

Eeva Ylimäki

URHEILUKELLOJÄRJESTELMIEN OMINAISUUDET JA HAASTEET

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastajat: Pia Niemelä
Toukokuu 2020

TIIVISTELMÄ

Eeva Ylimäki: Urheilukellojärjestelmien ominaisuudet ja haasteet

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tietotekniikka

Toukokuu 2020

Urheilukellojen suosio on ollut jatkuvassa kasvussa. Urheilukelloilla on ominaisuuksia nykypäivänä paljon ja kelloja on kehitetty toimimaan yhdessä muiden teknologioiden kanssa. Tässä työssä selvitetään kirjallisuuslähteiden avulla, millaisia urheilukellojärjestelmiä nykypäivänä on, miten ne toimivat, millaisia ominaisuuksia kelloilta löytyy ja mitä ominaisuuksia niiltä vaaditaan. Lisäksi on pohdittu ja analysoitu kellojen teknologiaan ja valmistamiseen liittyviä rajoitteita ja haasteita. Tavoitteena on, että lukija ymmärtää perusperiaatteet urheilukellojen toiminnasta, sekä niiden ominaisuudet, vaatimukset, ongelmat ja rajoitteet.

Urheilukelloilla tarkoitetaan ranteeseen puettavia, kannettavia järjestelmiä, joilla on kyky mitata ajan lisäksi käyttäjän aktiivisuutta tai erilaisia urheilusuorituksia. Työ jakaantuu kolmeen osaan. Aluksi pohjustetaan lukijalle yleisesti urheilukellojen toimintaa, toimintaympäristöjä ja käyttötarkeituuksia. Tarkoituksena on johdattaa lukija urheilukellojen toimintaan. Tämän jälkeen pohditaan, millaisia ominaisuuksia ja vaatimuksia urheilukelloilla on. Lopuksi kerrotaan, millaisia haasteita ja rajoitteita nykypäivänä urheilukelloilla on niiden toiminnassa. Työssä keskitytään urheilusuorituksen, aktiivisuuden ja levon mittaamiseen tarkoitettuihin kelloihin ja muut näkökulmat on jätetty pois. Työn ulkopuolelle on jätetty muunlaiset ranteisiin puettavat teknologiat, kuten aktiivisuusrannekkeet.

Työn loppupäätelmänä on, että urheilukellon suurimmat haasteet ja rajoitteet liittyvät järjestelmien epäideaaliseen toimintaan, ihminen–teknologia-rajapintaan, sekä hyvin vaativiin käyttöolosuhteisiin. Kellojen valmistaminen vaatii käyttäjäkeskeistä suunnittelua, sekä ymmärrystä erilaisista teknologioista, sensoreista, algoritmeista ja datan analysoinnista. Valmistajien täytyy tietää käyttäjien tarpeet, sekä teknologioiden sopivuus erilaisiin käyttötarkoituksiin ja -ympäristöihin. Urheilukellojen mittaukseen liittyvät epätarkkuudet ja muut tekniset rajoitteet aiheuttavat epäideaalisen toiminnan, jolloin ei voida koskaan saavuttaa täysin luotettavia tuloksia käyttäjille. Urheilukellot ovat hyvä suuntaa antava apuväline oman urheilun ja levon seurannassa, mutta niiden antamaan dataan olisi käyttäjien hyvä suhtautua kriittisesti.

Avainsanat: urheilukellot, urheilujärjestelmät, puettavat järjestelmät, urheiluteknologiat

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Eeva Ylimäki: Different features and challenges of sport watch systems
Bachelor of Science Thesis
Tampere University
Information technology
May 2020

The popularity of sports watches has been growing steadily. Sports watches have a lot of features today and watches have been developed to work with other technologies. In this work, we use literature sources to find out what kind of sports watch systems there are today, how they work, what features can be found in watches and what features are required. Also limitations and challenges associated with watch technology and manufacturing have been considered and analyzed. The aim is for the reader to understand the basic principles of the operation of sports watches, as well as their features, requirements, problems and limitations.

Sports watches refer to wrist-worn, wearable systems that have the ability to measure not only time but also user activity or various sports activities. The work is divided into three parts. First the operation, operating environments and uses of sports watches are introduced. The purpose is to introduce the reader to the operation of sports watches. This is followed by a discussion of the features and requirements of sports watches. Finally, it describes the challenges and limitations that of sports watches have today. The work focuses on watches that measures sports performance, activity and rest, and other aspects have been left out. Other types of wrist-worn technologies, such as activity bracelets, have been excluded from the work.

The final conclusion of the work is that the biggest challenges and limitations of the sports watch are related to the non-ideal operation of the systems, the human-technology interface, and the very demanding operating conditions. Manufacturing of watches requires user-centre design, as well as an understanding of different technologies, sensors, algorithms, and data analysis. Manufacturers need to know the needs of users, as well as the suitability of technologies for different uses and environments. Inaccuracies and other technical limitations in the measurement of sports watches cause non-ideal operation, in which case completely reliable results for users can never be achieved. Sports watches are a good guiding tool for monitoring your own sports and rest, but it would be good for users to be critical of the data they provide.

Keywords: Sport watches, Sport systems, Wearable systems, Sport technologies

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	Johdanto	1
2.	Urheilukellojärjestelmät	2
2.1	Käyttötarkoitukset	2
2.2	Käyttäjät	2
2.3	Toimintaympäristöt	3
2.4	Tekninen toiminta.	3
3.	Järjestelmäominaisuudet	6
3.1	Tiedonsiirto	6
3.2	Puettavuus ja kustomointi	7
3.3	Aktiivisuuden ja levon mittaus	8
3.4	Kestävä runko ja pakkaus	9
3.5	Vähäinen energian ja muistin kulutus	9
3.6	Ihmiskeskeisyys ja käytettävyys	10
4.	Rajoitteet ja haasteet	12
5.	Yhteenveto	15
	Lähteet	17

1. JOHDANTO

Ennen kannettavia mittauslaitteistoja urheilijoiden suoritusta mitattiin laboratorioissa kal-
liilla ohjelmistoilla ja laitteistoilla. Hintavat laboratorio-olosuhteet aiheuttivat rajallisen da-
tan keräämisen [1]. Suuret rahalliset investoinnit urheiluteknologioihin ja nopeasti kehitty-
vän teknologian mukanaan tuomat mikrosensorit ovat mahdollistaneet halvempia ja ke-
vyempiä laitteistoja, joita voidaan hyödyntää urheilijan ja tavallisten ihmisten päivittäises-
sä harjoituksessa ja elämässä [2].

Urheilukellojen suosio on ollut jatkuvassa kasvussa. Urheilukelloilla on ominaisuuksia ny-
kypäivänä paljon, ja kelloja on kehitetty toimimaan yhdessä muiden teknologioiden kans-
sa. Kuluttajan onkin hyvä olla tietoinen siitä, millaiset ominaisuudet vastaavat juuri hänen
tarpeitaan.

Käytössä olevat teknologiat, urheilukellojen kovat käyttöolosuhteet ja ihminen–teknologia-
rajapinta aiheuttavat kellojen toiminnalle paljon erilaisia haasteita. Tämän työn tarkoituk-
sena on kirjallisuuslähteiden avulla selvittää, millaisia urheilukellojärjestelmiä nykypäivä-
nä on, miten ne toimiva ja millaisia ominaisuuksia niiltä löytyy. Lisäksi pohditaan ja ana-
lysoidaan kellojen tekniikkaan ja toimintaan liittyviä haasteita. Tavoitteena on, että lukija
ymmärtää perusperiaatteet urheilukellojen toiminnasta, ominaisuudet, vaatimukset, on-
gelmat ja rajoitteet.

