

Hiirikäden ja kätisyyden vaikutukset hiiren käytön tehokkuuteen

Mika Perkiömäki

Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden laitos
Tietojenkäsittelyoppi
Pro gradu -tutkielma
Marraskuu 2005

Tampereen yliopisto

Tietojenkäsittelytieteiden laitos

Tietojenkäsittelyoppi

Mika Perkiömäki: Hiirikäden ja kätisyyden vaikutukset hiiren käytön tehokkuuteen

Pro gradu -tutkielma, 77 sivua, 3 liitesivua

Marraskuu 2005

Tiivistelmä

Hiiri on tehokas ja yleisin graafisen käyttöliittymän osoitinlaite. Suurin osa niin oikea- kuin vasenkätisistäkin käyttää sitä oikealla kädellä. Hiiren käyttäminen aina samalla kädellä voi kuitenkin aiheuttaa rasitusvammoja ja siksi kuormituksen vähentämiseksi hiirikättä on ehdotettu vuoroteltavaksi. Lisäksi nykyaikaisen henkilökohtaisen tietokoneen näppäimistö suosii näppäinasettelunsa puolesta hiiren käyttöä vasemmalla kädellä.

Tässä tutkielmassa olen selvittänyt, paljonko oikeakätinen käyttäjä menettää suorituskyvyssä, jos käyttää hiirtä vasemmalla kädellään. Lisäksi olen mitannut sitä, miten paljon oikeakätisiä tehokkaampia vasenkätiset ovat ei-hallitsevan käden hiirikäytössä. Suoritin 30 hengen kontrolloidun kokeen, jossa erikätiset ja eri käsillä hiirtä käyttämään tottuneet koehenkilöt tekivät yksinkertaisia hiiren osoitustehtäviä kummallakin kädellään. Oikeakätisten todettiin pystyvän parantamaan vasemman käden suorituskykyään harjoittelun avulla noin kolmanneksella. Niilläkin oikeakätisillä, jotka olivat käyttäneet hiirtä vasemmalla kädellä jo vuosia, vasemman käden suorituskyky oli hieman alhaisempi kuin oikean. Havaittu 15 % ero kokonaistehokkuudessa ei ole kuitenkaan kovin suuri. Vasenkätisten taas todettiin olevan noin 10 % oikeakätisiä tehokkaampia ei-hallitsevalla kädellään.

Johtopäätöksenä kaikenkätisiä hiiren käyttäjiä suositellaan opettelemaan hiiren käyttö kummallakin kädellään ja vuorottelevan hiirikättään, koska vaikutukset hiiren käytön tehokkuuteen eivät ole suuria.

Avainsanat ja -sanonnat: kätisyys, ergonomia, HCI, hiiri, Fittsin laki, osoitinlaitteet.

University of Tampere

Department of Computer Sciences

Computer Science

Mika Perkiömäki: The influence of handedness and mouse hand experience on the effectiveness of mouse use

MSc. thesis, 77 pages, 3 appendices

November 2005

Abstract

Mouse is an efficient and the most popular pointing device in a graphical user interface. Most both right- and left-handed people use it with their right hand. However, using always the same hand may cause overuse injuries and it has been suggested that one should alternate between hands when using a mouse. Furthermore, the layout of a modern computer keyboard is biased for left-hand mouse use.

In this study I have measured how much a right-handed user loses in performance when using mouse with her left hand. In addition, I have measured how much more efficient than right-handers left-handers are in using mouse with their non-dominant hand. I carried out a controlled experiment of 30 people in which people with different handedness and with different handed mouse usage preferences made simple pointing exercises with a normal mouse with both of their hands. I found out that right-handers could increase their performance with their left hand after training by about a third. Even for the right-handers who had used mouse with their left hand for years, the performance of their left hand was still a bit lower than the performance of their right hand, but the difference in throughput was only 15 %. On the other hand, measured in throughput, left-handers were about 10 % more efficient than right-handers with their non-dominant hand.

The conclusion is that all mouse users can be recommended to alternate between hands when using a mouse.

Keywords: handedness, ergonomics, HCI, mouse, Fitts' law, pointing devices.

Esipuhe

Suoritettuani Gradua Vaille Maisterin "tutkinnon" 1998, odotin kuusi pitkää vuotta inspiraatiota ja sopivaa hetkeä gradun teolle. Kiinnostuksen kohteet tietojenkäsittelyn alalla ovat vuosien varrella vaihdelleet sinne ja tänne: tiedonhausta web-ohjelmointiin, järjestelmäylläpidosta tietoturvaan, käytettävyydestä ohjelmistotuotantoon. Kuitenkin vasta vuosi sitten löysin osoitinlaitteiden ja käтisyiden mielenkiintoisen maailman. Kiitokset siitä ohjaajalleni Poika Isokoskelle, joka on graduprojektini alusta loppuun asti ollut korvaamaton apu ja ehtymätön hyvien vastausten lähde kysymyksiini - viime vaiheissa hieman virkavelvollisuuksiensa edellyttämää enemmänkin.

Sopivan ajankohdan löytymisestä puolestaan kiitokset kuuluvat työnantajalleni WM-datalle ja esimiehelleni Petri Penttiselle, joiden yhteistyön ansiosta järjestyi ruhtinaallinen kahdeksan kuukauden opintovapaa työelämästä. Työnantajani ansiota on sekin, että saatoin kirjoittaa graduni tietokoneella, jossa on kaikki näppäimet tallella. Opiskelijalle niin tärkeästä taloudellisesta tuesta olen kiitollinen Kansaneläkelaitokselle opintorahasta - olkoonkin ettei sillä kata edes vuokraa - sekä Tampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitokselle tutkimusapurahasta, jonka ansiosta sain kuukauden lisäaikaa enkä joutunut viimeistelemään gradua ns. vasemmalla kädellä.

Erityiskiitoksen ansaitsevat kaikki ne 30 vapaaehtoista koehenkilöäni, jotka kärsivällisesti jaksoivat nakuttaa hiirellä yksitoikkoisia osoitustehtäviä kokonaisen tunnin arvokasta aikaansa antaen. Suuret kiitokset osoitan Esa Heinolle testihirestä sekä monista arvokkaista kommentteista ja Ismo Raitaselle inspiraatiosta tähän esipuheeseen.

Kiitokset myös #persikan jäsenille monista asiantuntevista neuvoista sekä RC Eemelin seuratovereille sporttisen virkistävästä hetkistä kirjoitussessioiden välillä. Kiitos lisäksi Lakulle, joka päivästä toiseen on uskollisesti selkäni takana ikkunalaudalla maaten, välillä sylissäkin kehräten tai jopa näyttöä puskien seurannut sivumäärän kasvamisesta - ja antanut testihireni olla rauhassa.

Rakas, vasenkätinen avopuolisoni Lepe on aina ollut valmis antamaan apua ja tukea. Lepeltä sain myös ansiokasta apua aineiston hankinnassa sekä hyviä kommentteja ja korjausehdotuksia. Mukisematta jaksoit kestää jopa miltei kokonaisen kuukauden eron keväisen Bulgarian kirjoitusleirini aikana. Kiitos!

Tampereella 1.11.2005

Mika Perkiömäki

mikap@iki.fi

Sisällys

1. Johdanto	1
2. Hiiri, kätisyys ja hiirikätisyys	4
2.1. Hiiri syöttölaitteena	4
2.1.1. Mikä on hiiri.....	4
2.1.2. Hiiri verrattuna muihin osoitinlaitteisiin	5
2.2. Kätisyys	6
2.2.1. Mitä on kätisyys.....	6
2.2.2. Mistä kätisyys johtuu.....	8
2.2.3. Kätisyyden yhteys henkisiin ja fyysisiin kykyihin.....	10
2.2.4. Kätisyyden vaihtaminen	12
2.3. Hiirikätisyys.....	14
2.3.1. Näppäimistön horisontaalinen epätasapaino	14
2.3.2. Hiiren sijainnin vaikutuksia	15
2.3.3. Hiirikäsi ja erot spatiaalisissa kyvyissä.....	18
3. Fittsin laki	20
3.1. Mikä on Fittsin laki	20
3.2. Fittsin lain historiaa	21
3.3. Fittsin lain soveltaminen.....	23
3.3.1. ISO 9241-9	26
4. Aikaisempia tutkimustuloksia	28
4.1. Joitakin hiirikäsitutkimuksia	28
4.1.1. Hoffmann <i>et al.</i> , 1997.....	28
4.1.2. Peters ja Ivanoff, 1999	30
4.1.3. Kabbash <i>et al.</i> , 1993.....	32
4.2. Muita aiheita sivuavia tutkimuksia.....	33
5. Koesuunnittelu ja menetelmien valinta	36
5.1. Kohdeongelma	36
5.2. Tutkimusstrategia: kontrolloitu koe.....	37
5.3. Tiedon keruu ohjelmallisella seurannalla	38
5.4. Koejärjestelyjen kuvaus.....	39
5.4.1. Koehenkilöt	39
5.4.2. Testiohjelma	40
5.4.3. Testitilanne	40
5.4.4. Testitehtävät.....	42
5.4.5. Kysymyslomakkeet.....	46
5.5. Mittaamisesta.....	48

6.	Tulokset ja analyysi	50
6.1.	Tunnuslukuja koehenkilöistä	50
6.2.	Taustaa tulosten analyysille	51
6.2.1.	Oppiminen	51
6.2.2.	Koko testin kokonaistehokkuus	54
6.2.3.	Vaikeusindeksin ja suoritusajan suhde	56
6.3.	Päätulokset	58
6.3.1.	Oikeakätisten tehokkuuden menetys vasemmalla kädellä.....	58
6.3.2.	Erikätisten tehokkuuserot ei-hallitsevalla kädellä	60
6.4.	Muut tulokset	61
6.4.1.	Oikeakätiset hiirtä eri käsillä käyttävät.....	61
6.4.2.	Erikätiset hiirtä vain oikealla kädellä käyttävät	65
6.4.3.	Erikätiset hiirtä ei-hallitsevalla kädellä käyttävät	67
7.	Yhteenveto	69
7.1.	Tulokset	69
7.2.	Vertailua aiempiin tutkimuksiin.....	70
7.3.	Rajoitukset ja jatkotutkimusaiheet.....	70
	Viiteluettelo	72
	Liite 1: Kyselylomake käyttäjätesteihin osallistuville.....	78
	Liite 2: Kätsiyskyselylomake käyttäjätesteihin osallistuville	79
	Liite 3: Käyttäjäkokeuskysely käyttäjätesteihin osallistuville	80

1. Johdanto

Henkilökohtaiset tietokoneet ovat viime vuosikymmeninä mullistaneet tapamme käsitellä tietoa. Tietokoneiden graafisten käyttöliittymien yleisimmiksi syöttölaitteiksi ovat vakiintuneet näppäimistö ja hiiri. Yleisimmin käytetyn näppäimistötyypin asettelu on kuitenkin peräisin ajalta ennen nykyaikaisia tietojenkäsittelylaitteita ja siksi se on suunniteltu suosimaan oikean käden käyttöä – onhan 85–90 % väestöstä oikeakätisiä. Kun sittemmin näppäimistön ohelle toiseksi syöttölaitteeksi on tullut hiiri, on valtaosa alkanut käyttää sitä oikealla kädellä. Porac *et al.* [1990] ovat osoittaneet, että vasenkätiset oppivat oikeakätisiä paremmin tekemään uusia asioita huonommalla kädellään ja monet vasenkätiset ovatkin käytännön syistä joutuneet opettelemaan hiiren käytön oikealla kädellä. Hiiren käyttäminen oikealla kädellä kuitenkin aiheuttaa MacKenzien ja Guiardin [2001] mukaan oikean käden ylikuormituksen, koska näppäimistö suosii oikean käden käyttöä.

MacKenzie [2003], Cook ja Kathiyal [1998] sekä Delisle *et al.* [2004] suosittelevat hiirtä käytettäväksi vasemmalla kädellä. Silloin käsien kuorma jakautuu tasaisemmin sekä tarve siirtää kättä näppäimistön ja hiiren välillä vähenee. Lisäksi myös tarve kurkottaa kauas poistuu, koska vasemmalla puolella hiiri on lähempänä kehoa kuin oikealla. Vaikuttaa siis siltä, että ainakin ergonomiasyistä¹ hiirtä kannattaisi käyttää vasemmalla kädellä.

Toisaalta on todettu, että oikean käden motorisen ylikuormituksen lisäksi hiiren käyttäminen aina samalla kädellä aiheuttaa kädelle fyysistä yllirasitusta. Tästä voi runsaasti tietokonetta käyttävälle aiheutua monenlaisia vammoja, joita kuitenkin on mahdollista ehkäistä ennalta vähentämällä saman käden toistojen määrää [Ackland ja Hendrie, 1999]. Vuorottelemalla hiirikättä yhden käden kuormitus voidaan puolittaa ja siten vähentää yllirasituksesta johtuvien vaivojen todennäköisyyttä. Vielä parempi, kuin käyttää hiirtä aina vasemmalla kädellä, olisi siis opetella käyttämään sitä molemmilla käsillä.

Herää kysymys, menettääkö oikeakätinen käyttäjä suorituskyvyssä jotain siirtyessään käyttämään hiirtä vasemmalla kädellä? Mikäli voidaan osoittaa, että vasemmalla kädellä hiiren käyttäminen ei ole oikeakätisille ainakaan

¹ "Fyysinen ergonomia tarkastelee ihmisen anatomisia, antropometrisiä, fysiologisia ja biomekaanisia ominaisuuksia fyysisessä toiminnassa. Keskeisiä aiheita ovat työasennot, materiaalin käsittely, toistoliikkeet, työperäiset tuki- ja liikuntaelinsairaudet, työpaikan sommittelu, turvallisuus ja terveys." Kansainvälinen ergonomiayhdistys IEA [2000]

merkittävästi hitaampaa kuin oikealla, olisi oikeakätisiä varmaankin helpompi motivoida entistä ergonomisempaan tietokoneiden käyttöön. Toisaalta jos havaitaan merkittävä haitta suorituskäytössä, voitaisiin tällaisen tutkimustuloksen pohjalta odottaa näppäimistön suunnitteluun muutoksia, koska tavallisimmin nykyään käytössä olevat näppäimistöt eivät suosi hiiren käyttämistä oikealla kädellä.

Entä miten vastaava hiirikäden vaihtaminen vaikuttaa vasenkätisen käyttäjän suorituskäyttöön? Vasenkätisillä odotettu tulos olisi se, että heidän hiiren käyttönsä oikealla kädellä ei ole ainakaan tehottomampaa kuin oikeakätisten vasemmalla. Mikäli näin on ja oikeakätistenkin todetaan pystyvän oppimaan vasemmalla kädellään tyydyttävän tehokkuustason hiiren käytössä, voidaan olettaa vasenkätisten käsien välisen tehokkuuseron olevan vielä pienempi kuin oikeakätisten. Näin vasenkätisten kannattaisi vielä oikeakätisiäkin enemmän vuorotella hiirikättään.

Osoitinlaitteiden tehokkuutta on perinteisesti mitattu Fittsin [1992] lain perusteella. Ensimmäisen tällaisen tutkimuksen tekivät Card *et al.* [1978], jotka osoittivat hiiren tehokkaimmaksi testaamistaan osoitinlaitteista. Sitten Fittsin lakiin pohjaavia tutkimuksia on tehty kymmeniä, varsin vaihtelevin tuloksin.

Vuonna 2000 valmistui ISO-standardi 9241-9 [ISO, 2000], ”Näyttöpäätteillä tehtävän toimistotyön ergonomiset vaatimukset. Osa 9: Muiden syöttölaitteiden kuin näppäimistöjen vaatimukset.” Tämän standardin liite B esittelee menetelmät, joilla osoitinlaitteita tulisi testata. Soukoreff ja MacKenzie [2004] ovat osoittaneet, että niissä tutkimuksissa, joissa on noudatettu näitä menetelmiä, on päästy paljon yhdenmukaisempiin tuloksiin kuin varhaisemmissa tutkimuksissa.

Vasenkätisten hiiren käyttöä ovat tutkineet muun muassa Hoffmann *et al.* [1997]. He keskittyivät siihen, onko oikealla kädellä hiirtä käyttämään tottuneille vasenkätisille haittaa hiiren käytöstä oikealla kädellä. Hoffmannin *et al.* testeissä niin oikea- kuin vasenkätistenkin hiiren käytön tehokkuus oikealla kädellä oli suunnilleen sama. Lisäksi vasenkätiset pystyivät yhtä tehokkaaseen käyttöön vasemmalla kädellä, mutta oikeakätisten tehokkuus vasemmalla kädellä oli selvästi heikompi kuin oikealla. Tutkimuksessa ei kuitenkaan ollut mukana yhtään normaalisti vasemmalla kädellä hiirtä käyttävää koehenkilöä eikä se noudattanut kaikkia ISO-standardin 9241-9 suosittelamia menetelmiä.

Tutkielmani *tutkimusongelmaksi* muodostuu siis: hiiren käyttö vasemmalla kädellä olisi ergonomisempaa kuin oikealla kädellä. Kuitenkin suurin osa käyttää hiirtä vain oikealla kädellä, mistä voi aiheutua rasitusvammoja.

Tutkimuskysymyksiä on kaksi: paljonko oikeakätinen käyttäjä menettää suorituskyvyssä, jos käyttää hiirtä vasemmalla kädellä? Entä käyttäkö tottunut vasenkätinen hiirtä oikealla kädellä tehokkaammin kuin oikeakätinen vasemmalla? Mielenkiintoista olisi tutkia myös vasenkätisten hiiren käytön tehokkuutta vasemmalla kädellä, mutta se ei tämän tutkielman käytettävissä olevilla resursseilla ole mahdollista.

Tutkimuskysymysten selvittämiseksi pitää vertailla hiiren käytön tehokkuutta eri käsillä kolmen eri ryhmän kesken: vasenkätiset oikealla kädellä (tai molemmilla käsillä) hiirtä käyttämään tottuneet, oikeakätiset vain oikealla kädellä hiirtä käyttämään tottuneet ja oikeakätiset vasemmalla kädellä (tai molemmilla käsillä) hiirtä käyttämään tottuneet. Lisäinformaatiota saisi tutkimalla myös vasemmalla kädellä hiirtä käyttämään tottuneita vasenkätisiä.

