotekehitysprosessin arviointi.....	64
8.3	Hyöty ja jatkotoimenpiteet	65
	LÄHTEET	68
	LIITTEET.....	72
	Liite 1. Mission Stagement.....	72
	Liite 2.	74
	Liite 3. Suunnitelma	75
	Kuvio 1. Innovaatitimantti	10
	Kuvio 2. Open Proj ohjelmalla tehty suunnitelma.	13
	Kuvio 3. Stage Gate toimintaperiaate.....	15
	Kuvio 4. Ranneluiden nimitykset.....	22
	Kuvio 5. Flexio ja ekstensio	24
	Kuvio 6. Adduktio ja abduktio	25
	Kuvio 7. Kehäliike	26
	Kuvio 8. Pietsoresistiivisen kiihtyvyyssanturin esimerkkirakenne.	28
	Kuvio 9. Kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin esimerkkirakenne	29
	Kuvio 10. Vanha gyroskooppi.....	30
	Kuvio 11. Värähtelevänmassan gyroskooppi.....	31

Kuvio 12. Oikean käden sääntö.....	32
Kuvio 13. Hall magnetometrin toimintaperiaate	32
Kuvio 14. Fluxgate toimintaperiaate	33
Kuvio 15. Mittauslinjat ääriasennoille	36
Kuvio 16. Robotti ja anturien sijoittelu	38
Kuvio 17. Toimenpide määrät.....	40
Kuvio 18. Flex-anturi	42
Kuvio 19. Palvelukonsepti	45
Kuvio 20. Shepre kalibrointi	49
Kuvio 21. Poikkeama goniometri tuloksiin nähden	59
Kuvio 22. Poikkeamat robotin asemasta	61
Taulukko 1. Mission Stagement.....	12
Taulukko 2. Kilpailijat	41
Taulukko 3. Minimi vaatimukset	41
Taulukko 4. Ensimmäinen kustannusarvio	43
Taulukko 5. Astemitta testin tulokset.....	52
Taulukko 6. Testihenkilön 1 mittauks tulokset	53
Taulukko 7. Testihenkilö 2 mittauks tulokset	54
Taulukko 8. Testihenkilö 3 mittauks tulokset	55
Taulukko 9. Testihenkilö 4 mittauks tulokset	56
Taulukko 10. Testihenkilö 5 mittauks tulokset	57
Taulukko 11. Testihenkilö 6 mittauks tulokset	58
Taulukko 12. Robottitesti taulukko	60

1 JOHDATUS AIHEESEEN

Tarve kehittämisprojektille tulee käsikirurgian puolelta. Erilaiset tuki- ja liikuntaelinten leikkaukset lisääntyvät vuosivuodelta ja näin ollen on havahduttu potilaiden kuntoutuksen seurantaan. Erityisesti käsikirurgian puolella kuntoutus tapahtuu suureksi osaksi itsenäisesti ja useissa tapauksissa se tehdään väärin, tai jätetään kokonaan tekemättä. Raajan puutteellinen liikuttaminen ja kuntoutusohjeiden noudattamatta jättäminen saattaa johtaa vaikeisiin tai jopa korjaamattomiin komplikaatioihin. Kuntoutuksen etenemisestä ja sen oikeellisuudesta ei saada tietoa ennen ensimmäistä kontrollikäyntiä ja kontrollikäynti on yleensä vasta viikkojen päästä. Mikäli kuntoutuksen puutteet huomataan vasta kriittisten ensimmäisten viikkojen jälkeen, on aiheutuneiden vahinkojen korjaaminen työlästä. Väärät kuntoutusmenetelmät saattavat pitkittää toipumisprosessia ja huonoimmassa tapauksessa joudutaan potilas leikkaamaan uudelleen. (Karjalainen 2012.)

Toimeksiantajana toimii Teemu Karjalainen, käsikirurgi ja osastonylilääkäri Keski-Suomen sairaanhoitopiiristä. Kehittämisprojektin toimeksiantajan toiveena on saada laite, jolla voitaisiin seurata käsileikkauspotilaan kuntoutuksen etenemistä tarkasti jo ensimmäisistä viikoista lähtien. Laitteen kaupallisen version avulla seuranta tapahtuisi etäyhteydellä ja vuorokausimittausperiaatteella. Opinnäytetyössä päädyttiin kehittämään mittalaitteisto ja mittausmetodiikka, jolla saadaan mitattua potilaan rannenivelen dynaamiset liikeradat. Rannenivel valittiin tutkimuskohteeksi sen vuoksi, että sen liikeradat ovat laajat ja se kääntyy useaan eri suuntaan. Ratkaisun löydyttyä rannenivelen mittaukseen on tulevaisuudessa saamaa teknologiaa helppo soveltaa myös muihin niveliin. Rannenivelen toimimattomuus aiheuttaa kompensatioita muissa käden nivelissä ja saattaa näin ollen vaurioittaa myös näitä niveliä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on löytää oikeanlainen mittausmetodiikka ja tarvittavat komponentit rannenivelen liikeratojen mittaamiseen. Komponenttien tulee olla sellaisia, että samaa teknologiaa voidaan soveltaa mahdolliseen myöhemmin tulevaan kaupalliseen versioon. Opinnäytetyössä on myös tavoitteena rakentaa prototyyppi, jossa sovelletaisiin käytäntöön valittuja komponentteja. Tällöin voidaan varmistua niiden toimivuudesta kohteessa. Opinnäytetyössä yhdistetään ihminen ja mittaustekniikka. Tällöin tarvitaan

hyvä teoriapohja ihmisen anatomialle, mittaustekniikalle sekä mittaukset mahdollistaville komponenteille. Opinnäytetyö on myös uuden tuotteen tuotekehitystä, joten teoriaa esitellään myös tuotekehityksestä.

1.1 Opinnäytetyön lähtökohdat

Hanke on täysin tuotekehitys- ja tutkimustyötä. Projektin lähtötilanteessa meillä on tarve ja idea siitä, miten tarve voitaisiin täyttää, eli mitään konkreettista ei ole tähän mennessä tehty.

Käsileikkauksista toipuvien potilaiden kuntoutuksen seuranta ja kuntoutuksen tehostaminen luovat tarpeen tälle projektille. Idea näiden tehostamiseksi on rakentaa potilaan kuntoutusta ja sen tarvetta kartoittava, potilaan liikekulmat rekisteröivä laitteisto. Laitteiston olisi valmiina tuotteena tarkoitus suorittaa mittaukset potilaan luonnollisessa toimintaympäristössä ilman sairaanhoitohenkilökuntaa. Tässä vaiheessa emme kuitenkaan mene vielä näin pitkälle, vaan pyrimme löytämään oikeanlaisen mittaustekniikan komponentteineen.

Hanke on merkittävä mahdollisen uuden tuotteen kannalta. Tämän kaltaisen uuden tuotteen valmistaminen vaatii paljon testejä prototyypeillä ja ennen kaikkea ensimmäinen testi on tehtävä nopeasti, jottei hanke kaihdu kasaan ensimetreillä. Mikäli ensimmäisistä prototyypeistä saadaan positiivisia kokemuksia, on hankkeen eteneminen seuraavaan vaiheeseen hyvin todennäköistä. Näyttöjen jälkeen rahoituksen saaminen on myös huomattavasti helpompaa.

Mikäli projektista saadaan hyviä tuloksia, niin tulee se todennäköisesti jatkumaan useiden siihen kytkeytyvien projektien merkeissä. Tulevat jatkoprojektit voisivat liittyä tekstiilien valintaan, ohjelmistojen kehittämiseen, komponenttien etsintään, rahoituksen etsintään, markkinointiin sekä tuotteistamiseen.

1.2 Kohde ja hyödynsaajat

Projektin varsinainen kohde on nivelleikkauksista toipuvat potilaat, koska projektissa tul-
laan ajattelemaan tuotetta enemmänkin loppukäyttäjän kannalta. Laitteiston avulla voitai-
siin määritellä tarkemmin potilaan kuntoutuksen tarve tai kuntoutuksen eteneminen. Mi-
käli edellä mainitut asiat pystytään todentamaan tarkemmin, johtaa se myös kuntoutuksen
nopeutumiseen ja jatkohoitojen vähentymiseen. Tämän kaltaiselle tuotteelle löytyy myös
varmasti paljon muitakin sovelluksia joihin sitä voidaan myöhemmin hyödyntää. Lisäso-
vellukset sairaanhoito puolella voisivat olla, avustaminen toimenpiteen suunnittelussa ja
työkyvynarvioinnissa. Muita mahdollisia käyttökohteita tuotteelle voisi ergonomia tutki-
muksista, peliteollisuudesta sekä simuloinnista.

Valmiilla tuotteella tavoitellaan säästöjä nivelvammapotilaiden hoidoissa sekä pyri-
tään parantamaan hoidon laatua. Tuotteen avulla kirurgeilla on mahdollisuus kehit-
tyä työssään sen tarjoaman nopean feedbackin avulla, jonka tuote tarjoaa heti toi-
pumisprosessin käynnistyttyä. Yhteenvedona tuote tarjoaa onnistuneempia leikkauk-
sia, alentuneita sairaanhoitokustannuksia ja nopeampaa toipumista.

1.3 Kehittämiprojektin tavoite

Toimeksiannon tavoitteena on rakentaa prototyyppi ranteen liikeradat havaitsevasta lait-
teistosta. Löytää siihen tarkoitukseen sopivat komponentit ja materiaalit. Oikeanlaisen
mittausmetodiikan löytäminen on siis projektin päätavoitteena. Kilpailevien tuotteiden
löytäminen on myös yksi tavoite.

2 TUOTEKEHITYS JA INNOVAATIO

Tuotekehitystoiminnalla tarkoitetaan monivaiheista prosessia, jonka tavoitteena on saada aikaan uusi tai parannettu tuote. Tuotekehitysprojektin lopputulemaa kutsutaankin nykyään useasti innovaatioksi, kun taas ennen se oli pelkkä tuote. Siinä kuuluu ottaa huomioon suunnitteluinsinöörin näkökulman lisäksi useita eri näkökulmia. Tuotekehitysprosessia käynnistettäessä onkin projektin johtajan oltava tietoinen siitä, että prosessissa on huomioitava markkinoinnin, myynnin, valmistuksen ja teollisenmuotoilun mielipiteitä sekä näkemyksiä. Näiden lisäksi tuotteeseen saattaa liittyä poliittisia, kulttuurisia sekä ekologisia näkökulmia. (Hietikko. 2008, 15-16; Jokinen. 1998, 9)

Näin ison kokonaisuuden hallitseminen vaatiikin huolellista johtamista, eli kehittäjän on kyettävä hahmottamaan useampi eri kokonaisuus. Kehittäjän pitää hahmottaa itselleen lopputuote ja se, että miten valmistaminen tapahtuu. Valmistaminen ei saa tulla liian kalliiksi potentiaaliin markkinoihin nähden tai ettei tuote ole jopa mahdoton valmistaa. Kehittäjän on selvitettävä myös itselleen, että onko joitain asioita, jotka voisivat estää tuotteen myymisen esimerkiksi turvallisuusmääräykset tai kulttuuriset vaikutukset. (Hietikko. 2008, 15-16)

Tuotekehitys on myös luovaa työtä ja luovan työn merkitys onkin suuri tuotekehityksen kannalta. Tuotekehityksessä pyritäänkin usein luovaan ongelmanratkaisuun siten, että tulos on tekijälleen uusi. Kun on saatu täysin uusi ratkaisu ongelmaan, on tekijä joutunut soveltamaan paljon erilaisia ajattelutapoja ja olemaan asenteeltaan hyvin avoin/luova. Jotta luovatyö onnistuisi kokonaisuudessaan, on työskentely ilmapiiriin oltava luovuutta tukeva ja siihen innostava. (hietikko. 2008, 15-16)

Nykyään onkin hyvin vaikea keksiä uusia todella innovatiivisia tuotteita, jotka tekisivät markkinoilla todellisen läpimurron. Markkinoilla on nykyään paljon innovatiivisia tuotteita ja kilpailu alalla on kovaa. Tästä johtuen suurin osa tuotekehityksestä on vanhojen tuotteiden parantamista, eikä uusien todellisten innovaatioiden tuottamista. Kuviossa 1 on esitetty **Innovaatiotimantti** jonka tarkoituksena on kuvata, mitkä asiat johtavat menestyvään innovaatioon. Innovaatio timantissa on neljä kategoriaa, jotka johtavat menestyvään innovaatioon. (Cooper R. 2011, 1- 6)



Kuvio 1. Innovaatiotimantti

1. Suurin osa yrityksistä keskittää tuotekehityksensä väärin asioihin kuten keuhkoihin markkinoihin, vanhaan teknologiaan ja vanhentuneisiin tuotteisiin. Mikäli haluat tehdä rohkeita ja mahdollisesti menestyviä innovaatioita keskity tuotekehityksesi tuleviin markkinoihin ja markkinoiden heikkoihin signaaleihin. (Cooper. 2011, 6- 7)

2. Positiivinen ympäristö, kulttuuri, organisaatio ja ylin johto, nämä ovat piirteitä joiden ansiosta menestyneimmistä yrityksistä on tullut menestyjiä. Tällaisissa työskentely-ympäristöissä arvostetaan työntekijöitä ja palkitaan sekä huomioidaan henkilöitä, jotka ovat innovatiivisia. Kaikille ideoille annetaan mahdollisuus, eikä mitään ideaa tyrmätä välittömästi. (Cooper. 2011, 8)

3. Isoilla ideoilla voi luoda isoja ratkaisuja sekä isoja konsepteja. Käsitteitä muuttavat ideat ovat välttämättömiä innovatiiviselle tuotekehitykselle. Luomalla hyvä idea on päästy puoliväliin matkassa, mutta vielä on toinen puoli jäljellä ja se sisältää tuotteen tuomisen

tuotekehityksen kautta markkinoille läpi vaikean "kuoleman laakson". Siinä kohtaa yrittäjä tarvitsee tehokkaan mutta nopean Idea-to-launch systeemin ja siinä yrittäjän kannattaa soveltaa Stage-gate systeemiä®. Stage gate:n avulla kohdennetaan niukat resurssit oikein ja porttien avulla tehdään oikeita Go/Kill päätöksiä. Stage gate:n avulla voidaan nopeasti tuottaa markkinoille hyviä tuotteita jotka tuottavat hyvin.(Cooper. 2011, 8)

4. Monella yrityksellä on todella hyviä ja uusia tuoteideoita, mutta heillä on haluttomuutta investoida tällaisiin uusiin mahdollisesti hyviin tuotteisiin niiden sisältämän suuren riskin vuoksi. Yksi osa syy on kulttuuriympäristö, mutta suurin tekijä on vankan "Business case" puuttuminen. Hyvin tehdyn business case:n kautta on mahdollista saada sijoittajat innostumaan asiasta. Rahoitusta kysyessäsi kannattaa valmistautua esittämään business case. Toinen syy rahoituksen epäämiseen on se, että yrityksillä on kyllä käytössä paljon erilaisia finanssityökaluja sekä muita kannattavuuslaskentaohjelmia, mutta ne eivät välttämättä toimi oikein projektin ollessa suuren riskin omaava innovatiivinen projekti. Vääränlaisilla metodeilla tehdään väärä Go/Kill päätöksiä.(Cooper. 2011, 9)

2.1 Tuotekehitysprojektin aloitus

Tuotekehitysprojekti voidaan käynnistää saman lailla kuin mikä tahansa projekti, eli ensimmäisenä on syytä tehdä projektin asettaminen. Tässä tapauksessa puhutaan nimenomaan tuotekehitysprojektista, ei prosessista. Projekti tarkoittaa kertaluonteista työtä koskien nimenomaan kyseistä tuotetta, kun taas prosessi on jatkuvampi tapahtuma ja se vaikuttaa koko yrityksen toimintaan sekä laajemmin jokapäiväiseen toimintaan yrityksessä. Projektin asettamisen myötä koko tiimille tulee selväksi se mitä ollaan todellisuudessa tekemässä tai ratkaisemassa. Asettamisen myötä projektille tulee reunaehdot sekä aikataulu. Tuotekehitystoiminnassa projektin asettamista kutsutaan usein mission statementiksi ja se tehdään yleensä yhdelle A4 paperi arkille. Mission statementin on tarkoitus kiteyttää projektin peruslähtökohdat lyhyesti ja ytimekkäästi. Mission statementia (kts. taulukko 1) voidaan hyödyntää koko projektin ajan, koska siinä on projektin pohja ja suunta.(Hietikko. 2008, 45)

Taulukko 1. Mission Stagement

Mission Statement: tuote xxx
Tuotteen kuvaus: <ul style="list-style-type: none"> • Yhden lauseen kiteytetty kuvaus tuotteesta • Tarvittaessa tarkennettu kuvaus tuotteen toiminnoista, tuotannosta, ja räätälöinnistä tms. seikasta johon kehitys pääosin kohdistuu
Keskeiset tavoitteet: <ul style="list-style-type: none"> • Projektin aikataulu • Kustannukset • Tuotettavuustavoite/break even -piste • Markkinaosuustavoite
Päämarkkinat: <ul style="list-style-type: none"> • Lyhyt kuvaus päämarkkinasegmentistä
Toissijaiset markkinat: <ul style="list-style-type: none"> • Lyhyt kuvaus toissijaisista markkinoista, mikäli sellaisia on
Oletukset ja rajat: <ul style="list-style-type: none"> • Keskeiset oletukset ja kontrolloimattomat tekijät • Rajoitukset, jotka estävät tiimiä "ratkaisemasta kaiken maailman ongelmat"
Sidos ryhmät: <ul style="list-style-type: none"> • Projektin sidosryhmät esim. loppuasiakkaat, jälleenmyyjät jne.

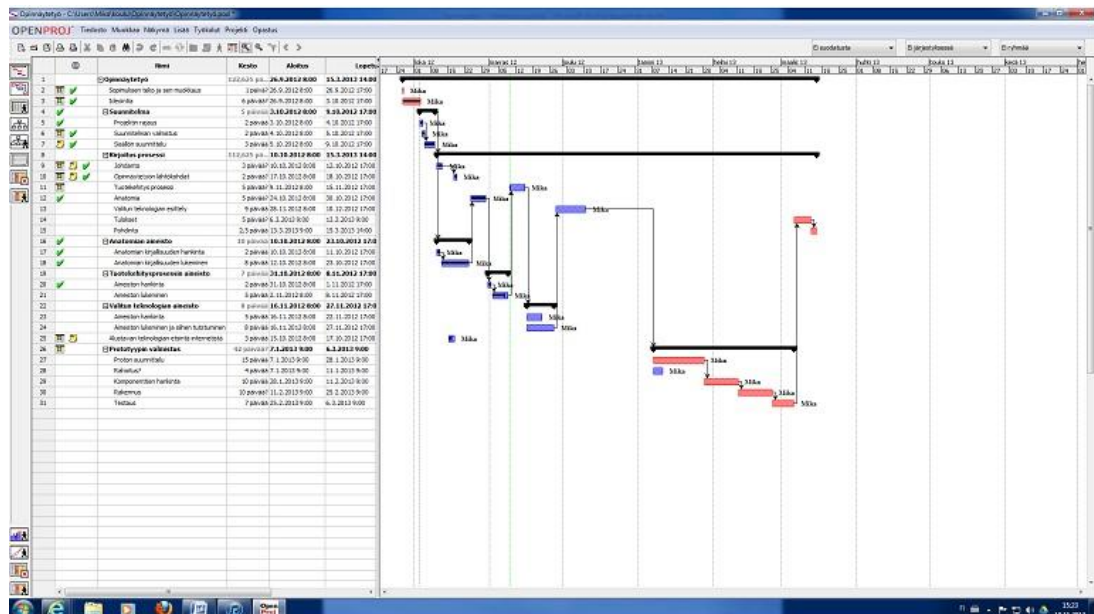
2.2 Projektinhallintaohjelmat

Kuten jo aikaisemmin mainitsinkin projektinhallinta, etenkin tuotekehitysprojektin hallinta saattaa olla hyvin vaikeaa useiden päällekkäisyyksien vuoksi. Tilanne saattaa olla toivoton tekijälleen ilman huolellista suunnittelua, seurantaa, raportointia ja kirjanpitoa. Tähän on saatavana nykyään tehokasta apua erilaisista projektinhallintatyökaluista.

