



# E-LENTOSUKKA

Risto Jolkin

Anne Tiri

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2020

Sosiaali- ja terveysalan ja insinöörin ylempi ammattikorkeakoulututkinto  
Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Sosiaali- ja terveystieteiden ja insinöörien (ylempi AMK)  
Hyvinvointiteknologian tutkinto-ohjelma

JOLKIN, RISTO & TIRI, ANNE  
E-lentosukka

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 3 sivua  
Toukokuu 2020

---

Tekniikkaa ja puettavaa tekstiiliä yhdistettäessä syntyy älyvaatteita sekä e-tekstiilejä. Anturitekniikkaa voidaan käyttää mittaamaan kehon eri toimintoja. Antureilla voidaan mitata esimerkiksi lämpöä, liikettä ja sykettä. Antureita käytetään myös älyrannekeissa ja älykelloissa. Älyvaatteet sisältävät anturitekniikkaa ja yleensä jonkin mikrokontrollerin eli pienen tietokoneen. Mikrokontrolleriin koodataan ohjelma, jonka avulla voidaan esimerkiksi tallentaa ja vastaanottaa mitattavaa tietoa. E-tekstiili puolestaan on tekstiili, johon on yhdistetty esimerkiksi valoja, mutta nämä eivät tallenna tietoja, vaan toimivat mm. ajastimella. Anturitekniikkaa käytetään myös terveydenseurantaan sekä sairauden havaitsemiseen.

Opinnäytetyössä perehdyttiin hyvinvointiteknologiaan liittyvään tuotekehitykseen ja prototyypin valmistamiseen. Opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää uusi tuote laskimoveritulpan tunnistaminen ajoissa. Älyvaate oli prototyyppi e-lentosukasta, jonka avulla käyttäjä tunnistaa mahdollisen laskimoveritulpan synnyn. Laskimoveritulpan ajoissa tunnistamisella voidaan välttää veritulpan kulkeutuminen keuhkoihin tai aivoihin, joka puolestaan voi aiheuttaa kuoleman.

Tuotekehitystyö aloitettiin tutustumalla ja ottamalla selvää jo markkinoilla olemassa olevista älyvaatteista ja puettavasta elektroniikasta sekä haastattelemalla alan yrityksiä ja tutkijoita. Opinnäytetyön aineisto kerättiin kirjallisuuskatsauksella, jonka avulla pyrittiin hankkimaan riittävän laajasti tietoa tuotteen kannalta olennaisista osista. Opinnäytetyön toteutustavaksi valittiin konstruktiiivinen opinnäytetyö, mikä on tässä lähellä tutkimuksellista kehittämistä.

Opinnäytetyön tuotoksena valmistetaan prototyyppi tuotteesta. E-lentosukka tunnistaa syvään laskimoveritulppaan mahdollisesti liittyvän pohkeen läpimitan kasvamisen suhteessa yksilöllisesti asetettuun alkuarvoon ja valittuun toleranssiin ja ilmoittaa käyttäjälle muutoksesta.

Asiasanat: puettava elektroniikka, älyvaate, puettava tietokone, laskimoveritulos

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Master's Degree in Wellbeing Technology

JOLKIN, RISTO & TIRI, ANNE:  
E-flight Socks

Master's thesis 54 pages, appendices 3 pages  
May 2020

---

The purpose of this thesis was to combine sensor technology and textiles. In addition, a prototype of a new product was constructed. The topic of the thesis consists of the connection between technology and medical care.

This thesis deals with product development and prototype production related to welfare technology.

The purpose of this thesis was to develop a new product for the problem, which is the timely identification of a venous thrombosis, a more intelligent prototype of an e-flight sock, which would allow the user to identify a possible venous thrombosis.

The material of the thesis was collected through a literature review, which was used to obtain sufficient information about the parts relevant to the product. A constructive thesis was chosen as the implementation method of the thesis.

A prototype of the product was made. The functionality of the solution was tested and the aim was to demonstrate the functionality of the product. The prototype acts as a sensor to measure and obtain data. The e-flight sock detects an increase in the diameter of the calf possibly associated with a deep venous thrombosis.

---

Key words: wearable technology, smart clothing, venous thrombosis

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TARKOITUS .....	9
	2.1. Tavoite .....	9
	2.2. Tarkoitus .....	9
	2.3. Tutkimuskysymykset /tehtävät .....	9
3	OPINNÄYTETYÖ MENETELMÄ.....	10
	3.1. Kehittämistyö.....	10
	3.2. Aineiston keruu .....	10
4	KIRJALLISUUSKATSAUS .....	12
	4.1. Älyvaate .....	13
	4.2. Anturit.....	17
	4.3. Veritulppa.....	17
	4.4. Alaraajan verisuonet .....	19
	4.5. Säären lihakset .....	21
	4.6. Tuki- ja hoitosukat.....	22
	4.7. Tuotekehitys.....	23
	4.8. Pohdintaa kirjallisuuskatsauksen tuloksista .....	24
5	PROTOTYYPPIIN VALITUT TUOTTEET JA KOMPONENTIT .....	26
	5.1. Adafruit Flora.....	26
	5.2. Flora Accelometer/Compass sensor- LSM303- v1.0.....	26
	5.3. Conductive Rubber Cord Stretch Sensor, kuminauha-anturi .....	27
	5.4. Flora Wearable Bluefruit LE Module .....	28
	5.5. Koodi.....	28
	5.6. Sukka .....	28
6	AIKATAULUSUUNNITELMA JA BUDJETTISUUNNITELMA .....	30
	6.1. Aikataulusuunnitelma .....	30
	6.2. Budjettisuunnitelma.....	30
7	KEHITTÄMISTEHTÄVÄN MERKITYS JA HYÖDYT .....	32
	7.1. Tuotekehitysprosessi .....	32
	7.2. Kokeilemalla kehittäminen .....	33
	7.2.1 Terveysteknologia-alan tuotekehitys .....	34
	7.3. Patentti ja hyödyllisyysmalli.....	35
8	KONSTRUKTION RAKENTAMINEN .....	37
	8.1. Tuotekehitystyön käytännön työ.....	38
	8.2. Luotettavuus/kestävyys/laatu .....	39
	8.3. Älysukan toteuttaminen.....	40

8.3.1 Ohjelmointi .....	41
8.3.2 Suunnitelma mobiilisovelluksesta .....	48
9 PROTOTYYPIN ARVIOINTI .....	50
9.1. Jatkosuunnitelmat .....	51
10 POHDINTA .....	52
LÄHTEET .....	55
LIITTEET .....	59

**ERITYISSANASTO**

EMS- laite	Sähköinen lihasstimulaatio laite
lot	Internet of Things, Teollinen Internet
Lääkinnällinen laite	tuotteet, joita käytetään potilaan hoidossa tai jotka ovat yhteydessä potilaaseen ovat lääkinällisiä laitteita.
Mikrokontrolleri	Mikro-ohjain, mikropiiri, jossa on mikroprosessori ja joi- tain muisti- ja liityntälohkoja. mikrokontrollereja käyte- tään sulautetuissa järjestelmissä.
TENS -laite	Transkutaarinen sähköinen hermostimulaatio laite.
Tromboosi	tukos, verisuonitukos, verisuonitukkeuma, veritulppatu- kos, verihyytymän muodostuminen verisuonen sisälle, verihyytymän esiintyminen verisuonen sisällä

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön idea on tehdä tuotekehitysprojekti. Työn tarkoituksena on valmistaa prototyyppi e-tekstiilistä tarkemmin e-lentosukasta.

Lentomatkustus ja etenkin pitkä lentomatka lisää laskimotukoksen riskiä. Lentokoneessa ollaan usein pitkiä aikoja liikkumatta ja pitkäkestoinen istuminen lisää alaraajoihin kertyvän nesteen määrää ja johtaa jalkojen turpoamiseen. Pitkille lennoille suositellaan käytettäväksi lentosukkia. Jalkojen voimistelu tai kävely koneen käytävillä on myös suositeltavaa. (Laskimoveritulppien ehkäisy pitkillä lentomatkoilla 2013).

Laskimotukoksen riski liittyy matkustamon olosuhteisiin ja matkustajan riskitekijöihin, joita ovat mm. ylipaino, liikkumattomuus, lentomatkustus, perinnöllisyys, alkoholi, raskaus ja estrogeenivalmisteiden käyttö. Lentokoneiden matkustamoiden, etenkin ahtaat turistiluokan tilat ja halpalentoyhtiöiden matkustustilat, joissa istutaan pitkiä aikoja lähes liikkumatta, vartalo koukussa, ilmanpaineen ja kosteuden ollessa normaalia matalampi elimistön kuivuminen on mahdollista. Istuttaessa pitkään ihmisen laskimovirtaus on noin kaksi kolmannesta hitaampi kuin makuuasennossa. (Laskimoveritulppien ehkäisy pitkillä lentomatkoilla 2013).

Syvän laskimotromboosin (alaraajan syvälaskimotukos) esiintyvyys väestöstä on yleensä arvioitu olevan 1 tapaus tuhatta henkilöä kohti. Lennoilla matkustaa arviolta 1,4 miljardia matkustajaa vuodessa. Laskelmat perustuvat niihin ihmisiin, jotka ovat hakeutuneet oireiden vuoksi hoitoon. Monet potilaista saavat kuitenkin oireita ja hakeutuvat hoitoon päivien tai viikkojen kuluttua, jolloin lentomatka ja sen yhteys sairastumiseen voi olla jo unohtunut. (Idänpään-Heikkilä, J.)

Laskimoveritulpan oireina ovat turvotus, raskas ja kipeä jalka ja jalan aristaminen kävellessä. Laskimotukos saattaa pahimmillaan aiheuttaa keuhkoveritulpan. Seurauksena voi olla äkkikuolema. (Kettunen, R. 2018)

Opinnäytetyön aihe on ajankohtainen, e-tekstiilejä kehitellään paljon tällä hetkellä. Suomessa on vain muutama yritys, joka valmistaa e-tekstiilejä. Maailmalla

on useita yrityksiä, jotka ovat erikoistuneet johonkin tiettyyn tuotteeseen. Meitä kiinnostaa anturitekniikan/sensorien käyttäminen tekstiileissä, sekä näiden tuoma mahdollisuus laskimotukoksen havaitsemisessa. Puettavat älyvaatteet kiinnostavat myös meitä. Opinnäytetyön aihe koostuu kehosta mitattavan anturitekniikan ja siitä saatavan datan, sekä laskimoveritulpan sairaanhoidon yhteydestä.

Opinnäytetyön teoriaosuuden kirjoittamista varten olemme ajatelleet hakusanoiksi e-tekstiilit, tuotekehitys, anturit/sensorit, sovelluksen kehittäminen, tuotteen käytettävyys, laskimoveritulppa.

Työn tavoitteena on valmistaa prototyyppi lentosukasta, jossa käytetään anturitekniikkaa sekä tehdä suunnitelma e-lentosukan mobiilisovellukselle. Lentosukan idea on huomata, mahdolliset veritulpan riskitekijät, pohkeen lämpö, liike sekä turpoaminen. Lisäksi työssä konseptoimme mobiilisovellus, joka huomauttaisi käyttäjää riskitilanteesta tai kehottaa käyttäjää liikkumaan.

Kohderyhmänä on lentomatrustajat tai paljon istuvat henkilöt, sekä mahdollisesti leikkauspotilaat tai muut potilaat, jotka liikkuvat vähän. Ajatuksena on kuitenkin rajata tämä opinnäytetyö lentomatrustajiin. Valitsimme lentomatrustajat ryhmäksi, koska sairaanhoidon puolella todennäköisesti täytyisi ottaa huomioon monia muitakin ihmisen terveyden kannalta olennaisia asioita. Sekä halusimme tehdä ei lääkinällisen laitteen. Yhteistyötä minkään yrityksen kanssa meillä ei ollut, mutta harkitsimme sitäkin vaihtoehtoa.

Opinnäytetyöstä voivat hyötyä lentomatrustajat ja sairaanhoito. Lisäksi opinnäytetyö hyödyttää opinnäytetyön tekijöitä, jotka oppivat uusia asioita e-tekstiileistä, anturitekniikasta ja tuotekehitysprosessista.



## 2 OPINNÄYTETYÖN TAVOITE JA TARKOITUS

### 2.1. Tavoite

Opinnäytetyö on tuotekehitystyö. Opinnäytetyön idea on laskimoveritulpan ehkäisyssä ja jo tulleen laskimoveritulpan tunnistamisessa. Ideasta on johdettu tutkimusaihe, johon on tarkoitus valmistaa prototyyppi. Prototyypin valmistuksessa käytämme erilaisia komponentteja, koodausta sekä lentosukkaa. Prototyypin tarvikkeet ovat käyttökelpoisia protoilutuotteisiin ja ne on valittu tuotekehitysmielessä, mahdollisessa jatkokehityksessä protosta kehitettäisiin eteenpäin tuotantoon soveltuva tuote. Tässä työssä rajaamme työn koskemaan prototyypin valmistusta, emme tähtää tällä tuotteella kuluttajamarkkinoille. Kuluttajamarkkinoille todennäköisesti valikoituisi erilaiset komponentit ja tarvikkeet, jolloin käytettävyys olisi tärkeimpiä kriteerejä tarvikkeiden ja komponenttien valinnassa.

### 2.2. Tarkoitus

Tarkoituksena on auttaa käyttäjää havainnoimaan veritulpan riskitekijät ja ohjata henkilö aiemmin sairaanhoidon piiriin. Tuote myös muistuttaa tekemään liikkeitä, joiden avulla riskitekijät pienenevät. Tuotteen ei ole tarkoitus olla lääkinnällinen laite, vaan kevyempi versio, joka auttaa ihmistä huomaamaan mahdolliset muutokset, jotka viittaavat veritulpan syntymiseen.

### 2.3. Tutkimuskysymykset /tehtävät

Saadaanko anturitekniikkaa käyttäen valmistettua tuote, jolla voidaan auttaa havaitsemaan aiemmin syvän laskimoveritulpan syntymä? Millä komponenteilla ja tarvikkeilla tällainen prototyyppi voidaan valmistaa? Tavoitteena on, että ihmiset hakeutuisivat ajoissa lääkäriin, jolloin veritulpasta selviämiseksi on parempi ennuste.

### **3 OPINNÄYTETYÖ MENETELMÄ**

#### **3.1. Kehittämissyö**

Opinnäytetyön toteutustavaksi valittiin konstruktiiinen opinnäytetyö, tässä tapauksessa se on lähellä tutkimuksellista kehittämistä.

Konstruktiiinen opinnäytetyö tarkoittaa suunnittelua, käsitteellistä mallintamista toteutusta ja testausta. Se muistuttaa paljon innovaatioiden tuottamista ja palvelumuotoilua, se soveltuukin konkreettisiin tuotteisiin kuten mittareiden, mallin tai suunnitelman tekoon. (Ojasalo, Moilanen, Ritalahti 2015)

Työn tarkoituksena on kehittää uusi tuote ongelmaan, joka on laskimoveritulpan tunnistaminen ajoissa. Kirjallisuuskatsauksessa pyrittiin hankkimaan riittävän laajasti tietoa tuotteen kannalta olennaisista osista. Tiedonhankinnan pohjalta laaditaan ratkaisu. Valmistetaan prototyyppi tuotteesta. Ratkaisun toimivuutta testataan ja pyritään osoittamaan tuotteen toimivuus. Lopuksi pohditaan tuotteen käyttöä ja mahdollisia muita käyttömahdollisuuksia.

#### **3.2. Aineiston keruu**

Tietoa aiheesta haettiin useaan otteeseen eri hakukoneiden avulla. Aiheesta ei löytynyt paljon virallista tutkittua tietoa. Kolme virallista tutkimusta, joissa oli tutkittu lentomatrustuksen vaikutusta laskimotukoksen syntyyn, olivat v.2000- 2002 näitä käytettiin myös lähdemateriaaleina.

Mendis, S, Yach D, Alwan A. 2002. Air travel and venous thromboembolism. Bulletin World Health Organization 2002;80:403-6.

Scurr, JH, Machin, S, Bailey-King, S, Mackie, J, McDonald, S, Smith, P. 2001. Frequency and prevention of symptomless deep-vein thrombosis in long-haul flight: a randomized trial. Lancet 2001;357:1485-8. US National Library of Medicine National Institutes of Health.