Olen hakenut vastaukset tutkimuskysymyksiin kontrolloidun kokeen avulla. Pyrin keräämään mahdollisimman monipuolisen otoksen koehenkilöitä ja vertaamaan heidän hiiren käytön suorituskykyään ISO-standardin 9241-9 [2000] sekä Soukoreffin ja MacKenzien [2004] suosittelemia menetelmiä hyväksi käyttäen. Koehenkilöiden etsintävaiheessa kävi kuitenkin selväksi, että vasemmalla kädellä hiirtä käytettäviä vasenkätisiä on erittäin vähän. Siksi olen tehnyt kontrolloidut kokeet vain kolmen muun ryhmän kesken. Neljännen ryhmän tulosten selvittäminen ja yhteensovittaminen nyt saatuihin tuloksiin jää jatkotutkimusaiheeksi.

Jatkan seuraavaksi esittelemällä luvussa 2 tutkimuskohteen. Kerron siinä taustaa hiiristä tietokoneen osoitinlaitteena, mitä kätisyys tarkoittaa sekä miten hiiri ja kätisyys yhdistyvät hiirikätisyudeksi. Luvussa 3 esittelen tutkielman kannalta tärkeimmän teorian, Fittsin lain. Luku 4 sisältää kirjallisuuskatsauksen jo tehtyihin hiirikäsitutkimuksiin sekä muihin tutkielman kannalta tärkeimpiin tutkimuksiin. Luvussa 5 esittelen kontrolloidun kokeen koejärjestelyn ja luvussa 6 käyn yksityiskohtaisesti läpi kokeen tulokset. Lopuksi luvussa 7 on yhteenveto sekä muuta pohdintaa aiheesta.

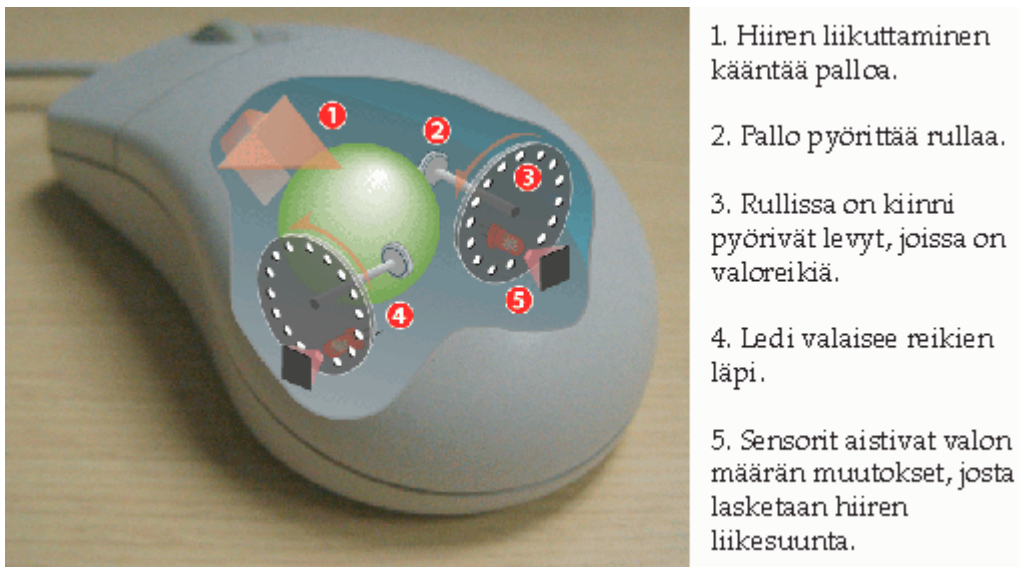
2. Hiiri, kätisyys ja hiirikätisyys

Tässä luvussa esittelen tutkimuskohteeni. Tutkielma yhdistää kaksi aiheetta – hiiren käyttämisen sekä kätisyyden – joten aloitan käsittelemällä niitä ensin erikseen ja sitten nämä yhdistämällä kuvaan, miten kätisyys liittyy hiiren käyttöön.

2.1. Hiiri syöttölaitteena

2.1.1. Mikä on hiiri

Hiiri on tietokoneen syöttölaite, jossa on yksi tai useampia nappeja. Hiirellä voi tehdä kaksiulotteista, vierittävää liikettä, joka ohjaa kohdistinta näytöllä ja lisäksi sillä voi tehdä erilaisia valintoja tai komentoja [ISO, 2000]. Hiiren keksijänä pidetään Douglas Engelbartia ja hänen kollegoitaan, jotka esittelivät keksimäänsä syöttölaitetta ensimmäisen kerran julkisesti vuonna 1968 [Zhai, 2004b].



Kuva 1. Mekaanisen pallohiiren läpileikkaus ja toiminta.

[[http://fi.wikipedia.org/wiki/Hiiri_\(osoitinlaite\)](http://fi.wikipedia.org/wiki/Hiiri_(osoitinlaite))]

Tyypillinen nykyaikainen hiiri on kuvassa 1 esitetty optomekaaninen pallohiiri, jonka pohjassa on liikuttelun tunnistava pallo. Hiirtä liikutellaan tasopinnalla – usein liikkeen tehostamiseksi käytetään alustana erillistä hiirimattoa – ja se lähettää siirtotiedot eteenpäin tietokoneelle esimerkiksi USB-väylää (Universal Serial Bus) käyttäen. Perinteisessä hiiressä siirto tapahtuu kaapelin välityksellä, mutta nykyään monet hiiret ovat langattomia ja lähettävät tiedot tietokoneen

USB-väylässä olevaan vastaanottimeen ilman kaapelia. Viime vuosina on paljon yleistynyt myös optinen hiiri, jonka pohjassa on pallon sijaan optinen liiketunnistin. Optisen hiiren merkittävin etu on se, että sen liikuttelun tunnistavat osat eivät käytössä likaannu ja kulu niin paljon kuin pallohiiren.

Hiiren käytettävyyteen vaikuttavat ainakin sen koko, paino ja muoto. Erot ovat lähinnä käyttömukavuudessa ja ergonomiassa, sillä kun Isokoski ja Raisamo [2002] tutkivat kuutta erikokoista ja -muotoista hiirtä, he huomasivat että erot suorituskyvyssä eivät olleet merkittäviä. Tämän tutkimuksen kannalta ei siis ole ratkaisevaa, millaista hiirtä kokeissa käytetään. Tärkeää on kuitenkin se, että hiiri on suunniteltu molemmilla käsillä käytettäväksi, jolloin kaikki testitilanteet voidaan käydä läpi samaa laitetta käyttäen. Tämä sulkee pois niin sanotut ergonomiset hiiret, jotka on muotoiltu vain jompaankumpaan – yleensä oikeaan – käteen istuviksi.

Nykyään monen hiiren päällä on myös vieritystehtävien tekemistä varten rulla. Rullaa käyttäen on kätevää selata pitkiä dokumentteja ilman, että kättä pitää siirtää hiireltä näppäimistöille. Tämä kuitenkin aiheuttaa hiirikäden ylikuormitusta, sillä vieritystä voisi hyvin tehdä eri kädellä kuin osoitustehtäviä. Lisäksi hiirtä käytetään usein *hallitsevassa kädessä*², kun Guiardin [1987] mukaan vierittämistehtävä sopii paremmin ei-hallitsevalle kädelle. Ratkaisuna ongelmaan MacKenzie ja Guiard [2001] ovat esittäneet näppäimistön laitaan asennettua kosketintunnistinta tai rullaa, jota voisi käyttää toisella kädellä päästämättä toisen käden otettaan hiirestä irti. Tällaisia näppäimistöjä on sittemmin tullut myyntiin (esim. Microsoft Wireless Optical Desktop Elite Keyboard), vaikkakaan suurta suosiota ne eivät ole ainakaan vielä saavuttaneet.

2.1.2. Hiiri verrattuna muihin osoitinlaitteisiin

On olemassa monia muitakin graafisen käyttöliittymän osoitinlaitteita kuin tavallinen hiiri. Yleisesti käytössä ovat muun muassa ohjauslevy (touchpad), ohjaustikku (trackpoint) ja ohjauspallo (trackball) sekä kosketusnäyttö. Hiiri on kuitenkin todettu useimmissa käyttötilanteissa erityisen hyväksi syöttölaitteeksi ja se on siten tällä hetkellä todennäköisesti eniten käytössä oleva osoitinlaite. Tämä on yksi syy, miksi tässä tutkimuksessa on rajoitettu

² Hallitseva eli dominoiva käsi (engl. dominant hand) tarkoittaa sitä kättä, jota henkilö mieluummin käyttää useimpiin yhden käden toimintoihin. Vastaavasti toista kättä kutsutaan *ei-hallitsevaksi kädeksi* (engl. non-dominant hand).

tutkimaan ainoastaan hiiren käyttöä. Toinen syy on se, että nimenomaan hiirtä käytettäessä tulevat esiin oikean käden ylikuormitusongelmat, joita käsittelen kohdassa 2.3. Esimerkiksi kannettavan tietokoneen ohjauslevyä käytettäessä ei vastaavaa ylikuormitustilannetta synny.

Jo ennen henkilökohtaisten tietokoneiden yleistymistä Card *et al.* [1978] osoittivat hiiren olevan muita silloin käytössä olleita osoitinlaitteita tehokkaampi. Mahdollisia syitä hiiren hyvyteen ovat Zhain [2004b] mukaan suoraviivaisuus, luontevuus ja vähäinen rasitus. Hiirtä on lisäksi helppo ohjata tarkasti ja siihen on saatu hyvin yhdistettyä mahdollisuus tehdä osoitustehtävien lisäksi myös kohteiden valintoja.

Kannettavat tietokoneet ovat yleistyneet viime vuosina paljon ja niihin on suunniteltu erilaisia, perinteisestä hiirestä huomattavasti poikkeavia osoitinlaitteita. Suosituimmiksi näistä ovat tulleet edellä mainittu ohjauslevy sekä näppäimistön sekaan sijoitettu paineentunnistava osoitintikku. Hiiri on kuitenkin tehokkaampi syöttölaite kuin kumpikaan näistä ja niinpä monet kannettavien tietokoneiden käyttäjät asentavatkin työpöydän äärellä ollessaan koneeseensa ulkoisen hiiren ja käyttävät sitä. Hiiri ei siis missään tapauksessa ole katoamassa käytöstä kannettavien tietokoneiden yleistymisestä huolimatta.

2.2. Kätisyys

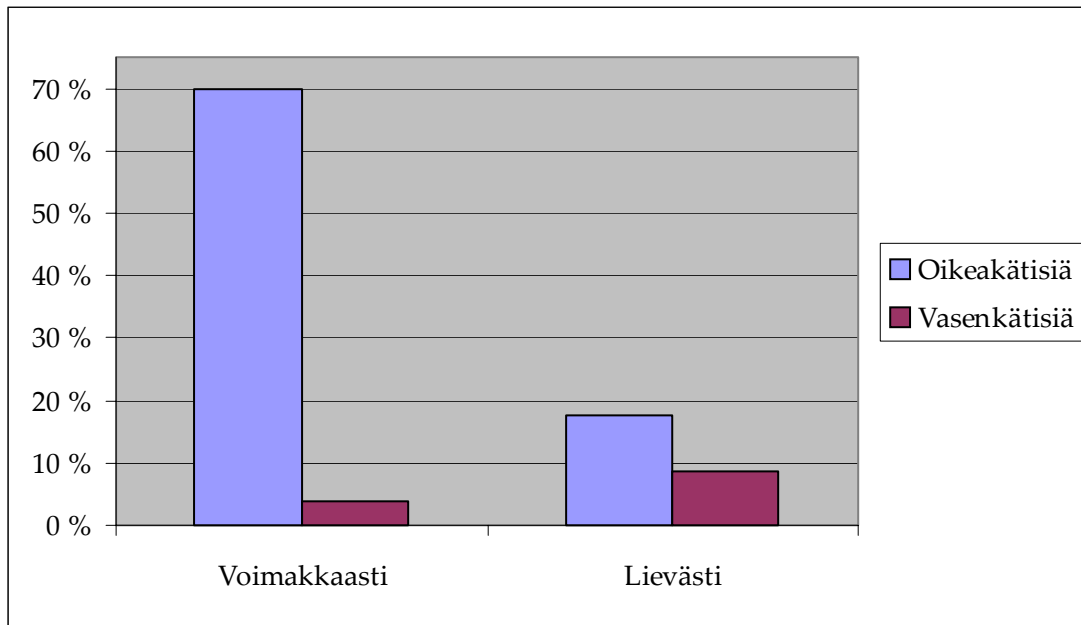
2.2.1. Mitä on kätisyys

Kanninen *et al.* [1997, s. 140] määrittelevät kätisyyden ”henkilön taipumukseksi käyttää useammin toista kättään, yleensä oikeaa, joka tavallisesti kehittyikin toista vahvemmaksi ja tarkemmaksi”. Väestöstä noin 85–90 % on oikea- ja 10–15 % vasen- tai molempikätsiä [Porac ja Coren, 1981, s. 36]. Vasenkätisyyttä³ esiintyy miehillä useammin kuin naisilla: Corenin [1992, s. 32] tutkimista naisista noin 10 % ja miehistä noin 14 % oli vasen- tai molempikätsiä.

Lisäksi Ullmannin [1972, s. 38] mukaan voimakkaasti oikeakätisiä on 70 %, voimakkaasti vasenkätisiä 4 % ja loput 26 % ovat enemmän tai vähemmän molempikätsiä. Yhdistämällä tämän edellisessä kappaleessa mainittuihin lukuihin, voidaan päätellä, että lievästi oikeakätisiä on väestöstä noin 15–20 % ja lievästi vasen- tai täysin molempikätsiä 6–11 %. Vasenkätisyys on siis harvoin yhtä jyrkkää kuin oikeakätisyys. Kuten kuvasta 2 näkyy, lievästi

³ Kanninen ja muut [1997, s. 280] määrittelevät vasenkätisyyden ”vasemman käden vallitsevuudeksi käytännön toimissa”.

vasenkätisiä on noin puolet siitä mitä lievästi oikeakätisiä, mutta voimakkaasti vasenkätisiä vain hyvin vähän. Porac *et al.* [1990] toteavat lasketun, että oikeakätisistä 18 % ja vasenkätisistä 42 % käyttää ei-hallitsevaa kättään joissakin tehtävissä.



Kuva 2. Voimakkaasti ja lievästi oikea- ja vasenkätisten suhteelliset osuudet.

Paitsi käsien, myös jalkojen, silmien ja korvien käytössä useimmat suosivat oikeaa puolta enemmän. Kätisyydessä oikean puolen suosiminen on kuitenkin kaikkein yleisintä. Lisäksi vaikuttaa siltä, että kätisyyden olemassaolo ja etenkin oikeakätisyyden vallitsevuus ovat piirteitä, joita ei eläimillä ilmene läheskään niin voimakkaasti kuin ihmisillä. [Coren, 1992, s. 25–31]

Kätisyys on suuri joukko käyttäytymismalleja, joissa ilmenee suuria eroja oikean käden käytössä niilläkin, jotka kategorisoidaan oikeakätisiksi. Kirjoituskättä käytetään joskus kätisyyden ainoana mittarina, mikä on kuitenkin väärin, vaikka kirjoituskäsi usein onkin sama kuin hallitseva käsi⁴. Kirjoituskäsi kuitenkin ennakoi huonosti etenkin vasenkätisten kokonaiskätisyyttä, koska se usein muuttuu ympäristön vaikutuksesta. Kätisyydessä näyttäisi olevan myös kulttuurillisia eroja, niin että joissakin maissa vasenkätisiä on vähemmän kuin toisissa. Tällaiseen voivat johtaa esimerkiksi uskonnolliset syyt suosia oikeaa kättä. [Porac *et al.*, 1990]

⁴ Esimerkiksi Suomen vasemmat kätet ry:n yksi pääsyvaatimus on, että käyttää vasenta kättä viralliseen allekirjoitukseen.

2.2.2. Mistä kätisyys johtuu

Kätisyyden syitä ei tunneta aivan tarkkaan. Vanhojen taideteosten perusteella on päätelty, että vasen- ja oikeakätisten suhde on jo vuosituhansia ollut sama kuin nykyäänkin. Kätisyys on selvästi periytyvä ominaisuus ja erityisen selvästi se periytyy äidiltä. Jos molemmat vanhemmat ovat vasenkätisiä, lapsikin on 40 % todennäköisyydellä vasenkätinen. Toisaalta kaksoset ovat vain yhtä usein samankätisiä kuin ketkä tahansa kaksi satunnaisesti valittua henkilöä⁵. Perinnöllisyydellä on kuitenkin todettu olevan suurin merkitys vasenkätisyyden esiintymiseen ja merkittäväällä osalla vasenkätisistä muuta syytä ei ilmeisesti ole. [Coren, 1992, s. 80–91]

Kätisyydellä on myös selvä yhteys aivojen lateraalisuuteen. Lateraalisuudella tarkoitetaan käsitystä isojen aivojen kahden aivopuoliskon eroista siten, että tiettyjen toimintojen hermostollinen säätely tapahtuu pääasiassa toisesta aivopuoliskosta [Kanninen *et al.*, 1997, s. 145]. Vaikka aivopuoliskot ovatkin melko symmetriset, ne ovat silti erikoistuneet hoitamaan jonkin verran eri tehtäviä. Esimerkiksi puheessa, kirjoittamisessa ja laskemisessa vasemmalla aivopuoliskolla on tavallisesti hallitseva osuus, kun taas tilasuhteiden hallinnasta ja musiikin tajusta vastaa yleensä pääosin oikea aivopuolisko. Vasen aivopuolisko ohjaa oikean kehonpuoliskon liikkeitä ja päinvastoin.

Käsitys vasemman aivopuoliskon analyttisyydestä ja oikean aivopuoliskon luovuudesta onkin yleinen, mutta tosiasiasa jako ei ole näin suoraviivainen. Vasemmasta aivopuoliskosta vammautunut ei välttämättä menetä puhekykyään kokonaan. Seurauksena voi olla erilaisia afasioita, joiden oireita ovat esimerkiksi kieliopilliset vaikeudet tai ongelmat muistaa asioiden nimiä [Kalat, 1992]. Kanninen *et al.* [1997] toteavatkin, että aivojen lateralisaatio ei ole niin selvää kuin on oletettu, ja nykyisin olennaisimpana piirteenä lateralisaatiossa pidetään enemmän toimintojen epäsymmetrisyyttä kuin joidenkin toimintojen keskittymistä jompaankumpaan aivopuoliskoon.

Yleinen käsitys on, että kätisyys riippuu suoraan siitä, kumpi aivolohko on hallitseva. Näillä asioilla onkin olemassa riippuvuus, mutta ei aivan suora. Lähes kaikilla oikeakätisillä kylläkin vasen aivolohko on hallitseva ja lisäksi vasenkätisillä selvästi oikeakätisiä useammin hallitsee oikea aivolohko, mutta silti suurimmalla osalla heistäkin hallitsevana on vasen aivolohko.