Tietokoneavusteisia projektinhallintaohjelmia on kehitetty useita erilaisia, mutta tyypillisimmät ohjelmat ovat Microsoft Project ja Openproj. Silfverbergin (2007, 103) mukaan projektinhallintaohjelmia kannattaa käyttää vain suurten investointihankkeiden, tietojär-

jestelmähankkeiden ja teollisten hankkeiden hallinnassa. Silfverbergin (2007, 104) mukaan projektinhallintaohjelmista ei ole juurikaan hyötyä kehittämis- ja tutkimushankkeissa, koska ohjelmat ovat raskaita ja hankalia käyttää. Silfverberg toki toteaa, että mikäli ohjelmista on aikaisempaa kokemusta, niin kannattaa niitä siinä tapauksessa hyödyntää. (Silfverberg. 2007, 103)

Projektin hallinta ja suunnittelu tulee olemaan huomattavasti helpompaa, mikäli käytössä on jokin projektinhallintaohjelma esimerkiksi Microsoft Project isompien projektien ja niiden yhdistelmien hallintaan ja pienempien projektien hallintaan Openproj (Hietikko. 2008, 50). Allekirjoittanut on asiasta saamaa mieltä, että projektin hallinta helpottuu jo pienissäkin kohteissa huomattavasti projektinhallintaohjelmia käytettäessä. Ohjelman opettelu ei pitäisi viedä niin valtavasti aikaa, ettei sitä kannattaisi opetella siitä tulevan hyödyn vuoksi. Mikäli olet nyt tekemässä projektia, niin se ei todennäköisesti tule olemaan viimeisesi, joten opetteluun sijoitettu aika tulee tulevaisuudessa moninkertaisena takaisin. Alla kuvio 2 tämän projektin aikataulus Openproj:illa tehtynä.



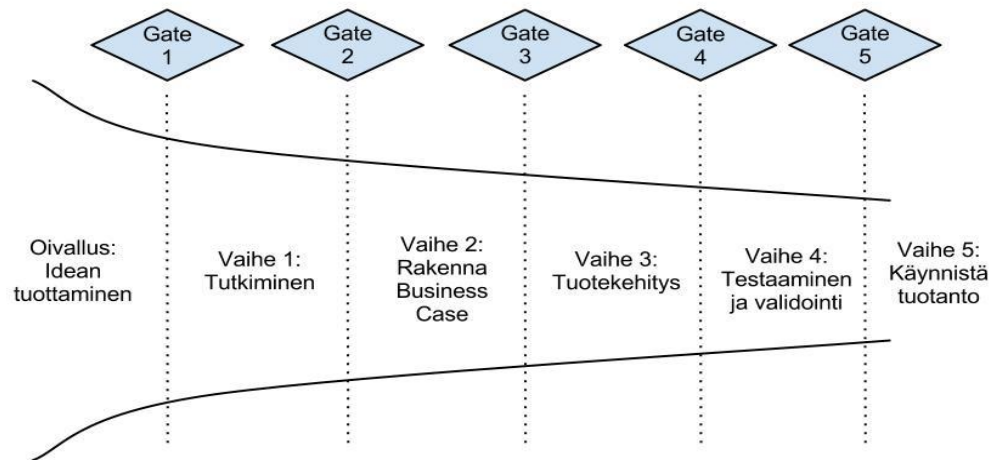
Kuvio 2. Open Proj ohjelmalla tehty suunnitelma.

Openproj ohjelmalla tehtäessä näkymä on niin sanottu Ganttin janakaavio. Janakaavion kehitti Henry Gantt 1900-luvun alussa. Ganttin kaavion etu on sen yksinkertaisuus, koska tieto ilmaistaan visuaalisesti. Ganttin kaaviosta näkee selkeästi asioiden riippuvuudet esi-

merkiksi, tehtävää D ei voi aloittaa ennen kuin tehtävä A on suoritettu. Lisäksi Ganttin kaavion kuuluu ajallinen ilmaisu, josta puolestaan nähdään esimerkiksi, että tehtävä A voi alkaa aikaisintaan viikolla 46. Ganttin kaavio vaatii toisin huolellisen suunnittelun käytävistä ja käytössä olevasta työvoimasta. Huonolla suunnittelulla tulee helposti päällekkäisyyksiä käytettävissä olevan kapasiteetin kanssa ja näin ollen syntyy ruuhkautumista. Kaavion voi suunnitella vain henkilö joka tuntee tarkoin projektin etenemisen.(Jokinen. 1998, 102)

2.3 Stage gate

Stage gate on nykyään yksi yleisimmin käytetyistä menetelmistä uuden tuotteen tuomiin markkinoille. Yleisimmissä Stage-Gate malleissa on viisi eri vaihetta ja viisi eri porttia. Jokaisen vaiheen tarkoituksena on kerätä tietoa jonka avulla projekti voi mennä eteenpäin läpi seuraavan portin tai päätöksentekopisteen. Mikäli jotain vaadittua ominaisuutta/tietoa ei saada portille kuljetettua, niin portin vartija tekee todennäköisesti Kill päätöksen. Silloin projekti jäädytetään tai lopetetaan. Portin vartijoina toimivat yleensä toimitusjohtajat tai muut projektipäällikköä ylemmät henkilöt. Eri vaiheiden informaatio voi liittyä tekniikkaan, markkinointiin tai muihin tärkeisiin operaatioihin. Stage-Gate on järjestelmällinen systeemi tuotekehitykselle jonka avulla riskit voidaan minimoida uuden tuotteen osalta. Jokainen vaihe on edellistään kalliimpi ja siksi Stage-Gate on hyvä työkalu, koska Go/Kill päätös voidaan tehdä ajoissa. Stage-Gate:sta pitää muistaa, että se ei ole sääntökirja vaan enemmänkin ohjaava järjestelmä.(Cooper. 2011, 83-101)



Kuvio 3. Stage Gate toimintaperiaate

Kuviossa 3 on esitelty Stage Gate toimintaperiaate, se on ikään kuin suppilo josta läpi pääsy vaikeutuu koko ajan, mitä pidemmälle kuljetaan.

Oivaltaminen: Mahdollisuuksien kartoittamista ja ideoiden tuottamista.

Tutkiminen: Ensimmäisessä vaiheessa suoritetaan nopea, alustava tutkimus ja rajaus projektille. Suurelta osin työpöytä tutkimusta.

Rakenna Business case: Toinen vaihe on huomattavasti yksityiskohtaisempi tutkimus markkinoista ja teknisistä ratkaisuista, jotka johtavat business case:en. Tutkimus sisältää tuotteen ja projektin päämäärät, perustelut projektille ja projektisuunnitelma.

Tuotekehitys: Uuden tuotteen yksityiskohtaista tuotekehitystä, suunnittelua ja näiden lisäksi tuotantoprosessia.

Testaaminen ja validointi: Suorita testejä markkinoilla, laboratorioissa ja tehtaissa varmistaaksesi ja validoidaksesi uuden tuotteen markkinointi, tuotanto tai toimintaa.

Käynnistä: Kaupallistaminen/tuotteistaminen, täyden markkinoinnin, tuotannon ja myymisen aloitus.

2.4 Stage Gate vaihe vaiheelta

Tutkiminen ja ideointi

Voitaisiin sanoa, että ideat ovat tuotekehitysprojektin raaka-aine ja ne joko luovat uusia tai murtavat vanhoja käsitteitä. Ideoiden tuottaminen on hyvin keskeinen projektin kannalta ja siksi ideoita pitäisikin luoda paljon ja nimenomaan hyviä ideoita. Ideointia ei lueta tavalliseksi vaiheeksi vaikka moni niin erheellisesti tekee. Ideointiin ei tarvitse rakentaa omaa organisaatiota vaan monet normaalit aktiviteetit voivat olla osa ideoiden tuottamista. Ideoijan on pidettävä mielensä avoimena kaikille virikkeille normaali työtehtävissäänkin. Toki voidaan välillä pitää nopeita "brainstorming" tapaamisia tai muita ideoitiin kannustavia tapaamisia. Työntekijöitä ei saa unohtaa ideoinnin osalta, heiltä voi saada todella hyviä ideoita projektia varten, vaikka kysymys olisikin alemman statuksen omaavasta työntekijästä. Tätä kutsutaan "Avoimeksi innovoinniksi"(Cooper. 2011, 103)

Gate 1: "Idea ruutu"

Ensimmäisen portin kohdalla tehdään ensimmäinen Go/Kill päätös. Mikäli päätös on myönteinen, pääsee projekti ensimmäiseen vaiheeseensa. Portti ykkösessä myönnetään projektille tarvittavat resurssit ja resurssit ovat sen mukaiset, että niillä on mahdollista päästä toiselle portille. Portti 1 on niin sanottu "kiltti portti", mutta tietyt kriteerit pitää täytyä jotta läpi mennään. Kriteerit voivat kohdistua strategiaan, projektin toteutettavuuteen, markkinoiden kokoon ja vetovoimaan, teknisiin ominaisuuksiin, tuotteen etuihin tai vaikutuksesta yrityksen resursseihin. (Cooper. 2011, 104)

Vaihe 1: Tutkiminen

Tämä ensimmäinen halpa vaihe keskittyy kartoittamaan projektin tai tuotteen tekniset ja kaupalliset mahdollisuudet. Tämä on hyvin nopea toimenpide se ei yleensä kestä kuukautta pidempää tai 10-20:tä henkilötyöpäivää enempää. Suoritettavat toimenpiteet ovat tiedon etsintää Internetistä, hyviltä kontakteilta, tietyiltä ryhmiltä (käyttäjät) lisäksi hyvää tietoa voi saada nopealla konsepti testillä käyttäjille. Tehdään myös alustavia kustannusarvioita sekä mahdollista aika-arviota ensimmäiselle tuotannolle. Tässä vaiheessa kerätään siis paljon tietoa lyhyellä aikaa ja pienillä kustannuksilla markkinoista, teknisistä ominaisuuksista sekä tulevista kustannuksista. Riippuen projektin koosta, mutta yleensä tämä vaihe menee ihan parin työntekijän voimin. (Cooper. 2011, 105)

Gate 2

Portti kaksi on hyvin samanlainen kuin portti yksi. Tässä arvioidaan projekti uudelleen uuden tiedon valossa, jota on saatu vaihe 1:n kautta kerättyä ja niiden pohjalta tehdään taas päätös eteenpäin menemisestä Go/Kill. On hyvä määritellä taas kriteerit joiden mukaan idea pääsee eteenpäin. Kriteerit voivat liittyä samantapaisiin asioihin kuin portti yksössä, mutta tällä kertaa kriteerit voisivat olla kysymyslistan muodossa esimerkiksi näin:

1. strategian merkitys ja sopivuus?
2. tuotteen ja kilpailukyvyn etu?
3. markkinoiden vetovoima?
4. Synergia, eli miten hyödynnämme meidän ydinosaamista tuotteeseen?
5. tekninen toteutettavuus?
6. Taloudellinen Hyöty?

(Cooper. 2011, 106)

Vaihe 2: Rakenna business case

Tämän vaiheen tarkoitus on avata ovet varsinaiselle tuotekehitykselle. Vaihe kakkosessa mennään taas syvemmälle tuotteen ominaisuuksiin ja vaatimuksiin. Toisessa vaiheessa ryhmän on kyettävä määrittelemään tuotteen päämarkkinat ja tuotekonsepti. Niihin on pystyttävä erittelemään tuotteen strateginen asema, tuotteen hyödyt, arvolupaus, halutut ja

olennaiset tuotetiedot, ominaisuudet, vaatimukset ja tekniset tiedot. Eli vaihe kaksi on markkinoiden tutkimista ja ottaen huomioon sen, että mitä asiakas haluaa ja mikä häntä miellyttää. Kilpailijoiden toiminta on tutkittava myös hyvin huolellisesti. Voidaan tehdä joitain yksinkertaisia prototyyppejä tai konsepti malleja, mutta se työ ei saa kuitenkaan olla vielä varsinaisen tuotekehityksen tasolla. Näistä kaikista kerätyn tiedon pohjalta tehdään lopuksi markkina-analyysi. (Cooper. 2011, 107-108)

Gate 3

Tämä on viimeinen portti ennen tuotekehitysvaihetta ja tällä portilla on vielä mahdollisuus lopettaa projekti ennen kustannusten radikaalia nousua, siksi tätä kutsutaankin "rahaportiksi". Suhteellisesti harvoja projekteja keskeytetään enää tämän jälkeen, koska keskeyttäminen siinä vaiheessa on jo todella kallista. Portissa kolme tarkistetaan vaiheessa kaksi suoritettuja toimenpiteitä hyvin tarkasti, jottei tehtäisi kallista Go päätöstä. Läpikäynnin kriteerit ovat hyvin pitkälle samanlaiset kuin toisessa portissakin, mutta tässä portissa on syvennyttävä vielä enemmän vaiheen kaksi tarjoamiin markkina-analyysiin. (Cooper. 2011, 109)

Mikäli päätös on mennä eteenpäin niin tuotekehityssuunnitelma, alustavat markkinasuunnitelmat ovat tarkastettu huolellisesti tällä portilla. Koko työryhmän on virallisesti hyväksyttävä kaikki tulevaisuudessa arvioiden mukaan käytettävät resurssit. (Cooper. 2011, 109)

Vaihe 3: Tuotekehitys

Tämä vaihe alkaa virallisten tuotekehityssuunnitelmien ja fyysisten mallien työstämisen täytöntöönpanolla. Hyvin tehdyllä tuotekehityssuunnitelmalla on helppo pitää tuotekehitys hallinnassa. Varsinkin mikäli kyseessä on pidempi kestoinen työ, niin on erityisen tärkeää asettaa virstanpylväitä sekä katselmuksia suunnitelmaan. Näiden toimenpiteiden avulla nähdään välittömästi onko projekti hallinnassa vai ei. Mikäli tulee myöhästymisiä, niin otetaan asia välittömästi käsittelyyn. Vaihe 3 sisältää paljon erinäisiä testejä, jotta varmistetaan siitä, että tuote kohtaa sille asetetut vaatimukset. Yleensä tämän portin lopputulema onkin tuotteen prototyyppi. (Cooper. 2011, 109,)

Vaihe kolme painottuu vahvasti teknisiin kehitystöihin, mutta markkinointitoimenpiteitä ei sovi unohtaa vaan niitä kuuluisi tehdä koko ajan teknisentyön rinnalla. vaiheessa kolme on myös hyvä tehdä edelleen markkinatutkimuksia. Testejä suoritettaessa on hyvä ottaa mahdollinen asiakas mukaan testaukseen ja kuunnella hänen mielipiteitään tuotteesta. Palautteen antaminen voi olla jatkuvaa esimerkiksi siten, että tehdään prototyyppejä, otetaan palaute ja taas parannetaan jne. Näiden kaikkien toimenpiteiden rinnalla ryhmän olisi myös kyettävä valmistamaan yksityiskohtaiset testisuunnitelmat, suunnitelmat markkinoille viemiseen sisältäen tuotevaatimukset, päivitettyt markkina-analyysit sekä mahdolliset patenttiasiat ovat ratkaistu. (Cooper. 2011, 109- 110)

Gate 4

Tarkistetaan, että tuote on saavuttanut sille vaiheessa 3 asetetut päämäärät laadullisesti ja että taloudelliset analyysit ovat varmasti uusinta ja tarkinta tietoa. Seuraavassa vaiheessa suoritetaan välitön täytäntöönpano tarkistetuille ja yksityiskohtaisille testisuunnitelmille

Vaihe 4: Testaaminen ja valikointi

Tässä vaiheessa nähdään koko projektin todellinen kannattavuus lukuisten testien kautta, jotka rasittavat niin tuotetta, markkinointia kuin tehtyjä taloudellisia laskelmiakin. Testit voivat olla hyvinkin moniulotteisia sisältäen testejä kontrolloiduissa laboratorioolosuhteissa: tuotetestauksia käyttäjille ja heidän reaktioidensa selvittäminen, Pilottituotteita, jotta nähdään todelliset kustannukset tuotantoprosessin lävitse, uusitaan jälleen talouslaskelmat ja markkinointisuunnitelmat, suoritetaan koemyyntiä. Mikäli jokin asia epäonnistuu tässä vaiheessa, on edessä siirtyminen takaisin vaiheeseen kolme.

Gate 5

Markkinoille vieminen, täyden valmistuksen aloittaminen ja täydellisen kaupallistamisen aloittaminen ovat asioita, jotka tapahtuvat portilla 5. Vielä on mahdollisuus lopettaa projekti. Tämän portin tarkoituksena on keskittyä testaamiseen ja validoinnin tuloksiin laajalajaisesti niitä tutkien. Tulee tällä portilla vielä tarkistaa, että talouslaskennat ja kaikki tuotannon käynnistämisen kannalta oleelliset asiat ovat kunnossa ja vankalla pohjalla. Markkinointisuunnitelmat tulee myös vielä kerran tarkastaa ja mahdollisesti päivittää ennen niiden täytäntöönpanoa viidennessä vaiheessa. Joidenkin tuotteiden kohdalla joudutaan myös valmistamaan tuotteen elinkaarisuunnitelma.

Vaihe 5: Tuotannon käynnistäminen

Nyt on aika tehdä kaikki ne tärkeimmät asiat, joita on jo näin pitkään suunniteltu. Kaikki tuotannon kannalta tarpeelliset tilaukset on hoidettu ja jakelukanavat ovat selvillä ja varsinainen myynti voidaan aloittaa. Myynnissä tukevat pitkään ja huolella tehdyt markkinointi- ja toimintasuunnitelmat. Jotka laitetaankin täytäntöön välittömästi viidennen vaiheen käynnistyttyä.

3 RANNENIVELEN ANATOMIA SEKÄ TOIMINTA

3.1 Merkitys

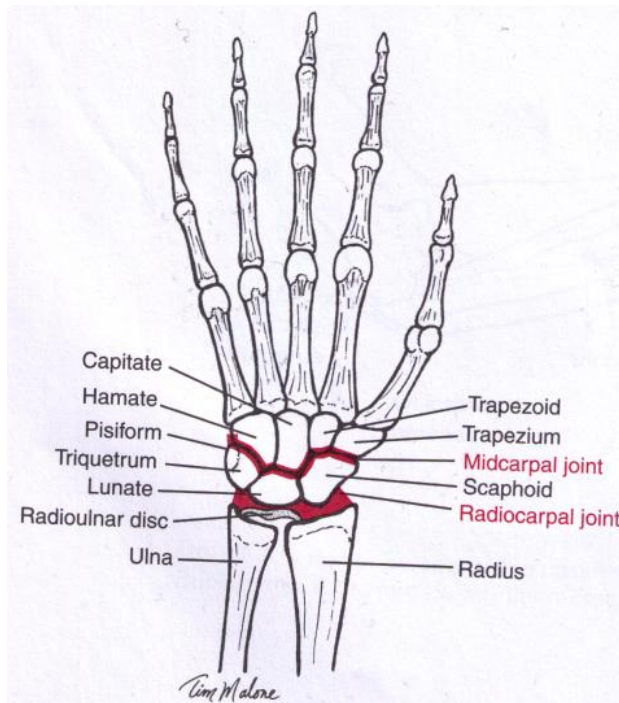
Ranteen merkitys käden asettumisessa optimaaliseen työasentoon on suuri. Ranteen suuri liikkuvuus mahdollistaa käden asettumisen optimaalisesti sille tarkoitettuihin toimintoihin. Rannenivelen liikkeet ovatkin eri nivelten yhdistyneitä liikkeitä. Ranteen nivelrakenne muodostuu kahdesta nivelsarjasta (ylempi rannenivel sekä alempi rannenivel) ja ne kykenevät liikkumaan kahdessa tasossa, sagittaalisessa ja fronttaalisessa. Normaali tilanteessa- han ihmisen käsi kykenee kääntymään missä kulmassa tahansa ja tämä toiminto on rannenivelen kahdentason ja kyynärvarren pitkittäisakselilla tapahtuvan sisä- ja ulkokierron ansiota. Lisäksi ranteella on tehtävä voiman välittäjänä käden ja käsivarren välillä. (Kapandji 1997, 136; Clarkson. 2005, 131).