Työssä keskitytään kelloihin, jotka on suunniteltu urheilusuorituksien ja levon mittaami-
seen ja arvioimiseen. Työn ulkopuolelle on jätetty muunlaiset ranteisiin puettavat teknolo-
giat kuten aktiivisuusrannekkeet.

Luvussa 2 pohjustetaan lukijalle yleisesti urheilukellojen toimintaa ja käyttötarkoituksia.
Luvussa 3 esitellään urheilukellojen erilaisia ominaisuuksia ja vaatimuksia. Luvussa 4
käsitellään urheilukellojen toimintaan liittyviä rajoitteita ja haasteita. Luvussa 5 esitellään
työn yhteenveto.

2. URHEILUKELLOJÄRJESTELMÄT

Tässä luvussa pohjustetaan lukijalle tarvittavat esitiedot työn ymmärtämiseksi sekä esitellään urheilukellojen toimintaa ja käyttötarkoitusta. Luvussa määritellään urheilukellon käsite tässä työssä sekä esitellään toimintaympäristöä ja teknistä toimintaa.

2.1 Käyttötarkoitukset

Urheilukelloilla tarkoitetaan ranteeseen puettavia, kannettavia järjestelmiä, joilla on kyky mitata ajan lisäksi käyttäjän aktiivisuutta tai erilaisia urheilusuorituksia. Tämän käyttötarkoituksen lisäksi samankaltaisia järjestelmiä voidaan hyödyntää myös muissa käyttötarkoituksissa, kuten hoitotyössä ihmisten terveydentilan arvioinnissa [3] tai sykkeen tarkailuun terveydellisistä syistä [4].

Cosoli et al. [3] esittelevät erilaisia urheilukelloja, niiden käyttötarkoituksia ja ominaisuuksia. Käyttötarkoitusten määrittäminen ja tunnistaminen vaikuttaakin suoraan siihen, millaisia ominaisuuksia kelloilla tulisi olla. Voidaan havaita, että yleisin käyttötarkoitus urheilukelloilla on liikuntasuorituksien mittaaminen ja arviointi. Tämä puolestaan mahdollistaa käyttäjille omien urheilusuorituksien parantamisen [5]. Lisäksi urheilukelloja hyödynnetään unen levon määrän ja laadun analysoinnissa sekä energiakulutuksen arvioimisessa. Jotkin urheilukellot on suunniteltu toimimaan toisten järjestelmien, kuten tietokoneen tai sykevyön kanssa. Kuvassa 2.1. on esitetty kahden eri valmistajan urheilukelloja.

Kellojen ominaisuuksia ja vaatimuksia käsitellään tarkemmin luvussa 3. Voidaan päätellä urheilukellon käyttötarkoituksen liittyvän suurimmalta osin oman harjoituksen ja levon intensiteetin mittaamiseen ja analysointiin. On hyvä myös tunnistaa urheilukellojen mahdolliset käyttötarkoitukset toisaalla. Kuitenkin, liian moneen käyttötarkoitukseen vastaaaminen lisää ominaisuuksien määrää ja tekee järjestelmästä monesti liian monimutkaisen, sekä vaikean hallita ja käyttää [6].

2.2 Käyttäjät

Urheilukelloja valmistetaan kuluttajille jotka haluavat mitata omaa liikkumistaan. Urheilukellot sopivat erilaisille käyttäjille ja eritasoisille urheilijoille. Käyttäjän iän ja harjoitteluiheyden voidaan katsoa tuovan suurimpia eroja urheilukellojen käytössä. Esimerkiksi



Kuva 2.1. Kuva kahden eri valmistajan urheilukellosta [7][8].

juoksijoiden keskuudessa urheilukellojen käyttäjät ovat todennäköisesti vanhempia ja kokeneempia juoksijoita. Käyttäjien sukupuoli tai koulutus eivät vaikuta merkittävästi urheilukellojen käyttöön. [9]

Urheilukellojen käyttöön voi löytyä monenlaisia motivaatioita. Koska liikkujia on eritasoisia, voi jokaisella tasolla löytyä myös erilaisia motivaatioita [9]. Käyttäjä voi haluta seurata lepoaan tai aktiivisuuttaan, tai varmistua palautumisen määrästä. Toinen käyttäjä voi haluta saada kellon seuraamisesta itselleen motivaatiota. Tholander ja Nylander [10] esittelevät erilaisia motivaatioita urheilukellojen käyttöön urheilijoiden keskuudessa. Näitä on esimerkiksi suorituksen parantaminen, oppiminen suorituksesta, kokemuksen parantaminen, palkinnon saaminen, sekä datan kerääminen ja jakaminen.

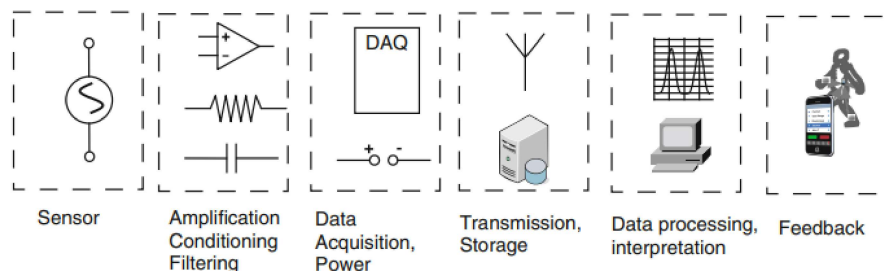
2.3 Toimintaympäristöt

Urheilukellojen toimintaympäristöt voivat vaihdella ulkotilasta sisätilaan, vedestä kuiviin olosuhteisiin. Ympäristö voi olla lenkkipolku, jossa ympäristöolosuhteet voivat vaihdella sään mukaan. Toimintaympäristönä voi olla myös sisätiloissa kuntosali, nyrkkeilykehä tai jääkiekkokaukalo.

Toimintaympäristön moninaisuus tekee urheilukellojen toiminnasta erityisen hankalaa. Kellon tulisi pystyä toimimaan mahdollisimman monessa ympäristössä ollakseen hyödyllinen. Moneen toimintaympäristöön vastaaminen asettaa kellolle enemmän vaatimuksia. Toimintaympäristö vaikuttaa suoraan siihen, millaisia ominaisuuksia kellolla tulisi olla. Ympäristön asettamia ominaisuuksia ja haasteita käsitellään laajemmin luvuissa 4 ja 5.

2.4 Tekninen toiminta

Sensorit ovat olennainen osa minkä tahansa urheilujärjestelmän toimintaa [2]. Kiihtyvyysanturit ovat yksi suosituimpia mikrojärjestelmiä (MEMS, Micro Electro Mechanical Systems) [11]. Kolmi- ja moniakselisia kiihtyvyysantureita käytetään myös urheilukelloissa



Kuva 2.2. Urheilukellojen toiminta sensoreista käyttäjälle. [2]

[3]. Kiihtyvyyssanturilla mitataan kappaleen nopeuden muutosta tietyssä ajassa [12]. Näillä sensoreilla voidaan siis saada dataa liikkujan nopeuden muutoksesta, jota voidaan esimerkiksi hyödyntää nopeuden määrittelyn lisäksi liikuntamuodon määrittelyssä, esimerkiksi kun järjestelmä arvioi onko käyttäjä kävelemässä vai juoksemassa. Koska nopea kiihtyvyys tarkoittaa myös isompaa tehokkuutta, voidaan sillä arvioida myös käyttäjän harjoituksen intensiteettiä.