⁵ Tosin kaksoset ovat muuta väestöä todennäköisemmin vasenkätisiä. [Bakan, 1971]

Mistä perin poikkeuksellinen, vain noin yhdellä 15 ihmisestä esiintyvä oikean aivopuoliskon hallitsevuus sitten voi johtua? Coren ja Searleman [1990] ovat esittäneet⁶, että noin puolet vasenkätisistä on luonnostaan vasenkätisiä ja noin puolet muuntuneita oikeakätisiä. Oikeakätisistä taas erittäin harva on vasenkätisistä sellaisiksi muuntuneita. Tällaiset patologiset muunnokset tapahtuvat sikiöaikana tai synnytyksessä. Vaikka synnytyskomplikaatioiden tilastollisesti merkitsevää yhteyttä kätisyyteen ei Schwartzin [1990] mukaan olekaan pystytty osoittamaan, ovat esimerkiksi Bakan [1990] ja Coren [1992, s. 145–147] todenneet useiden erilaisten komplikaatioiden nostavan syntyvän lapsen vasenkätisyyden todennäköisyyttä. Lisäksi yli 40-vuotias äiti saa vasenkätisen lapsen yli kaksi kertaa niin todennäköisesti kuin alle 25-vuotias⁷.

Sikiöaikana tai synnytystraumojen tuloksena tulleet vasemman aivolohkon vauriot voivat johtaa siihen, että oikea aivolohko ottaakin hoitaakseen normaalisti vasemmalle kuuluvia tehtäviä. Yksi tällainen tehtävä on hallitsevan käden määrittäminen ja koska oikea aivolohko kontrolloi vasenta kättä, saattaa tämä johtaa vasenkätisyyteen. Tätä teoriaa tukee se tosiasia, että vasenkätisillä esiintyy selvästi oikeakätisiä enemmän erilaisia kroonisia vaivoja, joita käsittelen tarkemmin kohdassa 2.2.3. On todennäköistä, että monella nämä vaivat johtuvat samasta sikiöajan tai synnytyksen traumasta kuin vasenkätisyyskin.

Paljon vasenkätisyyden perinnöllisyyttä tutkinut Annett [1998] kuitenkin muistuttaa, että vaikka joillakin vasenkätisyys olisikin patologista, niin se ei tarkoita että näin olisi kaikilla. Annett onkin esittänyt, että monilta vasenkätisiltä puuttuu jonkinlainen oikeakätisyyden geeni.

Kalat [1992, s. 167], Bakan [1990, s. 50–51] ja Coren [1992, s. 189] esittävät yhtenä mahdollisuutena vasenkätisyyden syntyyn Norman Geschwindin ja Albert Galaburdan teorian testosteronin vaikutuksesta: mikäli sikiöön erittyy erityisen paljon testosteronia, se hidastaa vasemman aivopuoliskon kehitystä ja voi johtaa tavallista hallitsevampaan oikeaan aivopuoliskoon sekä sitä kautta vasenkätisyyteen. Teoriaan suhtaudutaan kuitenkin ristiriitaisesti, sillä kaikki tosiasiat eivät tue sitä.

⁶ Ns. rare trait marker model.

⁷ Toisaalta Bakan [1971] on osoittanut, että neljäntenä ja sitä myöhemmin syntyvän lapsen lisäksi myös ensimmäinen lapsi on toista ja kolmatta todennäköisemmin vasenkätinen.

2.2.3. Kätisyyden yhteys henkisiin ja fyysisiin kykyihin

Vasenkätisyyden on jo pitkään arveltu liittyvän erilaisiin henkisiin ongelmiin ja viimeisten sadan vuoden aikana useat tutkimukset ovat tukeneet tätä oletusta. Vasenkätisyyden on todettu olevan yhteydessä lieviin aivovammoihin ja vasenkätisyyttä esiintyy tavallista enemmän muun muassa henkisesti alikehittyneillä, epileptikoilla, oppimisvaikeuksista kärsivillä sekä alkoholisteilla. Bakan kollegoineen ([Bakan, 1971; Bakan *et al.*, 1973]) esitti hypoteesin, että vasenkätisyys olisi traumaattisen raskausajan sivutuote tai seuraus epätavallisesta synnytyksestä. Kuten jo edellä kohdassa 2.2.2 totesin, empiirinen tuki Bakanin väitteelle on ristiriitaista. Todennäköisesti vasenkätisyyteen johtavia pääsyitä on kaksi: 1) synnytystrauman tuloksena vasenkätiseksi tulleet sekä 2) ne, jotka ovat ”luonnostaan” vasenkätisiä. [O’Boyle ja Benbow, 1990; Coren, 1992, s. 136]

Coren ja Searleman [1990, s. 6–7] luettelevat kymmeniä sairauksia, vaivoja ja erikoisuuksia, joiden on todettu olevan kytköksissä vasenkätisyyteen. Tällaisia ovat muun muassa epilepsia, lukihäiriöt, alkoholismi, aggressiivisuus, allergiat, migreeni, huonot *spatiaaliset*⁸ kyvyt, huonot verbaaliset kyvyt, huono koulumenestys, autismi, univaikeudet ja hidas fyysinen kehitys. Monilla vasenkätisillä ei ilmene mitään näistä, mutta silti ne kaikki ovat vasenkätisten keskuudessa yleisempiä kuin oikeakätisten.

Kolikolla on kuitenkin myös toinen puoli: Coren [1992, s. 177] kertoo Camilla Benbow’n Iowan valtionyliopiston kollegoineen osoittaneen, että vasenkätisten joukossa on usein paitsi huonosti, myös erityisen hyvin menestyviä yksilöitä.

Annett [1998] esittää, että vasenkätisiltä puuttuu oikeakätisyyden geeni. Tämän teorian mukaan geneettisesti vasenkätisten suorituskyky hallitsevalla kädellään on tasavertainen oikeakätisiin nähden. Toisten teorioiden mukaan vasenkätisyys on vain oikeakätisyyden peilikuva ja vasenkätisten *liikejärjestelmä*⁹ on muuten täysin identtinen oikeakätisten kanssa. Peters ja Ivanoff [1999] ovat hiirikäsitutkimuksessaan pyrkineet selvittämään näiden teorioiden paikkansapitävyyttä. Käsittelen heidän tutkimustuloksiaan tarkemmin kohdassa 4.1.2., mutta yhteenvetona voidaan todeta, että ne eivät kumoa mitään näistä teorioista, mutta eivät erityisesti mitään niistä tuekaan.

⁸ Tilan, tilasuhteiden havaitsemiseen liittyvä, avaruudellinen. [Kanninen *et al.*, 1997, s. 239]

⁹ Liikejärjestelmä eli motorinen järjestelmä (engl. motor system) säätelee ihmisen tahdonalaisia liikkeitä [Kanninen ja muut, 1997, s. 148].

O'Boyle ja Benbow [1990] ovat keränneet lukuisia tutkimuksia, joissa on verrattu vasenkätisten suorituskkyä muuhun väestöön. Tutkimusten tulokset ovat olleet erittäin ristiriitaisia. Joissakin on huomattu vasenkätisillä muita heikompi suorituskky spatiaalisissa tehtävissä ja muita paremmat verbaaliset kyvyt. On kuitenkin monia tutkimuksia, joissa näitä eroja spatiaalisissa ja verbaalisissa kyvyissä ei ole pystytty todentamaan. Tällaisia tutkimustuloksia O'Boyle ja Benbow löysivät enemmän kuin niitä, jotka tukevat hypoteesia vasenkätisten heikommasta spatiaalisesta tai paremmasta verbaalisesta suorituskyvystä. On kuitenkin huomattavaa, että aina kun eroja on löytynyt, ne ovat olleet juuri näin päin.

Toisissa tutkimuksissa on pyritty löytämään muita selittäjiä vasenkätisten ja oikeakätisten suorituskkyyn. Burnettin *et al.* [1982] mukaan näyttäisi siltä, että spatiaalisissa tehtävissä parhaita tuloksia saavat ne, jotka eivät ole äärimmäisen vasen- tai oikeakätisiä. Myös oikeakätiset miehet, joilla on vasenkätisiä sukulaisia, saivat muita parempia tuloksia. Sen sijaan muilla kuin oikeakätisillä miehillä sukulaisten vasenkätisyys tuntuu vaikuttavan negatiivisesti spatiaalisiin kykyihin [O'Boyle ja Benbow, 1990]. Lewis ja Harris [1990] toteavat, että kätisyyden vaikutukset spatiaalisiin kykyihin ovat monimutkaisia ja että spatiaalisten testien tuloksiin vaikuttavat kätisyyden lisäksi myös koehenkilön sukupuoli ja älykkyys. Vasenkätisten sukulaisten, kätisyyden ja sen voimakkuuden, sukupuolen sekä aivojen lateraalisuuden vaikutukset suorituskkyyn ovat monimutkaisia ja vaikeita hahmottaa.

Vaikka tutkimustulokset vasenkätisyyden vaikutuksesta henkisiin kykyihin ovatkin tulkinnanvaraisia ja ristiriitaisia, niin urheilullisesti ja taiteellisesti lahjakkaita vasenkätisiä on huomattu olevan suhteellisesti selvästi enemmän kuin vasenkätisiä koko väestössä. O'Boyle ja Benbow [1990] toteavat, että mitä korkeampitasoisesta urheilusta on kyse, sitä suurempi on vasenkätisten määrä etenkin tenniksessä ja miekkailussa. Tämä tosin johtunee lähinnä yllätysedusta oikeakätisiin vastustajiin nähden. O'Boyle ja Benbow viittaavat myös tutkimuksiin, joissa on todettu arkkitehtuurin opiskelijoiden joukossa esiintyvän tavallista enemmän vasenkätisiä. Lisäksi vasenkätiset arkkitehtiopiskelijat saavat opintonsa valmiiksi muita useammin. Koska taiteilijoiden ja arkkitehtien työssä usein vaaditaan spatiaalisia kykyjä, vaikuttaisi tämän perusteella siltä, että vasenkätisyydestä olisi niissä hyötyä. Myös vasenkätisiä muusikoita on väitetty olevan suhteellisen paljon, mutta vasenkätisten muusikoiden suorituskky musikaalisia lahjoja mittaavissa testeissä ei kuitenkaan ole ollut oikeakätisiä muusikoita parempi.

Ottaen huomioon vasenkätisyyden yhteyden moniin vaivoihin ja sairauksiin, ei liene kovinkaan yllättävää, että vasenkätisten on todettu kuolevan keskimäärin nuorempina kuin oikeakätisten. Toinen syy vasenkätisten alhaisempaan elinikään on tapaturma-alttius: oikeakätisessä maailmassa elämiseen sopeutumaan joutuneet vasenkätiset ovat muita alttiimpia tekemään virheitä oikeakätisille suunniteltujen laitteiden ja järjestelmien käytössä. Coren [1996] on osoittanut, että vasenkätiset ovat muita alttiimpia onnettomuuksille, joiden seurauksena heillä on enemmän olkapää-, polvi- ja kyynärpäävaivoja sekä murtumia. Etenkin liikenneonnettomuudet oikeanpuoleisessa liikenteessä ovat vasenkätisillä yleisiä [Coren, 1989]. Toisaalta Poracin [1993] tutkimusten mukaan käsivammat ovat yhtä yleisiä niin vasen- kuin oikeakätisilläkin – sen sijaan erittäin voimakkaasti joko vasen- tai oikeakätiset saavat vammoja muita useammin hallitsevaan käteensä.

Coren [1992, s. 182–183] luettelee joitakin yllättävämpiäkin eri tutkimuksissa havaittuja piirteitä vasenkätisyydestä: Vaaleahiuksiset ovat kaksi kertaa muita useammin vasen- tai molempikätsisiä ja myös kasvissyöjien joukossa on muita enemmän vasenkätisiä. Vasenkätisten joukossa on oikean ja vasemman sekoittavia yksilöitä suhteellisesti n. 1,5 kertaa enemmän kuin muussa väestössä. Vasenkätiset pystyvät muita harvemmin rullaamaan kielensä ja vielä: jos vanhemmista vähintään toinen on vasenkätinen, lapsi on 17 % suuremmalla todennäköisyydellä tyttö.

2.2.4. Kätisyyden vaihtaminen

Monissa tutkimuksissa on todettu, että painetta kätisyyden vaihtamiseen esiintyy ympäri maailmaa varsin paljon. Täydelliseen kätisyyden vaihtamiseen painetta kokevat pääasiassa vasenkätiset, mutta osittaiseen kätisyyden vaihtamiseen joskus myös oikeakätiset.

Esimerkiksi Poracin *et al.* [1990] tutkimista kanadalaisista 9 % oli kokenut painetta vaihtaa kätisyyttään. Samassa tutkimuksessa kävi ilmi, että vasenkätisten kätisyyden vaihdon motiivit ovat hyvin erilaisia oikeakätisiin verrattuna. Vasemmalta oikealle vaihtamisen aiheuttaja oli tyypillisesti joku ulkopuolinen henkilö, yleensä vanhemmat tai opettaja. Vaihtaminen toteutettiin tyyliin ”kerrasta poikki” – vasenta kättä yksinkertaisesti lakattiin käyttämästä johonkin toimenpiteeseen. Lisäksi vaihtaminen tapahtui yleensä ennen peruskoulun kolmatta vuotta. Oikealta vasemmalle vaihtajat taas olivat itse oman vaihtamisensa takana. Usein motiivina oli kokeilunhalu: ”pystyisinköhän tekemään tämän vasemmallakin kädellä”.

Vaihtamismenetelmä oli omat kokeilut ja kokeiluja tehtiin yleensä vasta peruskoulun kolmannen luokan jälkeen. Yleisin asia, mitä yritettiin vaihtaa, oli molemmissa ryhmissä kirjoituskäsi.

Kulttuuristen paineiden on todettu vähentävän vasenkätisyyttä. Tämä viittaa siihen, että joissain maissa tavallista useampi luontaisesti vasenkätinen kasvaa ympäristön paineiden vuoksi oikeakätiseksi. Suomessakin vasenkätisiä on aikaisemmin painostettu oikeakätiseksi niin koulussa kuin kotona, mutta Sillanpään [1999] tutkimat nykypäivän vasenkätiset kohdehenkilöt eivät olleet kokeneet ympäristön asettavan rajoituksia vasenkätisyydelle.

Pystyykö kätisyyttään sitten vaihtamaan? Peräti 55 % pohjoisamerikkalaisista vasenkätisistä on kokenut painetta kätisyyden vaihtamiseen ja kirjoituskäden vaihtaminen oikeaksi onnistuu noin 40 %:lla vasenkätisistä, kunhan prosessi alkaa riittävän aikaisin [Coren, 1992, s. 67–69]. Naisilla onnistuminen on miehiä yleisempää. Kätisyyttään vaihtaneetkin usein paljastuvat kätisyydestissään kuitenkin enemmän vasenkätisiksi; pelkkä kirjoituskäsi on vaihtunut. Oikeakätisistä kätisyytensä muuttamisen yrittäjistä vain noin 3 % onnistuu vaihtamaan kätisyytensä, mutta oikeakätisistäkin kolmasosa onnistuu osittaisessa kätisyyden vaihtamisessa, mikä heidän tavoitteensa yleensä onkin [Porac *et al.*, 1990].

Edellä kuvattu omasta kokeilunhalusta kätisyyden vaihtaminen oli keskeinen sisältö 1800- ja 1900-lukujen taitteessa Isossa-Britanniassa ja Yhdysvalloissa vaikuttaneessa *Ambidextral Culture Movementissa*¹⁰. Liikkeen filosofian mukaan käsien suorituskyky on tasavertainen, kunhan käsiä vain harjoitetaan tarpeeksi. Liike puhui molempien käsien käyttämisen hyötyjen ja etenkin oikeakätisten vasemman käden käytön puolesta. Nykyään tiedetään käsillä olevan eroa, mutta nykypäivän oikeakätisten vasemmalla kädellä kokeiluja tekevien voi ajatella olevan tämän liikkeen jälkeläisiä. Heillä ei ole tarkoitukseen muuttaa kätisyyttään täysin, vaan pyrkimys on molempikäätisyyteen.

Lisäksi Searleman ja Porac [2001] toteavat, että voimakkaasti vasenkätiset vaihtavat harvemmin kirjoituskätensä oikeaan kuin lievästi vasenkätiset.

¹⁰ Latinan kielen sana *ambi* tarkoittaa 'molemmat'. Oikea taas on latinaksi *dexter*. 'Ambidextral' tarkoittaa siis kirjaimellisesti molempioikeakätisyyttä.

2.3. Hiirikätisyys

2.3.1. Näppäimistön horisontaalinen epätasapaino

Suurin osa nykyään käytössä olevista tietokoneiden näppäimistöistä on kuvassa 3 esitetyn IBM PC -näppäimistön laajennuksia¹¹. Siinä on yläpuolella rivi funktionäppäimiä, siellä täällä erilaisia muita toimintonäppäimiä ja oikeassa laidassa numeronäppäimistö.



Kuva 3. Nykyaikainen tietokoneen näppäimistö.

[<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c4/Kb520x160.jpg>]

MacKenzie [2003] jakaa näppäimet kolmeen ryhmään: symbolinäppäimet, toimintonäppäimet ja muutosnäppäimet. Symbolinäppäimillä tuotetaan näytölle graafisia symboleita, lähinnä kirjaimia, numeroita ja välimerkkejä. Toimintonäppäimillä taas aiheutetaan tiettyjä toimenpiteitä sovellukselle tai käyttöjärjestelmälle. Toimintonäppäimiä ovat esimerkiksi Enter (rivinvaihto), F1 (ensimmäinen funktionäppäin, Windows-ohjelmissa ohjenäppäin) ja Esc (escape). Muutosnäppäimet puolestaan eivät yksinään aiheuta mitään toimintoja, mutta vaikuttavat siihen, mitä tapahtuu seuraavan näppäimen painalluksen yhteydessä. Esimerkiksi Shift (vaihtonäppäin) aiheuttaa muutoksen kirjaimen versaalisuudessa ja Alt saattaa muuttaa symbolinäppäimen väliaikaisesti toimintonäppäimeksi.

MacKenzie jatkaa kutsumalla toiminto- ja muutosnäppäimiä yhteisesti nimellä power keys - vapaasti suomennettuna tehonäppäimet. Kun perinteisestä IBM PC -näppäimistöistä lasketaan tehonäppäinten lukumäärä eri puolilta, huomataan että oikealla puolella niitä on 18, mutta vasemmalla vain kuusi. Lisäksi kolme näppäintä (Shift, Ctrl ja Alt) on peilattu näppäimistön molemmille puolin, mikä jättää vasemmalle puolelle kolme ainutlaatuista

¹¹ Tarkalleen ottaen kuvassa 3 esitetty näppäimistökin on alkuperäisen, 101-näppäimisen IBM PC -näppäimistön laajennus, jossa on muutamia ylimääräisiä näppäimiä.

tehonäppäintä ja oikealle peräti 15. Oikealla puolen on siis viisi kertaa enemmän tehonäppäimiä kuin vasemmalla.