Kun pohditaan rannenivelen toiminnallista merkitystä ihmiselle niin, huomataan, että on paljon toimintoja jotka eivät toteutuisi ilman rannenivelen liikeratoja. Tilanteessa jossa potilaalle on suoritettu esimerkiksi rannenivelen jäykistys, muuttuvat hänelle siihen asti normaaleilta ja helpoilta tunteneet toiminnot haastaviksi. Kahvinkeitto tai sen juominen, tukan kampaaminen, tavaran nostaminen ylähyllyltä ja säilykepurkin avaus, leivän leikkaus, tässä esimerkkejä perustoiminnoista, jotka vaikeutuvat kyseisen toimenpiteen kautta. (Norkin & White. 2009, 139)

Miettiessä edellä mainittuja toimintoja huomataan, että adduktio on tärkeässä roolissa eri toiminnoissa. Adduktion merkitys onkin suuri käden toiminnallisen funktion kannalta. Siinä tapauksessa, kun ranne ei toimi niin optimaalisesti kuin sen kuuluisi toimia, on vaarana, että muissa nivelissä alkaa tapahtua kompensatioita rannenivelen huonon toiminnan seurauksena. Kompensatioissa on taas riski, että kompensatioita suorittavat nivelet kiipeytyvät, koska silloin niiden suorittamat liikeradat eivät ole niille luontaisia ja kuormitukset tapahtuvat epätasaisesti. (keskustelu Karjalainen. 2012)

3.2 Rakenne

Ranteen voidaan sanoa muodostuvan kahdesta erillisestä nivelestä ylemmästä (**radiocarpal joint**) ja alemmasta rannenivelestä (**midcarpal joint**) ja ranne sisältää kahdeksan pientä ranneluuta. Nämä kaksi niveltä muodostavat myös kaksi ranneluu riviä, alempi ja ylempi ranneluu rivi. Ranneluita on kolme ylemmässä ranneluurivissä ja neljä puolestaan alemmassa ranneluurivissä. Ylemmässä ranneluurivissä lasketaan olevan kolme luuta sen vuoksi koska, pisiform (**herneluu**) liittyy kolmiluu kämmenen puoleiseen pintaan ja näin ollen sitä ei lasketa kumpaankaan ranneluuriviin. alemman rivin luut ovat trapezium (**isomonikulmaluu**), trapezoid (**pieni monikulmaluu**), capitata (**iso ranneluu**), hamate (**hakaluu**) ja ylemmän rivin luut ovat scaphoid (**veneluu**), lunata (**puolikuuluu**) triquetrum (**kolmioluu**) kuviosta 4 nähdään ranneluiden nimitykset ja niiden tarkempi sijainti rannenivelessä. Kuviosta 4 näkyy lisäksi kyynärluun (**ulna**) ja värttinäluun (**radius**) suhde ranneluihin. (Norkin ym. 2009, 115)



Kuvio 4. Ranneluiden nimitykset

Ranneluiden asettelu ja rakenne on monimutkainen varsinkin alemman rannenivelen (**midcarpal joint**) kohdalla. Alemman rannenivelen voidaan sanoa olevan anatomisesti perusnivel, mutta mekaanisesti yhdistelmänivel. Ylempi rannenivel (**radiocarpal joint**) on taas anatomisesti kaksiakselinen perusnivel. Ylemmän rannenivelen ylemmät nivelpinnat ovat kuperia ja ne vastaavat varttinä- ja kyynärluun sekä nivellevyn koveriin pintoihin. Näiden kahteen suuntaan kuperien ja koverien pintojen ansiosta ranne kykenee liikkumaan kahdessa eri tasossa. (Clarkson. 2005, 103)

Alempi rannenivel sijaitsee ylemmän ja alemman ranneluurivin välissä. Ylemmän ranneluurivin veneluun alaosassa on kaksi kuperaa nivelpintaa, sekä sisempänä kovera nivelpinta. Tämä siksi, että veneluun vastaa yksinään kolmeen muuhun niveleen. Veneluun kuperat pinnat nivELYVÄT pienen ja ison monikulmaluun kanssa, kovera pinta nivELYTYY puolestaan ison ranneluun kanssa. Puolikuuluu nivelpinta on myös kovera ja sekin yhtyy isoon ranneluuhun. Kolmioluun kovera nivelpinta yhdistyy taas hakaluuhun. Tästä voidaan jo päätellä ranteen rakenteen ja toiminnan olevan monimutkainen useiden erillisten nivelpintojen vuoksi. (Clarkson. 2005, 103)

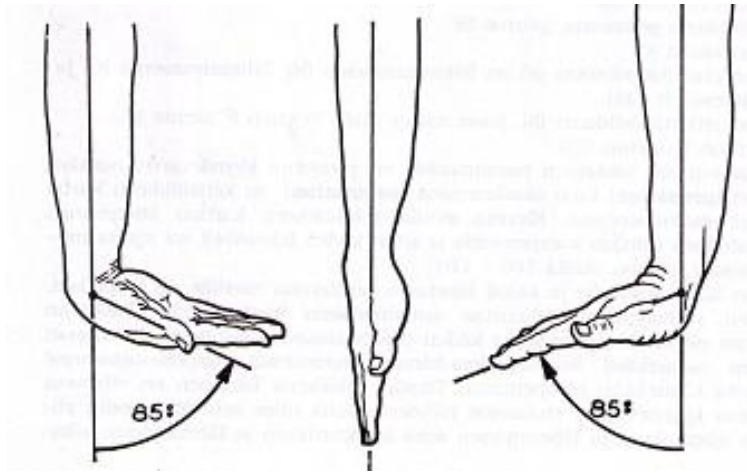
Yksinkertaistettuna ranneluurivejä voidaan tarkastella yhtenäisinä rakenteina. Alempi rannenivel voidaan jakaa kahteen osaan. Alemman rannenivel ulko-osassa olevat monikulmaluut muodostavat kaksi tasopintaa ja siten yhden tasonivelen veneluun kanssa. Alemman rannenivelen sisäosassa sijaitseva ranneluun pää ja hakaluun kuperat pinnat muodostavat soikean nivelen kolmen ylemmän ranneluun kanssa. (Kapandji. 1997, 146)

3.3 Liikeradat

Kuten jo aikaisemmin mainitsin, ranne liikkuu kahdessa tasossa, sagittaalisessa ja frontaalisisessä tasossa. Ranteen liike jaetaan neljään toimintoon fleksio, ekstensio, adduktio sekä abduktio. Näiden neljän toiminnon lisäksi ranne on kykenevä tuottamaan kehäliikettä, joka syntyy näiden neljän toiminnon yhdistelmä. Ylemmän ja alemman rannenivelten liikkeitä on mahdollista mitata erikseen, mutta se vaatisi todella hyvää sairaalateknologiaa ympärilleen jotta se onnistuisi, niinpä seuraavaksi esiteltävät nivelkulmat ovat näiden molempien nivelten yhdistettyjä kulmia. (Clarkson. 2005, 103)

3.3.1 Fleksio ja ekstensio

Goniometrillä mitattaessa ranteen fleksion ja ekstension liikelaajuudet tulee mitata tapahdettua kyynärluun puolelta siten, että lähtöasennossa käsi ja kyynärvarsi muodostavat suoran linjan katso kuvio 5. Ranteessa ei saa myöskään tällöin olla adduktiota eikä abduktiota. Ranteen liikkuvuus on suurimmillaan sen ollessa neutraaliasennossa. Neutraaliasennossa siinä ei ole adduktiota, abduktiota eikä myöskään käsivarren kiertoa. Henkilökohtaisella nivelsiteiden kireydellä on myös vaikutusta liikelaajuuksiin. Goniometrin kuuluu kulkea kyynärluun suuntaisesti keskilinjaa pitkin ja goniometrin nivelen kuuluu sijoittua kyynärluun distaaliseen kärkeen. (Clarkson. 2005, 110; Kapandji. 1997, 140). Goniometri on ihmisten nivelkulmien mittaamiseen tarkoitettu mekaaninen mittausväline.



Kuvio 5. Flexio ja ekstensio

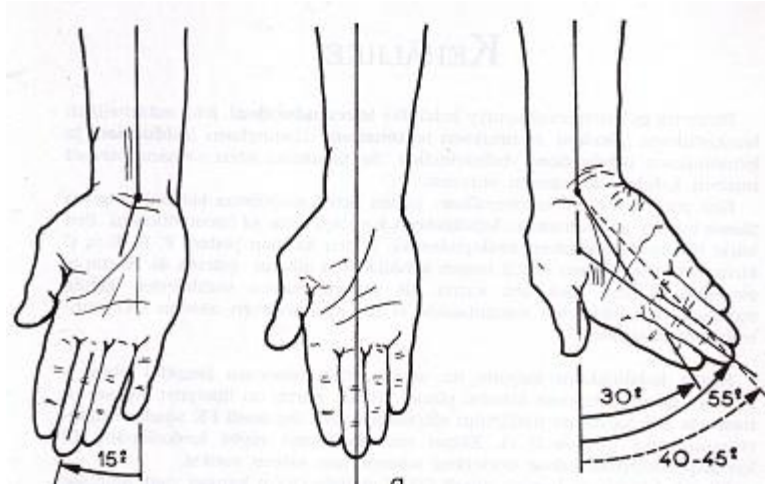
Norkinin ym. mukaan fleksion liikelaajuus on 0-60min 80max asteen välillä ja ekstension puolestaan 0-60min 70max asteen välillä. Norkinin ym. tutkimuksessa huomioidaan iän tuomat vaikutukset ja ihmisten henkilökohtaiset erot liikkuvuuden osalta (Norkin. 2009). Kapandji on taas ilmoittanut fleksion ja ekstension liikelaajuudeksi 0-85 astetta. Kapandjin ja Norkinin ym. ilmoittamien tulosten ero johtuu mahdollisesti jo aikaisemmin mainitsemani kyynärvarren kierrosta sekä Norkinin ym. huomioon otetut henkilökohtaiset ominaisuudet. Kapandjin tulokset ovat peräisin ranteen ollessa täysin neutraalissa asennossa, kun taas Norkinin ym. mittaukset ovat tehty kyynärvarren ollessa sisäänpäin kiertyneenä.

Clarksonin (2005) ilmoittamat liikelaajuudet sopivat hyvin vertailupohjaksi opinnäytetyön prototyypille, koska Clarkson on käyttänyt niin sanottua AROM mittaustapaa. AROM active range of motion tarkoittaa siis sitä, että liikeradat suoritetaan ainoastaan koehenkilön omien lihasten avustuksella (Clarkson. 2005, 5). Valmiin tuotteen mittaustulokset tulevat olemaan myös AROM tuloksia. Clarkson (2005) on ilmoittanut normaalit AROM liikelaadut seuraavasti: fleksio 0-80 astetta ja ekstension 0-70 astetta.

3.3.2 Adduktio ja abductio

Adduktion ja abduction mittaaminen goniometrillä tapahtuu siten, että ranne on samanlaisessa neutraalissa asennossa kuten fleksiota ja ekstensiota mitattaessa. Kuvioista 6 nähdään

viiteasento kädelle ennen mittauksen suorittamista. Keskisormen on muodostettava suoralinja kolmannen kämmenluun läpi jatkaen suoraa linjaa pitkin kyynärvartta. Kuviosta 6 nähdään myös, että adduktiolle voidaan määritellä useampi taipumiskulma riippuen mittaustavasta. Adduktion ja abduktion liikekulman mittaamiseen käytettävän goniometrin tulee asettua käsivarren suuntaisesti kämmenselän puolelle. Goniometrin nivelen tulee taas asettua ison ranneluun (capitate) kohdalla. (Clarkson. 2005, 112; Kapandji. 1997, 140)



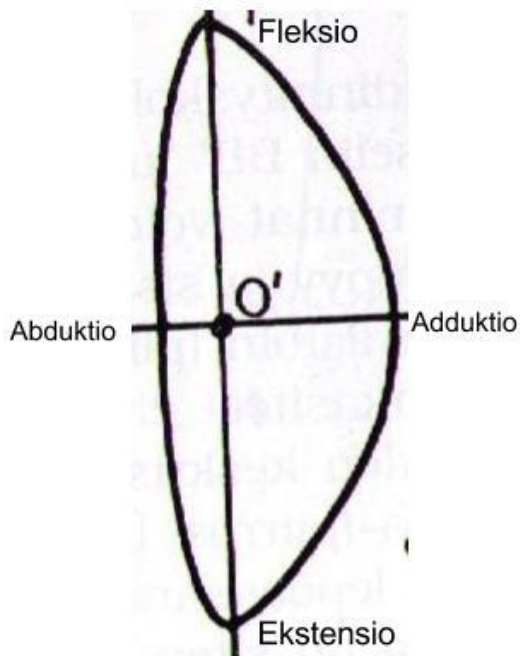
Kuvio 6. Adduktio ja abduktio

Kapandji esittää kolme eri tulosta rannenivel adduktiolle, mutta yleisin mittaustapa on mitata kulma viitelinjan ja käden akselin välinen kulma joka on 30 astetta. Adduktion liikelajajuus on taas 45 astetta, mikäli tulos otetaan keskisormenpään ja viitelinjan välisestä kulmasta. 55 astetta saadaan kun kulma mitataan keskisormen akselin ja viitelinjan välisestä kulmasta. Nämä erot johtuvat rannenivel adduktion yhteydessä esiintyvistä sormien adduktiosta. Kapandji kuitenkin toteaa käytännön toimintasäteen adduktiolle olevan 45 astetta. Abduktion mittaaminen tapahtuu samoin kuin adduktion, mutta siinä ei ole muita mittaustapoja goniometrille, kuin mitata viitelinjan ja keskisormen keskilinjan välinen kulman joka on noin 15 astetta. (Kapandji. 1997, 140)

3.3.3 Kehäliike

Rannenivelen kehäliike syntyy kahden eri liikeakselin yhdistämisestä. Kehäliikkeessä tapahtuu fleksion, ekstension, adduktion sekä abduktion yhdisteitä. Kehäliikkeen ollessa suurimmillaan muodostaa rannenivel kolmiulotteiseen tilaan kartion. Kartion kärki puolestaan sijaitsee rannenivelen keskellä. Rannetta pyöritettäessä kartiota ympäri piirtäisi keskisormen kärki kolmiulotteiseen tilaan kartion kantaa, mutta kanta ei olisi säännöllisen pyöreä. Tämä johtuu taas siitä, että käden toimintasäde ei ole symmetrinen kyynärvarren akseliin nähden. (Kapandji. 1995, 142)

Kun tarkastellaan rannenivelen kehäliikettä kyynärvarren akselinsuuntaisesti, huomataan toimintasäteen olevan suurin fleksio ekstensio suunnassa, mutta pieni taas adduktio abduktio suunnassa. Tästä johtuen kartiokanta on malliltaan ellipsoidi Katso kuvio 7. Tosin ellipsoidikin on vääristynyt keskelle päin adduktion tuotaman suuremman säteen vuoksi. Kuviosta 7 nähdään hyvin millaista liikettä rannenivel tuottaa ja millaisen kartion rannenivel muodostaa. Kaikki rannenivelessä tapahtuva liike voi tapahtua kyseisen kartion sisällä. (Kapandji. 1997, 142)



Kuvio 7. Kehäliike

4 MEMS TEKNOLOGIA

Opinnäytetyössä tullaan käyttämään MEMS (Mikroelectromechanical system tai mikrosysteemi) teknologiaa. MEMS teknologia vaikuttaa ihmisten päivittäisiin toimintoihin yhä lisääntyvästi. MEMS teknologian markkinat kasvavat vuosittain kovaa vauhtia. Kasvua tapahtuu vuosittain noin 16% ja vuonna 2014 puhutaankin jo noin 14 miljardin dollarin markkina-alueesta. Nykyään MEMS teknologian tunnetuin käyttökohde ovat ns. älypuhelimet ja tabletit joihin on sovellettu MEMS komponentteja, myös autojen airbag laukaisu on toteutettu MEMS teknologialla käyttäen kiihtyvyys antureita. Muita tunnettuja sovelluksia ovat navigointijärjestelmät sekä erilaiset paine- ja virtaussovellukset. (Lampo. 2012, 1-4; Semiconeuropa.)

MEMS teknologian soveltaminen nimenomaan tähän projektiin on monelta osin hyvin perusteltua. Ensimmäinen ja suurin tekijä on virran kulutus, kiihtyvyysanturit, gyroskoopit ja magnetometrit ovat hyvin pienivirtaisia. MEMS teknologia on suuren kysyntänsä puolesta jo edullista ja se kehittyy vauhdilla eteenpäin. Toinen tämän projektin kannalta hyvin oleellinen tekijä on komponenttien koko, MEMS teknologia saadaan mahtumaan hyvin pieneen tilaan. (VTT 2012)

Itse MEMS voidaan yleisesti määritellä mikrosysteemeiksi, joissa on yhdistetty elektroniikkaa sekä mekaniikkaa. Komponenttien koko vaihtelee yleensä muutamien millien ja mikrometrien välillä. Yleensä MEMS sisältää mikromekaanisia sensoreita, antureita ja mikroelektroniikka piirejä. MEMS aluetta voidaan pitää hyvin laajana ja sille ei olekaan juuri tarkempaa määrittelyä. Tässä opinnäytetyössä tullaan käyttämään ainoastaan anturitekniikkaa joten seuraavissa kappaleissa keskitytään ainoastaan kyseiseen tekniikkaan. Anturi tekniikan toimintaperiaate perustuukin mekaanisen liikkeen muuntamiseen sähköiseksi signaaliksi. (Minghan. 2005, Luku 1)

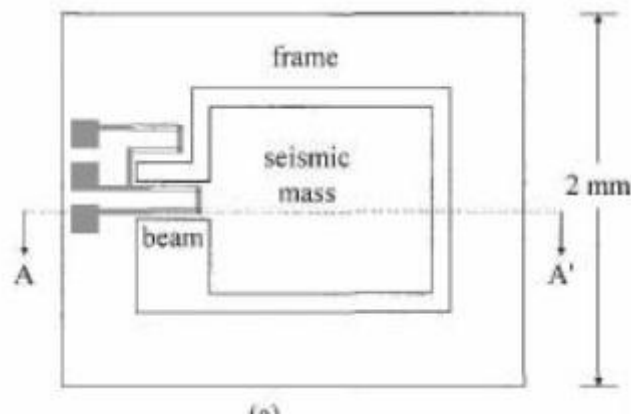
4.1 Kiihtyvyysanturi

Kiihtyvyysanturin toimintaperiaate on sinänsä melko yksinkertainen, koska se perustuu täysin Newtonin toiseen lakiin, $F=ma$ voima on massa kertaa kiihtyvyys. Anturimalleja on

useita, mutta kaikkiin kiihtyvyyssantureihin pätee sama Newtonin laki. Siksi voidaan toimintaa kuvailla siten, että anturissa olevaan tunnettuun massaan kohdistuu voima, jolloin kiihtyvyys on mahdollista määrittää. Kiihtyvyyssanturien signaalin muodostamiseen on myös useampia erilaisia tekniikoita, mutta yleisimmät tekniikat ovat kapasitiivinen, pietsoresistiivinen tai pietsosähköinen anturielementti. (Fonselius ym. 1994, 135; Beeby ym. 2004, 175.)

Pietsoresistiivisen kiihtyvyyssanturin toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin kuten kiihtyvyyssanturin yleensäkin, mutta itse pietsoresistiivisyys perustuu voiman aiheuttamaan muodonmuutokseen kiihtyvyyssanturin sisällä olevaan palkkiin. Vaikuttavan voiman ansiosta anturielementin puolijohdekiteeseen muodostuu resistanssin muutosta ja tämä resistanssin muutos on mahdollista mitata tavanomaisilla resistanssin mittaussmenetelmillä.

Kuviosta 8 nähdään erään pietsoresistiivisen kiihtyvyyssanturin periaaterakenne.

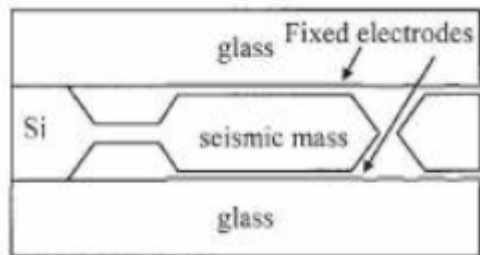


Kuvio 8. Pietsoresistiivisen kiihtyvyyssanturin esimerkkirakenne.