Myös optisia sensoreita hyödynnetään urheilukelloissa. Optiset sensorit lähettävät valoa ihon läpi, mitatakseen veren liikkumista elimistössä [13]. Yksi tällainen sensori on PPG-sensori (PhotoPlethysmoGraphic sensor) [14]. PPG-sensori mittaa veren tilavuuden muutoksia verenkierrossa. Se on halpa ja huomaamaton mittaustapa, jolla voidaan mitata esimerkiksi veren happipitoisuutta, sykettä tai muuta kardiovaskulaarista ominaisuutta. [15] Tässä mittaustavassa sensorin tulee olla asennettuna iholle, joten se sopii hyvin urheilukelloihin.

Unen ja levon mittaamiseen voidaan hyödyntää menetelmää nimeltä aktigrafia. Aktigrafi on pienikokoinen laite, joka mittaa liikettä [16]. Tämän avulla voidaan havaita kehon liikettä analysoiden erilaiset unen vaiheet [13].

Lisäksi kelloista voi löytyä gyroskooppeja laitteen asennon mittaamiseen, tai korkeusantureita korkeuden mittaamiseen [13]. Sensorit ovat urheilukellon toiminnan kannalta tärkeä osa, koska ilman niitä ei saataisi kerättyä dataa käyttäjältä. Oikealla sensorivalinnalla saadaan oikeanlaista dataa mitattua urheilusuorituksesta. Usealla, tarpeeksi laadukalla sensorilla pystytään vaikuttamaan tarkempaan ja luotettavampaan mittaustulokseen. Taulukossa 2.1. on esitetty kooste urheilukellojen mittaustavoista ja niiden mittaustavoista.

Sensorit lähettävät järjestelmässä sähkösignaalin, joka muutetaan dataksi. Järjestelmä tulkitsee dataa jonka jälkeen ohjelmistotasolla järjestelmän erilaiset algoritmit muuttavat datan käyttäjälle ymmärrettävään muotoon ja luvuiksi. [2] Kuvassa 2.2. on havainnollistettu urheilukellon toimintaa ja datan siirtymistä sensorista käyttäjälle.

Monesti algoritmit tarvitsevat käyttäjältä lisädataa toimiakseen tarkemmin. Nämä tiedot voivat olla esimerkiksi käyttäjän ikä, paino tai pituus. Algoritmit ovat valmistajien hyvin sa-

Taulukko 2.1. Kooste urheilukellojen mittuastavoista ja -kohteista

Mittauksen kohde	Mittaustapa
aktiivisuus	kiihtyvyyssanturit, optiset sensorit
uni	aktigrafi
askeleet	kiihtyvyyssanturit, Gyroskooppi
etäisyys, paikannus	GPS
energian kulutus	optiset sensorit, käyttäjädatta
syke	optiset sensorit, käyttäjädatta
nopeus	kiihtyvyyssanturit
intensiteetti	kiihtyvyyssanturit, käyttäjädatta
korkeus	korkeusanturi
asento	Gyroskooppi

laamia, koska kilpailijoille ei haluta paljastaa, miten mahdollisesti tarkkaa mittaustulosta on onnistuttu tuottamaan. [13] Voidaan kuitenkin päätellä useamman sensorin ja laajemmän käyttäjädatan mahdollistavan tarkemmat mittaustulokset järjestelmässä.

Datan käsittelyn jälkeen järjestelmä palauttaa käyttäjälle mittaustulokset ymmärrettävässä muodossa. Käyttäjä tulkitsee tuota annettua järjestelmän palautetta itselleen sopivalla tavalla. Tulkinta voi tapahtua kellon ulkopuolisen sovelluksen avulla, kuten tietokone- tai puhelinsovelluksen kautta [13]. Tällöin urheilukello lähettää langattomasti tai langallisesti analysoidun mittaustuloksen toiseen järjestelmään. Kello voidaan myös yhdistää toisiin järjestelmiin, kuten sykevyöhön mittaustuloksen parantamiseksi [3]. Urheilukello saa virransa joko pienestä ladattavasta akusta, tai paristosta.

Urheilukellon valmistaminen vaatii ymmärtämistä ihmisten käyttäytymisestä, erilaisista teknologioista, sensoreista, algoritmeista, datan analysoinnista ja käyttäjäkokemuksesta. Suunnittelijoiden täytyy tietää, millaisia tarpeita käyttäjillä on, sekä millaiset teknologiat sopivat mihinkin käyttötarkoitukseen ja ympäristöön. Urheilukellojen rinnalle ovat tulleet älykellot, jotka ovat internet-yhteydellä kytkettynä muihin järjestelmiin, kuten tietokoneisiin tai puhelimiin. Asioiden internet (IoT, Internet of things) on mahdollistanut entistä laajemmän käyttötarkoituksen urheilukelloille ja niiden kehittymisen älykelloiksi. Tässä työssä ei perehdytä älykelloihin tarkemmin, mutta on hyvä tunnistaa älykellojen laajemman ominaisuuskattauksen tuovan kellojen toiminnalle enemmän haasteita. Älykellojen suosio on urheilukellojen rinnalla jatkuvassa kasvussa. Tämän työn rajauksen vuoksi huomioista jääkin pois oleellinen osa nykypäivän kellojen toimintaa.

3. JÄRJESTELMÄOMINAISUUDET

Tässä luvussa käsitellään urheilukellojärjestelmien tärkeimpiä tai yleisimpiä ominaisuuksia. Urheilukellojen vaativat käyttöolosuhteet aiheuttavat sen, että hyvien ja laadukkaiden laitteistojen täytyy täyttää paljon erilaisia vaatimuksia. Vaatimusten moninaisuus puolestaan tuo kelloille lisää pakollisia ominaisuuksia. Vaikka monet ominaisuudet ovat välttämättömiä kellon mielekkään toiminnan takaamiseksi, ovat osa ominaisuuksista lisäominaisuuksia, jotka eivät ole välttämättömiä. Ominaisuudet ovatkin hyvin riippuvaisia järjestelmän käyttätarkoituksesta. Tässä luvussa keskitytään ominaisuuksiin, joita voidaan pitää välttämättöminä urheilukellojen toiminnan kannalta. Taulukkoon 3.1. on koostettu tässä luvussa käsiteltävät ominaisuudet ja joitain lisäominaisuuksia.

3.1 Tiedonsiirto

Järjestelmän yhdistäminen toiseen järjestelmään ja näiden välinen kommunikointi voidaan jakaa langallisiin ja langattomiin tiedonsiirtomenetelmiin. Langallinen kaapelitiedonsiirto on suoraviivainen menetelmä, joka takaa myös suuren tiedonsiirtokapasiteetin. Langattomia tiedonsiirtomenetelmiä ovat radioyhteydet (Radio Frequency, RF), infrapuna, ultraääni tai induktiiviset menetelmät. [17] Urheilukelloissa erityisesti hyödynnetään Bluetooth-teknologiaa langattomassa tiedonsiirrossa. Bluetooth Low Energy (BLE) on radiostandardeihin perustuva teknologia, joka on laajalti käytössä kannettavissa järjestelmissä, kuten älypuhelimissa ja urheilukelloissa. Bluetooth on nopeimpia tiedonsiirtomenetelmiä verrattuna moneen muuhun langattomaan teknologiaan. [18]. Bluetoothia voidaan hyödyntää esimerkiksi kellon yhdistämisessä sykevyöhön tai puhelimeen.