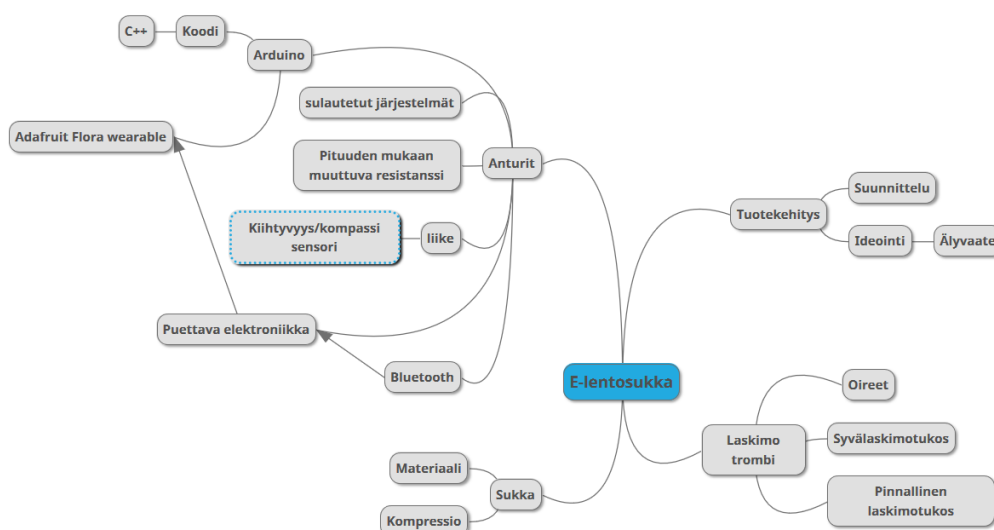
Kraaijenhagen RA, Haverkamp, D, Koopman MM, Prandoni P, Piovela F, Büller HR. Travel and risk of venous thrombosis. Lancet 2000. 356:1492-3 US National Library of Medicine National Institutes of Health.

Lentomatkustus on yhdistetty veritulppiin jo vuosia. Näissä tutkimuksissa olikin maininta, että aihetta pitää tutkia lisää. Muuta opinnäytetyön aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja artikkeleita löytyi lisää jatkuvasti sitä tahtia, kun niitä julkaistiin. Lähdemateriaaleiksi pyrittiin valitsemaan mahdollisimman tuoreita lähteitä. Lähdemateriaaleissa on sekä kotimaisia, että ulkomaista kirjallisuutta, julkaisuja, artikkeleita, uutisia ja videomateriaaleja.

Tietoa haettiin internetistä Googlen avulla, joka olikin hyvä keino löytää tuotekehitystyössä käytettävään mikrokontrolleri Arduinon käyttöön ja koodiin vinkkejä. Aihepiiriin tutustuessamme haastattelimme ja kävimme puhelinkeskusteluja älyvaatealalla toimivien yrittäjien, tutkijoiden, opettajien sekä työntekijöiden kanssa. Medica messuilla Saksassa, saimme hyvän käsityksen alan laajuudesta ja tarjonnasta tällä hetkellä.

## 4 KIRJALLISUUSKATSAUS

Teimme käsitekartan havainnollistamaan mitä asioita opinnäytetyömme sisältää. Haasteellisimpana koemme anturitekniikan ja Arduinon ohjelmoinnin ja sen rajoitukset. Tähän käytämme suurimman osan opinnäytetyöajasta.



KUVIO 1. käsitekartta e-lentosukka

Käsitekartasta voi nähdä mitkä käsitteet liittyvät tuotteeseen ja mikä on niiden yhteys toisiinsa tässä vaiheessa opinnäytetyötä.

Miellekartan avulla rajasimme aihepiirin neljään pääryhmään. Hakusanoiksi valittiin tuotekehitys, veritulppa/laskimotrombi, anturit ja lentosukka lisäksi haimme tietoa myös e-tekstiileistä ja mikrokontrollereista eli sulautetuissa järjestelmissä käytettävistä mikro-ohjaimista. Tuotekehityksen idea on kehittää tuote, jonka avulla voidaan havaita mahdollisesti lähestyvä laskimotukos. Antureiden kohdalla hakua rajattiin koskemaan muita kuin teollisuudessa käytettäviä antureita, sekä tietoa etsittiin suoraan Arduinon tekniikasta, jonka päädyimme valitsemaan prototyyppin mikrokontrolleriksi. Arduinon Adafruit Flora, jota työssä käytämme, on uusi malli ja tästä mallista ei tutkimustietoa löytynyt. Arduinosta on vähän virallista tutkimustietoa, muutamia opinnäytetyöraportteja löytyy erilaisista kehitysprojekteista.

Tietokonejärjestelmät voidaan jakaa ohjelmitaviin ja sulautettuihin järjestelmiin. Ohjelmitavat järjestelmät sisältävät jonkin massamuistin esimerkiksi kovalevyn ja CD-romin, johon tallennetaan myöhemmin käytettävää tietoa ja erilaisia ohjelmia. Ohjelmitavia järjestelmiä ovat esimerkiksi henkilökohtaiset tietokoneet. Sulautettuja järjestelmiä on puolestaan sisällytetty johonkin tuotteeseen, nämä eivät vaikuta tietokoneilta. Sulautetuissa järjestelmissä on yleensä ohjelmitava muisti ei massamuistia. (Koskinen, J. 2006).

Tutkimme tuotekehitystä ja sulautettua järjestelmää varten mikrokontrollerien tarjontaa. Mikrokontrollereista Arduino, Rasperry- Pi laitteet olivat helposti löydettävissä internetin kautta. Lisäksi löytyi muita mikrokontrolleja, joista ei ollut saatavilla niin paljon tietoa tai laite valikoima oli suppeampi.

Olemme valinneet käyttöömmme edullisen ja laajasti tunnetun avoimen lähdekoodin mikroprosessorin Arduinon ja tästä Adafruit Floran, joka on tarkoitettu käytettäväksi puettavissa sulautetuissa järjestelmissä. Sulautetuiksi järjestelmiksi kutsutaan sellaisia laitteita, joissa mikrotietokone on osana jotakin elektroniikkajärjestelmää. Niitä käytetään usein johonkin erityistarkoitukseen. (Koskinen, J. 2006) Arduino käyttää koodikieltä, joka on lähellä C++ kieltä, Arduinon vapaan lähdekoodin ansioista Arduinon käyttöön tarvittava tieto on vapaasti saatavilla internetistä. Kaikkien saatavilla oleva tieto on hajallaan ja usein yksittäisten harrastelijoiden kirjoittamaa koodia. (Adafruit Flora)

#### **4.1. Älyvaate**

Puettavaa tekstiiliä, johon on liitetty elektroniikkaa, voidaan kutsua älyvaatteeksi. Puettava älykäs tekstiili on yksinkertaisempi kuin kannettava tietokone esim. älykello, sykemittari tai sykevyö. Puettava elektroniikka rakennetaan usein täyttämään jokin tietty tehtävä. (McCann, Bryson 2009, 5.)

Älyvaateteollisuus voidaan jakaa neljään osa-alueeseen. Urheilu, hyvinvointi/lääketieteellinen, muoti/viihdyttäminen sekä armeija/yleinen sektori. Alueet ovat osittain päällekkäisiä, usein samaa tai hyvin samankaltaista teknologiaa käytetään uudelleen pakattuna eri käyttötarkoituksissa. (McCann, Bryson 2009, 39.)

Puettava tekniikka kiinnostaa laajasti yrityksiä. Esimerkiksi Apple, Samsung, Microsoft, Google, Sony, Pfizer, Astra Zeneca, GE, Ford ja BMW hakevat lisää liiketoimintaa puettavasta elektroniikasta ja terveyttä mittaavista antureista. Suomessa on kehitetty ensimmäinen puettava sydänpölymittauslaite vuonna 1976. Siitä lähtien Suomi on ollut digitaalisen terveydenhuollon edelläkävijä. Eri-tyisesti sykkeen mittaukseen liittyvissä laitteissa Suomi on maailman johtavia maita. Puettava teknologia sisältää niin teknologiaa kuin designin, tekstiiliä tai lääketieteellistä osaamista. Haasteita on ollut erityisesti patteritekniikassa, käyttäjärajapinnoissa, sovelluksissa ja näytöissä. (Raunio, H. 2015.)

Liikeantureita ja IoT-tekniikkaa on alettu hyödyntää eri työpaikoilla. Työstä ja työmaista pyritään tekemään turvallisempia ja vähemmän kuormittavia. Suomessa on ollut useita kokeiluja mm. teollisuuden, rakennusteollisuuden parissa. Esimerkiksi Teknologian Tutkimuskeskus VTT ja rakennusalan toimijat ovat tehneet älyvaatekokeiluja ConIoT-hankkeen parissa, jossa anturidatan avulla henkilöiden liikkeitä ja sijaintia seurataan. Datan keräämisen avulla pyritään parantamaan työturvallisuutta. (Liikeantureita ja uusinta IoT-tekniikkaa työvaatteisiin 2020).

Eri urheilulajeissa päähän kohdistuu iskuja, joista voi aiheutua päävammoja. Brain Sentry yritys on esitellyt Brain Sentry Impact Sensor-anturilaitteen, jota voidaan käyttää kypärässä. (KUVA 1). Laitteen keskiössä on STMicroelectronicsin mems-pohjainen kiihtyvyyssanturi, joka mittaa tarkkaa dataa pelaajien kypärään kohdistuneista iskuista. (Anturi monitoroi aivotärähdyksiä. *Elektroniikka-lehti*).



KUVA 1. Anturin sijoittuminen kypärässä (Anturi monitoroi aivotärähdyksiä. Elektroniikkalehti).

Elektroniikan lisääminen koruihin on myös osa älyvaateteollisuutta. Kilpailu puettavien mittalaitteiden parissa on kova. Suomalainen älysormus Oura on herättänyt kiinnostusta ympäri maailmaa. Oura tarjoaa ratkaisua palautumiseen, vastaa kysymykseen, miten suorituksesta voi palautua paremmin? Oulussa kehitetty sormus mittaa sormivaltimosta sydämen sykkeen, voimakkuuden ja sykevälivaihtelun. Oura-sormus mittaa myös unta, nukkujan liikkeitä ja ruumiinlämpöä. Sormuksesta tieto siirtyy bluetoothin avulla älypuhelimien sovellukseen, joka tulkitsee raakadatan muutamaksi ydinviestiksi. (Yle uutiset 9.9.2019). Kuvassa 2 näkyy anturin sijoittaminen älysormukseen.



KUVA 2. Oura sormus (<https://ouraring.com/meet-oura>)

Terveysteknologiassa teollinen internet (IoT) on läsnä kaikkialla. Teollinen internet tarkoittaa antureiden, sensoreiden, verkkoon kytkettyjen koneiden ja laitteiden sekä niihin liittyvien palvelujen ja liiketoiminnan muodostamaa kokonaisuutta. Teollinen internet on yksi digitalisaation isoista kasvualueista. Verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän on arvioitu olevan vuonna 2020 noin 25-50 miljardia. Teollisen internetin hyödyntäminen terveysteknologiassa on mahdollisuus myös vientiteollisuudelle. Tekes on arvioinut, että teollinen internet voi luoda Suomeen uutta liiketoimintaa 1,4 miljardin arvosta vuoteen 2020 mennessä. (Ilmarinen, Koskela 2015,48).

Tekoälyn käyttö tulee lisääntymään jatkossa terveydenhoidossa mm. OP pilotoi älykipsin v.2018. Älykipsin tavoitteena oli auttaa potilasta toteuttamaan fysioterapeutin kanssa suunniteltua kuntoutusohjelmaa. Tekoäly auttaa tunnistamaan kuntoutuksen yli ja alisuorituksia. Kipsin sisään integroiduilla sensoreilla älykipsi kerää reaaliaikaista dataa, jonka avulla potilas voi tehdä muutoksia toimintaansa. (Merilehto 2018, 157).



## 4.2. Anturit

Anturit hakusanana on niin laaja, että rajasimme ulos teollisuuden anturit. Googlen avulla löysimme Arduinon tekniikan, jonka arvelimme soveltuvan työssä käytettäväksi. Aloimme keskittyä Arduinon antureihin. Etsimme tietoa yleisesti internetistä lähinnä googlesta erilaisilla hakusanoilla kuten Arduino, wearable, sensor. Arduinosta on kirjoitettu muutamia yleiskirjoja ja oppaita esimerkiksi Kyösti Blinnikan kirjoittama Arduino tutuksi opas. Blinnikan opaskirjan avulla saa perustiedot ja taidot Arduinon käyttöön. (Blinnikka, K.2016)

Arduinosta on saatavilla useita eri malleja. Arduino Flora on puettaviin projekteihin tarkoitettu, joten koetimme etsiä tästä lisää tietoa. Löysimme Adafruitin verkkokaupasta kirjan Getting Started with Adafruit FLORA. Kirjassa oli joitain puettavia projekteja, joista saattaa olla jotain apua projektin edetessä. (Blinnikka, K. 2016) TAMK kirjaston haulla "Getting Started with Adafruit" löytyi Mike Barelan kirjoittama kirja Getting Started with Adafruit Circuit Playground Express, kirjan esipuheen on kirjoittanut Lady Ada eli insinööri Limor, joka on Adafruit yrityksen perustaja. Hän on tehnyt myös useita Youtube videoita Adafruitin käyttöön liittyen Adafruit Industries Youtube kanavalla. Hänen tavoitteenaan on ollut luoda paras paikka oppia elektroniikkaa ja tehdä parhaita suunniteltuja tuotteita kaiken ikäisille ja kaiken tasoisille tekijöille. Sivun on aktiivisessa käytössä ja uusia videoita julkaistaan joka viikko. (Adafruit Industries) (LadyAda)

Anturitekniikka ja laitteet kehittyvät niin nopeasti eteenpäin, että uusin tieto on saatavana vapaasti internetissä ja hajallaan, perinteistä kirjallisuutta aiheesta löytyy vähän tai se on vanhentunutta. Avoimen lähdekoodin idea on, että asiakas voi vapaasti käyttää, kopioida, muunnella sekä jaella avoimen lähdekoodin ohjelmaa. Suuri apu on ollut Arduinon oma internetsivu ja sen keskustelupalsta, jossa käyttäjät jakavat tietoa ja keskustelevat asioista.

## 4.3. Veritulppa

Aineiston keruu, tämän hetkinen uusin tieto löytyi aikakauskirja Duodecimista. Se on tietokanta, joka perustuu lääkärin käyttämiin oppikirjoihin, hoitosuosituksiin ja

tieteellisiin tutkimuksiin. Tietokanta on yleisesti terveysalan ammattilaisten käytössä. Veritulppa jaetaan pinnalliseen ja sisäiseen laskimotukokseen. Hakusanaalla pinnallinen laskimo pääsimme kaikkein rajatuimpaan hakutulokseen. Haulla löytyy sekä pinnallisen laskimotulehduksen että syvän laskimotukoksen tiedot. Käypähoitosuositukset löytyvät myös samalla haulla.

Pinnallinen laskimotulehdus esiintyy alaraajojen ihon alla sijaitsevissa pinta laskimoissa. Laskimotulos on kiusallinen ja yleensä melko vaaraton, mutta se lisää vaaraa laskimoveritulppiin. (Sinisalo, J. 2010.)

Laskimotulehdukseen altistavat alaraajojen krooninen laskimoiden vajaatoiminta ja suonikohjut. Säären alueen ihoon kohdistuneet vammat, synnynnäiset hyytymishäiriöt ja vammat. Sairaus on yleisempi kuin syvä laskimotukos (Kettunen, R. 2018).

Laskimotulehduksen oireet, sääressä tai reidessä ihon alla oleva laskimo on kipeä, sen ympäryks on punoittava, turvonnut ja kuumottava. Suonen kohdalla tuntuu arista kova juoste, joka johtuu pinta laskimon tukkeutumisesta. Pinta laskimon tukkeutumasta ei tukos lähde liikkeelle, joten sen aiheuttamaa keuhkoveritulpan vaaraa ei ole. Tavallista laajempi pinnallinen laskimotukos voi levitä syviin laskimoihin, jolloin keuhkoveritulpan vaara on olemassa. (Kettunen, R. 2018).

Alaraajojen laskimoiden vajaatoiminnassa pinnallisen laskimotulehduksen vaara on suurentunut, vaaraa voidaan todennäköisesti parantaa laskimoiden vajaatoimintaan liittyvän turvotuksen hoidolla esim. tukisukalla, mutta sen tehosta laskimotulehduksen ehkäisyssä ei ole tutkimuksia.