Pii on yleisin puolijohde, mutta se ei ole pietsosähköistä materiaalia. Pii pintaan on tosin mahdollista muodostaa ohut kalvo esimerkiksi sinkkioksidista, joka puolestaan on pietsosähköinen materiaali. Pietsosähköisyys perustuu myös mekaaniseen jännitykseen, mutta tässä tapauksessa tarkoituksena on saada mittaustietona jännitemuutoksia. Jännityksestä syntyvä sähköinen varaus on suoraan verrannollinen vaikuttavaan voimaan. (Kuivalainen. 1993, 30, 44, 45, 46; Minghan. 2005, 7; Rantanen . 2012, 23.)

Kiihtyvyys on myös mahdollista mitata kapasitanssin muutoksena. Kuviossa 9 on esimerkkirakenne kapasitiivisesta anturista. Kuvasta 7 nähdään, että anturielementissä on

kaksi erillistä pintaa. Voiman vaikuttaessa pintojen välissä olevaan massaan tulee palkki taipumaan voiman suuntaisesti ja aiheuttaa pintojen välille etäisyyden muutoksen, joka puolestaan ilmenee kapasitanssin muutoksena ΔC . Kapasitanssi puolestaan tarkoittaa varauksen varastointikykyä eli sähköinen varaus muuttuu palkin taipuessa. (Kuivalainen. 1993, 48;Rantanen . 2012, 23-26.)

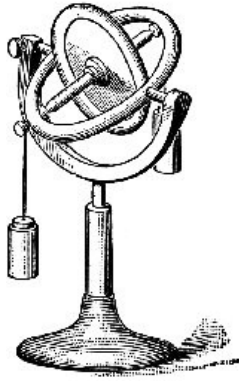


Kuvio 9. Kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin esimerkkirakenne

Tässä opinnäytetyössä tullaan myös käyttämään kapasitiivisiä kiihtyvyyssantureita niillä saavutettavien etujen vuoksi. Kapasitiivisen kiihtyvyyssanturin suurimmat edut tulevat niiden pienistä lämpötilakertoimista, niillä voidaan mitata tasaisia kiihtyvyyksiä jolloin käyttö inklinometrinä on mahdollista, eli kallistuskulman mittaaminen painovoiman avulla on mahdollista. Kyseinen mittaustapa on puolestaan pietsoresistiivisellä hyvin vaikeaa. Kapasitiivinen kiihtyvyyssanturi omaa myös suuren herkkyyden sekä pienen kohinan signaalissa. (Rantanen. 2012, 23)

4.2 Gyroskooppi

Gyroskooppi tehtävänä on mitata suunnan muutosta. Liikkeessä on kaiken kaikkiaan kuusi eri suuntaa. On olemassa kolme kohtisuoraa liikettä ja kolme kiertoliikettä näiden kolmen kohtisuoran liikkeen ympärillä. Gyroskoopin tehtävänä on nimenomaan mitata kohtisuorien akseleiden ympärillä tapahtuvaa kiertoliikettä. Gyroskooppi on jo hyvin vanha keksintö. Se keksittiin Ranskassa 1800-luvun puolivälissä kuvaamaan maapallon pyörimistä. Vanhassa mekaanisessa gyroskoopissa on pyörivä pyörä tai levy vapaasti kääntyvien nivelten välissä, katso kuvio 10.

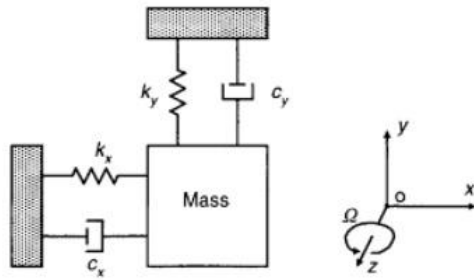


Kuvio 10. Vanha gyroskooppi

Pyörivä levy tai pyörä varastoi itseensä pyöriessään tietyn kulmamomentin riippuen pyörimisnopeudestaan. Miksi varastoituminen tapahtuu, on seurausta Newtonin toisesta laista, dynamiikan peruslaista, joka puolestaan johtaa liikemäärän säilymlakiin. Kun gyroskoopin levy laitetaan pyörimään johonkin tiettyyn tasoon, pyrkii se myös säilyttämään tämän tason. Vanhassa gyroskoopissa ilmiö voidaan nähdä siten, että vaikka tukirakenne muuttaisi asentoaan, ei pyörivän levyn asento muuttuisi. (Hyvönen. 2011, 3; Murata Electronics Oy)

MEMS gyroskoopit ovat nykyään pääosin värähtelevänmassan gyroskooppeja. On myös olemassa laserrenkas gyroskooppeja, mutta tässä opinnäytetyössä käytämme ainoastaan värähtelevänmassan gyroskooppeja. Laserrenkas gyroskooppien hinta on sen verran korkea, että niitä ei kannata käyttää prototyypin rakentamiseen. Laserrenkas gyroskoopit ovat myös äärimmäisen tarkkoja, mutta värähtelevänmassan gyroskoopin tarkkuus on varsin riittävä tähän tarkoitukseen. (Hyvönen. 2011, 7; Murata Electronics Oy)

Värähtelevänmassan gyroskoopin toiminta perustuu Newtonin toiseen lakiin, mutta kun tähän lakiin lisätään pyöriminen, syntyy ns. virtuaalinen voima jota kutsutaan nimellä Coriolisvoima. Koko gyroskoopin toiminta perustuu siihen, että tapahtuva pyöriminen saadaan muutettua Coriolisvoimaksi. Coriolis efekti tapahtuu siis silloin kun jokin massa liikkuu pyörivässä ympäristössä. Esimerkiksi jos meillä on vasemmalle pyörivä rakenne ja tämän rakenteen sisällä lähetetään liikkeelle jokin kappale, tapahtuu kappaleen liikeradassa poikkeama oikealle johtuen coriolisvoimasta. Värähtelevänmassan gyroskoopissa keskellä on jokin massa joka saadaan värähtelemään sähköisesti.

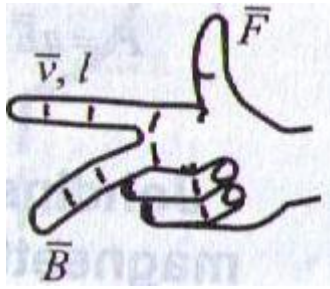


Kuvio 11. Värähtelevänmassan gyroskooppi

Kuviosta 11 nähdään yksinkertaistettu malli värähtelevästä gyroskoopista. Tässä mallissa on kaksi värähtelevää suuntaa X ja Y. Massa värähtelee molempiin suuntiin määritellyllä taajuudella ja taajuus on molempiin suuntiin lähestulkoon sama. Mikäli sensoria pyöräytetään jollain kulmanopeudella Z akselin ympäri, voidaan coriolisvoima havaita akselista Y. Y akselin värähtelyn taajuudesta voidaan mitata muutos ja se muutos voidaan muuttaa kulmanopeudeksi. Tunnistusmenetelmiä on toki muitakin kuten pietsoelektroninen, kapasitiivinen ja pietsoresistiivinen kuten kiihtyvyyssantureissakin, mutta periaate on yksinkertaistettuna tämä. (Hyvönen. 2011, 3-16; Bao. 2004. 16-19)

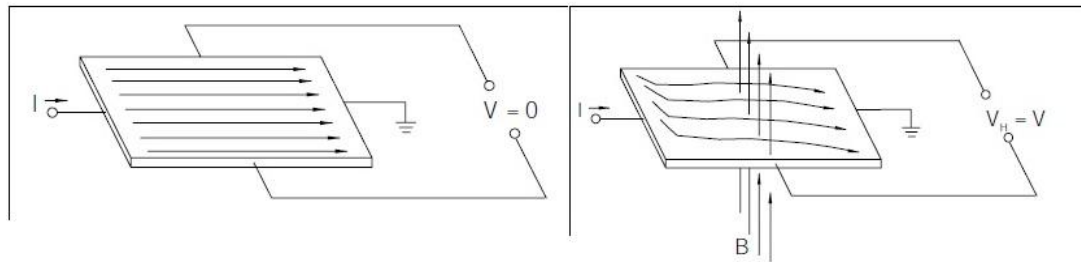
4.3 Magnetometri

Magnetometri on anturi, joka kykenee havaitsemaan magneettikenttiä sekä myös magneettikentän suunnan. Tyypillisimmät käyttökohteet magnetometrille löytyvät teollisuuden, merenkulun ja biomekaniikan puolelta. Magnetometrien toiminta perustuu Lorentzin voimaan, eli hiukkasen liikkuessa sähkö- ja magneettikentässä tulee hiukkaseen vaikuttamaan painovoiman lisäksi sähköinen voima $\vec{F}_s = q\vec{E}$ sekä magneettinen voima $\vec{F}_m = q\vec{v} * \vec{B}$ ja näistä syntyy kaava $\vec{F} = q\vec{E} + q\vec{v} * \vec{B}$, jossa \vec{F} = kahden voiman summa, resultantti voima eli Lorentzin voima. Tasaisessa magneettikentässä voidaan voiman suunnan tunnistamiseen käyttää oikean käden sääntöä. Kuviosta 12 nähdään oikean käden säännöllä katsottuna \vec{v} hiukkasen suunta, \vec{B} magneettivuon suunta sekä \vec{F} voiman suunta. (Abhinav, 2008. 45-46; Valtanen. 265-266, 2009)



Kuvio 12. Oikean käden sääntö

Yleisimmät magnetometrin mittaustavat perustuvat Hall-efektiin, magneto-resistiiviin tai Fluxgate efektiin. Jokainen näistä mittaustavoista on loppujenlopuksi yksinkertaisia ja helppoja mitata, koska kaikissa näissä mitataan sähkötekniikan perussuureita. Hall efektiä mitataan jännitettä, magneto-resistiivisessä magnetometrissä mitataan luonnollisesti resistanssin muutosta ja Fluxgate efektissä mitataan jännitetaajuuden muutosta. (Heijden ym. 2004, Luku7)



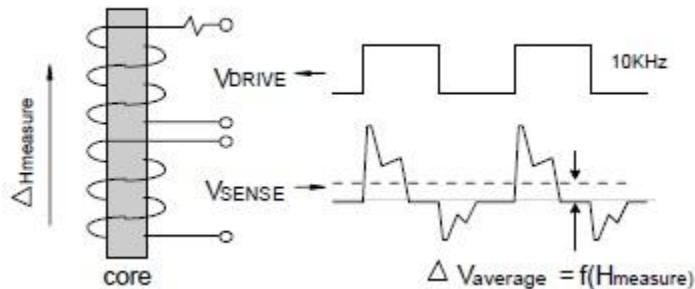
Kuvio 13. Hall magnetometrin toimintaperiaate

Kuviossa 13 on ohut puolijohdemateriaali jonka lävitse johdetaan virtaa. Siinä tapauksessa kun magneettikenttää ei ole lähettyvillä kulkee virta puolijohteen lävitse ilman potentiaalieroa. Toisessa tapauksessa puolijohde osuu magneettikenttään ja silloin voidaan havaita Lorentzin voiman vaikutukset. Lorentzin voima vaikuttaa hieman virran kulkureittiin ja se on mahdollista lukea ulostulosta potentiaalierona V_h (voltti).

(http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=47847 LUKU 2)

Kuviossa 14 on esitetty Fluxgate anturin perustoimintaperiaate. Fluxgate magnetometrissä on kaksi erillistä kela, joista toiseen syötetään tietyllä taajuudella jännitettä, mutta keloilla yksi yhteinen ferromagneettinen sydän. Sydän kyllästetään ensimmäisen kelan magneettikentällä ja se luo ulkoisen magneettikentän jonka avulla toiseen kelaan indusoituu

herätevirta. Toisen kelan taajuus on sama kuin ensimmäisenkin, mutta siinä tapauksessa kun se osuu vieraaseen magneettikenttään alkaa toisen kelan taajuus säröilemään ja tämän säröilyn perusteella voimme määrittellä magneettikentän voimakkuuden ja suunnan.



Kuvio 14. Fluxgate toimintaperiaate

Fluxgate anturit ovat hyvin tarkkoja ja niitä käytetäänkin tarkkuusinstrumenteissa ja niistä on valmistettu jo mikrokokoisia antureita. (Bratlan ym. Honeywell; Heijden ym. 2004 LUKU 7.3.3)

Magneto-resistiivisessä anturissa kerrostetaan ferromagneettisia ja ei magneettisia materiaaleja. Anturin osuessa magneettikenttään muuttuu sen resistanssi, tämä on se ominaisuus joka tekee magneto-resistiivisestä anturista helpokäyttöisen. Resistanssin muuttumisen vuoksi se voidaan kytkeä esimerkiksi Wheatstonen siltaan. Resistanssin muutos on helppo lukea tavanomaisilla mittausmenetelmillä.

4.4 IMU ja AHRS

Inertial measurement unit ja Attitude heading reference system on nykyään hyvin yleisesti käytetty autoteollisuudessa, tutkimuskäytössä, robotiikassa, navigoinnissa ym. teollisuudessa. IMU ja AHRS yksiköt pitävät sisällään yleensä sisällään samanlaiset komponentit. Suurin ero yksiköiden välillä on mittaustavassa. AHRS yksikkö käsittelee datan suoraan anturissa itsessään, kun taas IMU yksikkö välittää vain MEMS antureilta tulevan tiedon eteenpäin. (VMSENS. 2013)

Nykyään useimmat IMU ja AHRS yksiköt pitävät sisällään kolmiakselisen kiihtyvyyssanturin sekä kolmiakselisen gyroskoopin, mutta näiden lisäksi yksikköön lisätään useasti myös magnetometri. Magnetometrin tehtävänä on tuottaa tarkempi aseman määrittäminen mitattavalle kappaleelle. Ilman magnetometriä aseman tunnistus ei olisi niin tarkkaa. Kahdella anturilla puhutaankin yleisesti 6DOF yksiköstä, mutta kolmen anturin yhdistys on 9DOF yksikkö. DOF tarkoittaa tässä yhteydessä degree of freedom, eli vapausastetta. Kuten aikaisemmin jo mainittua kiihtyvyyssanturin kuluu mitata lineaarista kiihtyvyyttä, gyroskoopin kulmanopeutta ja magnetometrin maan magneettikenttää. yksiköissä käytettävät anturit ovat värähtelevän massan antureita. (Ayazi. 2011, 1; Angelosanto. 2008, 12.)

5 MITTAUSMETODIIKKA

5.1 Käytettävät komponentit

POISTETTU SALASSAPITOVOLLISSUUDEN VUOKSI.

5.2 Ohjelmisto

POISTETTU SALASSAPITOVOLLISSUUDEN VUOKSI.

Varsinainen nivelkulmien mittausohjelmisto on tehty tämän projektin vaatimuksien mukaan, mutta kuitenkin vain siten, että se täyttää vain minimivaatimukset. Ohjelma on Python-alustalla, joten se on rakenteeltaan yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Silloin kun ohjelma on valmistettu Python alustalle, datan lukeminen tapahtuu helposti Windows komentorivin avulla. Data voidaan myös logata suoraan esimerkiksi Excel taulukkomuotoon, jolloin siitä on helppo tulkita mittaustuloksia. Ohjelma merkkää myös automaattisesti tarkan mittauskohtaisen kellonajan.

5.3 Anturien sijoittelu

Antureilla on tarkoituksena mitata rannenivelen absoluuttista ja reaaliaikaista kulmaa asteina, siihen soveltuvien ohjelmasovellusten ja AHRS antureiden avulla. Rannenivelen liikeratojen mittaamiseen ei ole tällä hetkellä valmista ohjetta siitä, että kuinka anturit kuuluisi sijoitella. Mittaamiseen voimme soveltaa teoriatietao goniometrillä mittaamisesta ja Yost engineering ohjetta ihmisen nivelkulmien mittaus kahdella Yei 3-Space anturilla.

POISTETTU SALASSAPITOVOLVOLLISUUDEN VUOKSI.

Tässä mittalaitteessa ei ole mitään niveltä, jonka kuuluisi osua juuri oikean ranneluun kohdalle. Tällainen järjestelmä antaa tiettyjä vapauksia sijoittelun suhteen. Antureiden etäisyys toisistaan ei ole millään lailla tarkkaa, koska kulma ei ole riippuvainen etäisyydestä. Kaikista huomion arvoisin asia sijoittelussa on se, että anturit ottavat riittävän hyvin huomioon kyynärvarren kierron. Kyynärvarren päälle asettava anturi onkin sijoitettava mahdollisimman lähelle ranneniveltä, koska tässä kohtaa kyynärvarren kierto havaitaan kaikkein parhaiten. Kyynärvarren liikkeet onkin hyvin tarpeellista mitata, koska kyynärvarsi voi olla lähes missä asennossa tahansa olkapään ja muiden nivelten suuren liikkuvuuden vuoksi.

Mikäli mittausta pyrittäisiin suorittamaan vain yhdellä anturilla, ei sillä saataisi kovinkaan hyviä tuloksia. Tässä mittausmetodiikassa on kyse juuri siitä, että mittaus suoritetaan potilaan luonnollisessa toimintaympäristössä, jolloin käsivarsi voi olla aivan missä asennossa tahansa. Tällaisessa mittaustavassa käsivarren liikkeet pitää saada kompensoitua pois kämmenen päällä olevasta anturista. Käsivarren kiihtyvyydet, kulmanopeudet ja magneetikentän suunnat vaikuttavat myös ilman muuta kämmenen päällä olevaan anturiin. Kahta anturia käyttämällä voidaan käsivarren asennot kompensoida pois kämmenen päällä olevasta anturista, muuta samalla saadaan näiden kahden anturin välinen kulma mittaustietona ulos. Kuviosta x nähdään antureiden sijoittelu prototyypissä.

POISTETTU SALASSAPITOVOLVOLLISUUDEN VUOKSI.

5.4 Testaaminen

Prototyypin testaaminen suoritetaan kolmevaiheisesti. Näin saamme käyttökokemuksia laitteistosta ja testin ollessa kolmevaiheinen, tulee se vaikeutumaan vaihe vaiheelta. Vaikeutumisella tähdätään siihen, että löydämme mahdollisia virhetekijöitä. Yksi suuri virhetekijä mittaustuloksiin on tiedossa jo ennen varsinaisia testejä aloitettaessa. Virhe tulee kyynärvarren kierrosta ja näin ollen kyynärvarren kiertoa ei testeissä tulla tekemään, vaan käsi pyritään pitämään niin paikoillaan kuin mahdollista. Ainostaan rannenivel liikkuu.

Ensimmäisen vaiheen testi suoritetaan yksinkertaisesti astemitan avustuksella, jotta nähdään mittaustulosten olevan oikealla alueella. Anturit kiinnitetään astemittaan ja astemitan osoittamia tuloksia verrataan antureiden ilmaisemaan tulokseen. Tämän kaltainen mittaus on myös helppo suorittaa ja tarvittavat korjaus toimenpiteet tulevat ilmi välittömästi.

Toisen vaiheen testaaminen suoritetaan kuudelle testihenkilölle. Tässä tapauksessa saadaan taas lisää mittaussuorituksia ja sitä myötä mahdollisia virheitä havaittua. Testissä todennetaan ainoastaan rannenivelen ääriarvot kahdessa akselissa. Testissä otetaan siis huomioon fleksion, ekstension, adduktion ja abduktion ääriarvot huomioon. Perusteet miten arvojen oikeellisuus arvioidaan, tulee pohjautumaan kirj tietoon, jota on esitelty kappaleessa 4. Tämän lisäksi jokaisen testihenkilön liikkuvuus mitataan perinteisellä goniometrillä. Uudella menetelmällä saatuja ääriarvo tuloksia verrataan kirjallisuudessa esitettyihin ääriarvoihin sekä goniometrillä saatuihin arvoihin. Kuvioista **x** nähdään mittausasento ja käden ääriasennot, sekä mittauslinjat antureille.