GPS on yksi suosituimpia urheilukellojen ominaisuuksia. GPS eli Global Positioning System on satelliittipaikannusjärjestelmä, jossa järjestelmä on yhteydessä satelliitteihin, jotka lähettävät järjestelmälle takaisin paikannusdataa ja tietoa järjestelmän sijainnista. [19]. GPS-kello on yksi suosituimmista puettavista teknologioista juoksijoiden keskuudessa [20]. GPS:n avulla voidaan mitata käyttäjän kulkemia matkoja ja etäisyyksiä, tai vaikka löytää kadonnut kello paikantamalla se. Lisäksi GPS:llä pystytään mittaamaan käyttäjän nopeutta tai arvioimaan käyttäjän kulkutapa (pyöräily, kävely, juokseminen) [19].

Asioiden internet (internet of things, IoT) on mahdollistanut urheilukellon yhdistämisen internettiin langattomasti, jolloin voidaan saada tietoa ympäristöstä, sekä yhdistää kello

toisiin palvelimiin tai sovelluksiin. Internettiin yhdistettynä kelloja voidaan kutsua jo älykel-loiksi, mikä tuo kelloille laajan kattauksen uusia mahdollisia ominaisuuksia. [21]

Reaaliaikainen pääsy järjestelmän tuottamaan informaatioon ja palautteeseen on yksi ny-kypäivän urheilujärjestelmien vaatimuksista [2]. Urheilukellojen tulee pystyä yhdistymään toisiin järjestelmiin, esimerkiksi sykevyöhön, puhelimeen, tietokoneeseen sekä valmista-jien omiin sovelluksiin tai palvelimiin [17]. Langattomuus on välttämättömyys olosuhteis-sa, missä ei ole mahdollista tai käytännöllistä yhdistää kelloa johdolla toisiin järjestelmiin. Lisäksi yhteyksillä voidaan saada paremmin toimivia ominaisuuksia, kuten automaattinen päivittyminen [2].

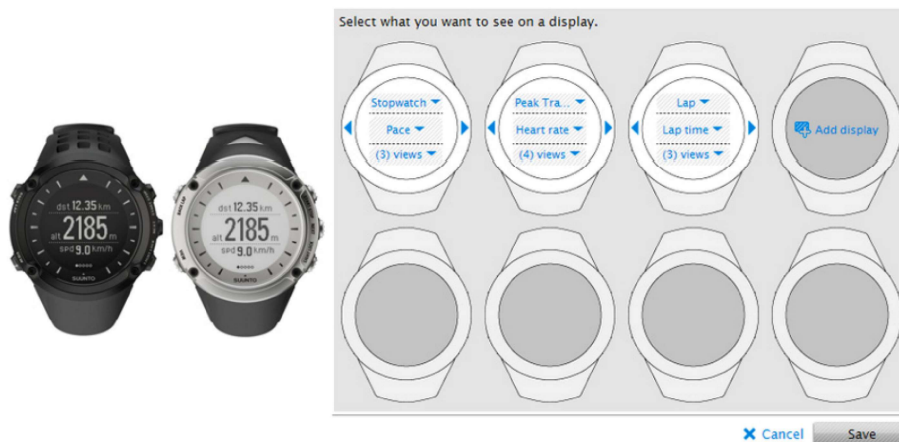
3.2 Puettavuus ja kustomointi

Urheilukello on puettava teknologia. Puettavissa teknologioissa mukaan tulee vaatetuk-seen ja puettavuuteen liittyvät tekijät, kuten esteettisyys ja mukavuus. Näihin tekijöihin yh-distetään tietoteknisten järjestelmien ominaisuuksia, kuten käytettävyys. Lisäksi puettavat urheiluteknologiat, kuten urheilukellot ovat yhteyksissä terveyteen ja kuntoiluun. Puettavia teknologioita voidaankin tarkastella kolmesta näkökulmasta: Urheilubrändit, teknologia ja muoti. [22]

Kustomointi ja puettavuus on yksi urheilukellojen ominaisuus, joka ei kuitenkaan vaiku-ta mittaukseen tai käyttäjälle annettuun tulokseen. Kustomointia voidaan pitää yhtenä vaihtoehtoisista, mutta hyödyllisistä ominaisuuksista. Kustomoinnilla tarkoitetaan käyttä-jän mahdollisuutta muokata kellosta itselleen miellyttävä. Nurkka [6] on esitellyt tutkimuk-sessaan kellojen käytön ja kustomoinnin välistä suhdetta. Koska kellojen suunnittelus-sa on otettava huomioon käyttäjien tahto, on kustomointi yksi mahdollinen tapa vaikut-taa kellon mielekkyyteen. Näin valmistajien ei tarvitse miettiä kellon väriä tai käyttöliitty-mää käyttäjänäkökulmasta, vaan käyttäjät voivat itse vaikuttaa kellonsa ulkonäköön ja toi-minnallisuuteen. Tutkimuksessa yhdistetiin suurempi käyttömäärä suurempaan määrään kustomointia. Käyttäjän katsotaan tulevan tietoiseksi omista tarpeistaan ja järjestelmän mahdollisuuksista, kun käyttöaste on suurempi.

Kustomoinnilla voidaan myös erottua kilpailijoista. Onkin todettu kustomoinnin vaihtoeh-tojen määrän olevan suoraan verrannollinen kontrollin tunteeseen ja käyttäjätyytyväisyy-teen. Vaikka käyttäjällä olisikin kontrolli laitteensa ulkonäöstä, on järjestelmässä hyvä olla jonkinlainen suositusasetus heille, jotka kelloa eivät halua kustomoida. [6] Lopuksi todet-takoon, että ei ole voitu todeta syy-seuraussuhdetta kustomoinnin ja käyttöasteen välille. Kustoimoinnin ei siis voida sanoa vaikuttavan kellon käyttöasteeseen itsessään [6]. Ku-vassa 3.1. on esitetty esimerkkejä kellojen kustomoinnista.

Puettavan teknologian moninaisuus ja monimutkaisuus vaatii valmistajilta yhteistyötä eri-laisten sidosryhmien kanssa. Tällaisia sidosryhmiä voivat olla esimerkiksi loppukäyttäjät,



Kuva 3.1. Vasemmalla kaksi erilaista kustomointimahdollisuutta samalle kellolle: Musta tummalla näytöllä ja hopea vaalealla näytöllä. Oikealla kuva juoksutilan kustomoinnista ja erilaisista tiloista. [6]

insinöörit ja muotisuunnittelijat. [22]. Urheilukellojen valmistuksessa ei kannata sivuuttaa puettavuuteen ja muotiin liittyviä tekijöitä.

3.3 Aktiivisuuden ja levon mittaus

Koska urheilukelloja valmistetaan urheiluasuoritusten ja ihmisen liikkumisen mittaamiseen, urheilukelloista on hyvä löytyä aktiivisuusmittaus. Käyttäjä voi asettaa haluamansa aktiiviteetin etukäteen, jolloin kello seuraa tämän aktiivisuuden etenemistä. Tällaisia aktiivisuuden mittareita voi olla esimerkiksi liikkumisen määrä tai askeltavoite. Urheilukellojen yksi perusominaisuuksista onkin askelten mittaaminen ja havainnointi, jolloin järjestelmän sensorit havaitsevat vartalon ja kellon liikkeen ja tulkitsevat nämä askeleeksi. [3] Tässä työssä ei käsitellä aktiivisuusrannekeita, joten on hyvä tunnistaa ero aktiivisuusrannekeen ja urheilukellon välillä. Aktiivisuusrannekeen tärkein tehtävä on aktiivisuuden mittaaminen, kun taas urheilukelloissa se voi olla vain yksi monista muista ominaisuuksista.