Laskimotukoksen vaara. Pitkäkestoinen istuminen lisää alaraajoihin kertyvän nesteen määrää ja johtaa jalkojen turpoamiseen. Liikkumattomuus saattaa lisätä alaraajojen laskimotukosriskiä, jonka jalkojen voimistelu tai kävely lentokoneen käytävällä tilanteen niin salliessa on suositeltavaa 1-2 tunnin välein. Pitkille lennoille suositetaan käytettäväksi lentosukkia, joita saa hyvin varustetuista terveyskaupoista sekä tavarataloista. Ilmailulääkäri Oksanen kirjoittaa Duodecim sivustolla. (Oksanen, P.2013).

#### 4.4 Alaraajan verisuonet

Alaraajojen valtimot lähtevät haarautumaan aortan alaosaan. Veren virtausta säätelee sydämen pumppaus ja kudoksissa olevien pienten suonien vastus. Valtimoiden haarautuessa niiden koko pienenee vähitellen. Valtimossa veren virtaus voi rasituksessa moninkertaistua, virtauksen kasvuun vaikuttaa verenpaine, verivirran nopeus ja valtimoiden kyky laajentua ja supistua.

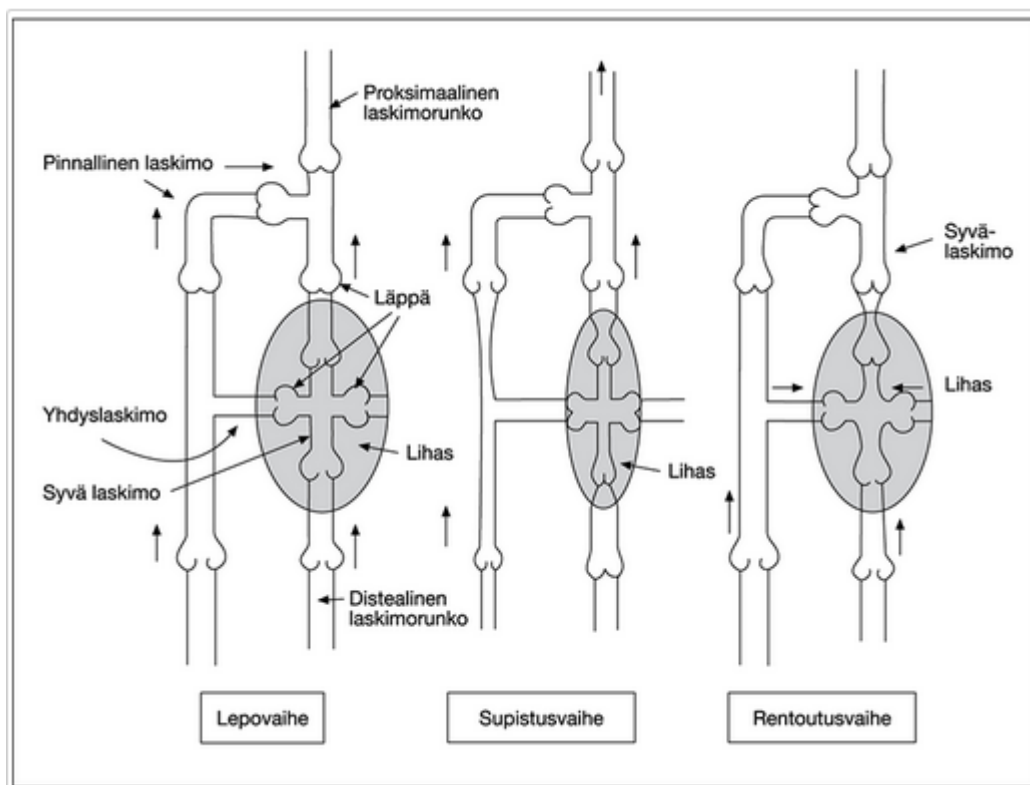
Alaraajan laskimot kuljettavat paluukierrossa veren sydämeen päin, tämä tapahtuu näin ollen ylämäkeen. Kun ihminen seisoo, muodostuu alaraajan laskimoihin hydrostaattinen paine, joka vastaa nestepilarin korkeutta sydäimestä mittauspisteeseen. (taulukko 1). (Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016)

TAULUKKO 1. Laskimopaineet raajoissa seisoessa (Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016)

Mittauskohta	Paine, mmHg
Sydän	0
Olkavarsi	8
Ranne	35
Reisi	40
Nilkka	90

Toimivan laskimoveren paluukierron edellytykset ovat toimivat laskimoläpät, jotka ohjaavat verenkierron ylöspäin. Läppiä on kaikissa alaraajojen laskimoissa aina lantiotasolle saakka. Toinen keskeinen asia on pohjelihasten muodostama lihaspumppu. Pohjepumppu toimii, kun pohjelihakset supistuvat esim. kävellessä säären laskimot puristuvat kasaan samalla veren työntyessä sydäntä kohti. Jalan li-

hasten rentoutuessa laskimonsisäiset läpät sulkeutuvat ja näin estävät veren paluun alaspäin. Tämä läppien ja lihaspumpun yhteisvaikutus on merkittävä paluuverenkierron toiminnalle. (Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016)



KUVIO 2. laskimopumpun toiminta. (Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016)

Alaraajojen laskimoita on kolmen tyyppisiä. Syvät laskimot kulkevat lihasten välillä lihasaitioiden sisällä. Näiden kautta kulkee valtaosa laskimoverenkierrosta. Säären alueella jokaisen valtimorungon vieressä menee kaksi laskimoa. Polven yläpuolella valtimorungon vieressä kulkee yksi iso laskimorunko. Ihonalaisessa rasvakudoksessa kulkevat pintalaskimot. Nämä pintalaskimot muodostavat ison verkoston ja kaksi päärunkoa.

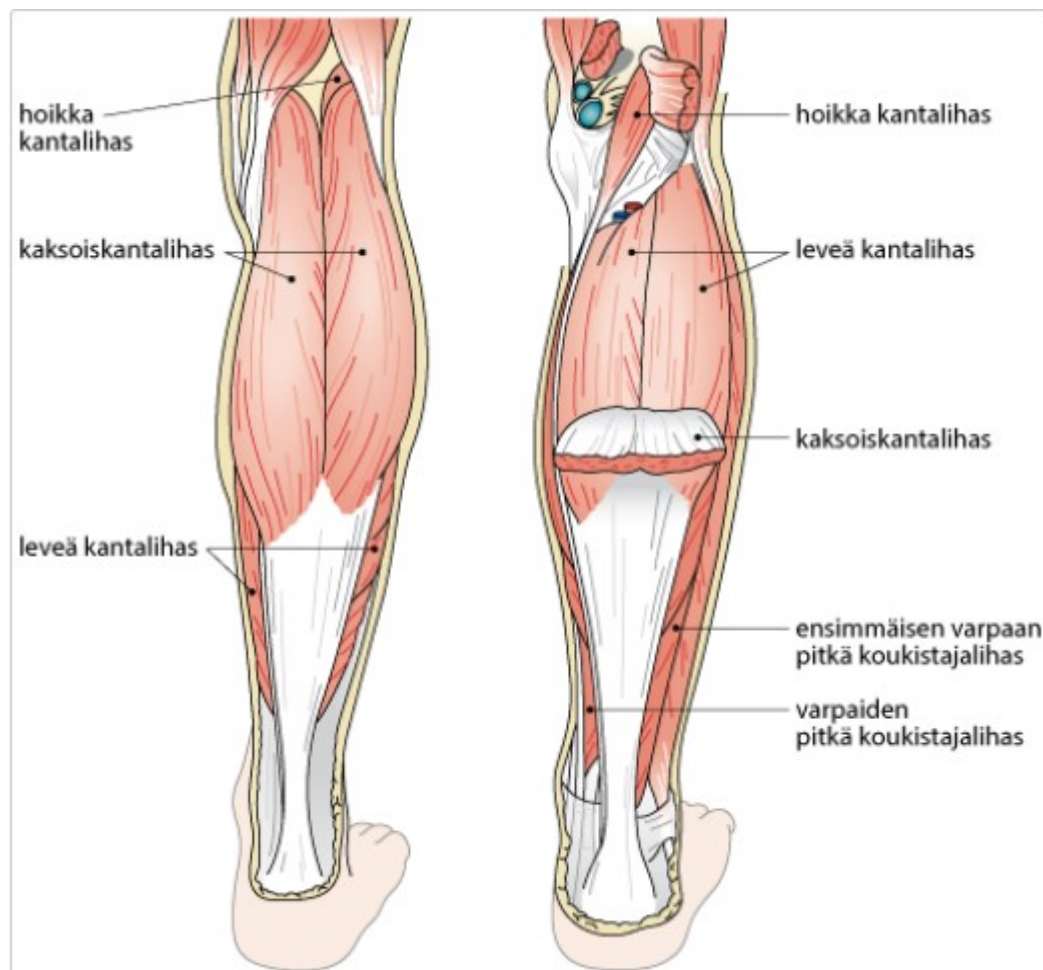
Pinnallisten ja syvien laskimoiden välillä on yhdyslaskimot, veri kulkee pinnallisista laskimoista syviin laskimoihin päin. Yhdyslaskimoita on useita säären ja reiden välillä. (Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016)

Jalkapohjan syvät laskimot sijaitsevat jalkaterän lyhyiden lihasten suuntaisesti, lihasten välissä. Lihasten supistuessa ne toimivat pumpun lailla, jolloin kävelyn tekemä normaali kuormitus lisää jalkapohjan verenvirtausta. Verenkiertohäiriöt alkavat usein jaloista. Jalkaterässä varpaiden liikkeet aloittavat lihaspumpun ja

nilkkojen liikkeitä pohjepumpun. Tämä pumppujen toiminta tehostaa alaraajan ja jalkaterän verenkiertoa. (Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016)

#### 4.5 Säären lihakset

Jalkaterän toimintaan vaikuttaa noin 34 lihasta. Lihakset jaetaan pitkiin ja lyhyisiin lihaksiin. Pitkät lihakset sijaitsevat neljässä eri lihasaitiossa. Pinnallisessa takimmaisessa lihasaitiossa sijaitsee kaksoiskantalihas, leveä kantalihas sekä hoikka kantalihas nämä yhdessä muodostavat kolmipäisen pohjelihaksen. Syvässä takimmaisessa lihasaitiossa on takimmainen säärihihas, ensimmäisen varpaan pitkä koukistajalihas sekä varpaiden pitkä koukistajalihas. Säären etuosassa on etummainen säärihihas, varpaiden pitkä ojentajalihas sekä ensimmäisen varpaan pitkä ojentajalihas. Säären ulkoreunalla on pitkä pohjeluulihas sekä lyhyt pohjeluulihas. (Väyrynen, P. 2016)



KUVA 3: Säären takaosan pinnallinen lihaskerros (Väyrynen, P. 2016)

#### 4.6. Tuki- ja hoitosukat

Hoitosukkiin luetaan lääkinälliset ja kompressiosukat. Hoitosukat ovat yksilölliset, potilaalle mittojen mukaan valittavat sukat, joissa on asteittain aleneva, pohjelihaspumpun hyödyntävä hoitopaine. Hoitosukilla voidaan parantaa alaraajojen laskimoveren paluuvirtausta ja ehkäistä ja vähentää turvotusta. Kun sukat ovat mitattu käyttäjän yksilöllisten mittojen mukaan ne istuvat täydellisesti ja saavutetaan oikea paine eli kompressio. Lääkinällisiä hoitosukkia käytetään mm. vaikeiden säärihaavojen hoidossa, suonikohjuleikkauksien sekä laskimo- ja imusuonivaurioiden jälkeen. (Saarikoski, R. 2016)

Tukisukat puristavat verta jalkojen kudoksen pintakerroksista syvemmälle, jolloin lisääntynyt paine aikaansaa lihaspumpun aktivoitumisen. Turvotus vähenee ja veritulpan mahdollisuus pienenee jalkojen verenkierron tehostuessa. Tukisukat jaetaan neljään osaan paineluokan ja käyttötarkoituksen perusteella. (Saarikoski, R. 2016)

Lentosukat ovat myös kevyet tukisukat, ne on tarkoitettu terveille ja standardimalleisille naisten ja miesten jaloille. Lentosukat vähentävät alaraajojen turvotusta ja väsymistä ne myös hoitavat lieviä laskimovaivoja ja lisäävät verenkiertoa. Lentosukkien käyttöä suositellaan yli kuuden tunnin lennoille. Myös pitkä paikallaan istuminen altistaa syvälle laskimotukokselle. (Saarikoski, R. 2016).

Lentosukat vähentävät laskimotukoksien esiintymistä sukkaa käyttävillä, riskiryhmään kuuluvilla ihmisillä huomattavasti. (Heinonen, H & Lassila, R. 2013).

Hoitosukkien paineluokat ilmaistaan hoitopaineen elohopeamillimetreinä (mmHg) nilkan kohdalta, mistä paine vähenee asteittain ylöspäin. Laskimovaivojen ja syvän laskimotukoksen ehkäisyyn soveltuvat tukisukat ovat yleisen suosituksen mukaan paineluokassa (15-21mmHg). Tämä täyttää myös lentosukille asetettavat vaatimukset. Alla olevassa taulukossa on esitetty paineluokka, sukkatyyppi ja käyttöaihe. (Saarikoski, R. 2016).

TAULUKKO 2. Tuki – ja hoitosukissa käytettävät paineluokat (CEN = Comité Européen de Normalisation). (Duodesim. Lääkinnälliset hoitosukat)

Paineluokka (cl)	Nilkkaan kohdistuva paine (CEN)	Sukkatyyppi	Käyttöaihe
I	15-23 mmHg	Tukisukka (kevyt hoitosukka)	Syvän laskimotukoksen ja laskimotulehduksen ehkäisy, esimerkiksi matkustettaessa. Lievä laskimovajaatoiminta Suonikohjujen ehkäisy ja hoito: istuma- ja seisomatyö, raskausaika. Lievät suonikohjut Trauman jälkeinen turvotus Alaraajojen väsyminen Pitkät lento- ym. matkat
II	24-34 mmHg	Hoitosukka	Laskimoperäinen turvotus Säärihaava, ehkäisy ja hoito Imutieveräinen turvotus Suonikohjutoimenpiteiden jälkihoito: leikkaus, vaahdotus, laser Ruusun (erysipelas) jälkihoito Sädetyksen jälkihoito Varikoottinen ekseema
III	34-49 mmHg	Hoitosukka	Vaikea laskimoperäinen turvotus Säärihaava
IV	Yli 50 mmHg	Hoitosukka	Vaikea imutieveräinen turvotus

#### 4.7. Tuotekehitys

Täysin uuden tuotteen kehittämisessä on olemassa erilaisia toimintamalleja ja näiden sekoituksia. Tiiminä mietimme, että tuotekehitys opinnäytetyönä on lähellä ketterää kehitystä. Ketterät menetelmät on suunniteltu ensisijaisesti ohjelmistokehityksen lähtökohdista ja sen tarpeisiin. Ketterien menetelmien taustalla oleva filosofia on puolestaan peräisin valmistavan teollisuuden piiristä. Monet ketterälle kehitykselle ominaiset piirteet nojaavat ohjelmistokehitykselle luonteen-

omaiseen tekemiseen. Ketterissä menetelmissä painotetaan tehokasta tiedonkulkua ja läpinäkyvää organisaatioita. Ketteriä menetelmiä on useita esimerkiksi Scrum, XP ja Kanban. (Lehtonen, Tuomivaara, Rantala, Käsälä, Mäkilä, Jokela, Könnölä, Kaisti, Suomi, Isomäki, Ylitolva 2014)

Ihan ensimmäisessä tuoteidea versiossamme oli ajatuksena käyttää seuraavia antureita: pohkeen läpimitta, lämpö, liike, mahdollinen muuttuva kompressio, joista erikoislääkärin suosituksesta jätettiin lämpö pois. Lääkäri ei nähnyt tälle anturille diagnoosin kannalta lisäarvoa. Kompressiota hän oli sitä mieltä, että muuttuvaa kompressiota olisi hyvä kehittää tuotteeseen. (Keskustelu sisätautien erikoislääkärin kanssa)

#### **4.8. Pohdintaa kirjallisuuskatsauksen tuloksista**

Kirjallisuuskatsausta tehdessä ja tuloksia tutkiessa voi tehdä johtopäätöksen, että elektroniikan menetelmien, komponenttien kehityksen ja terveydenhoidon välillä on yhteistä se, että molemmat kehittyvät nopeasti. Laskimoveritulppaa koskevia lähteitä etsiessä tietoa löytyy runsaasti, mutta lähteissä on syytä pysyä uusimmassa tutkimuksessa, laadukkaassa tiedossa ja yleisissä virallisissa Suomen hoitosuosituksissa, mistä johtuen lähdemateriaali aiheesta jää muutaman virallisen lähteen käyttöön.