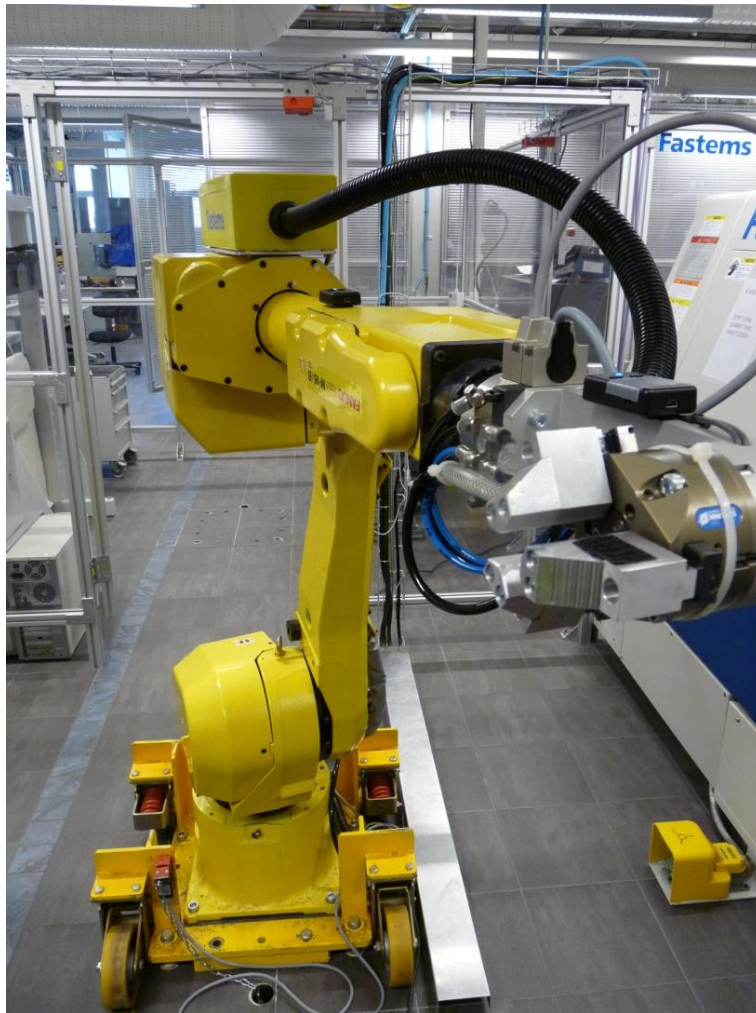
POISTETTU SALASSAPITOVOLLISUUDEN VUOKSI.

Kuvio 15. Mittauslinjat ääriasennoille

Testaaminen suoritettiin siten, että rannenivel käy kaikissa näissä neljässä asennossa vuorotellen 10 kertaa ja tulokset kirjataan ylös. Tällä tavoin pystymme todentamaan kulmanmittauksen tarkkuutta valitulla teknologialla. Lisäksi toisen vaiheen testauksessa suoritetaan erillinen mittaus jokaiselle testihenkilölle. Tässä mittauksessa testi henkilö nousee tuolistaan ja kävelee noin viisi metriä eteenpäin ja palaa paikoilleen. Kävelyn jälkeen testihenkilöllä teetetään vielä viisi suorituskertaa jokaisessa ääriasennossa. Tämä tehdään sen

takia, että pystyisimme jatkossa hieman arvioimaan mistä kyynärvarrenkierrosta syntyvä mittausrvirhe voisi syntyä. Pyrimme siis eliminoimaan yhden mahdollisen virhetekijän pois kyynärvarren kierrosta. Kävelyllä pyrimme todistamaan, että antureiden sisäinen koordinaatisto pysyy paikoillaan.

Kolmannessa vaiheessa yritämme mitata absoluuttista asemaa antureilla. Vaihe kolme onkin kaikkein haastavin. Hankalin osuus tässä on se, että sähköiset laitteet aiheuttavat prototyypille vielä häiriöitä ja joissain tapauksissa jopa metallit aiheuttavat häiriöitä. Kolmannessa vaiheessa absoluuttinen asema on tarkoitus mitata Jyväskylän Ammattikorkeakoulun laboratoriossa olevalla robotilla. Robotin nivelistä on mahdollista saada tarkka tieto nivelen kulmasta ja näin ollen sitä voitaisiin verrata prototyypin antamiin nivelkulmiin. Tämän tason mittaamista on hyvin haastava tehdä ihmisellä, koska yhden mittalaitteen jo ollessa nivelen ympärillä, on siihen hankala kiinnittää toista, joka antaisi luotettavaa tietoa. Meillä ei myöskään ole käytössä minkäänlaista sovellusta, jolla voisimme todentaa ranteen liikettä kahdessa akselissa samanaikaisesti. Näin ollen yritämmekin mitata kulmia robotin avustuksella ja robotin liikkeet ovat hyvin tarkkoja. Robottimittauksessa voimme soveltaa samoja periaatteita kuin edellisissäkin. Kuvioista 16 nähdään robotti ja anturien sijoittelu robottiin.



Kuvio 16. Robotti ja anturien sijoittelu.

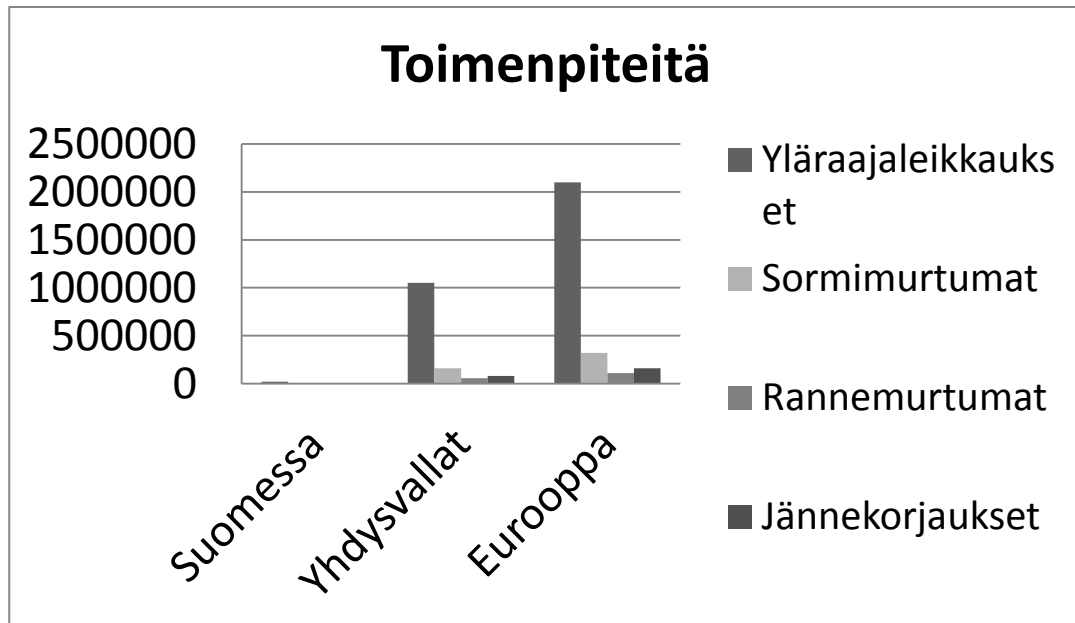
Myöskään tässä mittauksessa anturien sijoittelu ei ole tarkkaa, koska anturit lähtevät suorittamaan mittausta aina siitä kohtaa johon ne ovat sijoitettu kyseisellä hetkellä. Anturien nollapiste voi olla siten, että anturit ovat eri tasossa tai eri kulmissa toisiinsa nähden. Robotti on merkittävä Fanuc Robot M-16iB20.

6 PROJEKTIN ETENEMINEN

6.1 Gate 1

Projekti on lähtenyt liikkeelle alun perin tarpeesta ja ideasta minkäläistä tuotetta mahdollinen asiakas voisi tarvita. Tässä projektissa on edetty Cooperin (2009) Stage Gate mallin mukaisesti, sekä sitä hieman soveltaen. Aivan ensimmäiseksi tehtiin karkeatutkimus nykyisistä olemassa olevista kilpailijoista ja mahdollisista markkina-alueista. Ilman mitään tietoa näistä voisi tuotekehitysprojektin aloittaminen olla aivan turhaa. Karkeatutkimuksen jälkeen tehtiin aikataulusuunnitelmat ja projektin rakennesuunnitelmat.

Karkeassa tutkimuksessa lähteinä käytettiin Internetiä, alan julkaisuja sekä Teemu Karjalaisen tietämystä alasta. Ensimmäisissä tutkimuksissa, joka oli nopea ja suppea ei löytynyt yhtään kilpailijaa, joka suorittaisi mittauksia tällä tavalla. Joten siitä kyettiin jo päättämään, että kilpailu ei olisi välttämättä kovinkaan ankaraa tällä saralla. Toki kilpailijoina voidaan pitää perinteisiä goniometrillä suoritettavia mittauksia, mutta näitä kahta menetelmää ei voida verrata täysin toisiinsa, koska uusi menetelmä on täysin teknologiaan nojaava menetelmä ja perinteinen mittaus suoritetaan mekaanisesti. Markkinat vaikuttivat laajoilta ensimmäisessä katselmuksessa, vaikka tuotetta sovellettaisiin ainoastaan leikkauspotilaiden kuntoutukseen. Esimerkkinä Suomi jossa tehdään noin 21000 yläraajaleikkausta vuodessa ja näistä noin 3000 joutuu pidempi aikaisempaan kuntoutukseen (Keskustelu Karjalainen 2012). Yhdysvalloissa nämä luvut voisivat arviolta olla yli miljoona leikkausta ja 250 000 kuntoutuspotilasta väkilukuun suhteutettuna ja nämä lukemat ovat tosiaan vain yläraaja leikkauksia. Alustavan katselmuksen jälkeen näytti siltä, että asiaa kannattaa tarkastella lähemmin ja varsinkin jos kukaan valmistaja ei ole tämän asiakasryhmän tarpeisiin erikoistunut. Kuvioista 20 nähdään hyvin tuotteen kansainvälinen potentiaali (Sähköpostiviesti Karjalainen, T. 2013).



Kuvio 17. Toimenpide määrät

6.2 Vaihe 1: Tutkiminen

Alustavan katselmuksen näyttäessä hyvältä, oli aika tehdä projektille suunnitelma ja aikataulus, mission stagement löytyy **liitteestä 1**, suunnitelma löytyy **liitteestä 3**. Tähän suunnitelmaan ei otettu huomioon markkinatutkimusta, koska sen ei katsottu olevan pääroolissa tässä opinnäytetyössä. Teoria aineistoa hankittaessa, tarkasteltiin myös kilpailijoita sekä markkinoita laajemman tutkimuksen avulla. Tuotteeseen tarvittavien teknisten ominaisuuksien kartoittaminen oli kuitenkin prioriteetti yksi. Teoria-aineiston kohdassa **3.4** vaihe 1 tutkiminen, on nopea vaihe eikä vie aikaa maksimissaan kuin kuukauden, mutta opinnäytetyssä se on paljon aikaa. Joten fokusoiduttiin enemmän siihen, mitä teknisiä ominaisuuksia tuotteelta vaadittaisiin, mutta samalla kun etsii erilaisia teknisiä ratkaisuja, tulee samalla etsineeksi mahdollisia kilpailijoita. Taulukossa 2 on esitetty tärkeimmät kilpailijat, jotka löytyivät teknisiä ratkaisuja etsiessä.

dessä kohtaa tiettyjä haasteita tämän osalta, koska vastakkainasetteluja ei tahdo saada syntymään ja vastakkainasettelut ovat yksi tärkeä osa tuotekehitystä. Pyrimme löytämään myös muita vaihtoehtoja joilla mittauksia voisi suorittaa. Yksi potentiaalinen vaihtoehto olisi voinut olla flex-anturit, katso kuvio 18, mutta niidenkin kanssa tulee ongelmaksi niiden virrankulutus, joka on huomattavasti korkeampi kuin MEMS teknologiassa.



Kuvio 18. Flex-anturi

Korkea virrankulutus vähentää taas huomattavasti langattoman laitteen toiminta-aikaa. Flex-anturin resistanssi muuttuu sen taipuessa ja tästä voitaisiin laskea taipuma. Anturit olisi voinut liittää hansikkaaseen. Toinen idea oli sellainen, että tuote tehtäisiin taas hansikas muotoon, mutta tällä kertaa siihen liitettäisiin liukuvastuksia tai pieniä pulssiantureita. Näidenkin ongelmaksi muodostuu myös virrankulutus, mutta isoimmaksi ongelmaksi tulee muodostumaan valmistettavuus. Se tulisi olemaan aivan liian kallista vaikka komponentit olisivatkin halpoja, mutta kokoonpano olisi liian työlästä.

Kilpailevia tuotteita sekä MEMS ja IMU/AHRS teknologiaa tutkimalla oli selvää, että tuote tulisi käyttämään näitä tekniikoita niiden hyvän saatavuuden, pienen koon, halpojen komponenttien ja pienen virrankulutuksen vuoksi. Komponentteja löytyy hyvin monen hintaisia, mutta tämän kaltaisessa tuotteessa ei tarvita niitä kaikkein kalleimpia ja tarkimpia varsinkaan ensimmäisessä prototyypissä. Jonkinlaista kustannusarviota oli jo mahdollista laskea prototyypille hyvin saatavien hintatietojen vuoksi. Taulukosta 4 nähdään ensimmäinen kustannusarvio.

Taulukko 4. Ensimmäinen kustannusarvio

Komponentti	Hinta per/kpl
9DOF IMU sensor	80-150€
Bluetooth tai langaton lähetin	40-80€
Kehitysalusta	30-50€
Kaapelit	20-40€
Yhteensä	170-320€

Tässä vaiheessa on otetta huomioon myös se, että opinnäytetyöntekijä ei ole perehtynyt ohjelmointiin, joten ohjelmointityölle on otettava varaus budjettiin. Kokonaisbudjetiksi prototyypin rakennuksen osalta voitaisiin varovaisesti arvioida 500-900€. Hintahan tulee riippumaan hyvin paljon siitä kuinka paljon ohjelmistotyötä tehdään ja kuinka kalliit komponentit hankitaan, siitä johtuu iso vaihtelu budjetille.

6.3 Gate2

Arvioidaan projektin kannattavuus uudelleen. Kuten jo aikaisemmin mainitsin, niin tämän opinnäytetyön päätarkoitus ei ole markkinatutkimuksessa ja liiketoimintasuunnitelmassa, mutta jotain arvioita olisi kyettävä kuitenkin tekemään, jotta nähdään millainen kannattavuus projektilla on. Jos pystytään vastaamaan kappaleessa 3.4 esitettyihin kysymyksiin kohdassa Gate2, niin ollaan tuotteen tai palvelun ominaisuuksia pohdittu siinä määrin, että projektia on mahdollista viedä seuraavaan vaiheeseen. Tässä vaiheessa eteneminen on vielä halpaa, mutta tietyt kriteerit on kuitenkin saavutettava.

1. Tuotteen ja kilpailukyvyn etu?

Tuotteen kilpailukyky perustuu sen helppokäyttöisyyteen sekä erikoistumiseen juuri nivelkulmien mittaukseen sairaanhoitopuolelle. Vastaavien palveluiden/tuotteiden tarjonta on varsin vähäistä verrattuna markkinoiden kokoon.

2. Markkinoiden vetovoima?

Markkinoiden vetovoima on varsin suuri. Alustavien tiedustelujen mukaan sairaalat Englannista, Singaporesta ja tietenkin Keski-Suomen Keskussairaala olisivat kiinnostuneita ottamaan tuotteen pilotti testiin. Se, että tuotteelle on heti valmiina kansainvälistä kiinnos-

tusta, on suuri etu. Tarvetta tämän kaltaiselle tuotteelle on kansainvälisesti sekä kotimaassamme. Tuotteen suurimmat markkinat tulevat ensimmäiseksi olemaan tutkimuskäytössä

3. Synergia, eli miten hyödynnämme meidän ydinosaamista tuotteeseen?

Tuotteen ympärille tarvitaan myöhimmissä projekteissa vielä paljon osaamista eri aloilta ja varsinkin ohjelmistopuolelta. Synergia on tällä hetkellä mitä mainioin, koska meillä on tietoa tekniikasta, tuotekehityksestä, ergonomiasta sekä käytettävyydestä. Tähän kun lisätään toimeksiantajaan ammattitaito kirurgian puolelta ja hänen kontaktinsa kollegoihinsa ympäri maailman, tällöin meillä on hyvin osaamista useammasta näkökulmasta tuotteeseen. Kykenemme näkemään tuotteelle tarpeet teknisten ominaisuuksien näkökulmasta, hoitohenkilökunnan sekä potilaan näkökulmasta.

4. Tekninen toteutettavuus?

Tekninen toteutettavuus ei pitäisi tuottaa mitään vaikeuksia teknologian hyvän saatavuuden vuoksi. Teknologia on jo hyvin ennestään tunnettua ja osajia on helppo löytää.

5. Taloudellinen hyöty?

On vielä vaikea tehdä mitään tarkkoja arvioita, ennen kuin ensimmäisen prototyypin pilotititit on suoritettu ja vasta silloin on mahdollisuus nähdä suuntaa tällaisen tuotteen valmistuskustannuksista. Tällä tuotteella voi hyötyä taloudellisesti hyvinkin monella tapaa, 1. Myydään mittaustietoa 2. Myydään teknologiaa 3. Suoritetaan mittauspalvelua. On kuitenkin selvää, että kotimaanmarkkinat eivät tule riittämään tämän kaltaiselle tuotteelle.

6.4 Vaihe 2: Business case

Toisessa vaiheessa suunniteltiin tarkemmin tuotteen vaatimia teknisiä ominaisuuksia. Käytimme laajemmin Internet lähteitä ja artikkeleita, kuin vaiheessa yksi. Tutkimme myös tarkemmin löytämiemme kilpailijoiden tuotteita. Kilpailevien tuotteiden yhteneväisyys voidaan huomata heidän käyttämässään teknologiassa. Jokainen kilpailijoista käyttää nivelkulmien mittaamiseen ja liikkeenkaappaamiseen gyroskooppeja, kiihtyvyyssantureita, magnetometrejä sekä IMU/AHRS mittaustekniikkaa. Vaihtoehtojen ominaisuuksia vertai-

lemalla päätimme, että tässä opinnäytetyössä pyrittäisiin soveltamaan samankaltaisia teknisiä ratkaisuja.

Tuotteelle asetettujen vaatimusten puitteissa etsittiin sopivia komponentteja niitä myyville verkkokaupoilta. Myöhemmin huomattiin, että rakentaminen tulisi olemaan todella aikaa vievää ja koko projekti tulisi myöhästymään pahasti, mikäli prototyyppiä yritettäisiin rakentaa erillisistä komponenteista. Tämän lisäksi tarvittaisiin mittavaa ohjelmointityötä, jotta prototyypistä saataisiin luotettava. Teknisessä puolessa päädyttiin siihen vaihtoehtoon, että pyrittäisiin löytämään joltain anturivalmistajalta anturit, joilla olisi mahdollisuuksia suorittaa tarvittavat mittaukset ja testit. Mikäli markkinoilta löytyy tarpeemme tyydyttävät anturit, niin onkin syytä pohtia kannattaako siihen uhrata suurta määrää työtunteja, jotta päästään saaman pisteeseen jo valmiiksi kehitetyn kanssa?

Projektin ollessa yksityinen, ei taustalla ole minkäänlaista rahallista avustusta. Olikin pohdittava tuotteen konsepti, tekniset ominaisuudet sekä tuotteen tuomat hyödyt sen käyttäjälle. Näiden asioiden ollessa perusteltuja, olisi mahdollisuuksia saada rahoitus projektille, jonkin julkisen rahoituksen kautta. Tekniset ominaisuudet on esitelty kappaleissa 4, 5 ja 6. Tuotteen hyödyt on esitelty kappaleissa 1 ja 2. Tuotteen ympärille muodostuva yksinkertaistettu palvelukonsepti nähdään kuviosta **x**.

POISTETTU SALASSAPITOVOLVOLLISUUDEN VUOKSI.

Kuvio 19. Palvelukonsepti

Rahoitusta anottiin Jyväskylän Ammattikorkeakoulun Tuoteväylä rahoitukselta. Tuoteväylä rahoitukselta on mahdollisuus saada 5000€ rahoitusta potentiaalisille tuoteideoille. Rahoitus tulee käyttää ulkopuolisen työvoiman palkkaamiseen tai yrityksen start up tarpeisiin. Jotta rahoitus olisi mahdollista saada, tulisivat tuotteen ominaisuudet, konsepti, taloudellinen hyöty, käyttäjän saama hyöty, kilpailijat sekä markkina-alue olla selvillä.

6.5 Gate 3

Rahoituksen saamisen edellytyksenä oli tapaaminen tuoteväylä johtokunnan kanssa ja idean myymien heille. Tässä on tämän projektin Gate 3, mikäli rahoitus saadaan silloin,

niin projekti on edennyt, kuten tuotekehitysprosessin kuuluu edetä. Johtokunta on koottu ammattilaisista ja he kyllä tietävät onko ideassa potentiaalia.