On selvää, että näppäimistö suosii oikean käden käyttöä. Tämä on varmasti tarkoituksellista, koska IBM PC -näppäimistö on suunniteltu henkilökohtaisten tietokoneiden alkuaikoina, eikä sen kanssa ole ajateltu käytettävän hiirtä. IBM PC -näppäimistö muunneltuna on kuitenkin jäänyt elämään henkilökohtaisten tietokoneiden rinnalla ja oikeaa kättä suosivan laitteen oikealle puolelle on totuttu sijoittamaan toinen tällä sijoittelulla oikeaa kättä suosiva laite: hiiri.

2.3.2. Hiiren sijainnin vaikutuksia

Tuki- ja liikuntaelinten sairaudet on Isossa-Britanniassa todettu nykyään yleisimmiksi työpaikkaan liittyviksi sairauksiksi. Yleisimmät tuki- ja liikuntaelinten sairaudet liittyvät selkään, mutta heti seuraavaksi yleisimpiä ovat yläraajojen vammat. Tällaisten vammojen ehkäisemiseksi toimistotyön ergonomiaan on viime vuosina alettu kiinnittää yhä enemmän huomiota. Vammojen ehkäiseminen on selvästi edullisempaa kuin niiden hoitaminen ja se parantaa elämänlaatuakin enemmän. [Muggleton *et al.*, 1999]

Hiiren sijoittamisesta näppäimistön oikealle puolelle aiheutuu ainakin kaksi haittaa: 1) Oikea käsi ylikuormittuu. Jo pelkkä näppäimistö epätasapainoisine tehonäppäinten sijoitteluineen aiheuttaa selvää kuormitusta oikean käden puolelle, mutta kun saman käden pitää vielä käsitellä hiirtäkin, nousee kuormitus jo kohtuuttoman suureksi. Vasenta kättä pitäisi käyttää enemmän hyväksi. 2) Koska tehonäppäimet sijoittuvat pääasiassa oikealle puolelle, on näppäimistön oikea reuna myös kauempana itse tietokoneen käyttäjästä kuin vasen reuna. Niinpä oikealle puolelle sijoitettu hiiri on selvästi kauempana kuin vasemmalla puolella oleva, ja käyttäjä joutuu suorastaan kurkottamaan siihen ylettyäkseen. Tämä aiheuttaa sekä epäergonomisen työskentelyasennon että jatkuvasta käden siirtelystä aiheutuvaa ajanhukkaa.

Delisle *et al.* [2004] mittasivat olkapään ja ranteen liikkeiden eroja eri käsien hiirikäytössä. He totesivat oikealla kädellä hiirtä käytettäessä selvästi suurempia vääntymisiä ja taivutuksia. Erot vasemman käden eduksi huomattiin kaikilla, mutta ne olivat erityisen suuria niillä, jotka käyttivät hiirtä vasemmalla kädellä normaalistikin. Tutkijat suosittelivatkin hiirtä oikealla kädellä käyttäville näppäimistöä, jossa ei olisi erillistä numeronäppäimistöä lainkaan. Mikäli tällaista ei ole käytettävissä, suositellaan opettelemaan hiiren käyttö vasemmalla kädellä.

Myös Cook ja Kothiyal [1998] ovat osoittaneet, että oikealla kädellä hiirtä käytettäessä työskentelyasento on olkapään, käsivarren ja niskan kannalta parempi numeronäppäimistöön näppäimistön kanssa. Heidän mukaansa on mahdollista, että työasento tavallisen näppäimistön kanssa hiirtä oikealla kädellä käytettäessä lisää tuki- ja liikuntaelinten sairauksien riskiä. Karlqvistin *et al.* [1998] mukaan erityisen suuria vääntymiä tapahtuu lyhyillä ja kapeaharteisilla käyttäjillä, eli yleensä naisilla. Delisle *et al.* [2004] tosin huomauttavat myös, että tarkkaa tietoa ei ole siitä, miten oikeakätisen henkilön hiiren käyttäminen ei-hallitsevalla ja siten tavallisesti kömpelömmällä vasemmalla kädellä vaikuttaa lihasten kuormittumiseen.

Ackland ja Hendrie [1999] huomauttavat, että yksi pääsyy tietokoneen käytöstä johtuviin vammoihin on suurissa, samaa kättä kuormittavissa toistomäärissä. He suosittelevat paljon tietokoneita käyttäville ennaltaehkäisevänä hoitotoimena muun muassa toistojen määrän vähentämistä. Tähän päästään käyttämällä hiirtä tasapuolisesti molemmilla käsillä, mikä on yksi hyvä syy totutella käyttämään hiirtä myös vasemmalla kädellä.

Hiiren käyttö vuorotellen eri käsillä – mieluummin ehkä jopa vasemmalla kädellä useammin kuin oikealla – voisi siis ehkäistä näyttöpäätetyöstä aiheutuvia tuki- ja liikuntaelinten sairauksia. Näin voitaisiin paitsi parantaa työntekijän elämänlaatua, myös saada taloudellisia säästöjä sekä yksilölle itselleen että hänen työnantajalleen ja koko yhteiskunnalle.

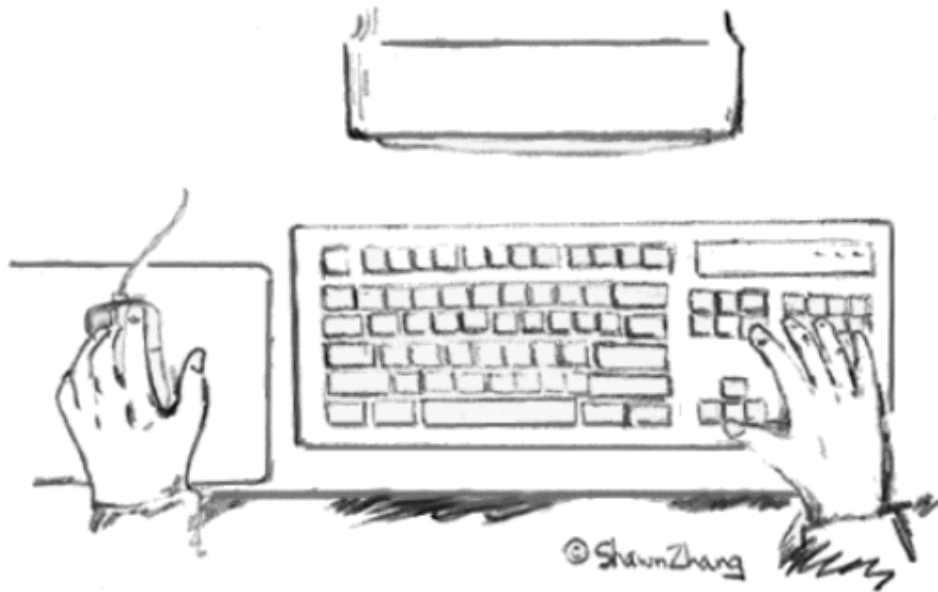
Miksi hiirtä sitten käytetään oikealla puolella? Suurin osa väestöstä on oikeakätisiä ja oikeakätiselle on tietysti luonnollista tarttua hiireen oikealla kädellä. Hiirellähän tyypillisesti tehdään tehtäviä, jotka vaativat tarkkuutta ja tällaiset tehtävät Guiardin [1987] mukaan sopivat tehtäväksi hallitsevalla kädellä. Harva tulee ajatelleeksi hiiren vaihtamista ei-hallitsevaan käteen, koska sujuva käyttö sillä vaatii opettelua – etenkin oikeakätisillä, joista suurin osa ei ole tottunut käyttämään vasenta kättään mihinkään tarkkuutta vaativiin toimiin.

Delisle *et al.* [2004] tekivät mielenkiintoisen havainnon antaessaan oikeakätisten koehenkilöidensä kuukauden ajan opetella ergonomista työasemakäyttöä. Tänä aikana peräti 16 heidän 27 koehenkilöstään vaihtoi hiirikätensä vasemmaksi.

Vasenkätisillä sen sijaan olisi etulyöntiasema oikeakätisiin nähden. Kuten MacKenzie [2003] osoittaa, henkilökohtainen työasema selvästi suosii vasenkätistä käyttäjää, joka käyttää myös hiirtä vasemmalla kädellä. Tehokkuusmielessä etu tulee esille etenkin silloin kun osoitustehtäviä

yhdistetään tehonäppäinten käyttöön (kuva 4). MacKenzie esittelee lukuisia tehtäviä, jotka vasenkätinen voi suorittaa erittäin nopeasti, mutta joiden tekemiseen oikeakätinen joutuu joko irrottamaan kätensä hiirestä tai kurkottamaan vasemmalla kädellään näppäimistön oikealle puolelle.¹²

Valitettavasti en tässä tutkielmassa pysty selvittämään, onko vasenkätisillä todella tällainen etulyöntiasema ja miten merkittävä se on. Tällaisen kokeen tekeminen vaatisi hyvin monipuolisia testejä ja monimutkaisia analyysejä. Jo mittaussuunnitelman valinta on haasteellinen tehtävä.



Kuva 4. Vasenkätinen työaseman käyttäjä [MacKenzie, 2003].

Kaikesta huolimatta vasenkätisetkin tuntuvat usein opettelevan hiiren käytön oikealla kädellä. Mahdollisia syitä tähän on ainakin kolme: 1) Aina käyttäjän ei ole mahdollista itse päättää kummalle puolen hiiren sijoittaa. Esimerkiksi oppilaitosten tietokoneluokissa hiiri on käytännössä aina näppäimistön oikealla puolella ja sen siirtäminen on usein joko vaikeaa tai mahdotonta. Niinpä vasenkätisenkin on pakko opetella hiiren käyttö oikealla kädellä. 2) Niin sanotut ergonomisesti muotoillut hiiret on lähes aina muotoiltu niin, että niiden käyttäminen onnistuu vain oikealla kädellä. Mikäli vasenkätinen käyttäjä saa tällaisen hiiren käteensä, on hänen pakko käyttää sitä oikealla kädellä. 3) Kuten Porac *et al.* [1990] ovat esittäneet, vasenkätiset oppivat oikeakätisiä paremmin

¹² Jokseenkin ironista on, että vasenkätisille tarkoitettuja tavaroita myyvissä kaupoissa myydään näppäimistöä, jossa numeronäppäimistö on vasemmalla puolella. Tällainen näppäimistöhan olisi erityisen hyvä nimenomaan oikeakätiselle käyttäjälle; vasenkätiselle siitä on usein suorastaan haittaa.

tekemään asioita ei-hallitsevalla kädellään. Niinpä kynnyks opetella hiiren käyttämistä ei-hallitsevalla kädellä ei ole niin suuri kuin oikeakätisillä.

Tämän tutkielman koehenkilöryhmässä oli kahdeksan vasenkätistä, joista vain yksi käyttää normaalisti hiirtä vasemmalla kädellään. Tyypillinen syy oikeakätiseen hiiren käyttöön muilla oli se, että hiirtä oli opeteltu käyttämään paikassa, jossa se oli kiinteästi tai ainakin hankalasti siirreltäväksi asetettu näppäimistön oikealle puolelle. Yhtä tavallista tuntui olevan sekkin, että oikeakätisessä maailmassa elävät vasenkätiset ovat tottuneet tekemään asioita ei-hallitsevalla kädellään. Vasenkätinen ei aina tule edes ajatelleeksi, että jonkin asian voisi tehdä hallitsevalla kädellä paremmin, koska on olemassa niin monta asiaa, joita sillä ei esimerkiksi työkalun muotoilun vuoksi voi tehdä lainkaan.

2.3.3. Hiirikäsi ja erot spatiaalisissa kyvyissä

Kuten edellä kohdassa 2.2.3 totesin, joissakin tutkimuksissa on havaittu monilla vasenkätisillä oikeakätisiä huonompi suorituskkyky spatiaalisissa tehtävissä. Olkoonkin, että tämä mahdollinen ero saattaa perimmältään johtua jostakin muusta kuin vasenkätisyydestä (esimerkiksi vanhempien vasenkätisyydestä tai sukupuolesta), saattaisi olla mahdollista että vasenkätisen käyttäjän hiiren käytön tehokkuus hallitsevalla kädellään ei ole yhtä hyvä kuin oikeakätisen. Tämän teorian hiirikätisyyttä tutkineet Peters ja Ivanoff [1999] kuitenkin kumoavat, sillä he eivät huomanneet vasenkätisten suorituskkykyä hallitsevalla kädellään sen huonommaksi kuin oikeakätistenkään.

Flowers [1975] sen sijaan on huomannut Fittsin osoitustehtävissä sellaisen eron, että vain lievästi vasen- tai oikeakätiset saavuttavat parempia tuloksia ei-hallitsevalla kädellään kuin voimakkaasti vasen- tai oikeakätiset. Koska vasenkätisten kätisyyden voimakkuus on harvoin yhtä suurta kuin oikeakätisten, voi tämän perusteella olettaa, että vasenkätisten suorituskkyky oikealla kädellään olisi jonkin verran parempi kuin oikeakätisten vasemmalla.

Mikä saa oikeakätisen käyttäjän opettelemaan hiiren käytön vasemmalla kädellä? Oman koehenkilöjoukkoni perusteella yksi yleisimmistä syistä on se, että oikea käsi on rasittunut liikaa joko hiiren käytöstä tai muuten paljosta käytöstä. Hiiren käyttö sillä saattaa tehdä niin kipeää, että on ollut pakko opetella käyttämään hiirtä vasemmalla kädellä. Ottaen huomioon Poracin [1993] tutkimustulokset, näin varmasti käy etenkin erittäin voimakkaasti oikeakätisillä. Toinen yleinen ryhmä hiirikäden vaihtajia ovat ne, jotka haluavat ehkäistä ennakoita rasitusvammoja tai haluavat mukavamman

työskentelyasennon. Harva oikeakätinen alkaa käyttää hiirtä vasemmalla kädellä siksi, että se tuntuisi tehokkaammalta.

Kohdassa 2.3.2 luettelemani vasenkätisten syyt käyttää hiirtä ei-hallitsevalla kädellään ovat hyvin erilaisia kuin oikeakätisten. Monet vasenkätiset koehenkilöni eivät vakavissaan olleet edes harkinneet hiiren käyttämistä vasemmalla puolella. Erikätisten ihmisten erilaiset syyt käyttää hiirtä ei-hallitsevalla kädellään ovat hyvin samanlaisia, mitä Porac *et al.* [1990] ovat todenneet kätisyyden vaihtamisesta yleensäkin.

Luvussa 2 esittelin tutkimuskohteeni. Kävin läpi, mikä hiiri on ja miten sitä käytetään. Kerroin kätisyydestä ja tiivistin tärkeimpiä teorioita vasen- ja oikeakätisten eroista. Toin esille ongelmat tietokoneen näppäimistössä ja miksi näppäimistö soveltuu huonosti käytettäväksi yhtä aikaa oikealla puolella olevan hiiren kanssa. Pohdin myös miten erot oikea- ja vasenkätisten eri käsien kyvyissä vaikuttavat hiiren käyttöön.

3. Fittsin laki

Tässä luvussa käsittelen tutkielmani kannalta tärkeintä teoriaa, Fittsin lakia. Kerron mikä se on, käyn läpi sen historiaa sekä miten sitä on sovellettu ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksessa. Käyn läpi myös erilaisia tulkintoja lain soveltamisesta.

3.1. Mikä on Fittsin laki

Ihminen pystyy vuorovaikutukseen ympäristönsä kanssa sen ansiosta, että pystyy liikuttamaan kehon osiaan. Liikkeillä on oltava jokin päämäärä ja ne tapahtuvat tiettyjen aika- ja tilarajoitusten puitteissa. Tämä pätee myös ihmisen vuorovaikutukseen tietokoneen kanssa. Vuorovaikutus nykyaikaisten graafisten käyttöliittymien kanssa perustuu suurelta osin asioiden - ikonien, valikoiden, ikkunoiden ja muiden sellaisten - osoittamiseen sekä niihin tarttumiseen. [Bootsma *et al.*, 2004]

Tietokoneen näytöllä olevia asioita osoittaakseen ihminen tarvitsee jonkin apuvälineen, osoitinlaitteen. MacKenzien [2003] mukaan Fittsin laki on onnistunein ihmisen liikejärjestelmän informaationkäsittelytoimintoja kuvaava mallinnus ja onkin osoitettu, että sillä voidaan mallintaa hyvin myös ihmisen kykyä käyttää tietokoneen osoitinlaitetta. Fittsin lakiin pohjaavat mallit näyttävät toimivan erittäin hyvin, mutta kuten Isokoski [2001] mainitsee, kukaan ei tarkalleen tiedä miksi ne kuvaavat ihmisen toimintaa niin hyvin.

Fittsin laki perustuu oletukselle, että ihmisen informaationvälityskapasiteetti on tehtävän vaikeudesta riippumaton vakio. Osoitustehtävissä tämä tarkoittaa sitä, että kun siirtoetäisyys on pieni ja kohde on suuri, niin suoritus aika on pieni. Vastaavasti siirtoetäisyyden kasvaessa ja kohteen pienentyessä suoritus aika kasvaa. Jokaiselle osoitustehtävälle voidaan laskea *vaikeusindeksi* (index of difficulty) *ID*, joka riippuu osoitusetäisyydestä sekä kohteen koosta. Fittsin laki määrää miten tämä vaikeusindeksi lasketaan. Juuri tapaa mitata tehtävän vaikeusindeksi Guiard ja Beaudouin-Lafon [2004] pitävät Fittsin tärkeimpänä keksintönä.

Kun vaikeusindeksi vielä jaetaan suoritusajalla, saadaan *suorituskykyindeksi* (index of performance) *IP*. Tämän suorituskykyindeksin oletetaan olevan samalla laitteella suoritettulle osoitustehtävälle aina sama. Nykyään puhutaan suorituskykyindeksin sijaan käsitteestä *kokonaistehokkuus* (throughput), joka asiallisesti ottaen on aivan sama.

Fittsin lakia voidaan soveltaa kahdella tavalla. Ensimmäkin sitä voidaan käyttää ennustamaan suoritusaikaa. Kun tiedetään osoitustehtävän pituus ja kohteen koko, voidaan Fittsin lain avulla arvioida siihen kuluva suoritusaikaa.