Antureista, Arduinosta, ohjelmoinnista ja elektroniikan komponenteista puolestaan lähdemateriaalia löytyy runsaasti. Peruseriaate komponenteissa on pysynyt pitkälti samana, mutta koska opinnäytetyömme painottuu erityisesti näiden käyttöön puettavan elektroniikan osalta, tietoa ei juuri löydy. Valmiita ratkaisuja ja koodeja löytää ulkomaisilta sivustoilta, mutta mikään näistä ei sovellu käyttöömmme edes pienin muutoksin vaan kaikki on kokeiltava ja suunniteltava itse.

Työmme vaativan luonteen huomioon ottaen, myös luonnollista pohtia ajan käyttöä valmiista työstä saatavien tulosten valossa. Arduino asettaa omat rajansa fyysisen kokonsa, tehonsa ja hintansa puolesta. Tästä johtuen prototyyppiä ei ole viisasta hioa Arduinon pohjalle loppuun asti, vaan prototyypin tärkeimmäksi tehtäväksi jää antaa näyttöä siitä olisiko tämän kaltaisesta ratkaisusta käytännössä

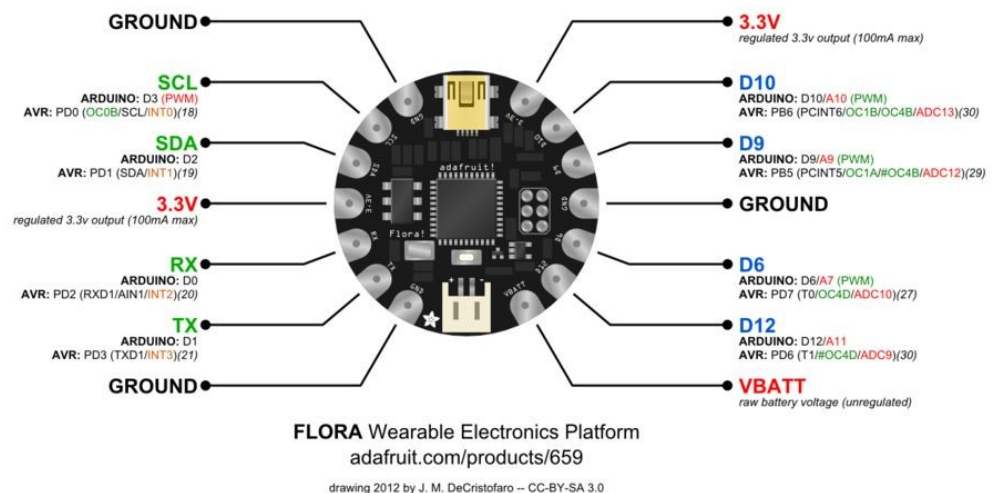


hyötyä. Sarjavalmisteen tuote valmistettaisiin luonnollisesti kustannusten ja yleisen suorituskyvyn pohjalta jollekin toiselle pohjalle.

## 5 PROTOTYYPPIIN VALITUT TUOTTEET JA KOMPONENTIT

### 5.1. Adafruit Flora

Adafruit Flora on Arduino yhteensopiva mikrokontrolleri, joka on suunniteltu puettaviin prototyyppisiin. Mikrokontrolleri on käytännössä pieni tietokone, joka suorittaa sille koodattua ohjelmaa koodin mukaisesti. FLORA on pienikokoinen ja painaa 4,4 grammaa. Siinä on sisäänrakennettu USB-tuki, joten sen voi ohjelmoida Micro-B USB -kaapelin avulla. Arduino IDE:n avulla koodaamiseen tarvitaan Flora tuki. Jännite on 3,3v.



KUVA 4. Adafruit Flora

<https://www.instructables.com/id/How-to-use-the-Adafruit-Flora-board-Arduino-Tutori/>

### 5.2. Flora Accelometer/Compass sensor- LSM303- v1.0

Liikettä ja suuntaa mittaava anturi. Anturin sisällä on kaksi anturia, joista toinen on 3- akselinen kiihtyvyysmittari ja toinen on magnetometri eli kompassi, jota yleensä käytetään magneettisen pohjoisen havaitsemiseksi.

Accelometerin kiinnittäminen Flora -keskussyksikköön on yksinkertaista, anturi ommellaan hopealangalla ja vältetään risteäviä kohtia, jotta sähkö kiertää oikein.

<https://www.adafruit.com/product/1247>

### 5.3. Conductive Rubber Cord Stretch Sensor, kuminauha-anturi

Kuminauha anturi, jonka avulla voidaan mitata venyvyyttä. Johto on 2mm. halkaisijaltaan ja 1 metrin pituinen se on valmistettu hiilimusta- impregnoidusta kumista. Yleensä tätä materiaalia käytetään E;F- tiivisteiden valmistukseen.

Vapaassa tilassa vastus on noin 350 ohmia tuumaa kohti. Vedettäessä vastus kasvaa (sisällä olevat hiukkaset ylittyvät toisistaan) Kuminauhaa voi venyttää noin 50-70% lepopituudestaan. Vetovoiman vapautuessa kuminauha kutistuu takaisin omaan mittaansa. Anturi ei ole todella tarkka, mutta tämän avulla voidaan todentaa muutos pohkeen ympäröyksen kasvaessa. Kuminauha anturia tulee käyttää 10K:n vastuksen kanssa. <https://www.adafruit.com/product/519>



KUVA 5. Kuminauha anturi, vastus ja liittimet <https://www.adafruit.com/product/519>

#### 5.4. Flora Wearable Bluefruit LE Module

Bluetooth modulin avulla voi lähettää ja vastaanottaa dataa Arduinon ja liitetyn Bluetooth laitteen välillä esimerkiksi matkapuhelimeen. Testissä siirsimme dataa onnistuneesti Arduinon ja puhelimen välillä käyttämällä Adafruit Bluefruit LE Connect- sovellusta Androidille.

#### 5.5. Koodi

Ohjelmoinnissa annetaan tietokoneelle tarkka toimintaohje eli algoritmi, jonka avulla tietokone tekee halutun asian. Tietokone ei suoraan ymmärrä ihmisen ohjeita, joten ohjeet täytyy kirjoittaa jollakin tietokoneen ymmärtämällä ohjelmointikielillä. Monesti tarvittavan ohjelman suorittamiseen tarvitaan erilaisia ehtolausekkeita, vertailuja ja toistolausekkeita. Tietokone noudattaa annettuja ohjeita mekaanisesti, siksi ohjelmointi vaatii tarkkuutta ja huolellisuutta. Pienikin virhe ohjelmassa voi antaa väärän lopputuloksen. (Heikkinen, S & Saarenpää, A, 2018)

Adafruit ja Arduino ohjataan koodaamalla. Koodikieli on lähellä C++ kieltä. EDI ohjauseditori helpottaa koodaamista ja koodin voi siirtää sen avulla Adafruit Flora mikrokontrolleriin, joka on pieni tietokone.

#### 5.6. Sukka

Lentosukka on kompressiosukka. Lentosukat parantavat jalkojen verenkiertoa, jolloin jalat eivät turpoa ja puudu paikallaan istumisesta yhtä herkästi kuin muutoin. Lentosukkien käyttö pitkillä lentomatkoilla vähentää veritulppien riskiä.

Kompressiosukkaa valmistetaan tasaisella paineella esim. hoidolliset sukat sekä progressiivisesti alenevalla paineella eli kompressioilla. Kompressiosukilla on useita kutsumanimiä. Kompressiosukkaa valmistetaan eri vahvuisissa kompressioluokissa. Käytämme tässä opinnäytetyössä kompressioluokka A:han kuulu-

vaa tukisukkaa, joka on kevyempi paineeltaan kuin lääkinällinen tukisukka. Valitsimme kevyemmän kompressioluokkaan kuuluvan lentosukan tuotekehitystyöhön sen edullisen hinnan ja saatavuuden vuoksi. Lentosukkaa on helposti saatavilla päivittäistavarataloista ja hinta on edullinen ajatellen tuotekehitystyötä.

Kompressiosukille on luotu omia standardeja eri maissa. Euroopan yhteiseksi standardiksi luotiin ENV 12718, mutta se hylättiin käytöstä 13-vuoden jälkeen. Ranska, Saksa ja Iso-Britannia ovat myös luoneet omat standardit kompressiosukille. Näistä Saksalainen RAL- GZG on ottanut vaikutteita esistandardista ja nykyään se mukaillee parhaiten Euroopan yhteiseksi tarkoitettua standardia. (Kankkunen, R. Seppänen, S. Hjerppe, A)

Vaateen tuottaman lääkinällisiin tarkoituksiin käytettävän paineen mittayksikönä käytetään elohopeamillimetrejä (mmHg). Tuotteen paineluokalle ilmoitetaan alin ja ylin paine, todellinen paine muodostuu näiden väliin. (Kankkunen, R. Seppänen, S. Hjerppe, A)

TAULUKKO 3. Brittiläisten -ja saksalaisten kompressiosidosten paineiden vertailu. (Kankkunen, R. Seppänen, S. Hjerppe, A)

Ryhmä RAL-GZ	Tyyppi BS 7505	Kompressiotaso	Brittiläisen standardin paine (mmHg)	Saksalaisen standardin paine (mmHG)
1	3A	Kevyt	20 saakka	18,4–21,2
2	3B	Kevyt	21–30	25,1–32,1
3	3C	Kohtalainen	31–40	36,4–46,5
4	3D	Korkea	41–60	yli 59

## **6 AIKATAULUSUUNNITELMA JA BUDJETTISUUNNITELMA**

Olemme aloittaneet opinnäytetyön aineiston keruun kesällä 2018. Olemme haastatelleet kuutta henkilöä mm. Suomalaista älyvaatevalmistajaa sekä tutkijoita, lääkäreitä ja patenttiasiamiestä. Keskustelimme erilaisista käynnissä olevista tutkimushankkeista ja älyvaateollisuudesta koko maailman mittakaavassa. Haastattelujen pohjalta saimme lisää ideoita ja pohdimme myös vaihtoehtoisia tapoja toteuttaa opinnäytetyö. Haastattelukysymykset liitteenä. (Liite 1.)

Opinnäytetyön aiheen selkeyttäminen ja aiheeseen perehtyminen on vienyt aikaa. Tutkimme myös markkinoilla olevia älyvaatteita ja näissä käytettäviä komponentteja.

### **6.1. Aikataulusuunnitelma**

25.5.2018 Opinnäytetyön idean esitys

14.3.2019 Suunnitelman kirjallinen ja suullinen esitys.

12.12.2019 Väliraportti

25.5.2020 Valmiin työn kirjallinen ja suullinen esitys

### **6.2. Budjettisuunnitelma**

Tuotekehitystyön budjettisuunnitelma, joka on samalla toteutuneet kulut laskelma. Puuttavaan elektroniikkaan tarvittavat komponentit tilasimme ulkomailta.

TAULUKKO 4. Budjettisuunnitelma

Adafruit Flora-Wearable electronic platform: Arduino-compatible- v3	14,95\$ noin 13,16€
Flora wearable blue fruit le module, bluetooth	(17,50\$ noin 15,40€)
Flora Accelometer/Compass sensor- LSM303- v1.0	(14,95\$ noin 13,16€)
Conductive Rubber Cord Stretch Sensor	9,95\$ noin 8,76€
Sukka ja ompelu	Lentosukka 8 €
Postimaksut ja koodaus	postimaksut n. 10 € Koodi tehtiin itse.

## 7 KEHITTÄMISTEHTÄVÄN MERKITYS JA HYÖDYT

### 7.1. Tuotekehitysprosessi

Tuotekehitystyö on prosessi, jossa vaiheet seuraavat toisiaan. Tutkimuksellinen kehittämistoiminta on usein haastavaa se vie kaiken ajan, joka sille annetaan. Aikataulussa pysymisen kannalta huolellinen suunnittelu on tärkeää. Kaikenlainen kehittämistyö voidaan kuvata yksinkertaisesti muutostyön prosessikuvalla. (Ojasalo, Moilanen, Ritalahti, J 2009, 22).



KUVIO 3. Muutostyön prosessi

Muutostyön prosessin ensimmäiseen suunnitteluvaiheeseen kuuluu kehittämissaasteiden selvittäminen, tavoitteiden asettaminen ja suunnitelma miten tavoitteisiin päästään. Toiseen muutosprosessin vaiheeseen kuuluu suunnitelman toteutus. Viimeisessä vaiheessa arvioidaan, miten muutostyössä on onnistuttu. Arviointi on pohjana usein uuteen muutoskehitysprosessiin.

Käytännössä muutostyön prosessi usein elää projektin edetessä ja se ei ole näin selkeästi eri vaiheisiin jaettavissa. On myös tyypillistä, että prosessissa palataan taaksepäin ja edetään edestakaisin eri vaiheiden välillä, ennen kuin prosessi taas etenee. (Ojasalo, Moilanen, Ritalahti 2009, 23-24)

Onnistuakseen tuotekehitys tarvitsee kykyä luoda uutta ja rohkeutta tarttua ideoihin. Autoritäärinen ja rutiineja toistava johtaminen ei anna hyvää pohjaa ideoiden eteenpäin viemiseen. Suomessa on paljon patenteja, enemmän kuin missään muualla maailmassa. Surullista on se, että näitä patenteja ei onnistuta hyödyntämään. (Villanen 2016, 263)



## 7.2. Kokeilemalla kehittäminen

Startup-yritykset ovat pystyneet haastamaan isot kilpailijat siksi, että ovat oppineet nopeiden kokeilujen toimintamallin. Nämä pienet ketterät startupit ovat ymmärtäneet testata asiakastarvetta ja tuotetta tai palvelua kehittää jo ennen tuotteen tai palvelun julkaisua/valmistumista. (Hassi, Paju & Maila 2015)

Kokeilemalla kehittämisessä prototyyppiä käytetään lähinnä, jotta voidaan havainnoida koehenkilöiden reaktioita, kun he tutustuvat tuotteeseen. Ihmisten käyttäytyminen kiinnostaa ja siihen liittyvät myös suurimmat epävarmuustekijät. Prototyyppi voi olla jotain hyvin yksinkertaista, jolla pystytään havainnoimaan tuote tai palvelu. Prototyyppi täyttää tehtävänsä silloin, kun sen avulla opitaan jotain uutta. Prototyyppinä usein kehitetään eteenpäin palautteen pohjalta. Lopullinen prototyyppi on usein hienostuneempi tuote. (Hassi, Paju & Maila 2015)

Perinteisen suunnitteleman kehittäminen rajat alkavat tulla vastaan, kun ollaan tekemisissä monimutkaisten ja uusien asioiden parissa. Näissä tilanteissa syntyy epävarmuutta ja tiedon puutetta. Suunnitteleman kehittäminen perustuu tiedon hyödyntämiseen. Mitä enemmän ideassa on uutuusarvoa, sitä enemmän siinä on epävarmuutta. (Hassi, Paju & Maila 2015).

Projektin hallinnan parhaat käytännöt eivät tarjoa välineitä epävarmuuden kanssa toimimiseen. Suunniteltuun tuotekehitysprojektiin verrattuna kokeilemalla kehittäminen vaatii huomattavan paljon ajattelua, luovuutta ja kriittistä pohdintaa koko projektin elinkaaren ajan. (Hassi, Paju & Maila 2015).

Epävarmuus on uusien tuotteiden kehittämisessä läsnä. Epävarmuus vähenee kokemuksen perusteella, jota saadaan eri kokeiluvaiheista. Kokeilemalla kehittämisessä todellisuus kohdataan jatkuvasti, eikä tuotetta kehitetä salassa valmiiksi tuotteeksi asti. (Hassi, Paju & Maila 2015).

### 7.2.1 Terveysteknologia-alan tuotekehitys

Terveysteknologia on Suomessa kehittyvä toimiala, joka jakautuu useammalle liiketoimintasektorille. Terveysteknologialla tarkoitetaan lääkintälaitteita (medical devices) johon kuuluu kaikki laitteet, järjestelmät ja tarvikkeet, joita käytetään terveyden- ja sairaanhoidon diagnoosissa, ehkäisyssä, monitoroinnissa, hoidossa sekä vammojen tai vajaatoimintojen korvaamisessa ja valvonnassa. Terveysteknologia käsite pitää sisällään myös alan tietojärjestelmät sekä ohjelmistot. Terveysteknologialaitteille on asetettu kliinisiä turvallisuusvaatimuksia ja valmistajan tulee osoittaa väitetty hyöty viranomaisille ja asiakkaille. Tuotekehitys on hidasta ja kallista paitsi tekniikan kehittämisen ja turvallisuusvaatimusten täyttämisen takia. Tutkimuksen, tuotekehityksen ja lanseerauksen korkeat kustannukset ovat haaste varsinkin alan pienille kasvuyrityksille. (Alkio 2012, 17-18).