Johtokunnan tapaamista varten valmistettiin lyhyt ja selkä myyntipuhe Gate kolmosessa esitettyjen vaatimusten mukaisesti. Heille esiteltiin mahdollisen markkina-alueen laajuudet, tuote/palvelu konsepti sekä tuotteesta saatavat hyödyt sen loppukäyttäjälle. Teknisten ratkaisuiden yksityiskohtiin ei menty, koska rahoittajaa kiinnostaa yleisesti enemmän vain tuotteella saatavat hyödyt, aivan kuten kappaleessa 3 on kerrottu. Hyvä business case auttaa rahoittajien hankinnassa. Rahoitus päätös saatiin aikaiseksi jo tapaamisen aikana ja se oli myönteinen. Pitkän valmistelun jälkeen päästiin etenemään varsinaiseen tuotekehitysvaiheeseen.

6.6 Vaihe 3: Tuotekehitys

Rahoituspäätöksen tultua, on tärkeää pohtia rahoittajien kanssa sitä miten 5000€ käytettäisiin järkevästi. Projektin luonteesta johtuen teknisen ratkaisun löytämistä ja sitä kautta ensimmäisten mittaustulosten saamista pidettiin ykkösprioriteettina. Tuoteväylä johtokunta olisi tosin käyttänyt osan rahoista uutuustutkimukseen, mutta tätä ei katsottu tarpeelliseksi. Tämä siksi, että tässä vaiheessa ei voida vielä patentoida mitään teknisiä ratkaisuja, eikä olemassa olevan teknologian soveltamista. Kaikki asiat ovat lähinnä idea asteella, eikä mitään konkreettista ole vielä tehty. Uutuustutkimus olisi ollut siinä mielessä hyvä tehdä, jotta saataisiin selville se, että onko vastaava tuote jo tehty. Internet tutkimuksissa ei löytynyt sellaista, mikä voisi estää tuotteen kaupallisen version valmistamista. Päätettiin, että tehtäisiin ensin yksinkertainen prototyyppi ja tarkasteltaisiin asiaa vasta sitten patenttitoimiston kanssa.

Kuten jo aiemmin mainittiin, mittausjärjestelmän rakentaminen komponenteista olisi sen verran työlästä, että opinnäytetyössä päädyttiin käyttämään ensimmäisiin mittauksiin valmiita antureita. Valmiit anturit tulivat todennäköisesti kuitenkin halvemmiksi kuin komponenteista rakentelu, koska rakentelun myötä tarvittaisiin huomattavasti enemmän ohjelmointityötä. IMU/AHRS antureiden valmistajien tuotteita vertailtiin ja huomattiin niiden hintahaitarin olevan 200-1500 € kappaleelta. Ominaisuuksia vertaamalla voitiin havaita se, että antureilla ei ole suunnattomia eroja, ainoastaan komponenttien kokoonpanos-

sa ja koossa ovat suurimmat erot. Toinen antureissa havaittava ero, on signaalin kohinan vaimennuksessa ja näin ollen tarkkuudessa. Omasta mielestäni näiden saatavilla olevilla antureiden paras hinta laatusuhde oli **POISTETTU SALASSAPITOVOLLISUUDEN VUOKSI** sensorilla, jonka tekniset ominaisuudet on esitelty liitteessä 1. Paras hinta laatusuhde perustettiin anturin langattomuuteen, hyvään akun keston, tarkkaan aseman tunnistamiseen, raakadatan lukuohjelmaan, useisiin muihin sovelluksiin, edulliseen hintaan sekä hyvään tekniseen tukeen. Anturi ei ollut ehkä markkinoiden pienin, mutta sillä ei tässä vaiheessa ole vielä merkitystä.

Sähköposti keskustelun jälkeen **POISTETTU SALASSAPITOVOLLISUUDEN VUOKSI** teknisentuen kanssa, tehtiin päätös tilata anturit heiltä. Kokonaishinnaksi sensoreille tuli noin 600€, mikä on jo paljon alkuperäisestä budjetista komponenteille. Tässä vaiheessa oli jo selvää, että budjetin voi varmasti tuplata siitä mitä alun perin ajateltiin, mutta mittaustulokset tulevat olemaan varmasti parempia kuin alun perin odotettiin. Antureiden tultua suoritettiin niille toimintatestit **POISTETTU SALASSAPITOVOLLISUUDEN VUOKSI** ohjelmalla, jotta antureiden voitiin todeta olevan kunnossa.

Tässä vaiheessa piti löytää ohjelmisto yritys, joka olisi kykenevä valmistamaan antureille sopivan ohjelmiston. Jyväskylästä löydettiin paikallinen ohjelmistoalan yritys, jonka palveluja päätettiin käyttää ohjelmoinnin suorittamiseen. Heidän työtänsä helpottamaan selvitettiin alustavat kulmanlaskemistavat, ohjelmointialusta sekä koodi, jota voitaisiin soveltaa. Ohjelmoijille kerrottiin toiveet sen toimintamallista ja käyttöliittymästä, mutta he tarjosivat myös omia ideoitaan. Sovelluksesta saatiinkin näin yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Ohjelman ensimmäisen version saavuttua, todettiin siinä olevan vielä pahoja ongelmia kulmalaskennan suhteen. Ohjelmaa lähdettiin vielä parantamaan, jotta saataisiin luotettavampia tuloksia.

Ongelmaa ei saatu valitettavasti täysin pois, mutta laitteisto saatiin siihen kuntoon, että sillä voitaisiin kuitenkin suorittaa yksinkertaistettuja nivelkulman mittauksia. Suurin ongelma joka mittalaitteeseen jäi, on kyynärvarrenkierrosta tuleva suuri virhe mittaustuloksiin, joten kyynärvarren kierto jätetään testeissä kokonaan suorittamatta. Käsi ei saa siis liikkuu, muuta kuin mitattavan nivelen osalta. Nämäkin ongelmat saadaan kyllä korjattua,

mutta opinnäytetyön rajallisen ajan vuoksi näitä ongelmia ei lähdetty ratkomaan, vaan testit suoritettiin yksinkertaistetusti.

6.6.1 Tuotekehityksessä ilmenneet ongelmat

Tuotekehityksen tässä vaiheessa ongelmat liittyvät lähinnä käytettävään teknologiaan. Ensimmäiset ongelmat liittyivät ohjelmistoon, mutta siinä ilmenneet matemaattiset ongelmat saatiin lähes ratkaistua. Ongelmat joita vielä prototyyppiin jäi, voidaan olettaa johdettavan mieluummin komponenteista kuin ohjelmistoista. Robotti testin kohdalla ongelmien mahdolliset syyt pohjautuvat olettamuksiin, koska tässä opinnäytetyössä meillä ei ollut mahdollisuutta niitä todentaa.

Mittaustiedon ”vuotaminen” väärälle akselille oli ensimmäinen ongelma, johon kiinnitettiin huomiota. Vuotaminen oli niin radikaalia, että se vääristäisi tuloksia jopa kymmeniä asteita. Kalibroimalla anturit uudelleen huomattiin vuotamisen vähentyvän. Tästä ongelmasta oli muodostua kynnyksikysymys projektin onnistumiselle, koska vuotamista tuntui tapahtuvan kokoajan, vaikka anturit pyrittiin kalibroimaan tarkasti. Pienikin virhe antureiden keskinäisessä kalibroinnissa kertaantuu aina liikelaajuudesta riippuen.

Ongelmaan löytyi kohtuullisen hyvä ratkaisu **POISTETTU SALASSAPITOVOLLI-SUUDEN VUOKSI** ohjelmasta. Alussa molemmille antureille tehtiin omat kalibroinnit ja tässä menetelmässä on se huono puoli, että on lähes mahdotonta suorittaa kalibrointi molemmille yhtä tarkasti. Ratkaisu oli niinkin yksikertainen, että tehtäisiin kalibrointi ja siihen tarvittavat asetukset vain toiselle anturille. Tämän anturin asematieto tallennettaisiin koneelle, josta se edelleen asennetaan toiselle anturille. Tällöin kalibroinnista tuleva virhe saataisiin hyvin pieneksi. Tämä menetelmä tuottikin hyvän tuloksen ja vuotaminen saatiin vähäiseksi. Kalibrointi tehtiin shepre kalibroinnilla, jossa pyritään koskettamaan nuolilla toisiaan. (kts. kuvio x.) Kalibroinnin tarkkuuteen voi vaikuttaa näytteenottojen määrällä, tässä tapauksessa käytettiin noin 4000 näytteen kalibrointia.

POISTETTU SALASSAPITOVOLLISUUDEN VUOKSI.

Kuvio 20. Shepre kalibrointi

Ohjelman com error on yksi ohjelmassa ilmenevä ongelma, mutta tämäkään ongelma ei ole puhtaasti ohjelmistosta johtuva. Com error ongelma on hyvin haastava ratkaistavaksi. Com error:in ilmetessä vaikuttaa se haitallisesti mittaustuloksiin. Tässäkin tapauksessa tulokset vääristyvät kymmenillä asteilla. Ongelman laatu on hankala, koska se on satunnaista, eikä systemaattista. Systemaattinen ongelma voisi olla helpompi paikantaa. Tähän ongelmaan löytyi ratkaisu, joka ainakin vähensi huomattavasti com error:n ilmentymistä. 3 Space Suite ohjelman kautta vähännettiin antureiden näytteenotto nopeutta ja tämä näyttikin vaikuttavan huomattavasti error:in ilmentymiseen. Ilmeisesti langattomaan vastaanottimeen tulee jonkinlainen tukos, kun tietoa tulee liian paljon liian nopeasti.

Anturien ollessa paikoillaan koehenkilön kädessä ja mikäli koehenkilö alkaa esimerkiksi pyörittää kättänsä, tulee anturiin suurella todennäköisyydellä taas niin kutsuttua vuotoa väärille akseleille. Tässä tapauksessa vuodon voidaan olettaa johtuvan niin sanotusta gimbal lock ilmiöstä, jossa kaksi akselia menee päällekkäin ja näin ollen anturin asematieto menee sekaisin, koska yhden akselin asematieto on kadonnut. Ongelmaan ei ole löytynyt ratkaisua, mutta ongelma ei ilmene tämän opinnäytetyön testeissä, koska koehenkilön käsi tulee olemaan paikoillaan. Gim ball lock ongelman ratkaiseminen jätetään vielä jatkoprojektien asiaksi.

Kolmas havaittava ongelma on laitteiston herkkyyys magnetismille. Magnetismi on mukana nykyään ihmisten jokapäiväisessä toiminnassa. Siellä missä on sähköä, on myös aina jonkinlaista magneettikenttää. Ongelman laatu ei ole opinnäytetyön tekijän mukaan merkittävän paha, koska vääränlaisia tuloksia ilmenee vasta, kun laitteisto on aivan lähellä magneettista laitteistoa. Magnetismi aiheuttaa häiriöitä anturien magnetometreihin, jotka ovat äärimmäisen herkkiä laitteita. Häiriö ilmenee tulosten vääristymällä, mutta tulokset palautuvat aina ennalleen häiriötekijän poistuttua anturin läheisyydestä.

Kaikki ongelmat tulivat hyvin esiin jo ensimmäisen vaiheen testissä, kuten oli tarkoituskin. Magnetismiongelma ilmeni kolmannen vaiheen testissä ja tuottikin suuria ongelmia testin alussa, koska ei ollut varmaa mistä ongelmissa oli kyse. Magnetismiongelma onkin sellainen ongelma, jolle ei voi mitään komponenttien herkkyyden vuoksi.

7 TULOKSET

Testihenkilöinä käytettiin monen ikäisiä ihmisiä sekä molemman sukupuolen edustajia. Näissä tuloksissa ei tarvitse huomioida iän tuomia liikerajoituksia tai sairauksista johtuvia rajoituksia, koska jokaiselta testihenkilöltä on mitattu goniometrillä oma henkilökohtainen liikkuvuus ja uuden menetelmän tuloksia voidaan verrata niihin. Näin ollen tuloksissa ei käy ilmi testihenkilön ikää tai sukupuolta, koska se ei ole tarpeellista tulosten kannalta.

Nivelkulmien tulokset, niin goniometrillä, kuin uudella menetelmällä mitattuna ovat AROM tuloksia (active range of motion). Tulosten ilmoittaminen AROM tuloksina sopii tähän tapaukseen kaikista parhaiten, koska mittauksethan ovat tulevaisuudessa tarkoitus suorittaa potilaan luonnollisessa toimintaympäristössä, jolloin tulokset ovat silloinkin luonnollisesti AROM tuloksia.

7.1 Prototyyppi

Projektin päätavoitteena voidaan pitää toimivan prototyypin valmistusta. Tuotekehitystyön lopputulemaksi opinnäytetyössä valmistettiin nivelkulmia langattomasti reaaliajassa mittaava laitteisto ja tässä tapauksessa etsittiin ratkaisu rannenivelen mittaamiseen, mutta laitteisto soveltuu myös muiden nivelten mittaamiseen. Laitteistossa on kaksi AHRS anturia, joissa molemmissa on kolmiakselisen gyroskooppi, kiihtyvyysanturi sekä magnetometri. Laitteiston toiminta-aika langattomana on noin viisi tuntia ja laitteistoa voidaan käyttää myös langallisesti. Prototyypissä anturit eivät ole integroitu hansikkaaseen vaan ne joudutaan asettelemaan sinne joka mittauskerta erikseen, kun hansikas puetaan päälle. Luvussa 6.3 on esitelty miten anturien sijoittelu kuuluu tehdä kämmenen ja kyynärvarren

päälle. Laitteisto ja ohjelmistot ovat helppokäyttöiset sellaiselle henkilölle, jolla on tietotekniikan perusteet hallussa, mutta asiakas käyttöön laitetta ei voida vielä soveltaa.

Itse laitteiston lisäksi valmistettiin siihen sopiva ohjelmisto. Anturit yksinään eivät kykene mittaamaan nivelkulmia, vaan niiden lisäksi tarvitaan toimiva ohjelmisto. Ohjelmiston tehtävänä on laskea antureiden välistä kulmaa, antureiden sisällä olevan koordinaatiston avulla. Ohjelmisto itsessään tehtiin niin yksinkertaisesti kuin mahdollista, jolloin paras vaihtoehto siihen on Python pohjainen koodi. Antureissa on myös tuki python koodille.

Prototyyppiä ei viety vielä asiakasrajapintaan, koska prototyyppi ei ole vielä siinä vaiheessa, että voisimme suorittaa mittauksia potilaille. Tarkoituksena oli löytää sopiva teknologia, joka mahdollistaa kyseiset mittaukset tulevaisuudessa. Seuraavissa kappaleissa onkin esitelty laitteella saavutettuja mittaustuloksia verrattuna astemitalla, goniometrillä ja robotilla saatuihin tuloksiin.

Laitteistolla ei tavoitella kymmenesosa asteen tarkkuutta, vaan riittävänä tarkkuutena voidaan pitää jo sitä, jos tulokset osuvat parin asteen sisään todellisesta. Mitattaessa nivelen liikkuvuutta ei ole tarpeellista päästä äärimmäisin tarkkuuksiin, koska kuntoutuminen ei ole kiinni siitä, että mittalaite ei ilmoita absoluuttisella tarkkuudella kulmaa.

7.2 Ensimmäisen vaiheen testaus

Tämä testaus oli yksinkertaisin ja nopein suorittaa. Testauksen kuvaus löytyy luvusta **6.4**. Taulukko 5:sta voidaan nähdä, että tässä vaiheessa mittaustulokset näyttävät lupaavilta jatkoon suhteen. Kaikki uudella menetelmällä mitatut tulokset osuvat asteen sisään astemitan lukemista, mitä voidaan pitää riittävänä tarkkuutena tämän kaltaisessa mittauksessa. Tämä kuvastaa hyvin laitteella saavutettavaa tarkkuutta. Tämä mittaus on sen vuoksi helppompaa, että pinnat ovat suoria joihin anturit asetetaan ja liikkeet täsmälliset, toisin kuin ihmiseen asennettaessa. Astemittatestejä suoritettiin pitkin projektia, koska aina kalibroinnin jälkeen on syytä tarkistaa, että kulmien esitys on oikea. Kaiken ollessa kunnossa, niin yleensä tulokset olivat aina $\pm 1^\circ$.

Taulukko 5. Astemitta testin tulokset

Astemitan kulma	Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abductio
45	44	44	44	44
90	89	89	90	90

7.3 Toisen vaiheen testaus

Tämä testaus suoritettiin testihenkilöille ja tämän vaiheen kuvaus voidaan nähdä kappaleesta 6.4. Luvun loppuun on tehty kooste saaduista tuloksista. Siinä verrataan kymmenen mittauskerran keskiarvoja goniometrimittauksiin. Kaikki tulokset ovat ilmoitettu asteina.

Taulukko 6. Testihenkilön 1 mittaustulokset

Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abduktio
kymmenen mittauskerran tulokset ° uudella menetelmällä			
75	80	43	8
75	80	45	8
77	77	45	10
77	77	45	11
78	75	45	12
78	76	46	11
77	76	45	10
78	75	45	10
77	77	43	10
77	75	44	11
Keskiarvo °			
76,9	76,8	44,6	10,1
Nivelkulmat kävelytestin jälkeen °			
76	77	45	10
77	76	43	10
75	76	45	11
76	75	45	10
76	77	44	12
Keskiarvo °			
76	76,2	44,4	10,6
Nivelkulmat goniometrillä mitattuna °			
75	75	45	13

Testihenkilön numero 1 tulokset taulukossa 6 ovat erinomaiset, kymmenen mittauskerran tulosten keskiarvo poikkeaa hyvin vähän goniometrillä mitattusta arvosta. Myöskään kävelytestin jälkeisiin mittauksiin ei ollut kävelyllä ja käden heiluttelulla vaikutusta. Mittaukset uudella menetelmällä ovat tarkkoja, eikä suuria vaihteluita mittausten välillä ole huomattavissa.

Taulukko 7. Testihenkilö 2 mittaustulokset

Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abduktio
kymmenen mittauskerran tulokset uudella menetelmällä			
50	44	33	12
59	44	37	15
59	44	38	16
59	45	40	14
62	46	38	14
62	44	30	16
63	44	31	14
60	45	31	15
60	45	31	15
62	45	32	17
Keskiarvo			
59,6	44,6	34,1	14,8
Nivelkulmat kävelytestin jälkeen			
60	44	35	15
63	44	33	15
59	45	32	16
62	44	34	14
60	45	38	15
Keskiarvo			
60,8	44,4	34,4	15
Nivelkulmat goniometrillä mitattuna			
62	50	40	15

Taulukossa numero 7 kohdalla voidaan huomata mielenkiintoisia poikkeamia testihenkilö numero 2 tuloksissa. Mittaustulosten poikkeamat ovat selitettävissä sillä, että koehenkilö sairastaa nivelreumaa ja nivelten kääntäminen ääriasentoon on tuskallista. On mielenkiintoista havaita taulukossa numero 7 se, miten paljon nivelreuma rajoittaa sitä sairastavan henkilön liikkuvuutta verrattaessa liikkuvuutta taas terveiden koehenkilöiden tuloksiin. Tuloksista nähdään hyvin liikeratojen epätarkkuus varsinkin adduktio suunnassa, joka oli testihenkilölle kaikkein haastavin. Tämän vuoksi jätämme testihenkilön numero 2 tulokset huomioimatta lopputuloksista, koska tarkoitus on nimenomaan osoittaa laitteiston tarkkuus ja soveltuvuus mittauksiin.

Taulukko 8. Testihenkilö 3 mittaustulokset

Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abduktio
kymmenen mittauskerran tulokset uudella menetelmällä			
74	73	44	13
74	72	45	13
73	72	45	15
75	69	43	14
72	70	46	15
75	70	45	15
73	69	45	13
73	71	45	14
75	71	44	14
74	70	44	15
Keskiarvo			
73,8	70,7	44,6	14,1
Nivelkulmat kävelytestin jälkeen			
74	70	44	14
75	72	45	16
73	72	45	14
72	70	45	15
73	70	44	15
Keskiarvo			
73,4	70,8	44,6	14,8
Nivelkulmat goniometrillä mitattuna			
70	70	45	15

Taulukko 9. Testihenkilö 4 mittaus tulokset

Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abduktio
kymmenen mittauskerran tulokset uudella menetelmällä			
75	73	37	28
75	74	37	28
77	76	40	29
77	73	38	29
78	75	39	28
76	74	38	28
77	73	38	28
77	75	36	29
78	73	39	28
78	75	39	29
Keskiarvo			
76,8	74,1	38,1	28,4
Nivelkulmat kävelytestin jälkeen			
76	74	40	28
78	76	40	28
78	75	39	29
76	75	38	29
77	76	39	28
Keskiarvo			
77	75,2	39,2	28,4
Nivelkulmat goniometrillä mitattuna			
75	75	40	30

Testihenkilö numero 4 kohdalla voidaan huomata taulukosta numero 9 epätavallisen suuri liikkuvuus abduktio suunnassa. Clarksonin (2005) liikkuvuus tähän suuntaan on yleensä 15°. Testihenkilöllä on muutenkin taipumusta yliliikkuvuuteen, mikä näkyy ranteen osalta abduktio suunnassa.