Toinen, tämän tutkimuksen kannalta olennaisempi sovellusalue on arvioida Fittsin lain avulla erilaisten osoitinlaitteiden suorituskykyä. Tällöin lasketaan suorituskykyindeksit eri laitteille – tässä tapauksessa erikätisille ihmisille ja heidän eri käsilleen – ja verrataan niitä toisiinsa. Vertailtavuuden vuoksi on erittäin tärkeää, että tällaiset testit tehdään standardeja noudattaen. Itse olen noudattanut standardia ISO 9241-9 [2000] sekä Soukoreffin ja MacKenzien [2004] seitsemää suositusta. Yksi näissä molemmissa esiintyvä suositus on vaikeusindeksin laskeminen eri lailla kuin alkuperäisessä Fittsin laissa.

Card *et al.* [1978] tekivät ensimmäinen ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutukseen liittyneen tutkimuksen, jossa Fittsin lakia sovellettiin. Silloin he osoittivat, että hiiri on selvästi paras tutkituista tietokoneen osoituslaitteista. Sitten tutkimuksia on tehty erittäin paljon lisää ja käsittelen joitakin niistä tarkemmin kohdassa 4.2.

3.2. Fittsin lain historiaa

Seuraavaksi esitän tarkemmin mitä Fittsin laki tarkoittaa kaavoina ja millaisten teorioiden pohjalta se perustuu.

Fittsin laki perustuu Shannonin [1963, s. 67]¹³ esittämään teoreemaan 17:

$$C = W \log_2 \left(\frac{P + N}{N} \right). \quad (1)$$

Tässä W on kanavan taajuus (band), P on signaalin keskimääräinen teho (power), N on satunnaisen kohinan keskimääräinen teho (noise) ja C on kanavan kapasiteetti (capacity). Teoreema kuvaa siis signaalin kyvyn kuljettaa informaatiota sen perusteella, mikä on signaalin teho ja taajuus sekä millainen kohinan määrä vallitsee. Shannon toteaa, että tällä kapasiteetilla kanava pystyy siirtämään informaatiota ilman mainittavaa määrää virheitä, mutta signaali ei pysty tätä suurempaan kapasiteettiin ilman selvää kasvua virheteriheydessä.

Fitts [1992]¹⁴ päätelee, että ihmisen informaationvälityskapasiteetti on vakio, liikkeen pituuden ja vaaditun tarkkuuden vaihdellessa sekä, että se tottelee

¹³ Shannonin kirja on ilmestynyt alun perin vuonna 1949. Olen käyttänyt sen vuoden 1963 uusintapainosta, jossa sivujaottelu on hieman erilainen.

myös Shannonin teoremaa 17. Fitts hakee analogian ihmisen liikkeisiin: signaalin tehoa vastaa liikkeen pituus ja kohinan tehoa se, miten paljon tähdäystä keskikohdasta voidaan osua ohi. Testatakseen teoriansa paikkansapitävyyttä Fitts kehitti kaavan tehtävän vaikeuden mittaamiselle ja nimesi sen vaikeusindeksiksi ID . Fitts ei kuitenkaan uskonut, että kaava olisi aivan sama kuin Shannonin teoreema 17, vaan hieman muutti Shannonin kaavaa:

$$ID = \log_2 \frac{2D}{W} \text{ bit} . \quad (2)$$

Tässä D on etäisyys kohteeseen (distance) ja W on kohteen leveys (width). Suorituskykyindeksin IP laskemiseksi Fitts yksinkertaisesti jakaa vaikeusindeksin suoritukseen käytetyllä ajalla sekunteina (MT eli movement time):

$$IP = \frac{1}{MT} \log_2 \frac{2D}{W} \text{ bit} / s \quad (3)$$

eli kaavaa 2 mukailemalla lyhyemmin:

$$IP = \frac{ID}{MT} \text{ bit} / s . \quad (4)$$

Fittsin lakina tunnettu kaava puolestaan määrittelee suoritusajan kohteiden välisen etäisyyden sekä kohteiden leveyden funktiona:

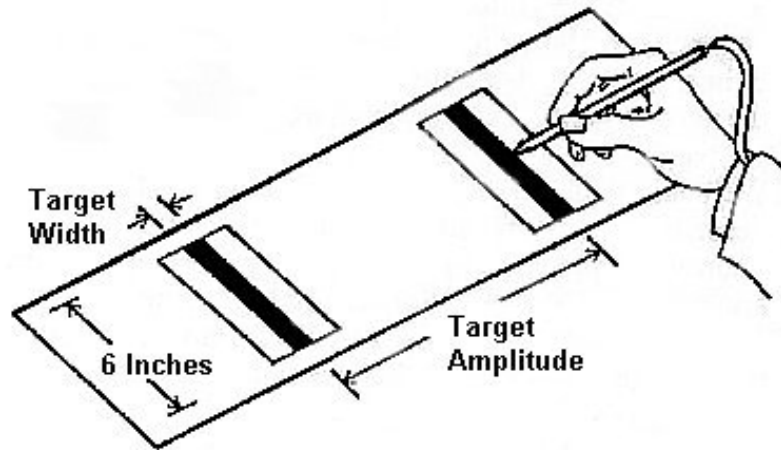
$$MT = a + b \log_2 \frac{2D}{W} s . \quad (5)$$

Kaavassa 5 a ja b ovat empiirisesti todettavia vakioita, jotka määrittyvät kullekin laitteelle erikseen. Kun korvataan kaavassa 5 vaikeusindeksi kaavan 2 kuvaamalla tavalla, saadaan yksinkertaisempi esitys suoritusajasta vaikeusindeksin funktiona:

$$MT = a + b ID . \quad (6)$$

Fitts testasi teoriansa paikkansapitävyyttä koehenkilöiden avulla. Hän teki neljä erilaista koetta, joista kaksi olivat kuvan 5 mukaisia horisontaalisia osoitustehtäviä eripainoisilla osoitinkynillä.

¹⁴ Fittsin artikkeli ilmestyi alun perin vuonna 1954 Journal of Experimental Psychologyn sivuilla 381–391. Olen käyttänyt artikkelin samassa lehdessä vuonna 1992 julkaistua näköispainosta.



Kuva 5. Fittsin osoitustehtävä [MacKenzie, 1991].

MacKenzie [1989] osoittaa, että Shannonin teoreema 17 sopii kuitenkin Fittsin käyttämää kaavaa paremmin kuvaamaan ihmisen motorista toimintaa. Fittsin vuonna 1954 käyttämän aineiston perusteella Shannonin kaava selittää siirtoaikaa Fittsin kaavaa paremmin. Tilastollisesti merkitsevä ero on juuri osoitinlaitteissa. MacKenzie palaa siis vaikeusindeksin määrittämisessä takaisin Shannonin teoreemaan 17 ja muotoilee osoitusajan sen perusteella näin:

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{D+W}{W} \right). \quad (7)$$

Kaava 7 on usein esitetty myös hieman erinäköisessä muodossa:

$$MT = a + b \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right). \quad (8)$$

Kaavan 8 etuna on se, että sillä vältetään kaavalla 5 joissakin ääritapauksissa saatavat negatiiviset vaikeusindeksit ja lisäksi keskimääräiset osoitusajat korreloivat paremmin vaikeusindeksin kanssa. Kaavasta 8 voidaan johtaa myös vaikeusindeksin laskeminen Shannonin teoreemaan 17 pohjautuen:

$$ID = \log_2 \left(\frac{D}{W} + 1 \right). \quad (9)$$

3.3. Fittsin lain soveltaminen

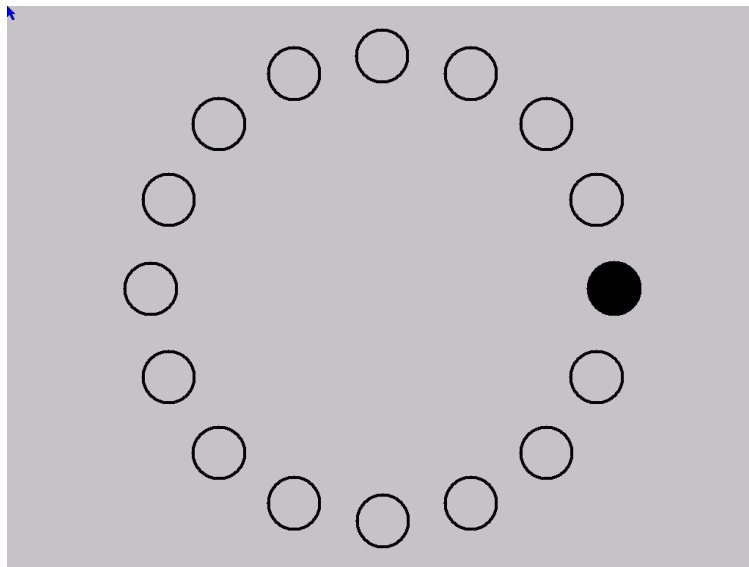
Kuten kohdassa 3.2 kävi ilmi, Fittsin lakia on tulkittu eri tavoin. Yksi ongelma liittyy kohteen leveyden laskemiseen. Useitakin tapoja on esitetty, mutta

Welfordin [1968, s. 147–148]¹⁵ mukaan kohteen leveys W pitää korjata sen mukaiseksi, mitä koehenkilö todella osoitti W_e (effective width). Jos kohde on hyvin leveä, koehenkilö saattaa silti aina osoittaa varsin pienelle alueelle sitä, ja näin toteutunut leveys on huomattavasti pienempi kuin itse kohde. Vastaavasti jos pienestä kohteesta osoitetaan usein ohi, toteutunut leveys kasvaa.

Kaava, jolla toteutunut leveys voidaan laskea, on MacKenzien [1991] mukaan osoitettujen kohtien keskihajonta kerrottuna luvulla 4,133. Samaan tapaan kuin toteutunut leveys, voidaan laskea todellisten osoituskohtien mukaan myös kunkin osoitustehtävän toteutunut etäisyys (D_e). Sijoittamalla toteutunut leveys ja toteutunut etäisyys kaavaan 9 voidaan lopulta laskea osoitustehtävän toteutunut vaikeusindeksi (effective index of difficulty) ID_e :

$$ID_e = \log_2 \left(\frac{D_e}{W_e} + 1 \right). \quad (10)$$

Fittsin lakiin pohjaavia osoitustehtäviä voidaan tehdä paitsi yksiulotteisina, myös kaksiulotteisina [MacKenzie ja Buxton, 1992]. Tällöin kohteita on kerrallaan näkyvissä useita ja ne on aseteltu ympyrän muotoon, kuten kuvassa 6. Osoitus alkaa aina edellisen osoituksen päätepisteestä ja päättyy ympyrän vastakkaisella puolella sitä edellisen osoituksen viereiseen kohteeseen. Osoitukset siis kiertävät ympyrää kohde kerrallaan. Kohteiden tulee olla tasaisin välein ympyrän kehällä ja liikkeen etäisyys kohteesta toiseen on aina lähes sama kuin ympyrän halkaisija [ISO, 2000].



Kuva 6. Kaksiulotteinen osoitustehtävä, jossa on 16 kohdetta.

¹⁵ Kuten MacKenzie [1991] viittaa.

Kaksiulotteisessa tehtävässä osoitettujen kohtien keskihajonta pitää laskea hieman eri tavalla kuin yksiulotteisessa, koska kohteet sijaitsevat kaksiulotteisella tasolla. Aihetta on käsitellyt tarkemmin Murata [1999], mutta Douglas *et al.* [1999, s. 218] esittävät kaavat, joiden avulla kaksiulotteisen tehtävän toteutunut vaikeusindeksi voidaan laskea. Kunkin osoituskohdan "erotus" kaikkien osoitusten keskiarvosta lasketaan euklidisena etäisyytenä:

$$Etäisyys = \sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2} . \quad (11)$$

Osumien keskihajonta taas lasketaan kaavan 11 avulla:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2]}{n - 1}} . \quad (12)$$

Kun Card *et al.* [1978] ensimmäisinä sovelsivat Fittsin lakia tietokoneiden osoitinlaitteissa, he käyttivät Welfordin [1968] ehdottamaa muunnosta Fittsin esittämille osoitusajan ja vaikeusindeksin kaavoille. ISO-standardissa 9241-9 taas määritellään MacKenzien [1989] esittämä Shannonin teoreemaan 17 perustuva kaava.

Zhai [2004a] on väittänyt, että kokonaistehokkuuden laskeminen kaavalla ID_e/MT ei ole hyvä, koska tulos voi vaihdella liikaa sen mukaan, millaista vaikeusindeksivalikoimaa käytetään. Hänen mukaansa kokonaistehokkuus riippuu osoitusajan lineaariregression $MT = a + b ID$ vakioista a ja b . Zhai ehdottaakin Fittsin lakiin pohjaavissa testeissä käytettäväksi aina samaa vaikeusindeksien valikoimaa (2, 4, 6, 8). Kokonaistehokkuuden laskemiseksi Zhai suosittaa lineaariregression kulmakertoimen b käänteislukua $1/b$.

Soukoreff ja MacKenzie [2004] kuitenkin kumoavat Zhain väitteen. Heidän mukaansa havaintoaineisto ei riipu a :sta ja b :stä, vaan a ja b riippuvat havaintoaineistosta. Niinpä kokonaistehokkuus riippuu vain toteutuneesta vaikeusindeksistä ID_e sekä osoitusajasta MT ja on siten käypä mittari suorituksen tehokkuudelle. Soukoreff ja MacKenzie myöntävät kuitenkin, että tutkijan pitää olla varovainen valitessaan testinsä vaikeusindeksiskaalaa. Laaja valikoima ID -arvoja parantaa tulosten ja niiden perusteella tehtävien johtopäätösten varmuutta. Tutkijat myöntävät myös, että matala a :n arvo on toivottava, koska silloin havaittujen kokonaistehokkuusarvojen hajonta on pienempi. Matala a :n arvo voidaan Soukoreffin ja MacKenzien mukaan

saavuttaa laskemalla vaikeusindeksi Shannonin teoreemaan 17 pohjautuen sekä käyttämällä toteutuneita arvoja (adjustment for accuracy).

Pelkkää lineaariregression jyrkkyyttä ei myöskään voi Soukoreffin ja MacKenzien [2004] mukaan käyttää suorituskyvyn vertaamiseen. Ensinnäkin jossain testissä voidaan saada suhteellisen nopeat suoritukset erityisen matalilla vaikeusindekseillä ja jossain toisessa taas suhteellisesti nopeammat korkeilla vaikeusindekseillä. Lisäksi vakio a voi vaihdella, eli vaikka regressiomallin jyrkkyys olisikin sama, kokonaistehokkuus ei silti välttämättä ole sama. Niinpä Soukoreff ja MacKenzie suosittelevat käytettäväksi havaintoyksiköiden saavuttamien kokonaistehokkuusarvojen keskiarvoa kokonaistehokkuuden laskemiseksi silloin, kun verrataan testissä olleita tilanteita Fittsin lakia hyväksikäyttäen.

Fittsin lakia voidaan soveltaa paitsi hiiren osoitustehtävissä, myös hiiren raahaustehtävissä. Joitakin muita osoitinlaitteita, joiden kanssa sitä voidaan soveltaa, ovat ohjauspallo, ohjauskynä, ohjaustikku ja kosketusnäyttö. [Soukoreff ja MacKenzie, 2004]

3.3.1. ISO 9241-9

Vuonna 2000 valmistuneessa ISO-standardissa 9241-9 [ISO, 2000] määritellään osoitinlaitteiden suorituskyvyn vertaamiseen käytettäväksi Fittsin lakiin perustuva menetelmä. Standardi kuvaa suositellut testijärjestelyt ja käsittelee, millaisia tulkintoja Fittsin laista tulisi käyttää. Soukoreff ja MacKenzie [2004] ovat verranneet ISO-standardia noudattaen tehtyjä tutkimuksia muihin tutkimuksiin ja huomanneet, että standardin menetelmiä noudatettaessa on päästy selvästi yhdenmukaisempiin tuloksiin.

ISO-standardissa 9241-9 [2000] on noudatettu seuraavia tulkintoja Fittsin laista osoitinlaitteisiin liittyen:

- vaikeusindeksin laskeminen Shannonin teoreemaan 17 pohjautuen
- kohteen koon sekä vaikeusindeksin tarkennus toteutuneen osumien hajonnan perusteella
- kokonaistehokkuus laskettu keskiarvojen keskiarvona.

Kolmannessa luvussa esittelin mikä on Fittsin laki sekä miten sitä sovelletaan ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksessa. Kävin läpi erilaisia tulkintoja Fittsin laista sekä mitkä tulkinnat on koottu ISO-standardiin 9241-9.

4. Aikaisempia tutkimustuloksia

Tässä luvussa teen katsauksen tutkimuksiin, jotka lähinnä sivuavat omaa tutkimusaiheittani. Ensin esittelen kolme hiirikäsistä tehtyä tutkimusta ja tämän jälkeen muutamia muita Fittsin lakiin pohjautuvia osoitinlaitetutkimuksia.

4.1. Joitakin hiirikäsitutkimuksia

Hiiren käytön tehokkuutta erikätisillä ihmisillä vertaavia tutkimuksia ei kirjallisuudesta paljonkaan löydy. Kahden käden mahdollisimman tehokasta työasemakäyttöä sen sijaan on tutkittu enemmän, samoin Fittsin lakia soveltaen osoitinlaitteiden tehokkuutta. Käyn seuraavaksi läpi yksityiskohtaisesti kolme hiirikäsien vertailuun keskittynyttä tutkimusta.

4.1.1. Hoffmann *et al.*, 1997

Vasenkätisten hiiren käytön eroa oikeakätisiin ovat tutkineet Hoffmann *et al.* [1997]. Tutkimuksen tekemiseen motivoivat Melbournen yliopiston tietokoneluokat, joissa jokaisella koneella oli hiiri koneen oikealla puolella. Tehtiin koe, jossa selvitettiin, onko tämä haitta vasenkätisille opiskelijoille.

Kokeeseen otettiin kymmenen oikea- ja kymmenen vasenkätistä opiskelijaa. Kaikki vasenkätiset käyttivät kotona hiirtä vasemmalla kädellä, mutta olivat yliopistolla tottuneet oikeakätiseen käyttöön. Koehenkilöille asetettiin yhdeksän erilaista testitehtävää, joissa vaihdeltiin tehtävien vaikeutta. Vaikeustasot laskettiin luvussa 3 käsittelemäni Fittsin lain avulla. Koehenkilöt tekivät testit molemmilla käsillään niin, että puolet heistä teki testit ensin hallitsevalla kädellään ja puolet ensin ei-hallitsevalla kädellään. Testitehtävien kaikki liikkeet näytöllä olivat yksiulotteisella tasolla, eli suoraan vasemmalta oikealle tai toisin päin. Koehenkilöiden annettiin kokeilla jokaista testitehtävää jonkin aikaa ja sitten tehtävä suoritettiin tekemällä kymmenen osoitusta. Koehenkilöiltä vaadittiin osumaa kohteeseen.