Terveysteknologiassa teollinen internet (IoT) on läsnä kaikkialla. Teollinen internet tarkoittaa antureiden, sensoreiden, verkkoon kytkettyjen koneiden ja laitteiden sekä niihin liittyvien palvelujen ja liiketoiminnan muodostamaa kokonaisuutta. Teollinen internet on yksi digitalisaation isoista kasvualueista. Verkkoon kytkettyjen laitteiden määrän on arvioitu olevan vuonna 2020 noin 25-50 miljardia. Teollisen internetin hyödyntäminen terveysteknologiassa on mahdollisuus myös vientiteollisuudelle. Tekes on arvioinut, että teollinen internet voi luoda Suomeen uutta liiketoimintaa 1,4 miljardin arvosta vuoteen 2020 mennessä. (Ilmarinen, Koskela 2015,48).

Tekoälyn käyttö tulee lisääntymään jatkossa terveydenhoidossa mm. OP pilotoi älykipsin v.2018. Älykipsin tavoitteena oli auttaa potilasta toteuttamaan fysioterapeutin kanssa suunniteltua kuntoutusohjelmaa. Tekoäly auttaa tunnistamaan kuntoutuksen yli- ja alisuorituksia. Kipsin sisään integroiduilla sensoreilla älykipsi kerää reaaliaikaista dataa, jonka avulla potilas voi tehdä muutoksia toimintaansa. (Merilehto 2018, 157)

Tyypillinen puettava lääketieteellinen laite käsittää seuraavat komponentit:

- Mikro-ohjainyksikkö -koodin /laiteohjelmiston suorittamiseen sekä datan hallintaan ja käsittelyyn.

- Ladattava akku, energiaa tarvitaan laitteen toiminnan suorittamiseen.
- Anturit, näiden avulla kerätään tietoja tarkkailtavista fyysistä parametreista. Esimerkiksi pulssimittari, kiihtyvyyssanturi, gyroskooppi.
- Langaton viestintärajapinta vähän energiaa kuluttava protokolla kuten BLE (Bluetooth Low Energy tai NFC (Near Field Communication)
- Turvallisuusmääräykset- yhdistelmä laitteistoa ja ohjelmistoa, se salaa kaikki lähetykset samoin kuin estää haittaohjelmien aiheuttavat häiriöt. (Patrik, M.)

Lääketieteellisen valvontalaitteen käyttötarkoitus määrittelee mikro-ohjaimen ja anturien valinnan sekä näiden parametrit, kuten tarkkuuden, luotettavuuden ja mittauksen toistettavuuden. Akun virran kulutus ja laitteen akun käyttö vaikuttavat myös komponenttien valintaan. (Patrik, M.)

### **7.3. Patentti ja hyödyllisyysmalli**

Usein yritykset pyrkivät suojaamaan uudet tuotteet, patentointi on usein osa yritysten strategiaa. Patentti on voimassa sen myöntäneen valtion tai valtior ryhmän esim. Euroopan patenttiorganisaation alueella. Suomessa patenttia voi pitää voimassa 20 vuotta. (PRH Patenttiopas, 4-5)

Tuotekehityksen tai muun kehittelyn tuloksena syntyvien keksintöjen suojaaminen on omaisuuden turvaamisen keino. Patentti on teollisoikeuksiin kuuluva suojamuoto, jolla suojataan keksintöjä. Patentti antaa keksijälle yksinoikeuden keksinnön ammatimaiseen hyväksikäyttöön. Tämä tarkoittaa esim. patentoidun tuotteen valmistamista, myymistä, maahantuontia, hallussapitoa ja patentoidun menetelmän käyttöä. Patentinhaltijan kuuluu itse valvoa, ettei kukaan loukkaa hänen yksinoikeuttaan tuotteeseen. (PRH Patenttiopas, 4-5)

Kaikki keksinnöt ja oivallukset eivät ole patentoitavia. Patenttilaki määrittelee patentoinnin ehdot. Patentoinnin saamisen kannalta on tärkeää, että keksintö on uusi verrattuna siihen mitä on tullut tunnetuksi ennen patenttihakemuksen tekemispäivää ja keksinnön on oltava olennaisesti erottuva tai yllätyksellinen. (PRH Patenttiopas, 4-5)

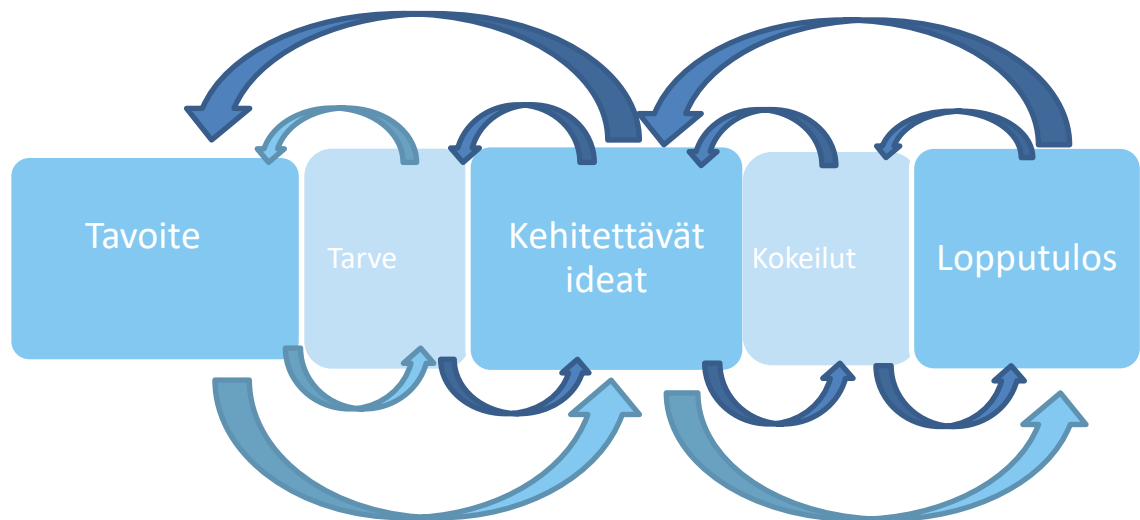
Keksintö voidaan suojata hyödyllisyysmallilla yhdessä patentin kanssa tai hakea vain hyödyllisyysmallia. Hyödyllisyysmalli antaa patentin tavoin yksinoikeuden käyttää keksintöä ammattimaisesti. Hyödyllisyysmallin etu on käsittelyn nopeus, mutta siinä ei tutkita onko keksintö uusi tai keksinnöllinen. Hyödyllisyysmalli on käytännössä vain rekisteröinti, jonka PRH eli patentti ja rekisterihallitus tekee. (Hyödyllisyysmallin ABC)

Hyödyllisyysmalli on voimassa 10 vuotta, hyödyllisyysmallia haettaessa hakijan täytyy itse perehtyä ennestään tunnettuihin keksintöihin ja hakijan täytyy olla vakuuttunut siitä, että keksintö on uusi ja keksinnöllinen. Hyödyllisyysmallin käsittelyaika on keskimäärin kolme kuukautta, kun patenttihakemuksen käsittelyaika on noin 2,5 vuotta. (Hyödyllisyysmalliopas)

Tuotekehitysvaiheessa kävimme keskustelun keksinnöistä, patentoimisesta ja hyödyllisyysmallista patenttiasiamiehen kanssa. Keskustelimme siitä mikä on keksintö? Milloin kannattaisi hakea tuotteelle patentti? Ja mikä ero on hyödyllisyysmallilla ja patentilla?

## 8 KONSTRUKTION RAKENTAMINEN

Kokeilemalla kehittämisen viisi erillistä vaihetta. Tyypillinen kokeilemalla kehittämisen projekti lähtee liikkeelle tavoitteesta, tarpeesta ja kehitettävästä ideasta. (Hassi, Paju & Maila 2015).



KUVIO 4. Kokeilemalla kehittämisen prosessi

- Tavoite: kuvataan suurempi päämäärä, jonne kehittämisellä pyritään. Tavoite voi olla epämääräinenkin, se kirkastuu tekemisen kautta.
- Tarve: Konkreettinen ongelma tai haaste, joka idealla pyritään ratkaisemaan. Pyritään löytämään oikeat ongelmat asiakas näkökulmasta katsoen.
- Kehitettävät ideat: Mielenkiintoinen kehityskohde ja idea. Kuinka hyvin kehitettävä idea vastaa tavoitteeseen ja asiakastarpeeseen?
- Kokeilut: Kehitettävän idean väitteitä ja olettamuksia testataan tosielämässä. Tarkoitus on saada selville kehittämisen kannalta oleellinen puuttuva tieto.
- Lopputulos: Lopullinen ratkaisu tulee projektin kuluessa oppimalla kehitystyön eri vaiheissa pala kerrallaan. (Hassi, Paju & Maila 2015).

Aloitimme tuotesuunnittelun miettimisen komponenttien valinnalla. Anturit, joita työssä käytämme rajaavat valintaa, sillä puettaviin tuotteisiin käytettävää elektronikkaa on saatavilla muutamilta toimittajilta. Tarvitsimme lisäksi venyvyyttä mitaavan anturin, löysimme näitä internetin kautta muutamia malleja. Meidän tarpeemme oli saada kaikki anturit toimimaan samalla keskusyksiköllä, joten jäljelle jäi muutama tuoteperhe. Vertasimme Arduinoa ja Rasperry Pi tuotteita keskenään.

Arduino osoittautui näistä laajimmaksi toimijaksi, sekä se soveltuu hyvin prototyyppeihin käytettäväksi. Arduinon lähdekoodi on vapaa, joten se on saatavilla helposti internetistä. Arduinolta löytyi myös helpommin vaatteisiin soveltuvia antureita.

### **8.1. Tuotekehitystyön käytännön työ**

Teknologia näyttelee nykyään tavallisenkin ihmisen arkielämässä suurta osaa ja ihmiset ovat yhä valveutuneempia ja vaativampia käyttämäänsä teknologia kohtaan.

Vaikka suosiota saaneita teknisiä laitteita ja niihin liittyviä mielikuvia yhdistävät tietyt yhteiset tekijät, valitsee nykyajan kuluttaja tuotteensa myös tunteen perusteella esim. automerkit ja niihin liittyvät mielikuvat. Mielikuvia ja tunteen perusteella tehtyä valintaa ei kuitenkaan yleensä mainita kysyttäessä valinnan perusteita, vaan yleensä tuotteesta nostetaan esille tekniset seikat. Lääkinnälliseksi luokiteltuja laitteita koskeviin valintakriteereihin emme tässä työssä perehdy opinnäytetyömme keskittyessä samalle segmentille kuluttajille suunnattuun terveysteknologiaan.

Lentosukkaa ja sen toimintaperiaatetta sekä prototyyppiä ajatellen nostimme tärkeimmäksi tekijäksi käytettävyyden. Lentosukan ollessa kompressioluokan 1 terveystuote, on hyvin todennäköistä, että ylimääräisen elektronikan sijoittaminen venyvälle kankaalle vähentää tuotteen sille suunniteltua kompressiota. Ottaen kuitenkin huomioon, että nykyiset kaupasta saatavat lentosukat on suunniteltu toimimaan mahdollisimman suurelle joukolle ja toimivat jokaisella yksilöllisesti.

Tuotteen siis tulisi olla mahdollisimman helppokäyttöinen ja arkiseen käyttöön soveltuva. Sen tulisi sopeutua käyttäjän jalkaan niin hyvin ettei se vaikuttaisi normaaliin toimintaan ja parhaimmassa tapauksessa sen käyttämisen jopa unohtaisi. Käytettävyyteen liittyy myös tuotteen toteutus ohjelman ja teknisten ratkaisujen osalta. Käytettävyyttä tukee idean ja teknisen toteutuksen yksinkertaisuus. E-sukkamme ei saa sisältää mitään ylimääräistä, mikä ei tuo tuotteen käytettävyyteen, toiminnallisuuteen ja luotettavuuteen lisäarvoa. Joustamattoman elektroniikan ja komponenttien sijoittelussa tulee olla erityisen tarkkana, jotta saavutetaan paras mahdollinen tulos käytettävyyden osalta.

Prototyypimme käyttämä Arduino Flora Wearable ja siihen kytkemämme lisäosat kykenevät prototyypissä vaadittaviin teknisiin suorituksiin eli venyvyyden mittaamiseen. Tämän vaatimuksen asetimme prototyypialustallemme, edullisen hankintahinnan, runsaan käyttäjäkunnan ja käyttökokemuksen ollessa myös tärkeitä valintakriteereitä. Lisäarvoa tuotteella toi sen vedenkestävyys, mitä emme kuitenkaan ole toistaiseksi testanneet. Valmistajan mukaan tuote on kuitenkin vedenkestävä ja sen tulisi kestää tavallinen käsinpesu miedolla pesuaineella ja vedellä. Kaupallisessa versiossa tämä olisi helpoin toteuttaa koteloimalla tuote ja valamalla kotelon sisään suojaava silikonikerros.

## **8.2. Luotettavuus/kestävyys/laatu**

Laadulla tarkoitamme tässä tapauksessa kohteen hyötyä ja käyttöarvoa sekä toimivuutta. Tuotteen kestävydessä tulisi huomioida tuotteen käyttötarkoitus sekä puhdistus, säilytys. Luotettavuus puolestaan on itse antureiden, johtojen, mikro-tietokoneen sekä patterin riittävän luotettava toiminta.

Tuotteemme ollessa prototyyppeasteella, on luonnollista, että virheitä voi löytyä niin ohjelmoinnin kuin teknisen toteutuksenkin osalta. Nämä olisi luonnollisesti karsittu mahdollisimman vähäiseksi kaupallista tuotetta ajatellen. On yleistä, että kuluttajaelektronikka saatetaan julkaista ohjelman osalta hieman vajaana ja siihen tulee ladattavia päivityksiä läpi sen elinkaaren.

Valitsemamme prototyypialusta on erittäin luotettava ja kestävä työtämme ajatellen. Prototyyppi ei myöskään joudu ainakaan toistaiseksi kovaan kulutukseen, joten liitoslangat voidaan toteuttaa muutamalla kierretyllä hopealangalla huomioiden kuitenkin yksiköiden sijoittelu mahdollisimman pientä resistanssia ja kulu-  
tuskestävyyttä ajatellen. Mahdollisimman yksinkertainen tekninen toteutus myös lisää osaltaan käyttövarmuutta.

### 8.3. Älysukan toteuttaminen

Tässä tuotteessa käytetään Adafruit Floraa, joka soveltuu tekstiiliohjelmointiin. Floralle on tehty ohjelma Arduino IDE ohjelmaympäristössä.

Micro-USB Data- ja latauskaapeli, kaapelin avulla Arduinoon ajetaan koodi tässä tapauksessa kannettavalta tietokoneelta.