Taulukko 10. Testihenkilö 5 mittaus tulokset

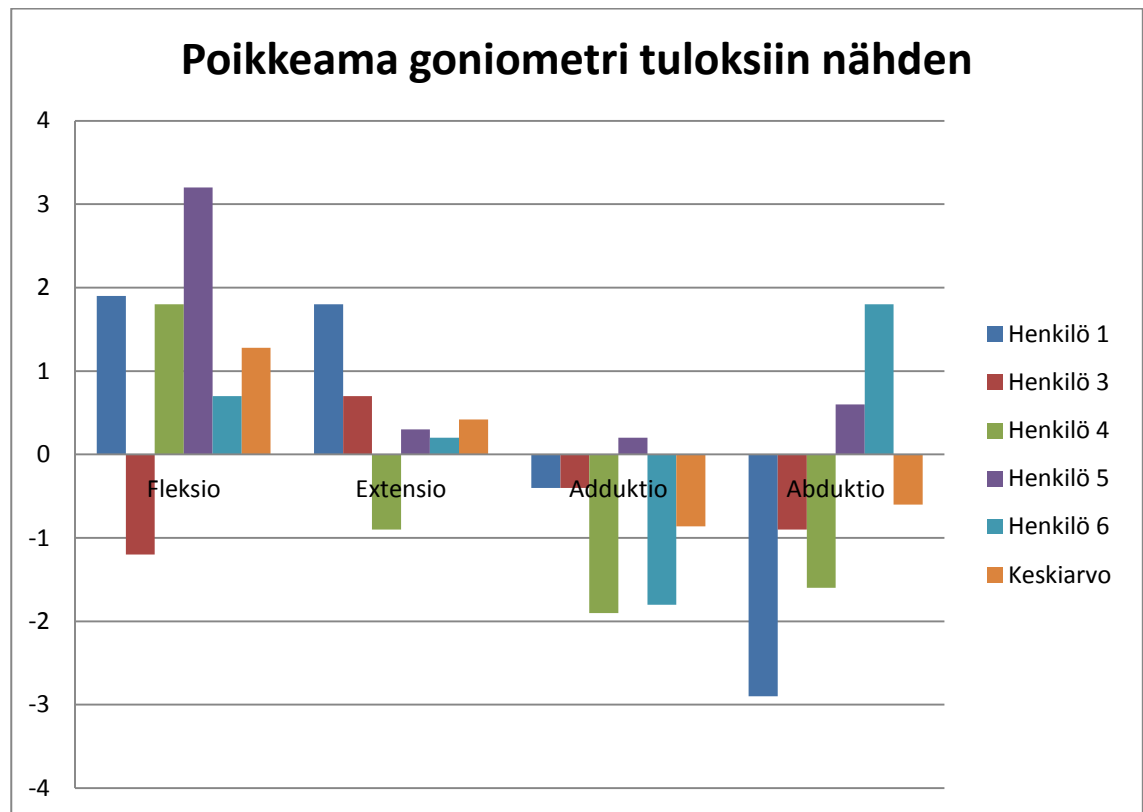
Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abduktio
kymmenen mittauskerran tulokset uudella menetelmällä			
80	66	30	20
79	71	30	20
82	70	29	21
78	66	31	20
78	73	31	20
80	71	31	21
81	70	29	21
80	71	30	22
82	72	31	21
82	73	31	20
Keskiarvo			
80,2	70,3	30,3	20,6
Nivelkulmat kävelytestin jälkeen			
78	71	30	21
82	71	30	20
81	73	31	20
79	75	29	21
79	72	29	22
Keskiarvo			
79,8	72,4	29,8	20,8
Nivelkulmat goniometrillä mitattuna			
77	70	30	20

Taulukko 11. Testihenkilö 6 mittaus tulokset

Fleksio	Ekstensio	Adduktio	Abduktio
kymmenen mittauskerran tulokset uudella menetelmällä			
77	72	43	25
76	76	43	27
75	75	42	27
75	75	45	28
76	76	42	27
76	77	43	26
76	76	43	27
76	76	43	28
75	74	44	27
75	75	44	26
Keskiarvo			
75,7	75,2	43,2	26,8
Nivelkulmat kävelytestin jälkeen			
78	71	30	21
82	71	30	20
81	73	31	20
79	75	29	21
79	72	29	22
Keskiarvo			
79,8	72,4	29,8	20,8
Nivelkulmat goniometrillä mitattuna			
75	75	45	25

Yhteenveto

Yllä esitetyistä tuloksista voidaan päätellä henkilötestien olleen onnistuneet. Tästä todistena tehtiin kooste viiden testihenkilön tuloksista jotka ovat nähtävissä kuviosta 21. Taulukon tulosten koonti on tehty siten, että laskettiin keskiarvo tulos kymmenen mittauskerantuloksista. Tämän jälkeen saadusta keskiarvosta vähennettiin goniometrillä saatu mitaustulos, näin saatiin mitaustulosten erotus. Saaduista erotuksista laskettiin viiden testihenkilön keskiarvo.



Kuvio 21. Poikkeama goniometri tuloksiin nähden

Kuviosta 21 on nähtävissä, että tulosten keskiarvo pysyy hyvin alueella $\pm 2^\circ$. Ainostaan kahdessa yksittäistapauksessa tulos on ylittänyt yli 2° erotuksen, mutta keskiarvo pysyy kuitenkin hyvinkin alle $\pm 2^\circ$, jota voidaan pitää riittävänä tarkkuutena. Suurinta hajontaa erotustuloksissa näyttäisi olevan fleksion kohdalla, tämä voi johtua sen suuresta liikera-
dasta. Seuraavaksi eniten hajontaa näyttäisi olevan abduktio suunnassa ja tämä johtuu varmasti siitä, että useat testihenkilöt kokivat liikkeen hallitsemisen hankalaksi.

Kävelytesteistä ei tehty erikseen kuviota, koska taulukoista on jo nähtävissä, että testihenkilön liikkuminen ei vaikuttanut tuloksiin. Voidaankin siis todeta, että antureiden sisäinen koordinaatisto pysyy paikoillaan.

7.4 Kolmannen vaiheen testaus

Kolmannen vaiheen testaus oli testeistä haastavin, koska robotissa on paljon metalleja ja magneettikenttiä ympärillään, joidenka on havaittu aiheuttavan häiriötä anturille. Taulukosta 12 tuloksista voidaan huomata, että fleksio adduktio suunnassa anturi vaikuttaisi olevan hyvinkin tarkka. Robotin tarkkuudeksi voidaan sanoa olevan vähintäänkin asteen kymmenys. Ekstensio abduktio suunnassa taas tapahtuu jotain erikoista, jota ei kyetä täysin sellittämään. Kuvioista 22 ja taulukosta 12 on nähtävissä näiden kahden liikeradan virheet robotin liikkeeseen nähden ja voidaankin huomata virheen olevan systemaattinen molempiin suuntiin. Fleksion virhe on hieman tasaisempi kuin abduktiossa tapahtuva virhe, mutta lopputulema on lähes sama.

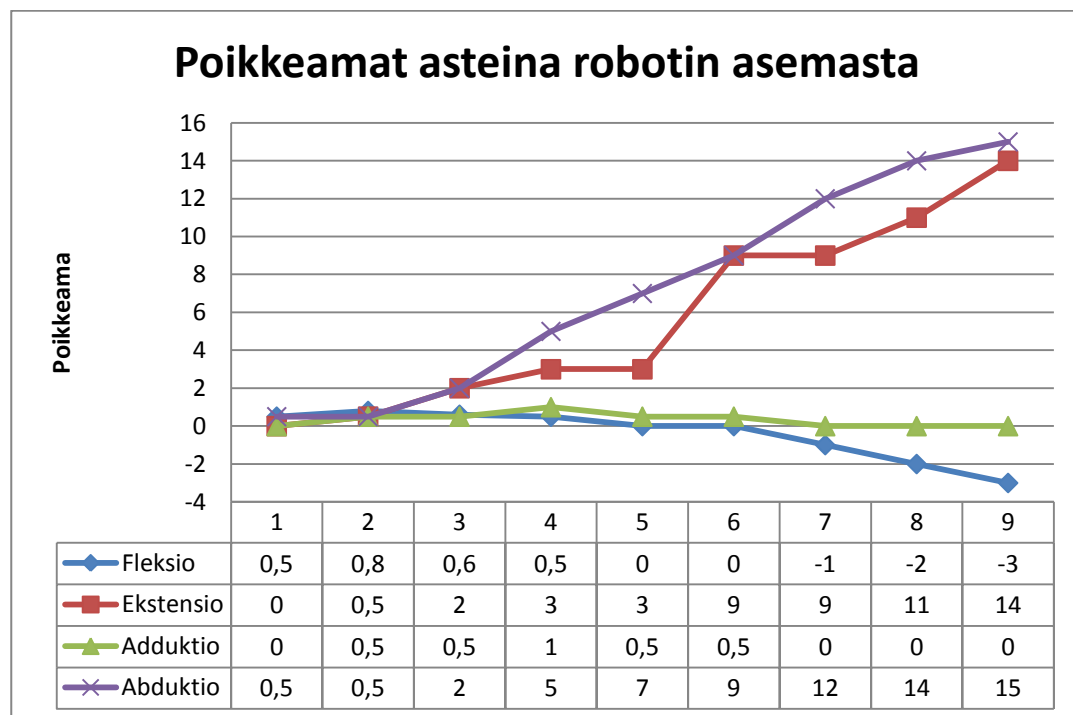
Molempien liikesuuntien mittaaminen tapahtui samalla robotin nivelellä. Jotta se oli mahdollista, käännettiin edellistä niveltä 90astetta. Voitaisiin olettaa, että kyse olisi magneettikentän aiheuttamasta häiriöstä, koska nivelen kääntö tapahtui samalla niveltä ja samaan suuntaan. Tämän todistamiseen meillä ei ollut käytössä mittaria, jolla voisimme sen tarkasti todentaa. Ongelmalle suoritettiin testi jolla vahvistettiin olettamusta. Nykyään lähes kaikissa älypuhelimissa on olemassa sähkökompassi, josta on myös mahdollista saada magneettikentän voimakkuus lukuarvona. Fleksio ekstensio ja adduktio abduktio asemien välillä oli puhelimen avustuksella havaittavissa lähtöasemaan verrattuna hieman yli kymmenen mikrotleslan erot magneettikentässä, joten magneettikenttä on todennäköinen selitys ongelmille.

Taulukko 12. Robottitesti taulukko

Robotin asema°	Fleksio°	Ekstensio°	Adduktio°	Abduktio°
10	10,5	10	10	10,5
20	20,8	20,5	20,5	20,5
30	30,6	32	30,5	32

40	40,5	43	41	45
50	50	53	50,5	57
60	60	69	60,5	69
70	69	79	70	82
80	78	91	80	94
90	87	104	90	105

Magnetismista tuleva virhe voidaan kuvion 22 mukaan todeta isoksi ja haitalliseksi laitteistolle. Virheen ei voida olettaa johtuvan laitteistoviasta, koska astemitta- ja henkilötestit sujuivat mainiosti. Kuviosta 22 nähdään antureilla saatujen tulosten poikkeama robotin asemaan nähden, jokaiseen neljään suuntaan välillä 10-90°.



Kuvio 22. Poikkeamat robotin asemasta

8 POHDINTA

8.1 Yhteenveto

Opinnäytetyön aiheena oli rakentaa rannenivelen liikeradat mittaava prototyyppi, etsiä siihen sopivat komponentit sekä oikeanlainen mittausmetodiikka. Rahoitustarpeen tultua mukaan, opinnäytetyöhön tehtiin myös markkinatutkimuksia ja asiakas-segmenttien määrittelyä jotta rahoituksen saaminen olisi mahdollista. Viimeksi mainittuja asioita päätettiin olla esittämättä opinnäytetyössä siinä laajuudessa jossa ne suoritettiin, koska markkinatutkimukset ja asiakassegmentit eivät ole tämän opinnäytetyön oleellisimmat aiheet.

Opinnäytetyö oli puhtaasti tuotekehitystyötä. Tuotekehitysprosessin hallintaan käytettiin Openproj resurssienhallinta ohjelmaa sekä Cooperin (2011) Stage Gate mallia. Heti projektin alussa Stage gate malli todettiin toimivaksi järjestelmäksi uuden tuotteen tuotekehityksessä. Kuten Cooper (2011) kirjassaan kertoo, Stage Gate ei määrää mitä prosessissa kuuluisi tehdä, vaan pikemminkin ohjaa oikeaan suuntaan. Stage Gate on monipuolinen ja mukautuva järjestelmä tuotekehitysprosessiin. Stage Gate mallin avulla projektista tuli selkeä ja projektilla oli selvä suunta, johon sen tulisi kehittyä. Prosessin kuvauksesta nähdään, kuinka tuotekehitysprosessi eteni vaihe vaiheelta. Opinnäytetyön osalta Stage Gate pysähtyy tuotekehitykseen, koska valmista kaupallista tuotetta ei ollut vielä tarkoitus valmistaa, vain ainoastaan prototyyppi.

Hietikko (2008) mainitsee kirjassaan tuotekehityksen olevan luovaa työtä ja että projektin johtaja joutuu käsittelemään useita eri kokonaisuuksia. Projektin edetessä voitiin hyvin huomata Hietikon (2008) olleen oikeassa asian suhteen, varsinkin kun kehitettiin uudenlaista tuotetta idea-asteelta prototyyppiksi. Huomattiin, että koskaan ei tuntunut löytyvän vain yhtä ainoaa oikeaa vastausta, vaan vastauksia voi olla useita. Luovia ratkaisuja on etsittävä etenkin alkuvaiheessa, ennen kuin siirrytään tuotekehitysvaiheeseen. Tuotekehitysvaiheessakaan ei saa kadottaa luovuuttaan, vaan sitä on ruokittava. Antureiden kiinnityksessä, teknologian löytämisessä ja sopivien yhteistyökumppaneiden löytymiseen tarvittiin luovuutta. Suurin ongelma näinkin suuressa kokonaisuudessa oli se, että varsinaisia suorittajia oli vain yksi. Näin ollen yhden henkilön on oltava projektipäällikkö, suunnitte-

lija, rakentaja, markkinoija ja organisoija. Tällaisessa tilanteessa käsiteltäviä alueita tulee valtavasti ja silloin luovuus on vaarassa kadota. Siinä tapauksessa onkin löydettävä projektille kaikista tärkeimmät alueet joihin panostetaan, jotta saataisiin paras mahdollinen lopputulos resursseihin nähden. Helpoin ratkaisu tällaiseen ongelmaan olisi varmasti se, että olisi vähintään kaksi tekijää joista toinen toimisi johtajana. Luovuutta voidaan kuitenkin pitää yhtenä tärkeimmistä alueista alkuvaiheen tuotekehityksessä.

Tämän projektin osalta avainasemassa olivat tuotekehitys, rannenivelen anatomia sekä valittu teknologia. Rannenivelen anatomia ja liikkuvuuden ymmärtäminen olivat hyvin tärkeitä osa-alueita projektissa. Luvussa 4 esitettiin goniometrillä liikkuvuuden mittaamisen tekniikat, josta oli paljon hyötyä testejä suoritettaessa. Ilman mittaamisen perusteita olisi oikeanlaisten tulosten saaminen ollut epävarmaa. Ihmisen anatomia ja tekniikan yhdistäminen olivat juuri niitä asioita, jotka tekivät projektista erityisen mielenkiintoisen.

Ihmisen vartalo ei ole helpoin kohde tekniikan liittämiseen. Esimerkiksi ihmisen raajat ja erityisesti rannenivel ovat monimutkaisia rakennelmia, eikä niistä löydy juurikaan suoria pintoja. Se, että löydetään rannenivelen kulmien mittaamiseen jokin muu laite kuin goniometri, ei ole yksinkertaista. Tähän kun lisätään vielä minimi vaatimukset, jotka ovat esitetty taulukossa 3, vaikeutuu sopivan teknologian löytäminen entisestään. Rannenivelen on haastava nivel mitata, sen monimutkaisen liikkuvuuden vuoksi, valittiin se siitä huolimatta tutkimuskohteeksi. Tämä siksi, että ratkaisun löydyttyä tähän ongelmaan tullaan samalla ratkaisseeksi useampi ongelma kerralla, joka puolestaan helpottaa työtä tulevaisuudessa. Useammilla ongelmilla tarkoitetaan sitä, että samoja mittausmenetelmiä voidaan soveltaa useimpiin niveliin.

Opinnäytetyölle varattu aika ei ollut suuri ja se olikin yksi ongelma teknologian osalta. Valinnan varaa MEMS teknologian puolella on paljon ja sieltä oli löydettävä oikeat anturi-toimittajat ja ohjelmiston valmistajat. Valintoja rajoittaa tietenkin yleensä budjetti, ja niin myös tässä tapauksessa. Silloin kun anturivalmistaja ja ohjelmoijat ovat valittu ja tilaus tehty, ei voida kuin käytännössä toivoa, ettei sovittuihin aikatauluihin tule hirveästi viivästyksiä. Tämän projektin osalta voidaan todeta, että viivästyksiä teknologian osalta tuli varmasti kaiken kaikkiaan 1,5 kuukautta. Nämä viivästykset toivat opinnäytetyölle

rasitteita loppuvaiheeseen. Rasitteet näkyivät lähinnä turhana kiireenä projektin viimeiste-lyssä ja myöhästymisenä alkuperäisestä suunnitelmasta.

Opinnäytetyö saavutti tavoitteensa varsin hyvin, koska toimiva prototyyppi rakennettiin. Löydettiin teknologia jota käytetään jatkossakin, suoritettiin ensimmäiset testit ja löydettiin mittaustesti. Prototyyppiin jäi vielä ongelmia joita ei ajan puutteen vuoksi läh-etty enää korjaamaan, koska ensimmäiset testit kyettiin suorittamaan yksinkertaistetusti. Tuloksista pystyttiin kuitenkin huomaamaan, että mittaus kyseisellä teknologialla olisi mahdollista toteuttaa ja vieläpä pienillä kustannuksilla. Tekniikan langattomuus, vähäinen virrankulutus, riittävä tarkkuus, saatavuus ja hinta puoltavat valitun teknologian käyttä-mistä myös jatkossa. Prototyypissä ilmenneet ongelmat ja niihin löytyneitä ratkaisuja ker-rottiin tuloksissa sekä prosessin kuvauksessa.

8.2 Tuotekehitysprosessin arviointi

Tässä vaiheessa tuotekehitystä kaikki oli vielä kokeellista, koska etsittiin uusia menetel-miä, keksittiin uusia ja sovellettiin vanhoja menetelmiä. Tästä johtuen tulokset eivät ole vielä lopullisia, joita menetelmällä ja teknologialla voitaisiin saavuttaa. Tuloksiin on syytä suhtautua vielä kriittisesti, koska aihealue vaatisi vielä paljon syvempää perehtymistä, varsinkin tulosten oikeellisuuden osalta. Tällä tarkoitetaan sitä, että mittausmenetelmän pitäisi olla paljon laajempi, jotta voitaisiin puhua oikeasti luotettavasta mittaustesti-mästä sairaalakäyttöön. Siten saataisiin huomattavasti paremmin esiin goniometristä tule-vat virheet, ihmisten henkilökohtaiset ominaisuudet ja mahdollisia muita häiriö/virhe teki-jöitä laitteistolle. Vastaavia tutkimuksia kyseisellä teknologialla ja mittaustestillä ei ole juurikaan tehty, joten vertailu pohja on hyvin hataraa.