Sykkeen mittaamisella pystytään optimoimaan sykealue ja mukauttaa harjoittelun intensiteetti tietylle sykealueelle. Näin käyttäjä pystyy optimoimaan omaa harjoitteluaan [20][23]. Sykkeen mittausta voi pitää yhtenä tärkeimpänä ominaisuutena ja tavoitteelliselle urheilijalle hyödyllisenä ominaisuutena.

Jotkin urheilukellot mittaavat myös unen kestoa ja laatua, tai käyttäjän päivittäistä kuluusta. Unen laadun mittaaminen on yksi yleisempiä ominaisuuksia urheilukelloissa. [3] Koska unen laatu vaikuttaa urheilijan palautumiseen, on unen laatua mittaavasta kellosta hyötyä urheilijalle.

3.4 Kestävä runko ja pakkaus

Urheilukellojen rungon ja pakkauksen tulisi olla iskun ja kosteuden kestävä, mutta mahdollisimman kevyt. Samalla pakkauksen tulisi kestää lämpötilavaihteluja.[2] Esimerkiksi Suomessa voi lämpötila vaihdella talven ja kevän välillä paljonkin.

Pakkauksen tärkein tehtävä on suojata järjestelmän koneistoa lämpötilavaihteluilta, iskuilta ja kosteudelta. Elektronisten laitteiden pakkausvalmistaja Catalyst esittelee [24] Applen kellole pakkauksen, joka kestää kolmen metrin syvyyttä vedessä ja jossa on kaksikerroksinen suoja. Samaan aikaan kaikki kellon ominaisuudet pysyvät toimintakuntoisena.

Valmistusvaiheessa on tunnistettava kellon heikot kohdat jolloin niitä voidaan vahvistaa kestävillä materiaaleilla. Esimerkiksi rannenuhan ei tarvitse olla niin kestävä iskuilta tai kosteudelta mitä kellon lasi ja näyttö. Pakkauksen materiaalien valitseminen ja rungon suunnittelu on tärkeää kellon kestävyyskannalta. Eräs ratkaisu tähän on tuottaa erillinen suojaava kotelo käyttäjille jotka haluavat suojata kelloansa vaativammissa olosuhteissa.

3.5 Vähäinen energian ja muistin kulutus

Urheilukellot, kuten muutkin elektroniikkajärjestelmät vaativat toimiakseen energian lähteen. Mikrojärjestelmien rinnalla energian lähteet, kuten akut ja patterit ovat pienentyneet. Tämä on myös mahdollistanut pienempiä laitteita. Valmistajien on harkittava järjestelmän toiminnan, virtalähteen koon, toiminta-ajan ja datan laadun välisiä suhteita. Virtabudjetti on välttämätön suunnitteluelementti myös urheilukelloja suunniteltaessa. Virtalähde voi viedä lopulta enemmän tilaa, kuin sensorit ja muut elektroniikkaosat yhteensä. Järjestelmässä voidaan tarvita muuntajia eri komponenteille erilaisten jännitevaatimusten vuoksi. [2]

Sensorien ottama näytetiheys ja datan tarkkuus vaikuttavat virran tarpeeseen ja järjestelmän sisäisiin resursseihin. Järjestelmältä usein halutaan suurinta mahdollista näytteenottoa ja -tarkkuutta. Tämä kuitenkin vaatii enemmän resursseja virtalähteeltä ja tal-

lennustilalta. Tallennustilan ja datapuskureiden rakenne on hyvä suunnitella tarkoin, sillä datan keräämisen aiheuttama kuormitus voi vaihdella järjestelmässä. Datan etukäteiskäsittely, esimerkiksi suodatus tai pakkaaminen, voivat säästää tallennustilaa. Lisäksi on hyvä tallentaa dataa muistiin vain silloin kun se on tarpeellista. [2]

Hidas muistiin tallennus, muistitilan vähäisyys ja virran nopea loppuminen huonontavat laitteen käyttökokemusta. Huonosti optimoitu muistin käyttö voi hidastaa järjestelmää ja aiheuttaa vikatilanteita. Urheilukelloja voidaan käyttää myös pitkään olosuhteissa, joissa lataamismahdollisuutta ei ole. Urheilukellojen toiminnan kannalta olisikin hyvä, että se söisi virtaa vähän, akku olisi mahdollisimman pitkään kestävä, ja muistin kulutus olisi opti-

Taulukko 3.1. Joitain urheilukellojen ominaisuuksia ajan mittaamisen lisäksi.

Tärkeimmät ominaisuudet	Lisäominaisuuksia
Aktiivisuuden ja levon mittaaminen	Led-valaistus
Tiedonsiirto	Lämpötilan mittaus
Puettavuus ja kustomointi	Korkeusmittaus
Aktiivisuuden ja levon mittaus	Herätyskello
Kestävä runko ja pakkaus	Musiikin toisto
Vähäinen energian ja muistin kulutus	
Ihmiskeskeisyys ja käytettävyys	

moitua. Urheilukelloihin voidaan asentaa myös mahdollisia lisävirran lähteitä, esimerkiksi aurinkokenno [17].

3.6 Ihmiskeskeisyys ja käytettävyys

Yksi olennainen ominaisuus urheilukelloilla on toimiva ihminen–teknologia-rajapinta. Jokainen urheilujärjestelmä on riippuvainen ihmisestä ja ihmisen käyttäytymisestä. Järjestelmien täytyy taipua käyttötarkoitukseen, mutta tarkemmin ihmisen mittaamiseen. Ihmisen käyttäytyminen voi olla joko ennalta arvattua tai se voi olla arvaamatonta. Lisäksi henkilön käyttäytyminen on riippuvainen ympäristöstä, henkilön ominaisuuksista sekä tunteista. [17]

Järjestelmän tulee olla näkyvä ja sen tulisi antaa palautetta käyttäjälle. Lisäksi toiminnallisuuden tulisi olla kartoitettu. Toiminnallisuuksien on oltava läpinäkyviä auttaakseen käyttäjää ymmärtämään mitä järjestelmällä voi tehdä. Järjestelmän tulee antaa palautetta toimivuudestaan käyttäjälle. Kartoitus tarkoittaa järjestelmän hallittavuuden ja toiminnan yhteyttä. Tämän yhteyden tulisi antaa apua käyttäjälle niin, että erillistä käyttöohjetta ei tarvitse. Virhetilanteista tulee antaa käyttäjälle viesti, jonka avulla käyttäjä voi toimia järjestelmän vaatimalla tavalla. [17]

Käytettävyyden määritelmä vaihtelee kirjallisuuden ja asiayhteyden mukana. On kuitenkin selvää, että käytettävyys on yhteydessä käyttäjiin, käyttäjän toimintaan, käytössä oleviin työkaluihin ja ympäristöön. Käytettävyys voidaan jakaa viiteen osaan: opittavuus, tehokas käyttö, muistettavuus, vikatilanteen käsittely ja subjektiivinen tyytyväisyys. Opittavuudella tarkoitetaan sitä, miten helppo järjestelmän käyttö on oppia. Järjestelmää on tehokasta käyttää, kun sen hallitseminen on helppoa ensimmäisen oppimisen jälkeen. Muistettavuus kuvaa sitä, miten helppoa järjestelmää on hallita tauon jälkeen. Järjestelmän tulisi toimia mahdollisimman pienellä virhetilanteiden määrällä. Kuitenkin virhetilanteista tulisi palautua nopeasti ja virhetilanteet tulisi käsitellä hyvin. Subjektiivinen tyytyväisyys mittaa, kuinka yksittäiset henkilöt kokevat järjestelmän käytön. [17]