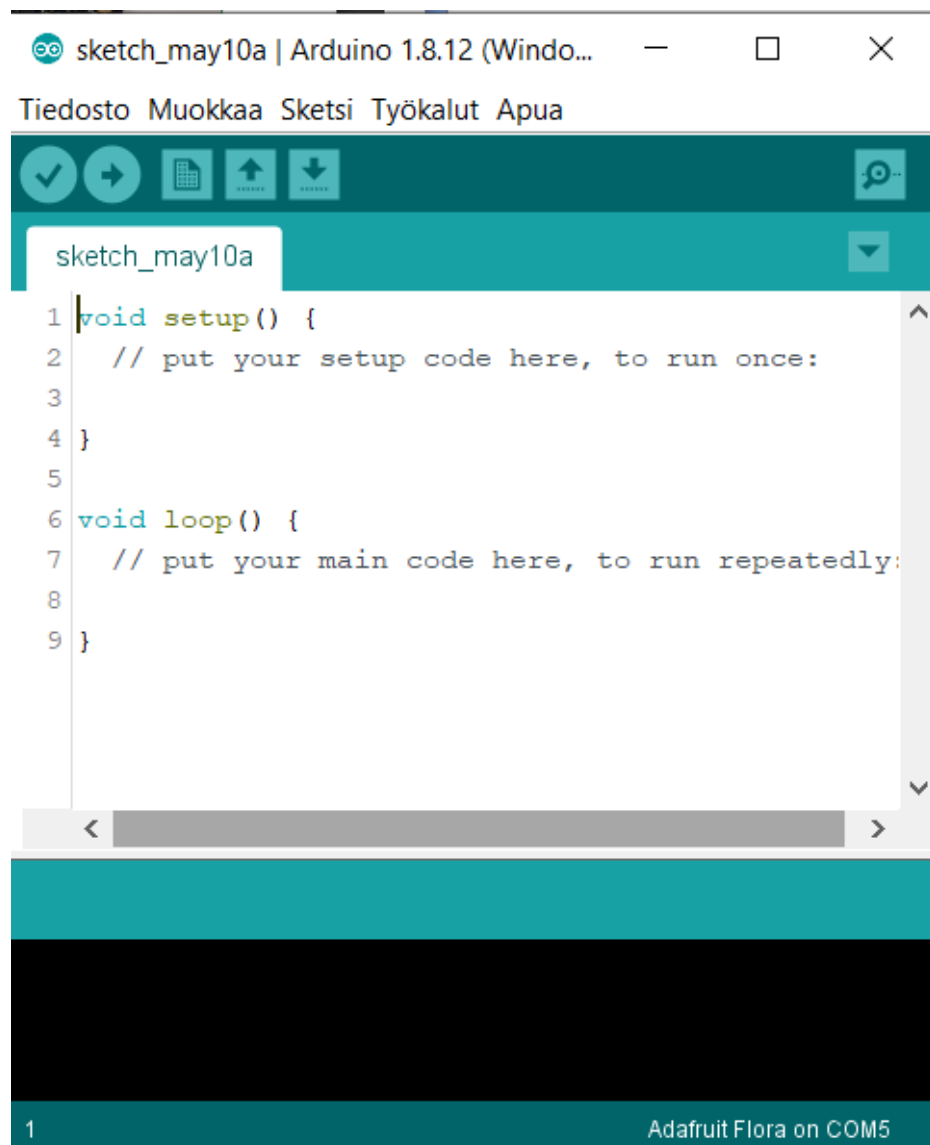
KUVA 6. Mikro-USB latauskaapeli. Yhteys Arduinon ja kannettavan tietokoneen välillä.



### 8.3.1 Ohjelmointi

Alkuvalmisteluihin kuului ohjelmiston asennus tietokoneelle. Asennettiin Arduino IDE tietokoneelle ohjelma on vapaasti saatavissa netissä osoitteessa. <https://www.arduino.cc/en/Main/Software>. Joillekin Windowseille pitää lisätä lisäajureja ja kirjastoja, jotta se löysi Adafruit Floran, nekin ovat verkossa vapaasti saatavilla osoitteessa <https://learn.adafruit.com/getting-started-with-flora/flora-modules?view=all#windows-setup>. Kirjastoissa oli myös valmiina paljon koodeja, mutta näitä me emme voineet hyödyntää tässä työssä. Arduino myös päivittää jatkuvasti IDE:ä ja aina uudelleen käynnistettäessä ohjelma kysyy, päivitetäänkö sovellus uusimpaan mahdolliseen versioon.

<https://www.innokas.fi/wp-content/uploads/2017/06/Innokas-Adafruit-Flora.pdf>



KUVA 7. Arduino IDE

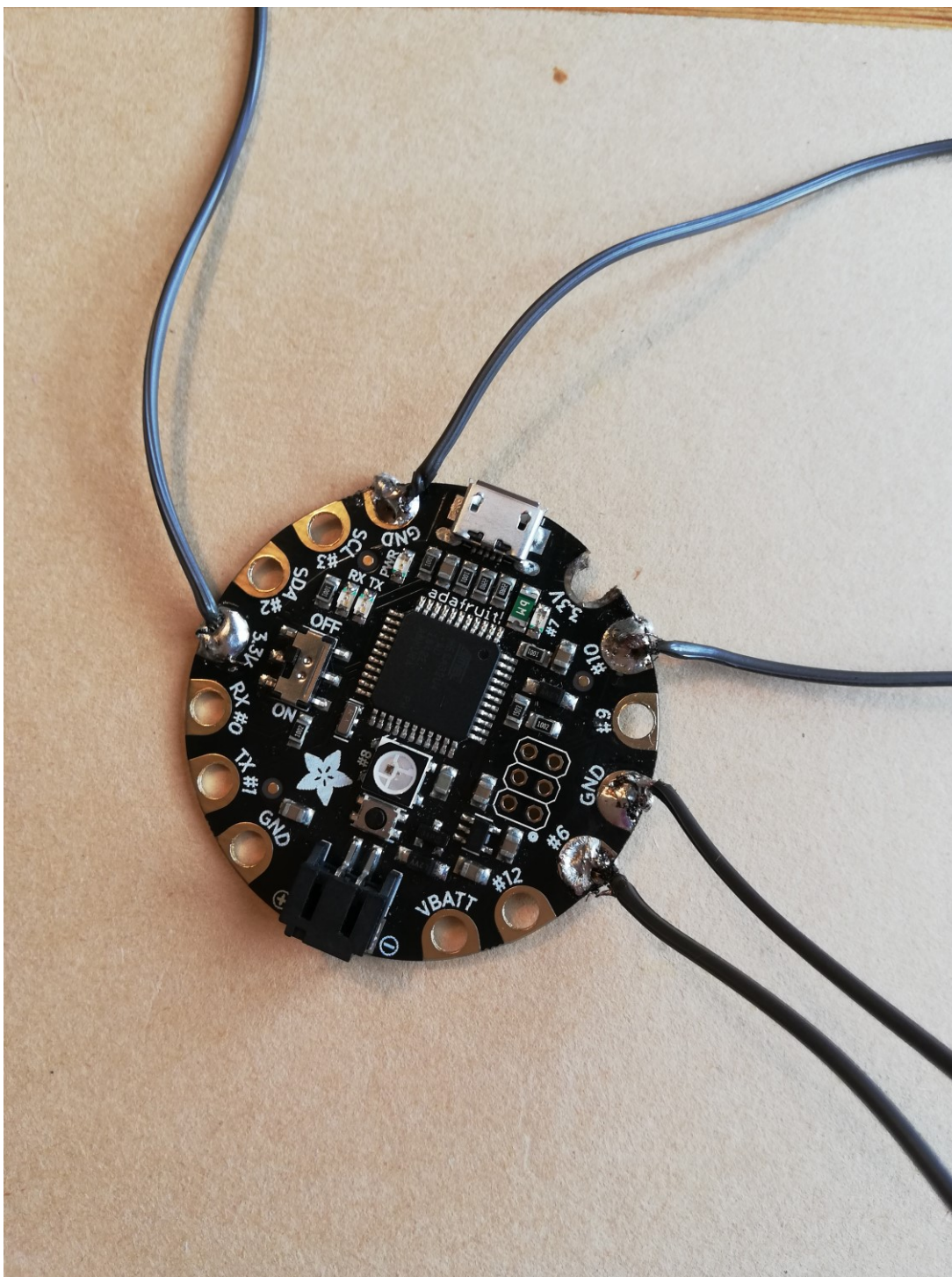
Void setup ja void loop: Arduinon IDE ohjelmassa on void setup ja void loop.

Void setupiin laitetaan ohjelma, joka ajetaan vain kerran.

Void loopiin ajetaan ohjelma, joka toistaa itseään loputtomasti.

PinMode: säätää valitsemasi pinnin ulostuloksi. Arduino lukee tietoa pinnistä joko digitaalista tai analogista.

Koodin latasimme Arduino Floran keskusyksikköön. Koodia ladattaessa täytyi valita oikea portti Arduino IDE:stä, jotta koodi meni perille. Arduino myös "kaatui" usein. Joten tätä koodin vientiä tehtiin usein. Koodin pystyy myös nollaamaan Arduinosta painamalla pientä mustaa reset- nappia.



KUVA 8. Arduinon Flora, kuparilangat liitetty kolvaamalla.

Kokeiluvaiheessa käytimme pikaliittimiä ns. haenleukoja. Vaihdoimme johdot kuitenkin kangasvahvistettuun rasiin kestävämpään kuparijohtoon (L-CPT), joka on tarkoitettu TENS/EMS laitteissa käytettäväksi, johdot muistuttavat korvakuulokkeiden johtoja mutta ovat vahvempia ja liitimme johdot juottamalla kiinni keskusyksikköön.

Kuparilangat on kolvattu kiinni mikrokontrolleriin oikeille paikoille. Tämän jälkeen langat vahvistettiin vielä teipillä. Tuotteen käsiteltävyyden parantamiseksi.



KUVA 9. Venyvyysanturi asetettu kangaskujan sisälle.

Venyvyysanturi laitettiin kangaskujan sisälle, jonka avulla se saatiin ommeltua kiinni sukkaan kaksipäisen pohjelihaksen (gastrocnemius) kohdalle. Sensoriin liitettiin vastus ja anturi liitettiin Arduinoon kohtiin, maa (GND) ja **pinni #10**.

Tarvitsimme prototyyppiä varten tiedon pohkeen ympärystä, sekä siitä mikä vaikutus vuorokauden ajalla ja urheilulla on pohkeen läpimitan kasvamiseen. Tällaista taulukkoa emme valmiiksi löytäneet mistään virallisista lähteistä. Ohessa on keski-ikäisen koehenkilö naisen mittaama taulukko molempien pohkeiden mittoista viikon seurantajakson aikana, myös urheilun jälkeen on oma mitta, koska oletettavasti urheilu vaikuttaa alaraajojen lihaksistoon ja verenkiertoon. Mitta on otettu pohkeen leveimmästä kohdasta tavallisella mittanauhalla.

TAULUKKO 4. Pohkeen mittaukset

O aamu	O ilta	urheilu O/V	V aamu	V ilta	Erot cm.
37,5	38		37	37,5	0,5 /0,5
37,5	38		37	37,5	0,5/0,5
37,5	38	38/37,5	37	37,5	0,5/0,5
37,5	38		37	37,5	0,5/0,5
37,5	38		37	37,5	0,5/0,5
37,5	38	38/37,5	37	37,5	0,5/0,5
37,5	38		37	37,5	0,5/0,5

Taulukosta voi huomata, että pohkeen ympärystämitta laajenee iltaan mennessä normaalioloissakin noin 0,5 senttiä/jalka.

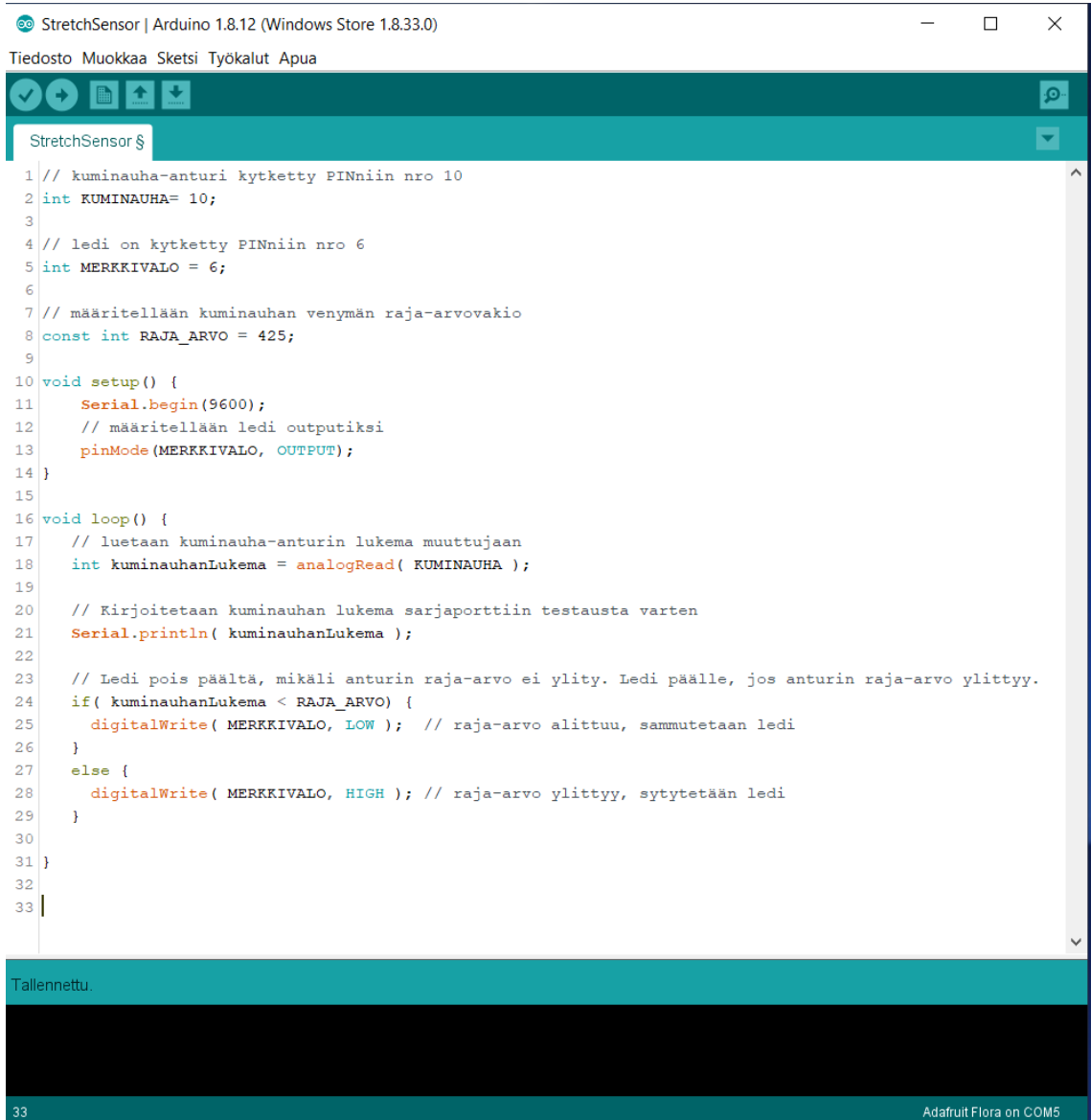
Tämä normaali pohkeen turpoaminen pitää ottaa huomioon venyvyysanturia koodatessa, jotta anturi ei anna virheellisiä hälytyksiä. Anturi asetettaisiin hälyttämään 1cm. pohkeen läpimitan laajenemisesta. Toivottu reaktio saavutettiin. Koekilussa, kuitenkin raja-arvoa asetettiin alemmas, jotta pystyttiin todentamaan, kuinka herkkään prototyyppi pystyy reagoimaan pohkeen läpimitan muutokseen. Kohdehenkilön noustessa varpailleen pohkeen läpimitta kasvaa alle puoli senttiä, jolloin merkkivalo saatiin syttymään. Ja kohdehenkilön rentouttaessa jalan, laite reagoi välittömästi arvon muutoksella ja merkkivalo sammui.



KUVA 10. Arduino Flora sekä venyvyyss anturi kiinnitetty sukkaan.

Kuvassa Arduino Flora on ommeltu sukkaan muutamalla pistolla vapaista pinnipaikoista, venyvyyssanturi on piilossa kujassa ylempänä. Johdot on kiinnitetty kolvaamalla ja suojattu teipillä, jotta kolvaus kestää paremmin. Venyvyyden merkivaloksi asetettu led- valo on vielä kiinnittämättä sukkaan ja se näkyy kuvassa oikealla. Led valo on kiinni pinnissä #9 ja GND.