Tutkimuksen päätulos oli, että vasenkätiset olivat molemmilla käsillä suunnilleen yhtä hyviä, mutta oikeakätiset vasemmalla kädellään selvästi huonompia kuin oikealla. Oikealla kädellä kaikkien suoritustaso oli suunnilleen sama. Helpoissa tehtävissä oikeakätiset pärjäsivät yhtä hyvin molemmilla käsillä, mutta vaikeissa tehtävissä hidastuivat vasemmalla kädellään huomattavasti. Vasenkätisillä sen sijaan ei ollut käsiensä tehokkuudessa mitään eroa millään vaikeustasolla. Kaikkein helpoimmista tehtävistä oikeakätiset

pärjäisivät yhtä hyvin kuin vasenkätiset myös ei-hallitsevalla kädellään, mutta kaikissa muissa tehtävissä jäivät selvästi jälkeen.

Hoffmannin *et al.* mukaan siis vasenkätisille ei ole tehokkuusmielessä merkittävää haittaa siitä, että he joutuvat käyttämään hiirtä oikealla kädellä. Lisäksi vasenkätiset käyttävät oikeaa kättään yhtä hyvin kuin vasentakin. Kuten odotettua, vasenkätisten suorituskyky ei-hallitsevalla kädellä todettiin paremmaksi kuin oikeakätisillä.

Hoffmannin *et al.* lähes vuosikymmenen takainen tutkimus ei aivan täytä kaikkia nykypäivän standardeja. Ensinnäkin toistoja jokaista testiasetelmaa kohti tehtiin vain kymmenen, kun ISO [2000] suosittelee 15–25 toistoa. Kun kukin testiasetelma suoritettiin vain kerran, niin osoitusten kokonaismäärä on jäänyt varsin alhaiseksi – 90 osoitusta jokaiselta koehenkilöltä. Muutenkin ISO-standardi on tuonut testeille vaatimuksia, jotka eivät vielä vuonna 1997 olleet yleisesti käytössä; tällaisia ovat osumatarkkuuden mukainen kohteen koon tarkennus sekä kaksiulotteiset testitehtävät.

Lisäksi Soukoreff ja MacKenzie [2004] ovat suosittaneet testaamaan laajaa valikoimaa vaikeusindeksejä väliltä 2–8, mutta Hoffmann *et al.* käyttivät testeissään vain kolmea vaikeusindeksiarvoa väliltä 3–6. Douglas *et al.* [1999] ovat suositelleet virheasteen raportoimista, mutta koska tässä tutkimuksessa koehenkilöiltä vaadittiin osumaa, ei sitäkään ole saatavilla. Itse asiassa sataprosenttista osumatarkkuutta ei kannattaisi vaatia, vaan sen sijaan on parempi käyttää ohi menneitäkin osoituksia laskettaessa osumatarkkuuden mukaisen tarkennuksen avulla kohteen toteutunutta kokoa ja etäisyyttä. Hoffmannin *et al.* koehenkilövalikoima sisälsi vain käyttäjiä, jotka olivat tottuneet käyttämään hiirtä oikealla kädellä. Omaa tutkimustani varten hain myös oikeakätisiä, jotka ovat tottuneet hiiren käyttöön molemmilla käsillä.

Pyrin saamaan lisävahvistusta Hoffmannin *et al.* tuloksiin tekemällä testit ISO 9241–9 standardin sekä Soukoreffin ja MacKenzien [2004] seitsemän suosituksen mukaisesti. Lisäksi teen toistoja huomattavasti enemmän, jolloin tulosten pitäisi olla luotettavampia ja lisäksi koehenkilöt ehtivät oppia tekemään testitehtävät huonommallakin kädellään hieman paremmin. Testijärjestely on kuvattu yksityiskohtaisesti luvussa 5.

4.1.2. Peters ja Ivanoff, 1999

Peters ja Ivanoff [1999] tekivät laajalla käyttäjäjoukolla tutkimuksen kätisyyden vaikutuksesta hiiren ohjaamisen suorituskäyttöön. He tutkivat suurelta osin samoja asioita kuin itse tässä tutkimuksessani, mutta erilaisin menetelmin.

Peters ja Ivanoff keräsivät kolmenlaisia koehenkilöitä: oikeakätisiä hiirtä vain oikealla kädellä käyttämään tottuneita (OO, 22 koehenkilöä), vasenkätisiä hiirtä vain oikealla kädellä käyttämään tottuneita (VO, 29 koehenkilöä) sekä vasenkätisiä hiirtä pääasiassa vasemmalla kädellä käyttämään tottuneita (VV, 12 koehenkilöä). Koehenkilöillä teetettiin yksi tarkkuus- ja yksi tähtäystehtävä. Näistä tarkkuustehtävää analysoitiin selvästi enemmän.

Tarkkuustehtävässä koehenkilön tuli osoittaa hiirellä näytön keskellä ollutta pientä ympyrää. Tämän jälkeen muutaman senttimetrin päähän keskipisteestä ilmestyi toinen pieni ympyrä johonkin neljästä ennalta määrätystä paikasta, ja koehenkilön tuli mahdollisimman nopeasti osoittaa sitä. Tehtävästä analysoitiin peräti kuutta asiaa: 1) reaktioaika, 2) siirtymisaika ilman reagoitua sekä kohdistusta, 3) kohdistusaika, 4) koko siirtoaika, 5) keskimääräinen poikkeama parhaalta mahdolliselta polulta sekä 6) osoituksen poikkeama kohteesta. Näistä 4) eli koko siirtoaika on sama, jota mittaakaan omassa tutkimuksessani.

Tähtäystehtävässä koehenkilöiden tuli keskiympyrän osoituksen jälkeen siirtää kohdistin mahdollisimman nopeasti tietylle etäisyydelle ilmestyneen kaaren yli. Myös tästä tehtävästä mitattiin reaktioaika sekä siirtoaika ja osumaprosentti.

Petersin ja Ivanoffin tarkkuustehtävässä siis käytettiin aina yhtä vaikeaa koetehtävää. Kohteen koko oli aina sama ja siirtoetäisyyskin oli aina sama. Koeasetelma ei siis kata kuin tiettytyyppiset osoitustehtävät, eikä niiden tuloksin voi soveltaa Fittsin lakia. Tutkimustulokset ovat kuitenkin varsin kiinnostavia, varsinkin siksi, että tutkijoilla oli käytettävissään niin suuri joukko erityyppisiä koehenkilöitä.

Tulosten tarkka analyysi paljasti tutkijoille vuorovaikutusta kätisyyden ja käden suorituskäyttöön välillä. Sekä vasen- että oikeakätisillä hiirtä oikealla kädellä käyttämään tottuneilla oikean käden suorituskäyttö oli selkeästi parempi. Vasenkätisillä hiirtä vasemmalla kädellä käyttävillä yhtä merkittäviä eroja ei sen sijaan havaittu. Ero koko koetehtävän suoritusajassa oli koko koehenkilöryhmällä keskimäärin 180 ms hallitsevan käden eduksi (raportissa ei paljasteta suhteellista eroa). Tutkijat toteavat, että ero on yllättävän pieni ja vaikka se käyttäjästä itsestään saattaakin tuntua suurelta, sillä ei käytännössä

ole suurta merkitystä. Niinpä Peters ja Ivanoff suosittelivatkin hiirikäden vuorottelemista hallitsevan käden ylikuormituksen ehkäisemiseksi ja lievittämiseksi.

Ryhmän VO tuloksia tarkastellessaan tutkijat tulivat siihen tulokseen, että ainakin hiiriä käytettäessä vasenkätisillä näyttää olevan erittäin hyvä kyky mukautua käyttämään oikeakätiseen maailmaan suunniteltuja laitteita. Mielenkiintoinen oli myös se tulos, että sekä ryhmässä VO että ryhmässä OO reaktioaika oikealla kädellä oli nopeampi, mutta ryhmässä VV eroa käsien reaktioajassa ei ollut. Tutkijat toteavat, että nopeampi reaktioaika oikealla kädellä on ristiriidassa joidenkin aikaisempien tutkimustulosten kanssa ja ehdottavat, että ero johtunee hiiritehtävien erilaisuudesta luonnollisempiin tehtäviin nähden. Merkittäviä eroja on ainakin kolme: 1) hiiren liikkeen skaalaus niin, että kohdistin näytöllä liikkuu enemmän kuin itse hiiri, 2) näytön kaksiulotteisuus, jossa toimiminen on erilaista kuin normaalielämän kolmiulotteisuus, 3) hiiritehtävien vaatima suuri tarkkuus.

Lisäksi siirtymisaika oikeakätisillä oli paitsi oikealla kädellä hieman vasenta kättä nopeampi, kummallakin kädellä vasemmalta oikealle hieman nopeampi kuin oikealta vasemmalle. Vastaavasti kohdistusaika hiirtä oikealla kädellä käyttävillä oli nopeampi näytön vasemmalla puolella olleissa kohteissa. Kohdistusajoissa huomattiin ryhmien sisällä suuria eroja sen käden hyväksi, jolla oli enemmän totuttu hiirtä käyttämään.

Peters ja Ivanoff peilaavat lopuksi tuloksiaan erilaisiin kätisyydestä esitettyihin teorioihin ja tulevat siihen tulokseen, että ainoa teoria jota vastaan heidän tuloksensa selvästi puhuvat, on vasenkätisten liikejärjestelmän kehityshäiriöteoria. Vasenkätisten hiirtä oikealla kädellä käyttämään tottuneiden suorituskyky oikealla kädellä oli yhtä hyvä kuin oikeakätistenkin ja lisäksi he pystyivät kohdistamaan sekä välttämään turhia kohdistimen liikkeitä vasemmalla kädellään paremmin kuin oikeakätiset oikeallaan. Vasenkätisten hiirtä vasemmalla kädellä käyttämään tottuneiden oikea käsi taas suoriutui tehtävistä yhtä tehokkaasti kuin oikeakätisten vasen käsi.

Omassa tutkimuksessani hain koehenkilöiksi myös oikeakätisiä, hiirtä vasemmallakin kädellä käyttämään tottuneita (OV). Lisäksi tutkimalla laajempaa tehtävien vaikeuden valikoimaa hain vahvistusta Petersin ja Ivanoffin tuloksille. Vaikeusindeksiä vaihtelemalla saattaa saada jopa osin niistä poikkeavia tuloksia.

4.1.3. Kabbash *et al.*, 1993

Kabbash *et al.* [1993] eivät verranneet erikätisiä käyttäjiä tai hiirtä eri käsillä käytettäviä ihmisiä, vaan hiirtä oikealla kädellä käyttämään tottuneiden oikeakätisten tehokkuutta eri käsillä.

Tutkimus pohjasi MacKenzien *et al.* [1991] tuloksiin oikeakätisten käyttäjien tehokkuudesta oikealla kädellä kolmella eri laitteella: tavallisella hiirellä, ohjauspallolla ja piirtimellä. Kabbash *et al.* teettivät täsmälleen samat testit 12 oikeakätisellä koehenkilöllä, tällä kertaa koehenkilöt kuitenkin tekivät testitehtävät vasemmalla kädellään. Osoitustehtävien lisäksi mukana oli myös raahaustehtäviä.

Testitehtäviä oli 16 ja niiden vaikeusindeksit laskettuna Fittsin lain mukaisesti vaihtelivat yhdestä kuuteen siten, että erilaisia vaikeusindeksejä oli seitsemän. Tehtävissä vaihdeltiin neljää erilaista kohteiden välistä etäisyyttä sekä neljää erilaista kohteen leveyttä. *Osoitukset* (trial) olivat yksiulotteisia, eli vasemmalta oikealle ja takaisin. Niitä tehtiin kussakin *testitehtävässä* (condition) kymmenen ja testitehtäviä puolestaan tehtiin *jaksoa* (block) kohti 16. Sekä osoitus- että raahaustehtäviä tehtiin viisi jaksoa kaikilla kolmella laitteella. Koehenkilöä kohti tuli siis hiiren osoitustehtäviä laitetta kohti yhteensä $10 \times 16 \times 5 = 800$. Ensimmäisen jakson tulokset olivat niin paljon muita huonompia, että ne jätettiin tulosten laskennassa pois - näin saatiin oppimisen aiheuttamaa vaikutusta pienennettyä.

Tuloksia laskettaessa Kabbash *et al.* käyttivät vaikeusindeksin laskennan pohjana Soukoreffin ja MacKenzien [2004] sittemmin suosittellemaa Shannonin teoreemaa 17 sekä tekivät osumatarkkuuden mukaisen kohteen koon tarkennuksen. Myös virheasteet raportoitiin.

Kabbashin *et al.* mukaan tutkimuksen päätulos oli se, että se vahvisti Todorin ja Doanan [1978] esitystä siitä, että ihminen pystyy ei-hallitsevalla kädellään tekemään pitkiä etäisyyksiä ja suuria kohteita sisältäviä tehtäviä nopeammin kuin yhtä vaikeita lyhyitä etäisyyksiä ja pieniä kohteita sisältäviä tehtäviä. Vastaavasti hallitsevalla kädellään koehenkilöt suoriutuivat nopeammin lyhyitä etäisyyksiä ja pieniä kohteita sisältäneistä tehtävistä. Tämä ilmiö näkyi erityisen selkeästi hiirtä vasemmalla kädellä käytettäessä.

Lisäksi tutkimus osoitti, että paitsi osoitus- myös raahaustehtäviä voidaan mallintaa Fittsin lailla. Tutkimuksessa myös vahvistettiin jo Cardin *et al.* [1978] toteama hiiren ylivertainen tehokkuus osoitinlaitteena. Erityisesti ohjauspallo osoittautui selvästi hiirtä huonommaksi.

Hiirellä huomattiin osoitustehtävissä ei-hallitsevalla kädellä 34 % pidempi suoritusaika kuin hallitsevalla kädellä. Raahaustehtävissä vastaava ero oli hieman pienempi, 20 %. Virheasteessa taas eri kädet olivat osoitustehtävissä tasaväkisempiä, sillä ei-hallitsevalla kädellä tuli virheitä vain 7,1 % enemmän kuin hallitsevalla. Raahaustehtävissä tämä ero oli 22 %.

Kabbash *et al.* vetävät johtopäätöksen, että ei-hallitseva käsi pärjää varsin hyvin monenlaisissa tehtävissä, mutta jos osoitettava kohde on pieni, niin ero hallitsevaan käteen on merkittävän suuri. Ei-hallitseva käsi sopii tehtäviin, jotka eivät vaadi suurta tarkkuutta. Tällainen tehtävä on esimerkiksi MacKenzien ja Guiardin [2001] mainitsema vierittäminen.

Kabbashin *et al.* [1993] raportti noudattaa joiltakin osin ISO 9241-9 standardia sekä Soukoreffin ja MacKenzien [2004] suosituksia, mutta puutteitakin on. Tehtävien vaikeusindeksi on vaihdellut melko suurella välillä, mutta kuitenkin vaikeat tehtävät (vaikeusindeksi > 6) puuttuvat kokonaan ja mukana on muutama turhankin helppo tehtävä (vaikeusindeksi < 2). Testitehtävässä tehtiin kerrallaan vain kymmenen osoitusta, mikä on selvästi vähemmän kuin ISO:n [2000] suosittama 15–25. Lisäksi osoitukset olivat yksiulotteisia, mikä ei täysin vastaa todellisen elämän kaksiulotteisia osoitustilanteita.

Kaikki koehenkilöt ovat olleet oikeakätisiä, joten tutkimuksen perusteella ei voida vetää johtopäätöksiä siitä, millaisia eroja erikätisillä käyttäjillä on. Kaikille koehenkilöille oli myös hiiren käyttäminen vasemmalla kädellä uusi asia, joten täydellistä oppimista sen käytössä ei ole voitu saavuttaa. Omassa tutkimuksessani olen pyrkinyt löytämään monipuolisemman valikoiman koehenkilöitä. Myös testitehtävien vaikeutta ja monipuolisuutta on lisätty. Lisäksi tarkoitus on saada lisävahvistusta Kabbashin *et al.* raporttoimille tuloksille noudattamalla testeissä kaikilta osin standardia ISO 9241-9.

4.2. Muita aihetta sivuavia tutkimuksia

Käsittelen tässä yhteydessä lähinnä työasemakäytön kätisyyteen liittyviä tutkimuksia. Lisäksi käyn läpi joitakin hiiren ja muiden osoitinlaitteiden käytön tehokkuuteen liittyviä tutkimuksia.

Ackland ja Hendrie [1999] tutkivat sitä, miten nopeasti ja hyvin ihminen oppii käyttämään hiirtä ei-hallitsevalla kädellään. Ryhmä oikeakätisiä hiirtä oikealla kädellä käyttämään tottuneita käyttäjiä teki kolmen viikon ajan päivittäin kummallakin kädellä muutamia hiiren käytön tehostamiseen tähtääviä harjoituksia. Toinen ryhmä teki samat harjoitukset vain hallitsevalla kädellään.

Suorituskykyä mitattiin kolmella testitehtävällä. Yhdessä yritettiin osua mahdollisimman nopeasti näytöllä satunnaisesti liikkuneeseen pieneen kohteeseen. Suoritusaika oli kymmeneen tällaiseen osoitukseen kulunut yhteisaika. Toisessa tehtävässä pyrittiin mittaamaan paljonko suorituksen nopeuttaminen vähentää tarkkuutta. Siinä piti minuutin aikana siirtää mahdollisimman monta näytöllä ollutta ohutta suoraa tiettyyn paikkaan. Kolmannessa tehtävässä taas koehenkilö luki näytöltä tekstidokumenttia, jonka sekaan oli lisätty värillisellä tekstillä ohjeita. Nämä ohjeet piti löytää mahdollisimman nopeasti sekä suorittaa niissä mainittu tehtävä, esimerkiksi tekstin kopioiminen leikepöydälle tai sen sisällön muokkaaminen.

Kokeen alussa hiiren käyttö ei-hallitsevalla kädellä oli kaikilla selvästi tehottomampaa kuin hallitsevalla kädellä, mutta kolmen viikon jälkeen harjoituksia molemmilla käsillä tehneet käyttäjät pystyivät molemmilla käsillä lähes yhtä hyvin tuloksiin - hallitseva käsi toki vielä tämänkin jälkeen oli hieman tehokkaampi. Ackland ja Hendrie toteavat Petersin ja Ivanoffin [1999] tavoin, että pienellä harjoituksella kuka hyvänsä pystyy oppimaan riittävän hyvän tason hiiren käytössä ei-hallitsevalla kädelläänkin. Tämä puolestaan vähentää hallitsevan käden kuormitusta ja siten vähentää vammautumiseriskiä.