Opinnäytetyössä pystyttiin kuitenkin luotettavasti ilmaisemaan valitun teknologian sovel-tuvuus kyseiseen mittaustapaan, vaikka mittaukset jouduttiin suorittamaan yksinkertaiste-tusti eikä otantakaan ollut kovin laaja. Tämä olikin opinnäytetyön tärkein tavoite, että löy-dettäisiin haluttuun mittaustestiin sopiva teknologia. Astemittatestit onnistuttiin suorittamaan $\pm 1^\circ$ tarkkuudella ja henkilötetitkin suoritettiin $\pm 2^\circ$ tarkkuudella goniometriin

verrattain. Testihenkilö testeissä voitiin myös huomata se, että liikeratojen ääriasentoja mitattaessa uudella menetelmällä toistettavuus oli hyvä eikä hajontaa juuri tapahtunut. Tässä on muistettava kuitenkin se, että goniometrin tarkkuus ihmismittauksissa voi olla korkeintaan $\pm 5^\circ$. Siihen vaikuttavat testihenkilöiden henkilökohtaiset erot ja mittaajista aiheutuvat virheet, tätä on kuitenkin hyvin hankala saada esiin näin pienellä otannalla. Goniometrin virheet olisi saanut paremmin esiin isommalla otannalla, kuten uudelle menetelmälle tehtiin. Mikäli näin olisi tehty, olisi mittauksista siinä tapauksessa tullut pitkäkestoinen ja haastava testihenkilöille. Suoritettulla tavalla oli jo havaittavissa testihenkilöiden rannenivelen liikkeissä väsymistä.

Kuten jo aiemmin mainittiin, tarkoituksena ei ollut suorittaa asteen kymmenyksen tarkkoja mittauksia, koska potilaan toipuminen ei ole siitä kiinni. Robotti testeissä ilmeni suuria ongelmia, mutta niihin on haettu selityksiä magnetismista, jonka on havaittu aiheuttavan häiriöitä anturiin. Testi sinänsä ei ole epäonnistunut, koska sieltä pystyttiin kuitenkin löytämään yksi tulevaisuuteen vaikuttava tekijä. Tällaiset virhetekijät on pystyttävä minimoimaan ja se tuleekin luomaan tulevaisuudessa haasteita.

Itse mittausmetodiikka antureille saatiin toimivaksi. Mittauslinjat olivat selkeät ja hyviin samanlaiset kuin goniometrillä. Goniometrillä mitattaessa virhettä tuloksiin aiheuttaa sormien liikkuminen adduktio abduktio suunnassa, kun taas uudella tavalla mitattaessa se ei aiheuta virhettä, vaan mittaus pohjautuu täysin antureiden väliseen kulmaan. Uudessa mittausmetodiikassa on se etu, että se pyrkii mittaamaan rannenivelen absoluuttisen kulman ilman mittaajasta johtuvia häiriötekijöitä, joita taas goniometrissä esiintyy. Kehitetyllä mittausmetodiikalla pystytään minimoimaan mittaajasta johtuvat virheet, koska itse mittalaite pyritään pitämään aina samassa asennossa. Myös ihmisten henkilökohtaiset erot saadaan nousemaan mittauksissa esiin.

8.3 Hyöty ja jatkotoimenpiteet

Opinnäytetyö pohjustaa toimeksiantajalle tulevia projekteja, jotka liittyvät tämän tuotteen ja palvelun kehitysohjelmaan. Tämä opinnäytetyö oli ensimmäinen projekti tämän tuotteen

ympärillä ja siinä edettiin pitkälle lyhyessä ajassa. Opinnäytetyön tarkoituksena on pohjustaa uuden tuotteen ja palvelun syntymistä terveydenhoitoalalle. Toimeksiantaja saa opinnäytetyön kautta tietoa teknologian soveltuvuudesta ja ongelmakohdista tällaisiin mittauksiin. Tämän tuotekehitystyön avulla voidaan tehdä päätöksiä projektin eteenpäin viemisen suhteen ja päätös on myönteinen. Opinnäytetyö on vahvistanut toimeksiantajan ja opinnäytetyöntekijän uskoa tuotteeseen. Tarkoituksena olisi jatkaa yhdessä tuotteen ja palvelun kehittämistä eteenpäin.

Seuraavat jatkotoimenpiteet joita tullaan suorittamaan, ovat uutuustutkimus, markkinatutkimus, rahoituksen hankinta sekä tuotekehityksen jatkaminen. Tämä opinnäytetyöhän jäi vielä vaiheeseen 3, eli tuotekehitykseen. Oikeastaan seuraavaksi alkaisi tuotekehitys pyöriä isommalla vaihteella. Mikäli tilannetta mietitään Cooperin (2011) Stage Gate mukaan, niin joudutaan palaamaan vielä portille 3, koska lisärahoitusta pitää saada, jotta projekti voisi edetä. Lisärahoituksen hankinnassa pitää siis yrittää päästä vielä kerran portin 3 lävitse. Siitä, että joudutaan palaamaan vielä portille 3, on projektin kannalta suuri hyöty, koska silloin tehdään ainakin vielä kerran tarkastus projektin kannattavuudesta. Tässä vaiheessa rahaa ei ole kulunut vielä paljoa, mutta seuraavassa prototyypissä rahaa joudutaan kuluttamaan jo aivan eri kokoluokassa. Mikäli kannattavuus näyttää lähemmissä tarkasteluissa huonolta, vielä voidaan tehdä KILL päätös. Taloudelliset tappiot olisivat silloin pienet.

Vaikka opinnäytetyön sivussa suoritettiin markkinatutkimuksia sekä asiakassegmentointia ei se ole kuitenkaan vielä riittävän tarkkaa, jotta portti kolme olisi mahdollista läpäistä uudelleen. Seuraavalla läpimenolla on tiukemmat kriteerit, koska myös rahalliset panokset tulevat olemaan huomattavasti korkeammat. Joten jatkoprojekteina nämä tulevat eriyttää toisistaan ja molemmat on suoritettava huolella, osin konsultointia käyttäen. Nämä kaksi osa-aluetta tulevaan olemaan isossa roolissa rahoitusta haettaessa, koska näiden avulla voidaan rakentaa toimiva business case rahoituksen saamiseksi. Itse rahoituksen hankkiminen on myös isoprosessi johon on myös syytä hankkia konsultti apua, tiimin ollessa toistaiseksi näinkin pieni.

Tuotekehitys tulee kohtaamaan suurimmat haasteensa käytettävyydessä ja ergonomiassa. Nämä kaksi osa-aluetta ovat suuressa roolissa, tämän kaltaisessa terveydenhoitoalan tuot-

teessa. Näihin alueisiin tuleekin jatkossa panostaa todella paljon, tässä projektissa näihin osa-alueisiin ei juurikaan panostettu. Tuotekehityksellä on vielä myös edessään paljon teknologisia haasteita, mutta ne eivät tule olemaan ongelma sen hyvän tuntemuksen vuoksi.

Monta ongelmaa voitaisiin todennäköisesti ratkaista siten, että rakennettaisiin kaksi anturiyksikkö kuten nytkin, vain sillä erotuksella, että niissä olisi ainoastaan liikettä havainnoivat anturit sisällä. Näiden lisäksi olisi vain yksi akku ja vain yksi langaton tiedon siirtolinkki ja mittaustieto tulisi ns. raakadatana suoraan tietokoneohjelmistoon. Vasta tietokoneohjelmistossa tehtäisiin data yhdistäminen ja suodatus. Nykyisessä menetelmässä kaikki tehdään kahteen kertaan ja erillisesti. Tällä tavoin virhemahdollisuuksien määrä kasvaa valtavasti.

LÄHTEET

Abhinav, M. 2008. System Level Study of Resonant MEMS Structure. Viitattu 10.01.2013.

http://books.google.fi/books?id=iWwrf11u6esC&pg=PA44&dq=mems+magnetometer&hl=fi&sa=X&ei=hyISUYXxNobTtAax1ICADQ&redir_esc=y#v=onepage&q=mems%20magnetometer&f=false

Angelosanto, G. 2008. Kalman filtering of IMU sensor for robot balance control PDF. Massachusetts Institute of technology. Viitattu 04.03.2013.

http://www.google.fi/#hl=fi&gs_rn=5&gs_ri=psy-ab&pq=imu%20sensing&cp=50&gs_id=45&xhr=t&q=dspace.mit.edu/bitstream/handle/.../318906502.pdf&es_nrs=true&pf=p&sclient=psy-ab&oq=dspace.mit.edu/bitstream/handle/.../318906502.pdf+&gs_l=&pbx=1&bav=on.2,or.r_gc.r_pw.r_qf.&fp=b1d2ada773108f9a&biw=1366&bih=673

Ayazi, F. 2011. Multi DOF inertial MEMS: From gaming to dead reckoning. Viitattu 04.03.2013.

<http://www.ece.gatech.edu/research/integrated-mems/publications.htm>

Bao, M.H. 2004. Handbook of sensors and actuators. 2. p. Amsterdam: Elsevier. Viitattu 10.01.2013.

http://www.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=OwI_xrvj1kC&oi=fnd&pg=PP2&dq=accelerometer+working+principle&ots=qdWhT5VRt8&sig=2w3V9ZDLmVY0MDKpOVCFfByNttw&redir_esc=y#v=onepage&q=accelerometer%20working%20principle&f=true1

Beeby, M. Ensel, S. Kraft, G. 2004. MEMS Mechanical Sensors. Norwood: Artech House. Viitattu 06.02.2013

[Http://www.jamk.fi/kirjasto](http://www.jamk.fi/kirjasto), Nelli-portaali, Ebrary.

Bratlan, T. Caruso, M. Schneider, R. Smith, C. A new perspective on magnetic field sensing. Honeywell website. Viitattu 20.01.2013

http://www51.honeywell.com/aero/common/documents/myaerospacecatalog-documents/Defense_Brochures-documents/Magnetic_Literature_Technical_Article-documents/A_New_Perspective_on_Magnetic_Field_Sensing.pdf

Clarkson, H. M. 2005. Joint motion and function assessment. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Cooper, R. G. 2011. Winning at new products. 4. p. New York: Basic books

Fonselius, J. Laitinen, E. Pekkoja, K. Sampo, A. & Vanhala, T. 1994. Anturit. 3. p. Helsinki: Painatuskeskus.

Hall effect sensing and application. Honeywell website. Viitattu 10.01.2013.

http://sensing.honeywell.com/index.php?ci_id=47847

Kapandji, I. A. 1997. Kinesiologia 1. Laukaa: Medirehab.

Heijden, P. Korsten, F. Regtien, M. J. 2004. Measurement Science for Engineers. Jordan Hill; Butterworth-Heinemann. Viitattu 12.02.2013.

<http://www.jamk.fi/kirjasto>, Nelli-portaali, Ebrary.

Hietikko, E. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

Hyvönen, H. 2011. Thermomechanical and mechanical characterization of a 3-axial MEMS gyroscope. Master thesis. Aalto University. Viitattu 12.02.2013

<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/3749>

Jokinen, T. 1998. Tuotekehitys. 5. p. Espoo: Otatieto Oy.

Kuivalainen, P. 1993. Mikroanturit. Espoo: Otatieto Oy.

Lampo, S. 2012. National MEMS Technology Roadmap - Markets, Applications and Devices. Master's thesis. Aalto University. Viitattu 20.02.2013.

<https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/6108>

Minhang, B. 2005. Analysis and Design Principles of MEMS Devices. Amsterdam: Elsevier Science & Technology. Viitattu 12.02.2013

[Http://www.jamk.fi/kirjasto](http://www.jamk.fi/kirjasto), Nelli-portaali, Ebrary.

Angular Rate Sensors. Murata Electronics Oy website. Viitattu 15.02.2013

<http://www.murataMEMS.fi/fi/node/291>

VTI tiedote, VTI:n gyroskoopilla voi mitata maapallon pyörimisen. Murata website. Viitattu 12.02.2013.

<http://www.murataMEMS.fi/fi/uutiset/tiedotteet/vtin-gyroskoopilla-voi-mitata-maapallon-pyorimisen>

Norkin, C. C. & White D. J. 2009. Measurement of joint motion. Philadelphia: F.A. Davis Company.

Rantanen, S. 2012. Kiihtyvyyssanturien soveltuvuus henkilövaakaan integroituihin ballistokardiografisiin mittauksiin. Diplomityö. Aalto university. Viitattu 16.02.2013

<http://lib.tkk.fi/Dipl/2012/urn100721.pdf>

Micro-electromechanical systems -MEMS- website. MEMS segmentit. Viitattu 12.12.2013.

<http://www.semicon.europa.org/Segments/MEMSMST>

Silfverberg, P. 2007. Ideasta projektiksi. Helsinki: Edita publishing Oy.

Karjalainen, T. Osaston ylilääkäri, käsikirurgi. Keski-Suomen keskussairaala. Haastattelu 03.12.2012.

Karjalainen, T. Osaston ylilääkäri, käsikirurgi. Keski-Suomen keskussairaala. Lukuja leikkauksista 13.01.2013. Vastaanottaja Lähteenmäki, M. Opinnäytteen tekijä.

Edullisia antureita kulutuselektroniikkaan VTT website. Viitattu 12.02.2013

http://www.vtt.fi/service/low_cost_sensors.jsp

Valtanen, E. Tekniikan taulukkokirja. 2009. 17. p. Mikkeli: Genesis-Kirjat Oy

V.M.SENS. Attitude heading and reference system website. Viitattu 08.05.2013

<http://www.vmsens.com/>

Yost Engineering Ltd 2013. 3-Space sensor software suite. Yost Engineer website.

Viitattu 18.3.2013.

<http://tech.yostengineering.com/3-space-sensor/software-suite>

LIITTEET

Liite 1. Mission Stagement

<p>Mission Statement: Liikeanalyysi laitteisto</p>
<p>Tuotteen kuvaus:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuotteella on tarkoitus mitata ihmisen nivelkulmien absoluuttista asemaa mahdollisimman helposti • Projektissa on tarkoituksena löytää oikeanlaiset komponentit mittaamiseen. Koska komponenttien hankinta tulee maksamaan summan X, on sille hyvä myös löytää rahoittaja. Tuotteessa käytetään mahdollisimman vähävirtaista teknologiaa, koska laitteen on tarkoitus toimia langattomasti. Prototyypin testauksen jälkeen tuotanto on tarkoitus ulkoistaa, varsinkin komponenttien kokoonpanon puolesta. • Ohjelmistot joita ensimmäisessä vaiheessa käytetään, kannattavat olla valituille antureille räätälöityjä, jotta voidaan nopeasti selvittää valitun teknologian toiminta.
<p>Keskeiset tavoitteet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Projektin aikataulu selviää liitteestä • Kustannukset tämän ensimmäisen prototyypin osalta tulisi olla alle 1500€ • Tuotettavuustavoite/break even -piste = 120€ • Markkinaosuus tavoite = 30%
<p>Päämarkkinat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tuotteen päämarkkina alue on leikkaus- ja traumapotilaiden kuntoutuksen seurannassa.
<p>Toissijaiset markkinat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toissijaisille markkinoille tulee mennä ensimmäiseksi koska sinne saadaan nopeammin myytävä tuote/palvelu. Toissijaiset markkina-alueet ovat sairaalan tutkimuskäyttö nivelten liikkuvuudelle, urheilijoiden liikeanalyysit sekä fysioterapeutit
<p>Oletukset ja rajat:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rahoitus voi jäädä puuttumaan

- Komponenttien toimitus viivästyy
- tarvittavien ohjelmien ja teknologian olemassaolo ei ole varmaa ja mikäli löytyy, niin todella kallista.
- Avainhenkilöiden löytäminen jotka hallitsevat MEMS teknologian sekä ohjelmoinnin.

Sidos ryhmät:

- Rahoittajat.
- Asiakas, joka tässä tapauksessa on Keski-Suomen Keskussairaala.
- Loppukäyttäjät, eli potilaat
- Testihenkilöt.

Liite 2. **POISTETTU SALASSAPITO-
VELVOLLISUUDEN VUOKSI**

Liite 3. Suunnitelma

	Nimi	Kesto	Aloitus	Lopetus	Edeltäjät	Resurs...
1	<input type="checkbox"/> Opinnäytetyö	122,625 pti...	26.9.2012 8:00	15.3.2013 14:00		Milka
2	<input type="checkbox"/> Sopimuksen viho ja sen muokkaus	1 päivä?	26.9.2012 8:00	26.9.2012 17:00		Milka
3	<input type="checkbox"/> Ideointia	6 päivää?	26.9.2012 8:00	3.10.2012 17:00		Milka
4	<input type="checkbox"/> Suunnitelma	5 päivää	3.10.2012 8:00	9.10.2012 17:00		Milka
5	<input type="checkbox"/> Projektin rajuus	2 päivää	3.10.2012 8:00	4.10.2012 17:00		Milka
6	<input type="checkbox"/> Suunnitelman valmistus	2 päivää	4.10.2012 8:00	5.10.2012 17:00		Milka
7	<input type="checkbox"/> Sisällönsuunnittelu	3 päivää	5.10.2012 8:00	9.10.2012 17:00		Milka
8	<input type="checkbox"/> Käytöksen prosessi	112,625 pti...	10.10.2012 8:00	15.3.2013 14:00		Milka
9	<input type="checkbox"/> Johdanto	3 päivää?	10.10.2012 8:00	12.10.2012 17:00		Milka
10	<input type="checkbox"/> Opinnäytetyön lähdekohdat	2 päivää?	17.10.2012 8:00	18.10.2012 17:00		Milka
11	<input type="checkbox"/> Tuotekehitys prosessi	5 päivää?	9.11.2012 8:00	15.11.2012 17:00		Milka
12	<input type="checkbox"/> Anatomia	5 päivää?	24.10.2012 8:00	30.10.2012 17:00		Milka
13	<input type="checkbox"/> Valitun teknologian esittely	9 päivää	28.11.2012 8:00	10.12.2012 17:00		Milka
14	<input type="checkbox"/> Tubikkeet	5 päivää?	6.3.2013 9:00	13.3.2013 9:00		Milka
15	<input type="checkbox"/> Pohdinta	2,5 päivää	13.3.2013 9:00	15.3.2013 14:00		Milka
16	<input type="checkbox"/> Anatomian aiheisto	10 päivää	10.10.2012 8:00	23.10.2012 17:00		Milka
17	<input type="checkbox"/> Anatomian työkaluiden hankinta	2 päivää	10.10.2012 8:00	11.10.2012 17:00		Milka
18	<input type="checkbox"/> Anatomian kirjallisuuden lukeminen	8 päivää	12.10.2012 8:00	23.10.2012 17:00		Milka
19	<input type="checkbox"/> Tuotekehitys/prosessin aiheisto	7 päivää	31.10.2012 8:00	8.11.2012 17:00		Milka
20	<input type="checkbox"/> Anatomian hankinta	2 päivää	31.10.2012 8:00	1.11.2012 17:00		Milka
21	<input type="checkbox"/> Anatomian lukeminen	5 päivää	2.11.2012 8:00	8.11.2012 17:00		Milka
22	<input type="checkbox"/> Valitun teknologian aiheisto	8 päivää	16.11.2012 8:00	27.11.2012 17:00		Milka
23	<input type="checkbox"/> Anatomian hankinta	5 päivää	16.11.2012 8:00	22.11.2012 17:00		Milka
24	<input type="checkbox"/> Anatomian lukeminen ja siihen liittyminen	8 päivää	16.11.2012 8:00	27.11.2012 17:00		Milka
25	<input type="checkbox"/> Alistavan teknologian esittely internetissä	3 päivää	15.10.2012 8:00	17.10.2012 17:00		Milka
26	<input type="checkbox"/> Prototyypin valmistus	42 päivää?	7.1.2013 9:00	6.3.2013 9:00		Milka
27	<input type="checkbox"/> Prototyypin valmistus	15 päivää	7.1.2013 9:00	28.1.2013 9:00		Milka
28	<input type="checkbox"/> Rajotus?	4 päivää	7.1.2013 9:00	11.1.2013 9:00		Milka
29	<input type="checkbox"/> Komponenttien hankinta	10 päivää	28.1.2013 9:00	11.2.2013 9:00		Milka
30	<input type="checkbox"/> Rakennus	10 päivää?	11.2.2013 9:00	25.2.2013 9:00		Milka
31	<input type="checkbox"/> Testaus	7 päivää	25.2.2013 9:00	6.3.2013 9:00		Milka

Opinnäytetyö - sivut