Valmiissa kokeilussa sukan päälle asetettiin suoja, jotta kaikki johdotukset ja itse Arduino Flora pysyy paremmin paikallaan.



```

StretchSensor | Arduino 1.8.12 (Windows Store 1.8.33.0)
Tiedosto Muokkaa Sketsi Työkalut Apua
StretchSensor $
1 // kuminauha-anturi kytketty PINiin nro 10
2 int KUMINAUHA= 10;
3
4 // ledi on kytketty PINiin nro 6
5 int MERKKIVALO = 6;
6
7 // määritellään kuminauhan venymän raja-arvovakio
8 const int RAJA_ARVO = 425;
9
10 void setup() {
11   Serial.begin(9600);
12   // määritellään ledi outputiksi
13   pinMode(MERKKIVALO, OUTPUT);
14 }
15
16 void loop() {
17   // luetaan kuminauha-anturin lukema muuttujaan
18   int kuminauhanLukema = analogRead( KUMINAUHA );
19
20   // Kirjoitetaan kuminauhan lukema sarjaporttiin testausta varten
21   Serial.println( kuminauhanLukema );
22
23   // Ledi pois päältä, mikäli anturin raja-arvo ei ylity. Ledi päälle, jos anturin raja-arvo ylittyy.
24   if( kuminauhanLukema < RAJA_ARVO ) {
25     digitalWrite( MERKKIVALO, LOW ); // raja-arvo alittuu, sammutetaan ledi
26   }
27   else {
28     digitalWrite( MERKKIVALO, HIGH ); // raja-arvo ylittyy, sytytetään ledi
29   }
30 }
31 }
32
33
Tallennettu.
33 Adafruit Flora on COM5

```

KUVA 11. E-lentosukan koodi

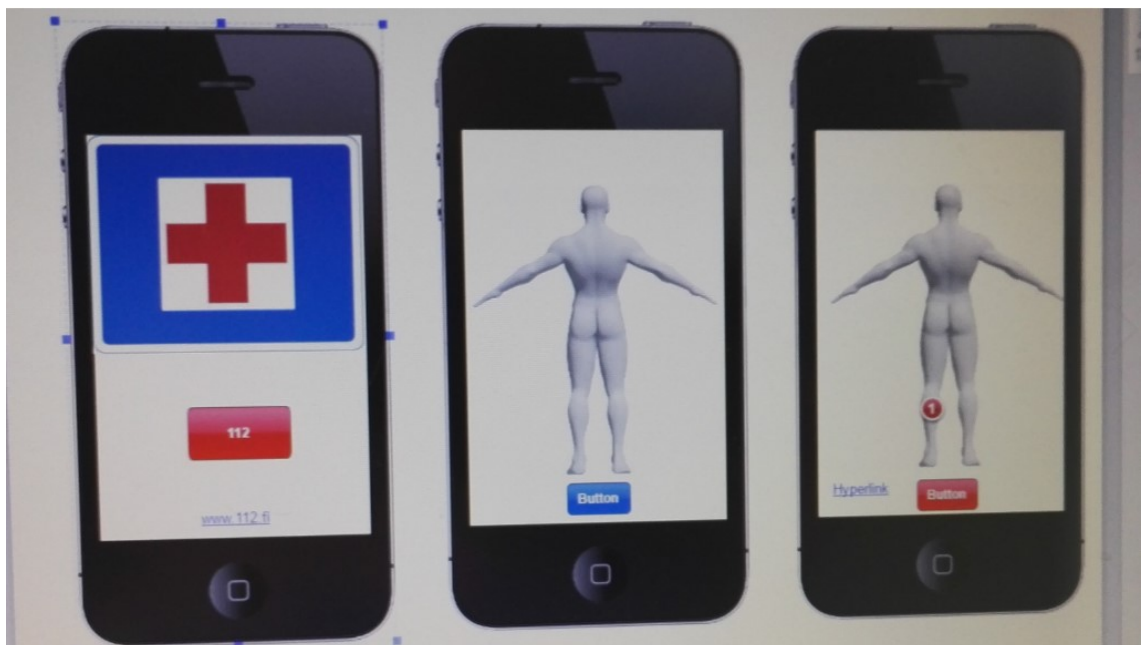
Kuva Arduinoon asennetusta koodista, jossa kuminauha-anturin raja-arvo on säädetty < 425. Led syttyy kirkkaasti. Kuvassa COM3, anturin mittaamaa dataa, tässä huomattiin, että pientä poikkeamaa luvussa on jatkuvasti, koska anturi pääsee liikkumaan sukassa tai sukka liikkuu jalassa.

### 8.3.2 Suunnitelma mobiilisovelluksesta

Alkuperäisessä suunnitelmassa meidän oli tarkoitus tehdä tuotteesta langaton yhteys kannettavaan laitteeseen tai älypuhelimeen. Tästä suunnitelmasta tehtiin hyvin yksinkertainen mobiilisovellussuunnitelma minkälaiselta sovellus voisi näyttää käyttäjälle.

Käytimme suunnittelussa Just in mind työkalua, joka soveltuu hyvin prototyyppien sovellusten käyttöliittymän visuaaliseen suunnitteluun. Sovelluksen ilmainen koikeiluversio on vapaasti saatavilla internetissä osoitteessa. <https://www.justinmind.com/>

Justinmind työkalun avulla suunniteltu yksinkertainen mobiili sovelluksen malli.



KUVA 12. Visuaalinen kuva mobiilisovelluksesta.

Sovelluksen lähtö eli normaalitilanne kuva keskellä. Kaikki on hyvin, eli mitään poikkeamaa asetetussa raja-arvossa ei ole huomattu. Oikeanpuoleinen kuva tilanteesta, jossa anturi on mitannut pohkeen turvotusta vasemmassa jalassa, se voi myös ilmoittaa mikä poikkeama on normaaliin tilanteeseen. Tässä välissä voisi tulla Käypähoiton mukainen oirekysely, jossa sovellus tarkistaisi mahdolliset muut oireet, jotka viittaavat laskimoveritulppaan. Vasemman puoleisessa kuvassa sovellus kehottaa käyttäjää ottamaan yhteyden lähimpään terveyskeskukseen.



Tätä mobiiliyhteyttä emme kuitenkaan tehneet valmiiseen sovellukseen, kokeilimme kuitenkin Bluetooth yhteyden toimivuutta Arduinon kautta. Ja saimme yhteyden toimimaan. Totesimme että aika ei olisi riittänyt mobiilisovelluksen laajempaan suunnitteluun ja valmistamiseen. Tämä voisi olla jatkokehityksen aihe.

## 9 PROTOTYYPIN ARVIOINTI

Prototyyppi on valmistettu kompressiosukkaan. Kuparijohdot on tinattu kiinni Adafruit Floraan juotostinalla, juotoskolvia käyttäen. Johtojen asettelussa on otettu huomioon liitosten suojaaminen. Ja jonkin verran on kiinnitetty myös tuotteen fyysiseen rasitukseen esimerkiksi sukan jalkaan laittaminen rasittaa liitoksia tämän takia kaikki kolvatut kohdat on myös teipattu. Tekemämme koodi on ladattu keskusyksikköön Micro USB-johdon avulla. Koodi on päättymätön ja toistaa itseään niin kauan kuin virtaa riittää, vaihtoehtoisesti koodi voidaan ajoittaa, jolloin virran kestoa voidaan lisätä. Saimme venyvyysensorin reagoimaan venytykseen, laitoimme tähän merkiksi led-valon, joka syttyy, kun sensori venyy. Eli tämä on merkinä, jos pohje turpoaa yli sallitun rajan. Sallittu raja-arvo on 1cm. Sen yli menevä venyvyys antaa hälytyksen eli valo syttyy. Prototyyppi toimii annetun koodin mukaan oikein.

Jätimme Bluetoothin pois valmiista prototyypistä, testasimme kuitenkin sen toimivuuden erikseen. Jätimme pois myös liikeanturin (Accelometer), koska se ei olisi tuonut lisäarvoa tähän prototyyppiin suhteessa työmäärään. Valmiita koodoja ei löydy näihin tarpeisiin. Näiden molempien antureiden koodauksessa oli myös suuria haasteita. Teimme yksinkertaisen mobiilisovellusmallin Just in Mindin avulla, josta oli kuva aiemmin.

Parannettavaa tuotekehitystuotteessa vielä olisi esimerkiksi ompelu ja muut kiinnitys ratkaisut. Teimme liitokset saatavilla olevilla materiaaleilla. Joustavalla langalla ompelu olisi mahdollistanut paremmin toimivan tuotteen ja lisäksi venyvyysanturin tarvitsisi olla leveämpi. Myös ammattitaitoisen tai koneellisen ompelun työnjälki olisi ollut todennäköisesti laadullisesti ja esteettisesti parempaa. Teipin olisi voinut korvata esimerkiksi silikonilla, jolloin liittimetkin olisivat paremmin suojassa käsittelyn aikana.

## 9.1. Jatkosuunnitelmat

Tuote on prototyyppi, eikä se sovellu käytettäväksi sellaisenaan. Tuotetta pitäisi jatkokehittää ja tuotteistaa mm. helppokäyttöiseksi, komponentit pitäisi olla huomaamattomampia ja varmatoimisia. Tälle tuotteelle pitäisi suunnitella kokonaan oma alusta ja liitokset voitaisiin esimerkiksi painaa suoraan kankaaseen tai hyödyntää jo valmiin sukan hopealankoja. Venyvyysanturissa hyödynnettäisiin markkinoilta saatavaa sensorikalvoa, joka jo itsessään sisältää liike, venyvyys antureita tai mahdollisesti kehittää itse vastaava painettu sensorikalvo. Tähän olisi hyvä ottaa mahdollisia asiakkaita mukaan suunniteluun. Pelkästään pohkeen läpimitta yhdistettynä muihin sensoritietoihin voitaisiin saada paljon dataa, josta voitaisiin algoritmeja käyttämällä saada paljon tietoa irti esimerkiksi elimistön tilasta. Olisiko mahdollista havaita mahdollista pohkeen turpoamista edeltävä vaihe syvänlaskimoveritulpan kehityksessä?

Tuotteeseen voitaisiin myös liittää mobiilisovellus, joka antaisi hälytyksen, jos turpoamista jalassa tapahtuu, tai sovellus voisi antaa vinkkejä jalkojen säännölliseen liikuttamiseen.

Tuotetta voisi kehittää myös sairaalan potilaskäyttöön. Usein esim. leikkauksien jälkeen ihmisille voi kehittyä veritulppa vuodelevossa. Tähän voisi kehittää sukat, jotka reagoisivat verenkierron häiriöihin. Näihin voisi laittaa anturit, jotka mittavat muutosta sekä hälyttimen hoitohenkilökunnalle muutoksista. Myös hierovan ominaisuuden, jolla voitaisiin hoitaa ja parantaa alaraajojen verenkiertoa.

Yleiseen käyttöön hierovaa sukkaa voisi myös miettiä, sillä edelleen pitkään paikalla olo aiheuttaa veritulppaa. Veritulpan riski on kuitenkin todellinen etenkin riskiryhmillä. Hierova sukka vaatisi kuitenkin lisää tuotekehittelyä ja jatkotutkimuksia minkälaisia tuloksia sillä voitaisiin saavuttaa verraten esim. kompressiotuotteisiin, jotka puristavat, mutta eivät hiero lihasta.

Tuotteeseen voitaisiin yhdistää myös muita antureita esim. kompassi, jolloin se toimisi paikantimena. Tuotetta voitaisiin kehittää myös eläinten hyvinvointiin, esim. hevosille jänne ja niveloireiden havainnoimiseen. Tuotteelle ei ole jatkosuunnitelmia, ainakaan tässä vaiheessa.

## 10 POHDINTA

Halusimme luoda jotain uutta ja samalla kokeilla out-of-the-box ajattelua. Meitä kiinnosti erilaisten rajapintojen yhdistäminen täysin uudella tavalla. Meidän koulustaustamme on sairaanhoidollinen ja tekniikan puolelta. Halusimme yhdistää näitä asioita myös opinnäytetyössämme. Aluksi meillä oli useita ideoita, päätimme kuitenkin lähteä tekemään opinnäytetyötä e-lentosukasta.

Opinnäytetyön aihe osoittautui ajankohtaiseksi. Tutustuimme Saksassa Medica messuilla älyvaatteisiin. Älyvaatepuolen kehittämisessä on edelleen valtavasti mahdollisuuksia.

Aloitimme opinnäytetyön aiheeseen perehtymisen keväällä 2018. Pohjatietämyksemme sulautetuista järjestelmistä oli heikko. Kävimme kesällä 2018 keskusteluja älyvaatteista ja Suomessa käynnissä olevista tutkimushankkeista eri ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen tutkijoiden kuin myös yritysjohtajien kanssa. Tämä auttoi meitä saamaan todenmukaisen kuvan alan nykytilanteesta Suomessa. Lisäksi luimme sulautetusta elektroniikasta peruskirjallisuutta sekä tilasimme ensimmäiset Arduino mallit kokeiluun prototyyppiä varten. Arduinoon tutustuminen vei myös aikaa, koska koodauskokemusta meillä ei kummallakaan ollut entuudestaan.

Kirjallisuuskatsauksessa perehdyimme sulautettuihin järjestelmiin, syvälaskimoveritulppaan, lentosukkaan, tuotekehitykseen. Lentomatokustuksen aiheuttamiin syvälaskimoveritukoksiin liittyviä tutkimuksia oli tehty muutama, jotka ovat jo aika vanhoja. Syvälaskimoveritukos voi kuitenkin tulla muissakin olosuhteissa. Keskustelimme myös akuuttihoidon erikoislääkärin kanssa tuotteesta, hänen mielestään idea oli toimiva, vaikka missään tapauksessa mikään tekninen tuote ei ole täydellinen. Vaikka tätä keksintöä ei ole suunniteltu lääkinnälliseksi laitteeksi tämä olisi kuitenkin yksi askel parempaan suuntaan. Potilas ymmärtäisi hakeutua ajoissa lääkäriin tarkempaan tutkimukseen, huomattaessaan jonkun olevan vialla. Tämmöistä laitetta ei ole tällä hetkellä olemassa, joka tunnistaisi välivaiheen syvälaskimoveritukoksen kehittämisessä.

Vertailimme teknilliseen toteutukseen soveltuvia tuotteita. Näistä Arduino vaikutti meistä parhaimmalta sen vapaan lähdekoodin ansiosta. Arduinoon on saatavilla useita koodimalleja eri käyttötarkoituksiin sekä tutorial- videoita. Nämä kuitenkin eivät suoraan käyneet tähän opinnäytetyöhön vaan meidän piti soveltaa ja muokata näistä sopiva koodi. Arduinoa on käytetty myös laajasti erilaisten prototyyppien valmistamisessa.

Parityössä aikataulujen yhteensovittamisessa oli vaikeuksia, työn etenemisen kannalta oli kuitenkin välillä mietittävä ja tehtävä asioita yhdessä. Haasteista huolimatta opinnäytetyön tekemisessä on ollut myös positiivisia puolia. Yhteistyömme oli avartavaa, yhdessä ideoita syntyi enemmän ja erilaisista lähtökohdista on ollut hyötyä. Erilaiset ajattelutavat ovat tuoneet asioiden tarkasteluun uusia näkökantoja ja idearikkaita keskusteluja.

Vaikka prototyyppi on yksinkertainen, sen takana on valtava määrä pohdintaa ja asioita on pitänyt miettiä eri tavalla. Hyvä keksintö on yksinkertainen ja sen käytettävyys on hyvä. Kyseessä on keksintö ja sen prototyyppi. Tuotteen jatko tuotekehitystä varten, olemme miettineet asioita monelta kannalta. Tämän opinnäytetyön pohtimiseen on käytetty valtava määrä aikaa. Tämä näkyvä tekninen osuus on pieni osa tuotekehityksen kokonaisuutta.

Tällä hetkellä useimmat ei lääkinälliset laitteet esimerkiksi älysormukset, älykellot mittaavat kahta tai kolmea arvoa esim. Lämpö, syke, liike, ihonresistanssi ja näistä laskettavilla algoritmeilla tuote antaa dataa käyttäjälleen. Näille laitteille on yhteistä se että, ne eivät täytä lääkinällisten laitteiden kriteerejä siihen syynä on liian monta muuttujaa kuten algoritmit, käytettävät komponentit, mittaustavat, erilaiset henkilöt heidän taustansa. Useimmat eivät näistä tavoittele lääkinälliseksi laitteeksi tuloa, vaan toimivat informatiivisina laitteina käyttäjilleen.

Kuinka tätä tuotekehitys tuotetta voisi vielä kehittää ennakoivaan terveydenhuoltoon? Voitaisiin esimerkiksi mitata liikeaktiivisuutta ja askelpituutta. Näillä voitaisiin saada jo varhaisessa vaiheessa merkkejä, että riski laskimoveritulppaan on olemassa. Muuta anturimitattavaa dataa voitaisiin saada Esim. Liikeak-

tivaatioon, lihasten aktivaatioon, syke, ihon resistanssi, lämpö. Tätä tietoa voidaan myös yhdistää esimerkiksi softakyselyn perusteella tehtäviin kysymyksiin, näitä data tietojen yhdistämällä voidaan nähdä aiemmin laskimoveritulpan riski.

Kehosta voidaan mitata antureilla erilaista dataa, tätä tietoa voitaisiin jo nykytekniikalla yhdistää esimerkiksi henkilön geeniperimään ja huomioimalla mahdolliset riskigeenit. Tämänkaltaisilla dataa yhdistävillä mittalaitteilla tai tekoälyllä olisi nykyterveydenhoidossa mullistava vaikutus ennaltaehkäisyyn, sairauksien havaitsemiseen sekä parempaan sairaudenhoitoon.