Urheilukellojärjestelmien tulee olla rakennettu ihmiskeskeisesti. Käytettävyyttä voidaan pitää siis urheilukellojen yhtenä ominaisuutena. Järjestelmästä on hyötyä eniten, kun itse urheilija ja valmentaja ymmärtävät järjestelmän toimintaa, sen tuottamaa dataa, datan analysointia ja järjestelmän käyttöä. Järjestelmän tulisikin olla sellainen, että sitä on mahdollisimman mielekästä ja halppoa käyttää. Tätä varten järjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon loppukäyttäjät sekä heidän tarpeensa. Järjestelmän näyttö on suuressa roolissa tietojärjestelmissä ja niin myös käytettävissä järjestelmissä kuten urheilukelloissa [17]. Käyttäjät kommunikoivat järjestelmän kanssa näytön välityksellä. Tämän vuoksi käyttöjärjestelmään ja sen käytettävyyteen on hyvä panostaa urheilukellojen valmistuksessa.

Erilaiset ominaisuudet ovat tapa erottua kilpailijoista. Urheilukelloista löytyy monia ominaisuuksia, jotka auttavat käyttäjää ymmärtämään oman suorituksensa lisäksi myös ympäröivää ympäristöä. On hyvä huomioida, että useampi ominaisuus monimutkaistaa järjestelmää ja vaatii enemmän järjestelmältä (esimerkiksi koko, sensorit, muisti ja akku). Koska useampi ominaisuus vaatii laajempia järjestelmäresursseja, on valmistajien tasapainoitettava ominaisuuksien, käytettävyyden, tehokkuuden, kustannuksien ja muiden muuttujien välillä. Valmistajien on valittava, millaisia ominaisuuksia kelloon tulee ja paljonko halutaan kellon kustantavan käyttäjille ja valmistajille. Kellon tulee kuitenkin vastata ensiksi käyttötarkoituksen ja käyttöympäristön tarpeisiin. Tämän jälkeen kelloon voidaan lisätä ominaisuuksia käytössä olevien resurssien puitteissa.

4. RAJOITTEET JA HAASTEET

Tässä luvussa pohditaan millaisia rajoitteita ja haasteita urheilukellojen toiminnassa ja järjestelmissä on. Urheilukellojen toimintaa ja mittaustuloksen paikkansapitävyyttä ilmaistaan usein prosenteissa. Eri urheilukellojen luotettavuudesta löytyy monenlaisia arvosteluja ja tutkimuksia [14] [25] [26]. Ideaalinen urheilukello antaisi aina 100 % varman tuloksen. Tietotekniset järjestelmät eivät ole koskaan ideaalisia, joten 100 %:n varmuutta voidaan pitää mahdottomana.

Sensorit itsessään eivät toimi lineaarisesti, ja niissä ilmaantuu hystereesia [2]. Hystereesi on ominaisuus, joka kuvaa tuloksen arvon poikkeamaa vastaavaan syötteen arvoon. Tällainen ominaisuus voi olla esimerkiksi viivästyminen. Sensorit eivät myöskään kestä ikuisesti, jolloin ajan myötä niiden mittaustarkkuus heikkenee. Sensorit voivat olla alttiita ulkoisille tekijöille, kuten lämpötilavaihteluille, jolloin niiden ottama data vääristyy. [2] Urheilukellojen sensorit voivat myös tulkita jotain toimintoa täysin väärin. Esimerkiksi askeleiksi voidaan laskea jo pienikin käden heilautus. Sensorit voivat olla myös heikosti asetettuja mittaustarkoitukseensa nähden. Esimerkiksi PPG sensorin tulee olla ideaalisesti asetettuna ranteeseen varmemman mittaustuloksen saavuttamiseksi [15]. Sensorien mittaustulokseen voi vaikuttaa käden liikkuminen, ihokarvat tai hiki. Tällainen tilanne on varsinkin PPG-sensorilla, joka asetetaan ranteen ihoa vasten. Lisäksi käyttäjän ihon väri vaikuttaa PPG-sensorien mittaustulokseen. [17]. Unen laadun mittaamisessa on myös omat haasteensa: Herkkä aktigrafi voi tulkita liikkeen väärin [16].

Sähköjärjestelmässä syntyy aina myös sähköisen signaalin kohinaa, jolloin signaalit vääristyvät. Järjestelmä voi myös ottaa häiriöitä toisista, ympärillä olevista järjestelmistä. [2]. Langattomat yhteydet mahdollistavat antennit ovat haastavia puettavissa teknologioissa. Antennit tulisi olla sijoitettu niin, että vartalo ei estä signaalien kulkua. Tiedonsiirtoon voidaan käyttää myös kaapeleita, mutta urheilukellojen kohdalla langallisuus voi aiheuttaa epämukavuutta käyttäjälle. Lisäksi kylmissä olosuhteissa kaapeleista tulee entistä jäykempiä ja epämukavampia kantaa. [17]

Tallennuskapasiteetin, CPU-nopeuden ja tiedonsiirtonopeuden suhteen on tapahtunut teknologioissa merkittäviä kehitysaskelaita. Tällaista kehitystä ei kuitenkaan ole tapahtunut virtalähteiden suhteen. Akut ja patterit ovat monesti järjestelmän painavimpia ja isoimpia komponentteja. [17] Kellojen paino vaikuttaa niiden käyttömukavuuteen. Tämä



Kuva 4.1. Urheilukellon järjestelmään ja toimintaan vaikuttavia tekijöitä.

tuo urheilukelloille haasteita, sillä niiden tulisi olla kevyitä ja kestää pitkiä aikoja ilman latausta. Tarkan mittaustuloksen takaamiseksi tulisi järjestelmän ottaa mahdollisimman tiheästi mittaustuloksia käyttäjästä. Tämä kuitenkin syö akkua ja muistia. Valmistajien on tasapainoitettava muistin optimoinnin, virrankulutuksen ja järjestelmän luotettavuuden kanssa.

Ihmiskeskeisyys aiheuttaa urheilukellojen toiminnalle omat haasteensa. Ihminen voi käyttää järjestelmää väärin ja näin haitata mittaustuloksia tai pahimmassa tapauksessa rikkoa järjestelmän kokonaan. Ihminen voi käyttää kelloa väärissä olosuhteissa, kuten sateella, jolloin ei-vedenkestävään järjestelmään voi tulla kosteusvaurioita. Myös ihmisen fyysiset ominaisuudet vaikuttavat kellojen toimintaan. Esimerkiksi ranne voi olla väärän kokoinen sensorin ideaalisiin mittaussuhteisiin, tai kello voi olla väärin asetettuna ranteeseen [15]. Tutkimukset ovat osoittaneet, että 50 % puettavien teknologioiden uusista käyttäjistä lopettavat teknologian käytön kahden viikon sisällä. Käyttäjät voivat lopettaa myös urheilukellon käytön, jos kokevat käytettävyyden huonona tai eivät saa kelloa integroitua omaan arkeen ja harjoitteluun. [27]

Urheilukellojen käyttötarkoitus vaikeuttaa järjestelmän toimintaa. Urheillessa hiki voi sotkea järjestelmän toiminnan kokonaan. Urheilujärjestelmien täytyy kestää rankkojakin olosuhteita ja käyttöympäristöä. Esimerkiksi jääkiekossa tai nyrkkeilyssä järjestelmän on tarpeellista kestää kovia iskuja ja kolhuja. Lisäksi olosuhteet voivat vaihdella kuumasta kylmään tai kuivasta märkään. Samaa järjestelmää, jota voidaan käyttää esimerkiksi 100m juoksussa, ei voida välttämättä käyttää 100m uinnissa. Kiipeilyssä tai syväsuskeltamisessa käytettävien järjestelmien tulisi kestää koviakin ympäristön paineen muutoksia. Järjestelmän toiminta liikkeessä aiheuttaa epäoptimaalisia mittaolosuhteita. Esimerkiksi

juostessa urheilukello voi olla kovassakin liikkeessä. Järjestelmissä paras mittaustulos on saatavilla, kun ulkopuoliset häiriötekijät minimoidaan. Se ei ole urheilukellojen kohdalla mahdollista, sillä urheilukelloon kohdistuu käytössä aina ulkoisia muuttujia, jotka vaikuttavat suoraan kellon toimintaan ja mittaukseen.