Ensimmäisenä Fittsin lakia ihmisen ja tietokoneen vuorovaikutuksessa sovelsivat Card *et al.* [1978]. Tutkimuksessa verrattiin neljää osoitinlaitetta toisiinsa: hiirtä ja ohjaustikkua sekä kahta erilaista näppäinpohjaista laitetta. Näillä tehtiin tekstin valintatehtäviä ja niistä mitattiin suoritusaika, virheiden lukumäärä sekä oppimiseen kulunut aika. Tutkijat käyttivät vaikeusindeksin laskemiseen Welfordin [1968] kehittämää kaavaa ja päätyivät tulokseen, jonka mukaan hiiren kokonaistehokkuus oli yli kaksi kertaa niin suuri kuin ohjaustikun. Lisäksi hiiri todettiin myös ohjaustikkua nopeammaksi ja näppäinpohjaiset laitteet testatuista kaikkein hitaimmiksi.

Kun ISO-standardi 9241-9 [2000] oli luonnosvaiheessa, testasivat Douglas *et al.* [1999] sen kuvaamia menetelmiä verratessaan kannettavissa tietokoneissa käytettäviä ohjaustikkua ja ohjauslevyä toisiinsa. Tutkijat eivät löytäneet merkittävää eroa kokonaistehokkuudessa yksiulotteisissa tehtävissä, mutta kaksiulotteisissa tehtävissä ohjaustikku oli 27 % tehokkaampi. Käyttömukavuudessa ei havaittu merkittäviä eroja. Raportin lopussa tutkijat vielä kertoivat ongelmistaan tutkimuksen teossa ja esittivät parannusehdotuksia tuolloin vielä keskeneräiseen standardiin.

Pienien ja kevyiden hiirien on oletettu olevan nopeampia ja tarkempia kuin suurempien ja painavampien. Niinpä Isokoski ja Raisamo [2002] vertasivat ISO-

standardia 9241-9 noudattaen kuuden erikokoisen ja -painoisen hiiren suorituskykyä. Hiirien paino vaihteli 88 ja 133 gramman välillä ja ne olivat hieman erimuotoisia. Osa oli mekaanisia pallohiiriä ja osa optisesti ohjattavia, mutta kaikki olivat langallisia. Suorituskyvyssä mitattiin pieniä eroja, mutta mikään niistä ei ollut käytännössä merkittävän suuri. Tutkijat esittävät myös tavan, jolla vahingossa tehtyjen kaksoisosoitusten vaikutus tuloksiin voidaan poistaa.

MacKenzie *et al.* [2001] esittävät joukon uusia osoitinlaitteiden tarkkuusmittareita. Niiden ei ole tarkoitus korvata kokonaistehokkuutta, osoitusaikaa ja virheprosenttia, vaan antaa lisäinformaatiota siitä mistä erot näiden mittarien antamissa tuloksissa johtuvat. Tutkijoiden mukaan uusista mittareista kaksi näytti olevan erityisen selvästi kytköksissä kokonaistehokkuuteen: kohteeseen uudelleenosoitusten määrä (target re-entry) sekä poikkeama suoralta polulta (movement offset).

Luvussa 4 esittelin tutkielmani kannalta oleellisimpia olemassa olevia tutkimuksia. Pääpaino oli hiirikätisyydestä tehdyissä tutkimuksissa, joiden lisäksi kävin läpi joitakin muita Fittsin lakiin pohjaavia osoitinlaitetutkimuksia.

5. Koesuunnittelu ja menetelmien valinta

Tässä luvussa esittelen käyttämäni tutkimusmenetelmän – kontrolloitu koe – sekä sen, miten suoritin kokeet. Aloitan kuvaamalla kohdeongelman. Kerron tiedon keruumenetelmästä, kuvaan koejärjestelyn sekä esittelen koehenkilöjoukkoni. Käyn läpi koehenkilöille annetut kyselylomakkeet sekä testitettävät ja esittelen testiohjelman sekä kuvaan testitilanteet. Lopuksi pohdin aineiston mittaamiseen liittyviä asioita.

5.1. Kohdeongelma

Hiiri on erikoinen laite muun muassa siksi, että pieni hiiren liike aiheuttaa isomman kohdistimen liikkeen näytöllä. Hiiren käyttäminen vaatii tarkkoja ranneliikkeitä ja niiden liittämistä tarkkoihin sormiliikkeisiin. Siinä vaaditaan vastaavia taitoja kuin esimerkiksi kivääriammunnassa, jossa liipaisinsormen pitää toimia hyvin yhteen käden ja vartalon kanssa. [Peters ja Ivanoff, 1999]

Tarkat liikkeet sopivat hallitsevan käden tehtäviksi. Siksi tuntuu luonnolliselta, että hiirtä käytettäisiin hallitsevassa kädessä ja toisella kädellä tehtäisiin pienempää tarkkuutta vaativia liikkeitä. Näppäimistö kuitenkin suosii oikeaa kättä. Jos hiiri asetetaan näppäimistön oikealle puolelle, ei oikeaa kättä pysty tehokkaasti käyttämään näppäimistöllä ja lisäksi asetelma on ergonomisesti huono. Jos hiiri taas on näppäimistön vasemmalla puolella, ei oikeakätinen käyttäjä pysty käyttämään sitä parhaalla mahdollisella tarkkuudella, koska hiirellä osoittamisessa vaadittavat hienovaraiset liikkeet sopivat paremmin hallitsevan käden tehtäviksi. Tärkeä kysymys kuuluukin: *paljonko oikeakätinen käyttäjä menettää suorituskyyvyssä käyttäessään hiirtä vasemmalla kädellään ja onko menetys niin pieni, että hiirikättä kannattaisi vuorotella?*

Vasenkätiselle oikeaa kättä suosiva näppäimistö sopii hyvin – kunhan hiiri asetetaan sen vasemmalle puolelle. Tällöin käyttäjä voi tehdä hiirellä sen vaatimia tarkkoja liikkeitä ja samalla käyttää näppäimistön oikeaa kättä suosivaa näppäinasettelua hyväkseen. Todellisuudessa kuitenkin vasenkätiset usein käytännön syistä käyttävätkin hiirtä oikealla kädellään ja menettävät tämän edun. Heille tärkeät kysymykset ovat: *pystyykö vasenkätinen vaihtamaan hiirikätensä oikeasta vasempaan menettämättä mitään suorituskyyvyssä omaan oikeaan käteensä tai oikeakätisen oikeaan käteen nähden?*

Yllä mainittuun oikeakätisten kysymykseen etsin tutkimuksessani vastauksia. Vasenkätisten kysymyksiin täsmällistä vastausta aineistollani ei voi antaa. Teen

kuitenkin suuntaa-antavia päätelmiä niistäkin ja analysoin sitä, miten hyvin vasenkätinen käyttää hiirtä ei-hallitsevalla kädellään oikeakätiseen verrattuna.

5.2. Tutkimusstrategia: kontrolloitu koe

Tutkimusotteeni kuuluu kategoriaan teorioita testaavat tutkimukset. Aikaisempien tutkimusten perusteella hypoteesina voidaan pitää sitä, että niin oikea- kuin vasenkätistenkin suorituskyvyn vaihtelu hiirikättä vaihdettaessa ei ole niin suuri, etteikö kättä kannattaisi vaihdella. Vasenkätisistä voidaan lisäksi esittää hypoteesi, että koska he ovat tottuneet sopeutumaan oikeakätiseen maailmaan, heillä ero suorituskvyssä on vielä pienempi kuin oikeakätisillä.

Tutkimusmenetelmänä käytän kontrolloitua koetta. Se tarkoittaa Järvisen ja Järvisen [2000] mukaan sellaista koejärjestelyä, että mahdollisimman moni ilmiöön kuuluva tekijä on tutkijan kontrollissa. Pyrin kuvaamaan koejärjestelyt niin hyvin, että ne voidaan tarvittaessa toistaa ja päätyä samanlaisiin tuloksiin. Kontrolloidussa kokeessa tutkija on ulkopuolinen havainnoija eikä vaikuta kokeen tuloksiin muuten kuin manipuloimalla koejärjestelyjä.

Kokeen osanottajia luokittelen kahdella tavalla. Selvitän ovatko he normaalielämässä voimakkaasti oikeakätisiä, voimakkaasti vasenkätisiä vai vasen- tai oikeakätisiä, jotka käyttävät toistakin kättään joihinkin tehtäviin. Toinen tärkeä tieto koehenkilöistä on se, millä kädellä he ovat tottuneet käyttämään hiirtä. Vaihtoehtoja on kolme: vain oikealla kädellä, vain vasemmalla kädellä tai molemmilla käsillä. Ristiintaulukoimalla nämä piirteet jokainen käyttäjä kuuluu johonkin 12 käyttäjätyypistä. Ideaalitapauksessa koehenkilöiden joukossa olisi edustajia kaikista 12 ryhmästä. Koska se on käytettävissä olevilla resursseilla mahdotonta, niin riittävä määrä edustajia neljästä pääryhmästäkin riittää. Pääryhmiksi luen seuraavat:

- 1) oikeakätiset hiirtä vain oikealla kädellä käyttävät (OO)
- 2) oikeakätiset hiirtä molemmilla käsillä käyttämään tottuneet (OV)
- 3) vasen- tai molempikätiset hiirtä oikealla kädellä käyttävät (VO)
- 4) vasen- tai molempikätiset hiirtä pääosin vasemmalla kädellä tai molemmilla käsillä käyttämään tottuneet (VV).

Luonnollisesti kaikilla koehenkilöillä tulee olla jonkin verran kokemusta hiiren käytöstä. Siltä varalta, että käyttökokemuksen määrä vaikuttaa eroihin eri käsien suorituskyvyssä, tilastoin senkin.

Yleisesti on tapana verrata oikeakätisten tuloksia ei-oikeakätisten tuloksiin eli vasen- ja molempikätiset muodostavat oman ryhmänsä [esim. Ellis, 1990; O'Boyle ja Benbow, 1990; Kalat, 1992, s. 166]. Tähän on syynä se, että molempikäisyys on selkeä poikkeama valtaväestön oikeakätisyydestä. Koska vain harva on voimakkaasti vasenkätinen, se on itse asiassa yhdyntyyppistä vasenkätisyyttä. Lasken siis vasen- ja molempikätiset samaan ryhmään.

Kirjallisten kysymysten lisäksi annan koehenkilöiden suoritettavaksi erilaisia hiiren osoitustehtäviä, joiden tulosten perusteella etsin vastauksia tutkimuskysymyksiini. Kuvaan itse koejärjestelyn tarkemmin kohdassa 5.4.

5.3. Tiedon keruu ohjelmallisella seurannalla

Kontrolloidun kokeen tehtävien suorittamista seuraa koetehtäviä ajava tietokoneohjelma, joka tallettaa käyttäjän suoritukset lokitiedostoon. Esittelen testiohjelmaa kohdassa 5.4.2 ja käyttämiäni testitehtäviä tarkemmin kohdassa 5.4.4. Oleelliset ohjelman tallettamat tiedot ovat:

- järjestelmän kellonaika aina silloin, kun koehenkilö osoittaa kohdetta
- kohteen koko ja sen keskipisteen koordinaatit (x, y) näytöllä
- koehenkilön osoittaman pisteen koordinaatit näytöllä
- reitti, jota pitkin koehenkilön ohjaama kohdistin näytöllä kulki

Lokitiedostosta pystyn erikseen kirjoittamallani ohjelmalla selvittämään kaiken tarvittavan tiedon tehtävien analysoimiseksi. Tällaisia tietoja ovat osoitusajaksi, osuminen kohteeseen, poikkeama kohteen keskipisteestä, toteutunut vaikeusindeksi, kohteen leveys ja etäisyys, kokonaistehokkuus sekä *kohteeseen uudelleen osoitukset*¹⁶. Haluttaessa voidaan laskea myös keskimääräinen poikkeama suoralta polulta.

¹⁶ Engl. target re-entry. Kohdistin menee tähdätylle alueelle, poistuu sieltä ja palaa taas. Lasketaan suhteellisena osuutena kaikista osoituksista [MacKenzie *et al.*, 2001].

5.4. Koejärjestelyjen kuvaus

Seuraavaksi kuvaan yksityiskohtaisesti miten vein läpi testitulokset tuottaneet kontrolloidut kokeet.

5.4.1. Koehenkilöt

ISO [2000] suosittelee käyttäjätestejä tehtäväksi vähintään 25 koehenkilöllä. Toisaalta Douglas *et al.* [1999] toteavat, että vakiintunut käytäntö verrattaessa kahta osoitinlaitetta toisiinsa on käyttää kahta 12 hengen koehenkilöjoukkoa.

Pyrin keräämään kohdassa 5.2 luetelluista käyttäjäryhmistä koehenkilöitä kaikista neljästä ryhmästä, niin että jokaisessa ryhmässä olisi vähintään kahdeksan koehenkilöä.

Käytännössä ryhmän VV edustajien löytäminen osoittautui kuitenkin erittäin vaikeaksi ja jouduin jättämään tämän ryhmän tutkielmani ulkopuolelle. Lopulta tein testitehtävät 30 koehenkilöllä, joiden jakauma oli seuraava:

- 1) 11 (OO)
- 2) 11 (OV)
- 3) 7 (VO)
- 4) 1 (VV).

Koska ryhmän VV edustajia oli vain tämä yksi, hänen tuloksensa on jätetty analysoinnista pois. Ryhmä VO jäi yhtä vaille tavoitteena ollutta vähintään kahdeksaa koehenkilöä. Syynä tähän oli se, että kaksi tähän ryhmään etukäteen ilmoittautunutta koehenkilöä paljastuikin testin yhteydessä toiseen ryhmään kuuluvaksi. Seitsemälläkin koehenkilöllä saadaan kuitenkin tilastollisesti merkitseviä tuloksia, joten pidin ryhmän VO mukana tulosten analysoinnissa.

Osanottajat olivat vapaaehtoisia koehenkilöitä, jotka saivat palkkioksi makeisia. Kaikki koehenkilöt olivat tottuneita tietokoneen ja hiiren käyttäjiä. Koehenkilöt antoivat allekirjoituksellaan luvan käyttää henkilötietojaan ja koetuloksiaan tutkielmani tulosten analysointiin. Koetulokset sitouduin tallentamaan tutkielman valmistuttua ilman henkilötunnistietoja. Koetilannetta varten olin laatinut myös henkilötietolain pykälän 10 mukaisen tieteellisen tutkimuksen rekisteriselosteen, jonka jokainen koehenkilö olisi halutessaan saanut nähdä.

Tarkastelen koehenkilöryhmien tunnuslukuja tarkemmin kohdassa 6.1.

5.4.2. Testiohjelma

Testiohjelman tarjosi käyttööni Poika Isokoski Tampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteen laitokselta. Ohjelman toimintaa voi säätää alustustiedostoon kirjoitettavilla asetuskomennoilla. Sillä voidaan tehdä kahdentyyppisiä testejä: yksi- ja kaksiulotteisia osoitustehtäviä.

Yksiulotteiset tehtävät ovat samanlaisia kuin Fittsin aikanaan käyttämät. Niissä ruudulla on kaksi suorakulmion muotoista kohdetta, joiden koko ja etäisyys on määritelty alustustiedostossa. Käyttäjän tehtävä on osoittaa hiirellä suorakulmioita vuorotellen niin monta kertaa kuin kokeen laatija on alustustiedostossa määrittänyt.

Lisäksi ohjelmalla voi tehdä myös ISO:n [2000] suosittelemia, kohdassa 3.3 esittelemiäni kaksiulotteisia osoitustehtäviä. Tällaisissa tehtävissä koehenkilön tulee osoittaa ympyrän muotoon aseteltuja kohdeympyröitä. Peräkkäiset osoitukset ovat aina ympyrän vastakkaisilta puolilta niin, että osoitukset kiertävät ympyrää. Seuraavana osoitusvuorossa oleva kohdeympyrä erottuu muista erivärisenä. Ohjelma ilmoittaa äänimerkillä, jos koehenkilö osoittaa kohdeympyrän ulkopuolelle. Kokeen laatija määrittelee alustustiedostossa sekä kohdeympyröiden että niiden muodostaman ympyrän koon, kuin myös kohdeympyröiden lukumäärän ja sen, montako osoitusta käyttäjältä yhdessä testitehtävässä vaaditaan.

Testiohjelma tallettaa koehenkilön toimista tietoja lokitiedostoon. Näiden tietojen avulla voi kokeen järjestäjä myöhemmin selvittää mitä kohtaa koehenkilö milloinkin on osoittanut sekä millaista polkua kohdistin on kokeen aikana kulkenut.

5.4.3. Testitilanne

Testilaitteistona käytin IBM T40 -merkkistä kannettavaa tietokonetta, johon oli liitetty Logitech-merkkinen ulkoinen ja langaton, pohjassa olevan mekaanisen pallon avulla ohjattava hiiri (kuva 7). Hiiren muotoilu ei ollut optimoitu kummallekaan kädelle. Testikoneen pienierottelykykyinen (1024 x 768 pistettä) 14,1 tuuman näyttö asetti jonkin verran rajoituksia testitehtäville. Käsittelen niitä tarkemmin testitehtävien yhteydessä kohdassa 5.4.4.



Kuva 7. Testeissä käytetty Logitechin langaton pallohiiri.
[<http://www.logitech.com/lang/images/0/3593.jpg>]

Käytin testikoneena kannettavaa tietokonetta pääasiassa sen vuoksi, että siten pystyin siirtymään tekemään testit sellaisessa paikassa, joka koehenkilöille parhaiten sopi. Tästä aiheutuva haittatekijä on se, että testiympäristöt olivat esimerkiksi valaistukseltaan hieman erilaisia, mutta pyrin saamaan ne niin samanlaisiksi kuin mahdollista.

Accotin ja Zhain [2001] mukaan suorituskyky hiiren käytössä on parhaimmillaan silloin, kun kohdistin liikkuu näytöllä 2-4 kertaa niin paljon kuin hiiri matolla. Niinpä asetin testikoneessa hiiren nopeuden järjestelmän oletusarvonakin olleeseen keskinopeaan, jolloin hiiren ja kohdistimen liikkeiden välinen mittakaava oli suunnilleen nelinkertainen. Lisäksi hiirijurissa oli mahdollista asettaa kohdistimen liikkeelle yksi neljästä erilaisesta kiihdytyksen vaihtoehdosta: no, low, medium tai high. Käytin testeissä tässäkin järjestelmän oletusarvoa, low.