Tällä hetkellä länsimainen terveydenhoito perustuu lähinnä sairaudenhoitoon. Meillä on jatkuvasti saatavilla valtava määrä dataa, jota saadaan henkilöiden liikunnasta, ravinnosta, geeneistä, kehon toiminnoista ja muusta elämästä. Näitä tietoja käyttämällä yhdessä anturitekniikalla saatavan datan kanssa voitaisiin tekoälyn avulla tulkita anturidataa ja laskea todennäköisyyksiä sairauksien syntyemisessä. Tällä hetkellä geenitutkimus on edistynyt ja edistyy harppauksin eteenpäin, saadaan tietoa henkilöiden geeniperimästä ja riskigeeneistä. Hyvät geenit, olisi myös mahdollisuus, yhdessä anturitekniikasta saatavan ja muun saatavilla olevan datan kanssa näillä tiedoilla voisi kehittää esimerkiksi kehoa toimimaan optimaalisesti, joka puolestaan parantaisi ihmisten hyvinvointia.

## LÄHTEET

Anturi monitoroi aivotärähdyksiä. Elektroniikkalehti. Technical articles 24.9.2013  
Luettu 19.5.2020. <https://etn.fi/index.php/tekniset-artikkelit/13-news/405-anturi-monitoroi-aivotarahdyksia>

Adafruit Flora. Luettu 8.5.2020. <https://learn.adafruit.com/getting-started-with-flora>

Adafruit product 519. n.d. Luettu 24.11.2018. <https://www.adafruit.com/product/519>

Alkio, M. 2012. Terveysteknologia- ja lääketutkimus Suomen kasvun tukijal-  
kana. TEM raportteja 33/2012. Työ- ja elinkeinoministeriö.

Barela, M. 2018. Getting Started with Adafruit Circuit Playground Express. Ma-  
ker Media.

Blinnikka, K. 2016. Arduino tutuksi. Luma-keskus Suomi. Luettu 23.01.2019.  
[https://junior.aalto.fi/wp-content/uploads/2018/06/arduino\\_tutuksi\\_09\\_2016.pdf](https://junior.aalto.fi/wp-content/uploads/2018/06/arduino_tutuksi_09_2016.pdf)

Laskimoveritulppien ehkäisy pitkällä lentomatkoilla. David linvigstone-seura The  
Finnish Society for International Health. Matkalääkätieteen jaos 8.1.2013/  
www.fsih.fi Luettu 8.5.2020. [http://www.fsih.fi/wp-content/uploads/2016/10/Laskimoveritulppien\\_ehka%CC%88isy\\_pitkilla%CC%88\\_lentomatkoilla\\_8.1.2013.pdf](http://www.fsih.fi/wp-content/uploads/2016/10/Laskimoveritulppien_ehka%CC%88isy_pitkilla%CC%88_lentomatkoilla_8.1.2013.pdf)

Forciot Oy Luettu 19.5.2020. <https://www.forciot.com/technology-and-services/sports/>

Hassi, L, Paju, S, Maila, R. 2015. Kehitä kokeillen. Alma Talent Oy. Sähköinen  
kirja.

Adafruit product 519. n.d. Luettu 24.11.2018. <https://www.adafruit.com/product/519>

Heikkinen, S & Saarenpää, A. Koodi on kaikkialla- lyhyt johdatus ohjelmoinnin  
maailmaan. yle.fi Artikkelit. Saatavissa: Luettu:17.4.2020. <https://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/09/17/koodi-kaikkialla-lyhyt-johdatus-ohjelmoinnin-maailmaan>.

Heinonen, H & Lassila, R. Laskimotukoksen ehkäisy. Matkailijan terveysopas.  
12.9.2013 Duodecim. Artikkelin tunnus: mat00187 (001.004)

How-to-use-the-Adafruit-Flora-board-Arduino-Tutori. Luettu 24.11.2018.  
<https://www.instructables.com/id/How-to-use-the-Adafruit-Flora-board-Arduino-Tutori/> n.d.

Hyödyllisyysmallin ABC. Patentti- ja rekisteri hallitus. päivitetty 11.06.2019. Lu-  
ettu 17.04.2020. <https://www.prh.fi/fi/hyodyllisyysmallit/hyodyllisyysmallinabc.html>

Hyödyllisyysmalliopus. 2018. Patentti- ja rekisterihallitus. Helsinki. Luettu 25.04.2019. <https://www.prh.fi/stc/attachments/patentinliitteet/hmopas.pdf>

Idänpään-Heikkilä, J. 2002. Lentomatikustajan laskimotukosriski. Lääkärilehti. 19.7.2002. Luettu 20.2.2019. <https://www.laakarilehti.fi/ajassa/paakirjoitukset/lentomatikustajan-laskimotukos-riski/>

Ilmarinen, V, Koskela K. 2015. Digitalisaatio Yritysjohdon käsikirja. Talentum. Helsinki.

Kankkunen, R. Seppänen, S. Hjerpe, A. Suomen Haavanhoitoyhdistys ry. 2005. Kompresiohoito. Suomenkielinen käännös alkuperäisestä julkaisusta EWMA-Position Document Understanding Compression therapy. Luettu 12.04.2019 <https://docplayer.fi/3786959-Suomenkielinen-kaannos-alkuperaisesta-julkaisusta-ewma-position-document-understanding-compression-therapy.html>

Kantoniemi, R. 2017. Johdatus Arduinoon ja elektroniikkaan. Hacklab Kouvola ry. Luettu:3.10.2019. [http://lapatapola.com/data/documents/Alkeiskurssi\\_v\\_3\\_1.pdf](http://lapatapola.com/data/documents/Alkeiskurssi_v_3_1.pdf)

Kettunen, R. 2018. Laskimotukos. Lääkärikirja Duodecim. Luettu 24.01.2019

Koskinen, J. 2006. Mikrotietokonetekniikka: Sulautetut järjestelmät. Helsinki. Otava.

Knuutila, A. "Eteenpäin meneminen on ongelmien ratkomista" Luettu 19.5.2020. <https://www.tampereenkauppakamarilehti.fi/kauppakamarilehti/eteenpain-meneminen-on-ongelmien-ratkomista-444>

Kraaijenhagen RA, Haverkamp, D, Koopman MM, Prandoni P, Piovelia F, Büller HR. Travel and risk of venous thrombosis. Lancet 2000. 356:1492-3 US National Library of Medicine National Institutes of Health. Luettu 24.01.2019

Lehtonen, Tuomivaara, Rantala, Käsälä, Mäkilä, Jokela, Könnölä, Kaisti, Suomi, Isomäki & Ylitolva. 2014. Sulautettujen järjestelmien ketterä käsikirja. n.d. Turun yliopisto, Työterveyslaitos ja TEKES. Turku: Painosalama Oy. Luettu 24.1.2019. [https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/99142/Sulautettujen\\_jarjestelmien\\_kettera\\_kasikirja\\_Painos1.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.utupub.fi/bitstream/handle/10024/99142/Sulautettujen_jarjestelmien_kettera_kasikirja_Painos1.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Liikeantureita ja uusinta IoT-tekniikkaa työvaatteisiin. Uutinen 15.4.2020. Uusiteknologia.fi Luettu 16.4.2020 <https://www.uusiteknologia.fi/2020/04/15/liikeantureita-ja-uusinta-iot-tekniikkaa-tyovaatteisiin/>

McCann, Bryson. 2009. Smart clothes and wearable technology. Woodhead Publishing in textiles The Textile Institute 2009.

Mendis, S, Yach D, Alwan A. 2002. Air travel and venous thromboembolism. Bulletin World Health Organization 2002;80:403-6

Merilehto, A. Tekoäly. Alma Talent. Helsinki



Ojasalo, K, Moilanen, T. & Ritalahti, J. 2009. Kehittämistyön menetelmät: Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. (2.painos 2010.). Helsinki: WSOY pro Oy

Oksanen, P.2013. Lentomatka ja terveys. Lääkärikirja Duodecim. Luettu 24.1.2019

Oura Sormus <https://ouraring.com/meet-oura>

Patrik, M. 2020. Puettava laite vaatii paljon tehonhallintaa. Elektroniikkalehti. Tekninen artikkeli. 15.1.2020. Luettu 8.5.2020. <https://etn.fi/index.php/tekniset-artikkelit/10312-puettava-laite-vaatii-paljon-tehohallinnalta>

PRH Patenttiopas. Patentti- ja rekisterihallitus. 2018. Helsinki Luettu 25.04.2019. <https://www.prh.fi/stc/attachments/patentti/luettelo/Patenttiopas.pdf>

Raunio, H. 2015. Puettava teknologia mullistaa terveydenhuollon. Tekniikka & Talous 28.9.2015. Luettu: 16.4.2020. <https://www-tekniikkatalous-fi.libproxy.tuni.fi/uutiset/puettava-teknologia-mullistaa-terveydenhuollon/283c26c5-c152-3397-89ea-2b173ec36a02>

Saarikoski, R. 22.12.2016. Lääkinnälliset hoitosukat. Terveet jalat. Duodecim Terveyskirjasto. Artikkelin tunnus: tju00260(007.040) Kustannus Oy Duodecim. Luettu 15.5.2020. [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=tju00260](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=tju00260)

Saarikoski, R. 22.12.2016. Tukisukat. Terveet jalat 2016. Duodecim. Terveyskirjasto. Artikkelin tunnus: tju00259 (007.035) Luettu 15.5.2020. [https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p\\_artikkeli=tju00259](https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=tju00259)

Scurr, JH, Machin, S, Bailey-King, S, Mackie, J, McDonald, S, Smith, P. 2001. Frequency and prevention of symptomless deep-vein thrombosis in long-haul flight: a randomized trial. Lancet 2001;357:1485-8. US National Library of Medicine National Institutes of Health. Luettu 24.02.2019

Stern, B. & Cooper, T. 2015. Getting Started with Adafruit FLORA. Maker Media, Inc.

Sinisalo, J. Pinnallinen laskimotulehdus. 2010. Lääketieteellinen aikakausikirja Duodecim. Suomalainen lääkäriseura Duodecim. Artikkelin tunnus: duo99020(099.020). Luettu 24.1.2019. <https://www.duodecimlehti.fi/duo99020>

Sulautetut järjestelmät. Luettu 8.5.2020. [http://www2.amk.fi/mater/tietotekniikka/sulautetut\\_jarj/files/AVR/materiaali\\_johdanto.html](http://www2.amk.fi/mater/tietotekniikka/sulautetut_jarj/files/AVR/materiaali_johdanto.html)

Kankkunen, R. Seppänen, S. Hjerpe, A. Suomen Haavanhoitoyhdistys ry. 2005. Kompressiohoito. Suomenkielinen käännös alkuperäisestä julkaisusta EWMA-Position Document Understanding Compression therapy. Luettu 12.04.2019 <https://docplayer.fi/3786959-Suomenkielinen-kaannos-alkuperaisesta-julkaisusta-ewma-position-document-understanding-compression-therapy.html>

Villanen, J. 2016. Tuotteista tähtituotteita. Kauppakamari, e-kirja. kauppakamari tieto.

Virrantaus, O. & Väyrynen, P. 2016. Alaraajan verisuonitus. Duodecim Oppiportti. Artikkelin tunnus: jtr00126(005.060) Kustannus Oy Duodecim. Luettu 18.09.2019

Väyrynen, P. 2016. Jalkaterän toimintaan vaikuttavat lihakset. Duodecim Oppiportti. Artikkelin tunnus: jtr00119 (005.035) Kustannus Oy Duodecim. Luettu 18.09.2019

Yle uutiset puoli seitsemän 9.9.2019 Oululaisinsinöörien jackpot: Tekniikan näpertely sormuksen sisään kannatti Oura-sormus kiinnostaa ympäri maailmaa. Luettu 16.4.2020. <https://yle.fi/uutiset/3-10954247>

LadyAda [https://www.youtube.com/results?search\\_query=ladyada](https://www.youtube.com/results?search_query=ladyada)

Adafruit Industries <https://www.youtube.com/user/adafruit/about>

<https://www.justinmind.com/>

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

## LIITTEET

## Liite 1

Käytetyt hakusanat syksy 2018 ja kevät 2019

Sanasto	Käsite 1	Käsite 2	Käsite 3
ARTO	Anturitekniikka NOT teollisuus	sulautetut järjestelmät, embedded system	arduino, arduino projekti, arduino projects,
MeSH, FinMeSH	veritulppa	laskimoveritulppa	Pinnallinen veritulppa
Melinda	puettava elektronikka, wearable electronics	tuotekehitys prosessi	tuotekehitysprojekti
EBSCO	sensor technology	wearable sensor	sensor clothes
Medic	embolism	venous thrombosis	superficial blood clot
TAMK KIRJASTO	älyvaate, smart textil/garment/clothing  tuotesuunnittelu, prototyyppi, tuotekehitys	älykäs tekstiili, antuotekehitys, product intelligent clothing development	

pvm.	Tietolähde	Hakusanat	Rajaukset	Tulos kpl	Arviointi
16.11.2018	Academic Search Premier (Ebsco)	arduino AND C++,  microcontrollers AND bluetooth  Arduino AND wearable	2010-2018, english	10  20  11	Erilaisia Arduino projekteja mm. robotiikkaan ja analysointiin liittyen. ei mitään käyttökelpoista.

22.1.2019	Tamk Finna: Sa- fari	getting started with Adafruit		1	Getting Started with Adafruit Cir- cuit Playground Express
16.11.2018	Käypähoito	syvä laskimo- tukos, pinta laskimotukos, veritulppa			ajankohtaisia läh- teitä veritulppaan
16.11.2018	Doria	Arduino	ei ra- jauksia	5	1.kandidaatin tut- kielma, Paakkala Jalmari 2013, kaupallisten kom- ponenttienkäyttö taktisen tieduste- lulennokin raken- tamisessa. tämä tutkimus lähinnä arduinoa, mutta kuitenkaan mi- kään lähde ei ole käyttökelpoinen.
4.1.2018	TAMK kir- jasto	sulautettu tie- totekniikka	ei ra- jauksia.	78	muutama hyvä perustason kirja sulautetuista jär- jestelmistä, sekä muutama opin- näytetyö erilai- sista projekteista. kirja: Sulautetut järjestelmät
4.1.2018	Arto	Arduino	kaikki aineisto	15	1. hyvä Arduino tutuksi, Blinnikka, Kyösti 2017.

24.1.2019	Terveyskirjasto.fi	Pinnallinen laskimo	ei rajoitusta		useita hyviä lähteitä
24.1.2019	Duodecim	pinnallinen laskimo	ei rajoitusta	22 artikkeleita	kaikki liittyvät aiheeseen
24.1.2019	GoogleScholar	tukisukka	v.2015 alkaen	116	tutkimuksia tukisukan käytöstä
24.1.2019	käypähoito	tukisukka kompresio sukka luokitus	2014	1	hoitopaineluokat taulukko
24.1.2019	Melinda	tuotekehitys AND prosessi	2015-2019	6	ei mitään sopivaa
24.1.2019	Arto	tuotekehitys AND prosessi	suomi	8	ei mitään sopivaa

## Liite 2

Haastatteluissa esitetyt kysymykset:

Haastattelut toteutettiin sähköpostitse, puhelimitse sekä henkilökohtaisilla tapauksilla. Haastattelut olivat vapaamuotoisia ja kysymykset esitettiin aihealueeseen liittyen henkilön toimenkuva ja ammatti huomioon ottaen.

Haastatteluihin vastanneet henkilöt olivat ammattinimikkeiltään älyvaateyrityksen toimitusjohtaja, lääkäri, erikoislääkäri, Euroopan patenttiasiamies, yliopiston tutkija-professori, tutkija, sekä diplomi-insinööri.

Minkälaisia mahdollisuuksia näet tulevaisuudessa älyvaatemarkkinoilla?

Mihin suuntaan alan kehitys on mennyt viime vuosina?

Mitkä ovat johtavat maat alan kehityksessä?

Mikä on keksintö?

Milloin tuote kannattaa patentoida?

Olisiko tämän opinnäytetyön aiheena olevalla tuotteella käyttöä sairaanhoidossa?

Mitkä ovat laskimoveritulpan diagnostiset kriteerit?

Miten todetaan laskimoveritulppa käytännössä?

Mitä mieltä olet e-lentosukka tuotekehitys ideasta?

Soveltuuko Arduinon tekniikka käytettäväksi tämänkaltaisessa tuotekehitystyössä?