Koska jokaisessa järjestelmässä on omat algoritminsa, voi kaksi järjestelmää poiketa päivän tuloksissa huomattavasti toisistaan. Kellot toimivat ohjelmistonsa ja algoritmiansa varassa, eikä ole olemassa ohjelmistoja, joille voidaan taata 100 % toimivuus. [13] Lisäksi urheilujärjestelmä voi kerätä käyttäjistä, käyttäjien liikkeistä ja toiminnasta hyvinkin tarkkaa dataa. Tämä puolestaan tuo järjestelmän keräämille henkilötiedoille vakavia tietoturvariskejä.

Urheilukellojen toimintaa rajoittavat siis monet tekijät. Kellon tulisi mitata luotettavasti, mutta tähän vaaditaan useampia sensoreita, suurta näytteenottotiheyttä, tehokkaita algoritmeja, nopeaa tiedonsiirtoäkyä ja optimaalisia olosuhteita. Kuitenkin urheilukellojen tulisi samaan aikaan olla kestäviä, kevyitä ja pieniä. Vaikka kannettavat teknologia ovat kehittyneet hurjasti lähivuosina, on hyvä ymmärtää järjestelmien resurssien rajallisuus. Urheilukellojen antamat tulokset ovat vain arvioita, mihin vaikuttaa todella monta ulkoista ja sisäistä tekijää. Käyttäjäkeskeisellä suunnittelulla, huolellisella työllä, kunnollisella testauksella, kalibraatiolla ja datan jälkikäsittelyllä voidaan saavuttaa hyvinkin luotettavia mittaustuloksia, mutta ei koskaan täysin luotettavaa tulosta.

5. YHTEENVETO

Tärkeimmät urheilukellojen ominaisuudet ovat GPS-paikannus, langattomat yhteydet, sekä urheilusuorituksen, sykkeen ja levon mittaaminen. Tämän jälkeen hyvältä järjestelmältä vaaditaan akunkestoa, muistinhallintaa, kestävyyttä ja käytettävyyttä. Erilaiset ominaisuudet ovat myös tapa erottua kilpailijoista. On hyvä huomioida, että useampi ominaisuus monimutkaistaa järjestelmää.

Urheilukellojen toimintaa rajoittavat monet tekijät. Luotettavuutta lisää useampi sensori, suuri näytteenottotiheys, tehokkaat algoritmit, nopea tiedonsiirto ja optimaaliset olosuhteet. Kuitenkin urheilukellojen tulisi samaan aikaan olla kestäviä, kevyitä ja pieniä. Järjestelmäresurssit ovat aina rajallisia. Urheilukellojen antamat tulokset ovat vain arvioita, mihin vaikuttaa todella monta ulkoista ja sisäistä tekijää. Näistä merkittävimmät ovat järjestelmän häiriöt, käyttäjien vuorovaikutus, ympäristö, muistin rajallisuus, virran kuluminen ja tiedonsiirto. Käyttäjäkeskeisellä suunnittelulla, huolellisella työllä, kunnollisella testauksella, kalibraatiolla ja datan jälkikäsittelyllä voidaan saavuttaa hyvinkin luotettavia mittaustuloksia, mutta ei koskaan täysin luotettavaa tulosta. Kellot voivat hyvin toimiansa olla hyvä suuntaa antava järjestelmä omasta urheilusuorituksesta ja levosta, mutta niiden tuottamaan dataan tulisi käyttäjien suhtautua aina kriittisesti.

Urheilukellojen valmistajien on tasapainoitava ominaisuuksien, käytettävyyden, tehokkuuden, kustannuksien ja monien muiden muuttujien välillä. Valmistajien on valittava, millaisia ominaisuuksia kelloon tulee ja paljonko halutaan kellon kustantavan käyttäjille ja valmistajille. Lisäksi yhteistyötä tulisi tehdä erilaisten sidosryhmien, kuten loppukäyttäjien ja muotisuunnittelijoiden kanssa. Kellon tulee kuitenkin vastata ensiksi käyttötarkoituksen ja käyttöympäristön tarpeisiin. Tämän jälkeen kelloon voidaan lisätä ominaisuuksia käytössä olevien resurssien puitteissa.

Urheilukellojen suosio on ollut jatkuvassa kasvussa. Urheilukellojen rinnalle ovat tulleet älykellot, jotka mahdollistavat kelloille laajemmat ominaisuudet ja toiminnan. Joissakin tilanteissa älykellojen ja urheilukellojen ero on häilyvä. Urheilukellojen suosio varmasti jatkaa vielä kasvuaan, mutta menevät kehittyvän teknologian myötä jatkuvasti enemmän älykellojen suuntaan. Rajallinen virtalähde ja virrankulutus tulee olemaan vielä pitkään esteenä urheilukellojen ominaisuuksien kehitykselle.

Koska urheilukellot voidaan luokitella kuuluvaksi urheilukellojen lisäksi urheiluteknologioi-

Taulukko 5.1. Kooste urheilukellojen toiminnasta, eduista ja haasteista

Vaatus	Menetelmä	Edut	Haasteet
Aktiivisuuden ja levon mittaaminen	Sensorit	Toimivuus, informaatio	Tietoturva, sensorien epäideaalisuus, järjestelmän kuluminen, vaativat käyttöolosuhteet
Tiedonsiirto	Kaapeli, WLAN, Bluetooth, infrapuna, GPS	Informaation keräys, ajantasaisuus, päivitykset	Tietoturva, yhteyden heikkous, kaapelien epämielisyys
Puettavuus	Kustomointi, muodikkuus, käyttäjäkeskeinen suunnittelu	Mielekästä käyttäjille, erottuminen kilpailijoista	Käyttäjien moninaisuus ja erilaiset mieltymykset
Kestävä runko ja pakkaus	Pakkauksen suunnittelu, erillinen suojaava kotelo	Kestävämpi ja pitkäikäisempi järjestelmä	Väärinkäyttö, kuluminen, materiaalit
Energian ja muistin vähäinen kulutus	Oikea energian lähde, nopea lataus, muistin optimointi	Käytettävyyden, pitkäkestoinen akun kesto, järjestelmän nopeus	Muistin rajallisuus, hinta, väärinkäyttö
Ihmiskeskeisyys ja käytettävyyden	Ihmiskeskeinen suunnittelu, käyttäjän ymmärtäminen	Käytettävyyden, käyttäjän tyydyttäminen, kilpailuetu, saavutettavuus	Käyttäjien moninaisuus ja erilaiset mieltymykset, väärinkäyttö, vikatilanteet

hin, puettaviin teknologioihin, kannettaviin järjestelmiin ja sensorijärjestelmiin, löytyy aiheesta paljon erilaista kirjallisuutta ja tutkimuksia. Urheilukellovalmistajat salaavat omat järjestelmänsä ja niiden toiminnan hyvin kilpailullisista syistä. Aihe vaatisi vielä syvällisempää tarkkailua. Lisäksi kaikkia mahdollisia näkökulmia, ominaisuuksia ja haasteita ei tässä työssä käsitelty. Työhön pyrittiin valitsemaan lopulta yleisimmät ja tärkeimmät ominaisuudet ja oleellimmat haasteet. Tulevia tutkimuksen aiheita voisi olla käyttäjien ja urheilukellojen välinen vuorovaikutus, urheilukellojen vaikutus huippu-urheilussa sekä urheilukellojen tekninen toiminta tarkemmin järjestelmätasolla.

LÄHTEET

- [1] co., F. K. F. E.-C. The impact of technology on sport — new frontiers. *Sports technology* 1.2 (2010), s. 1–2. DOI: <https://doi.org/10.1080/19346182.2008.9648443>.
- [2] Daniel A. James, N. P. *Sensors and Wearable Technologies in Sport*. Springer Singapore, 2016. 49 p.
- [3] Cosoli, G., Spinsante, S. ja Scalise, L. Wrist-worn and chest-strap wearable devices: Systematic review on accuracy and metrological characteristics. eng. 159 (2020).
- [4] Khan, J. S., Sharma, A. ja Seth, P. Resting heart rate and wearable technology. eng. *Canadian Medical Association journal (CMAJ)* 188.10 (2016), s. 755. ISSN: 0820-3946.
- [5] Lopez, G., Abe, S., Hashimoto, K. ja Yokokubo, A. On-Site Personal Sport Skill Improvement Support Using Only a Smartwatch. eng. *2019 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)*. IEEE, 2019, s. 158–164. ISBN: 9781538691519.
- [6] Nurkka, P. “Nobody Other Than Me Knows What I Want”: Customizing a Sports Watch. eng. *Human-Computer Interaction – INTERACT 2013*. Vol. 8120. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, s. 384–402. ISBN: 9783642404979.
- [7] Apple. URL: <https://www.apple.com/fi/shop/buy-watch/apple-watch-se-nike/40mm-cellular-silver-alumiini-anthracite-black-urheiluranneke-sm-ml-se> (viitattu 26.05.2021).
- [8] Polar. URL: https://www.polar.com/fi/vantage/m2?gclid=Cj0KCQjwgtWDBhDZARIsADELdaFaa8hYJza8QjBNR_CcaAqI_EALw_wCB (viitattu 26.05.2021).
- [9] Janssen, M., Scheerder, J., Thibaut, E., Brombacher, A. ja Vos, S. Who uses running apps and sports watches?: Determinants and consumer profiles of event runners’ usage of running-related smartphone applications and sports watches. eng. *PLoS One* 12.7 (2017), e0181167–.
- [10] Tholander, J. ja Nylander, S. Snot, Sweat, Pain, Mud, and Snow: Performance and Experience in the Use of Sports Watches. eng. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on human factors in computing systems*. CHI ’15. ACM, 2015, s. 2913–2922. ISBN: 9781450331456.
- [11] De Doncker, H., Guan, T., Driesen, M. ja Puers, R. Biaxial and Uniaxial Epoxy Accelerometers. eng. *Procedia chemistry* 1.1 (2009), s. 572–575. ISSN: 1876-6196.

- [12] Koskimäki, S. M. *Aktiviteetin tunnistus mobiililaitteiden kiihtyvyyssantureilla*. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto, 2015.
- [13] Nield, D. How it works: We explain how your fitness tracker measures your daily steps. *wearable* (Dec. 31, 2017). URL: <https://www.wearable.com/fitness-trackers/how-your-fitness-tracker-works-1449> (visited on 12/04/2021).
- [14] Climstein, M., Alder, J. L., Brooker, A. M., Cartwright, E. J., Kemp-Smith, K., Simas, V. ja Furness, J. Reliability of the Polar Vantage M Sports Watch when Measuring Heart Rate at Different Treadmill Exercise Intensities. eng. *Sports (Basel)* 8.9 (2020). ISSN: 2075-4663.
- [15] Tamura, T., Maeda, Y., Sekine, M. ja Yoshida, M. Wearable Photoplethysmographic Sensors—Past and Present. eng. *Electronics (Basel)* 3.2 (2014), s. 282–302. ISSN: 2079-9292.
- [16] Martin Jennifer L., P. ja Hakim Alex D., M. Wrist Actigraphy. eng. *Chest* 139.6 (2011), s. 1514–1527. ISSN: 0012-3692.
- [17] Hännikäinen, J. *Electronic intelligence development for wearable applications*. eng. Elektroniikka - Institute of Electronics, 2006.
- [18] Onnia, T. *Development and evaluation of a heart rate sensor software for team sports monitoring*. eng. Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta - Faculty of Information Technology ja Communication Sciences, 2019.
- [19] El-Rabbany, A. *Introduction to GPS The Global Positioning System*. eng. Norwood: Artech House, 2006. ISBN: 1-58053-547-X.
- [20] Clermont, C. A., Duffett-Leger, L., Hettinga, B. A. ja Ferber, R. Runners' Perspectives on 'Smart' Wearable Technology and Its Use for Preventing Injury. eng. *International journal of human-computer interaction* 36.1 (2020), s. 31–40. ISSN: 1044-7318.
- [21] Brink, A. J., Workman, A. D. ja Moore, R. W. Accuracy Of 5k Race Time Using A Gps Sports Watch: 3757 Board 74 May 30 8:00 AM - 9:30 AM. eng. *Medicine and science in sports and exercise* 52.7 Suppl (2020), s. 1026–1027. ISSN: 0195-9131.
- [22] Karamäki, H., Lahtinen, S. ja Tuominen, P. Emerging brand meanings in wearable sports technology: A case study on Suunto sports watches. eng. Bilgin, Mehmet. Springer, 2019.
- [23] Van Hooren, B., Goudsmit, J., Restrepo, J. ja Vos, S. Real-time feedback by wearables in running: Current approaches, challenges and suggestions for improvements. eng. 38.2 (2020), s. 214–230.
- [24] Catalyst Introduces Impact Protection Case for Apple Watch, New Catalyst Sport Band and First Catalyst Apple Pencil Cases at Pepcom Digital Experience in San Francisco. eng. *ICT Monitor Worldwide* (2018).
- [25] Roos, L., Taube, W., Beeler, N. ja Wyss, T. Validity of sports watches when estimating energy expenditure during running. eng. *BMC sports science, medicine rehabilitation* 9.1 (2017), s. 22–22. ISSN: 2052-1847.

- [26] Garnacho-Castaño, M. V., Faundez-Zanuy, M., Serra-Payá, N., Maté-Muñoz, J. L., López-Xarbau, J. ja Vila-Blanch, M. Reliability and Validity of the Polar V800 Sports Watch for Estimating Vertical Jump Height. eng. *Journal of sports science medicine* 20.1 (2021), s. 149–157. ISSN: 1303-2968.
- [27] Deranek, K., Hewitt, B., Gudi, A. ja McLeod, A. The impact of exercise motives on adolescents' sustained use of wearable technology. eng. *Behaviour information technology* ahead-of-print.ahead-of-print (), s. 1–15. ISSN: 0144-929X.