Useat tutkijat ovat raportoineet, että koehenkilöt alkavat tunnin osoitustehtävien jälkeen selvästi väsyä ja ISO:kin [2000] suosittelee pitämään tunnin välein vähintäänkin viiden minuutin tauon. Sen vuoksi pyrin saamaan testitilanteet ohi tunnin kuluessa. Useimpien koehenkilöiden kanssa tämä onnistuikin, joskin muutamalla tilaisuus kesti joitakin minuutteja yli tunnin.

Testitilanteen aluksi esittelin koehenkilölle testien tarkoituksen. Tämän jälkeen annoin hänen täytettäväkseen liitteinä 1 ja 2 olevat kysymyslomakkeet, joiden avulla selvitin hänen taustatietojaan ja ennen kaikkea kätisyyttään. Lomakkeiden täyttämisen jälkeen esittelin testiohjelman ja näytin miten se toimii. Annoin käyttäjän harjoitella ensimmäisellä kädellään viittä erilaista esimerkkit tehtävää yhden 17 osoituksen testitehtävän verran kutakin tai jos tämä ei riittänyt, niin kauan kunnes hän koki olevansa valmis tekemään testit.

Käytännössä kukaan ei halunnut tehdä harjoittelutehtäviä kuin kerran kummallakin kädellä.

Neuvoin koehenkilöitä tekemään testitehtävät niin nopeasti kuin mahdollista, ilman että virheosoitusten määrä kuitenkaan nousee yli neljän prosentin. Koehenkilö sai itse valita kumpaa hiiren nappia käyttää. Testitulanteen lopuksi annoin koehenkilön vastattavaksi vielä liitteenä 3 olevan toisen kysymyslomakkeen, jolla selvitin hänen käyttökokemuksiaan testitehtävistä.

Kättä, jolla tehtävät tehtiin ensin, vaihdeltiin koehenkilöiden kesken. Kussakin ryhmässä joka toinen teki tehtävät ensin vasemmalla kädellään ja joka toinen oikealla. Sen jälkeen, kun koehenkilö oli tehnyt tehtävät ensimmäisellä kädellään sekä täyttänyt siihen käteen liittyvän käyttökokemuslomakkeen, kättä vaihdettiin ja aloitettiin saman lailla viidestä harjoitustehtävästä ennen varsinaisia koetehtäviä. Kaikki testiasetelmat olivat molemmilla käsillä täsmälleen samoja, mutta niiden järjestys vaihteli satunnaisesti.

Vaikka kaikki koehenkilöt eivät tehneetkään tehtäviä samassa tilassa, kaikki tekivät ne rauhallisessa ympäristössä, joka muistutti tavallista tietokoneen käyttöympäristöä. Noin kolmannes testeistä tehtiin Tampereen yliopistossa sijainneessa työhuoneessa, viidesosa WM-data Oy:n Tampereen käytettävyysslaboratoriossa, muutama tutkijan kotona ja loppu noin kolmannes koehenkilön kotona tai työpaikalla.

Testien jälkeen lähetin koehenkilöille sähköpostitse lyhyen analyysin heidän omista testituloksistaan niin osoitustehtävissä kuin kätsisystestissäkin.

5.4.4. Testitehtävät

Laadin koehenkilöiden tehtäväksi joukon hiiren osoitustehtäviä. Tavoitteeni oli saada mahdollisimman pienellä määrällä tehtäviä mahdollisimman monipuolinen tehtäväjoukko. Mitä vähemmän tehtäviä on, sitä enemmän niitä voidaan toistaa ja sitä kautta paremmin nähdä miten oppiminen vaikuttaa tehtävien suorittamiseen. Liian pieni joukko tehtäviä kuitenkin johtaa siihen, että ne eivät edusta riittävän kattavasti erilaisia tosielämän tilanteita. ISO-standardi 9241-9 [2000] määrittelee, että koetehtävien vaikeuden pitäisi edustaa sitä vaikeustasoja mitä laitetta käytettäessä on odotettavissa. Pyrin löytämään mahdollisimman hyvän kompromissin näiden vaatimusten väliltä.

Koe muodostui seuraavista osista:

- 17 osoitusta / testitehtävä
- 12 testitehtävää / jakso
- 3 jaksoa / koehenkilö
- 2 kättä /koehenkilö
- 30 koehenkilöä.

Seuraavaksi kerron, miten päädyin tällaiseen asetelmaan.

ISO-standardin 9241-9 mukaan yksiulotteisia osoitustehtäviä tehtäessä pitää kohteiden etäisyyttä (D) ja leveyttä (W) vaihdella siten, että Shannonin teoreeman 17 perusteella laskettu toteutunut vaikeusindeksi (ID_e) vaihtelee kahdesta seitsemään. Yksiulotteisella osoitustehtävällä tarkoitetaan tässä Fittsin käyttämää asetelmaa, jossa kahta suorakulmion muotoista kohdetta osoitetaan vuorotellen vasemmalle ja oikealle. Standardin suosituksen mukaan yksi testitehtävä koostuu 25 peräkkäisestä tällaisesta osoitustehtävästä.

Standardissa kuitenkin suositellaan yksiulotteisten sijaan kaksiulotteisia tehtäviä, joissa kohteita on enemmän ja ne on aseteltu kuvitellun ympyrän kehälle. Koehenkilö siirtää kohdistinta kohteisiin, joiden tulisi olla esimerkiksi neliön tai ympyrän muotoisia ja joiden tulisi sijaita tasaisin välein ympyrän kehällä. Liikkeiden pitäisi olla lähes yhtä pitkiä kuin ympyrän halkaisija ja seuraavan kohteen pitäisi aina olla korostettuna. Standardi ei kuitenkaan ota kantaa siihen, montako kohdetta ympyrän kehällä tulisi olla, eikä myöskään siihen, millä välillä tehtävien vaikeusindeksin pitäisi vaihdella. Oletettavaa on, että yksiulotteisten tehtävien yhteydessä mainitut luvut pätevät myös tässä.

Soukoreff ja MacKenzie [2004] ovat sittemmin suositelleet vaikeusindeksin vaihteluväliksi 2-8 ja yhden testitehtävän osoitustehtävien lukumääräksi 15-25.

Päätin noudattaa ISO-standardin suositusta kaksiulotteisista testitehtävistä, koska silloin tehtävät noudattavat paremmin tosielämän tilanteita ja niiden pitäisi tuottaa luotettavampia tuloksia. Douglas *et al.* [1999] testasivat sekä yksi- että kaksiulotteisilla testitehtävillä ja huomasivat, että vaikka kaksiulotteinen testi osoitti kahden syöttölaitteen kokonaistehokkuudessa eroa, se ei välttämättä tullut esille yksiulotteisessa testissä. Lisäksi Peters ja Ivanoff [1999] ovat osoittaneet, että kohdistusaika on eri suuntiin hieman erilainen.

Testeissä käyttämäni kannettava tietokone asetti jonkin verran rajoituksia tehtävien vaikeusskaalalle. Totesin, että 0,17 cm:iä pienempää kohdetta näytöllä on erittäin vaikea kunnolla erottaa ja että 20,8 cm:iä suurempi kohteiden etäisyys ei enää mahdu näytölle. Lisäksi vielä tällä äärimmäisen suurella etäisyydellä erittäin pienet kohteet näyttivät hieman vääristyvän.

Kokeilujen jälkeen tulin siihen tulokseen, että vaikein tehtävä jota voin testeissä käyttää, muodostuu asetelmasta, jossa $D = 20,59$ cm ja $W = 0,20$ cm. Shannonin kaavan perusteella laskettu vaikeusindeksi ID tälle asetelmalle on 6,70. Käytännössä tehtävä on jo hyvin vaativa ja ID on erittäin lähellä ISO-standardin asettamaa maksimiarvoa 7, joten skaalasta tulee yläpäässä riittävän laaja. Vaikeimman tehtävän keskimääräinen toteutunut vaikeusindeksi ID_e nousi koetilanteessa 6,88:aan ja korkein yksittäisen testitehtäväsuorituksen toteutunut vaikeusindeksi oli 7,56.

Totesin myös, että vaikeusindeksillä 2 tehtävät ovat erittäin helppoja. Niitä suoritettaessa kohteet ovat tällä näytöllä niin suuria, että niitä ei tule kovinkaan usein osoitettua lähellekään ympyrän keskipistettä. Tästä seuraa tehtävän todellisen vaikeusindeksin selvä poikkeaminen kahdesta. Lisäksi huomasin, että erittäin helpoilla tehtävillä kokonaistehokkuus jää usein jonkin verran matalammaksi kuin vaikeammilla tehtävillä.

Kaikesta huolimatta halusin saada mukaan mahdollisimman helppoja tehtäviä, jotka kuitenkin ovat testikoneella järkevästi tehtävissä. Päädyin käyttämään testijoukossa pienimpänä vaikeusindeksinä arvoa 2,20. Käytännössä tämä johti testitulanteessa siihen, että matalin toteutuneen vaikeusindeksin arvo oli 1,64 ja helpoimman tehtävän kaikkien testien keskiarvo 2,04. Siten testitehtävät kattoivat helpommassakin päässä ISO-standardin vaatimuksen.

Perinteisesti Fittsin lakiin pohjautuvissa testeissä on valittu tietty joukko kohteiden etäisyyden arvoja ja tietty joukko kohteen koon arvoja – molemmat usein kahden potensseja – sekä suoritettu tehtävät kaikilla näistä saatavilla D :n ja W :n arvojen yhdistelmillä [esim. Fitts, 1992; Kabbash *et al.*, 1993; MacKenzie ja Jusoh, 2001; Isokoski ja Raisamo, 2002]. Tällä menetelmällä ei kuitenkaan mielestäni aina saavuteta parasta mahdollista tehtäväjoukon monipuolisuutta. Niin D :n, W :n kuin ID :nkin arvoja testijoukkoon tulee vain muutama.

Itse halusin käyttää testitehtävävalikoimaa, jossa jokaisella tehtävällä olisi yksilöllinen niin D , W kuin ID :kin. Luonnollisesti ID_e :n laskeminen aiheuttaa vaikeusindeksiin hajontaa, mutta vielä parempi hajonta saadaan aiheuttamalla sitä jo koeasetelmaan. Vaikeusindeksiä toistavassa menetelmässä on kuitenkin

etunsa, etenkin käтisyттä tutkittaessa. Silloin nimittäin samalla vaikeusindeksillä tulee testattua monia erilaisia D :n ja W :n yhdistelmiä. Esimerkiksi Kabbash *et al.* [1993] totesivat, että koehenkilöt saavuttivat ei-hallitsevalla kädellään suhteellisen hyviä tuloksia suurilla etäisyyksillä ja isoilla kohteilla, kun taas hallitseva käsi menestyi paremmin pienissä etäisyyksissä ja pienissä kohteissa. On siis parasta ottaa ainakin kaksi testitehtävää kutakin vaikeusindeksiä kohti, jotta tällaiset erot huomataan.

Päätin jakaa vaikeusindeksiskaalani tasaisesti välille 2,2–6,7 viidelle eri vaikeusindeksille, joille laadin kaksi erilaista testitehtävää kullekin: toisessa on pieni etäisyys ja pienet kohteet sekä toisessa suuri etäisyys ja suuret kohteet. Vaikeusindekseiksi tulivat 2,2; 3,3; 4,4; 5,5 ja 6,7. Suurimmalla vaikeusindeksillä en kuitenkaan testikoneella pysty toteuttamaan kuin yhdenlaisen testitehtävän, joten korvasin vaikean ja lyhyen testitehtävän hieman helpommalla vaikeusindeksillä 6,1. Lisäksi halusin saada keskivaikeaa tehtävää edustavalle vaikeusindeksille 4,4 vielä kolmannen, keskipitkän testitehtävän.

Kun tein kokeiluja näin saamillani testitehtävillä, totesin vielä, että toteutunut vaikeusindeksi vaihteli erittäin hyvin kaikkialla muualla paitsi kahden helpoimman indeksin 2,2 ja 3,3 välissä. Niinpä lisäsin vielä yhden testitehtävän näiden väliin vaikeusindeksille 2,75 ja tein siitä toisen keskipitkän tehtävän. Lopullinen tehtäväjoukko on esitetty taulukossa 1.

Nro	D (cm)	W (cm)	ID (bps)	Luonne
1	3,13	0,87	2,20	Helppo ja lyhyt
2	15,64	4,35	2,20	Helppo ja pitkä
3	8,19	1,43	2,75	Helppo ja keskipitkä
4	4,42	0,50	3,30	Helpohko ja lyhyt
5	17,70	2,00	3,30	Helpohko ja pitkä
6	6,23	0,31	4,40	Keskivaikea ja lyhyt
7	12,47	0,62	4,40	Keskivaikea ja keskipitkä
8	18,70	0,93	4,40	Keskivaikea ja pitkä
9	10,18	0,23	5,50	Vaikeahko ja lyhyt
10	20,36	0,46	5,50	Vaikeahko ja pitkä
11	11,49	0,17	6,10	Vaikea ja lyhyt
12	20,59	0,20	6,70	Vaikea ja pitkä

Taulukko 1. Testitehtävät.

Testitehtäviä oli siis yhteensä 12 ja ne edustavat hyvin laajaa skaalaa erilaisia osoitustehtäviä. Kussakin tehtävässä oli suuren ympyrän kaarella 16 pientä

kohdeympyrää ja koehenkilöltä mitattiin 17 osoitusta niihin. Harkitsin myös 25 kohteen käyttämistä, mutta koska etenkin pienet kohteet erottuvat koehenkilölle pienellä näytöllä selkeämmin silloin, kun niitä on vain 16, päädyin tähän lukuun. Tällöin koehenkilöllä ei kulu ylimääräistä aikaa seuraavan kohteen etsintään. Sekin hyöty kohteiden lukumäärän pienentämisellä saatiin, että pienestä näytöstä huolimatta kohteet menivät osittain toistensa päälle vain kaikkein helpoimmassa isojen kohteiden ja isojen etäisyyksien tehtävässä. Kolmas hyöty pienemmästä kohteiden lukumäärästä on se, että noin tunnin kestävän testitilanteen aikana ehdittiin suorittaa kahden jakson sijaan kolme 12 testitehtävän jaksoa. Kolmeen jaksoon päätyemisessä on tavoitteena se, että oppimisen tuomaa tottumattomamman käden suorituskyvyn parantumista voitaisiin ottaa huomioon analysoimalla tulokset vain viimeisestä tai kahdesta viimeisestä jaksosta. Muun muassa Douglas *et al.* [1999] ovat suositelleet tällaista menetelmää oppimisen huomioonottamiseksi.

Testiohjelma arpoi kunkin jakson 12 testitehtävää suoritettavaksi satunnaisessa järjestyksessä. Tämän lisäksi tasasin koehenkilöiden kesken käsien järjestyksen siten, että joka toinen heistä teki testit ensin hallitsevalla kädellään ja joka toinen ei-hallitsevalla. Kukin koehenkilö suoritti aina ensin kaikki kolme jaksoa yhdellä kädellä ja sitten toisella. Käsiä ei siis vuoroteltu.

5.4.5. Kysymyslomakkeet

Ennen testitehtävien tekemistä annoin koehenkilöiden täyttää lomakkeen, jossa kysyin heidän taustatietojaan. Lomake on kokonaisuudessaan liitteenä 1. Samassa yhteydessä pyysin koehenkilöitä täyttämään toisen, 16-kohtaisen lomakkeen, jonka avulla selvitin heidän kätisyyttään. Tämä lomake on esitetty liitteessä 2. Lomakkeen kahta viimeistä, jalkaisuutta ja silmäisyyttä koskevaa kysymystä, en käyttänyt kätisyyden määrittämisessä.

Kätisyyden määrittämiseen käytin kahta menetelmää. Ensimmäiseen viittaa jatkossa nimellä *kätisyytesti 1* ja se noudattaa Oldfieldin [1971] kehittämän kyselylomakkeen¹⁷ suppeampaa, kymmenestä kysymyksestä koostuvaa versiota. Kätisyytestin 1 tulosta laskiessa lasketaan yhteen koehenkilön merkitsemät '+'-merkit erikseen oikean käden ja vasemman käden kohdalta. Tulos lasketaan tästä kaavalla:

$$\frac{\textit{summa}_{oikea} - \textit{summa}_{vasen}}{\textit{summa}_{oikea} + \textit{summa}_{vasen}} \times 100 \quad (13)$$

¹⁷ Edinburgh Handedness Inventory

Kätisyystesti 1 antaa tuloksen väliltä -100...100. Vaikka ihmiset eivät tälle skaalalle jakaudukaan aivan tasaisesti, niin tulokset tulkitaan siten, että tulos nolla merkitsee täysin molempikäätistä henkilöä. Mitä enemmän tulos on nollan yläpuolella, sitä voimakkaammin oikeakätisestä henkilöstä on kyse ja tuloksen 100 saa henkilö, jonka tulkitaan olevan täysin oikeakätinen. Vastaavasti mitä enemmän tulos on alle nollan, sitä voimakkaammin henkilö on vasenkätinen ja tulos -100 merkitsee täyttä vasenkätisyyttä. Käytännössä nollan lähellä olevat tulokset ovat harvinaisia, sillä Oldfieldin mukaan vain 10 % oikeakätisistä saa arvon, joka on alle 48 ja 10 % vasenkätisistä arvon, joka on suurempi kuin -28.

Oldfieldin testi on kirjallisuudessa ehkä eniten käytetty kätisyyskysely, mutta siinä on muutamia puutteita, sillä kaikki kysymykset eivät ole aivan yksikäsitteisiä. Esimerkiksi monien koehenkilöiden on koetilanteessa vaikea muistaa tarkkaan miten päin pitää luutaa kädessään ja moni vasenkätinen on joutunut käytännön syistä opettelemaan saksien käytön oikealla kädellä vasten tahtoaan. Lisäksi kyselyssä ei määritellä, minkälaisen laatikon avaamista sen viimeisessä kysymyksessä tarkoitetaan¹⁸. Niinpä halusin koehenkilöiden vastaavan myös toiseen kätisyyskyselyyn – varmuuden vuoksi.

Kätisyystestin 2 pohjana on käytetty Corenin [1992, s. 37–38] suunnittelemaa kyselylomaketta. Lomakkeessa on 12 kysymystä, joista kuusi on samoja kuin Oldfieldin kyselyssä ja kuusi Corenin omia. Lisäsin oman kätisyyskyselylomakkeen loppuun nämä kuusi uutta kysymystä, jotta pystyn laskemaan tulokset myös Corenin lomakkeen perusteella. Coren käyttää laskukaavaa, jossa jokaisesta kysymyksestä saa joko 1, 2 tai 3 pistettä. Yhden pisteen saa, jos tekee toiminnon aina vasemmalla kädellä ja kolme pistettä vastaavasti jos tekee sen aina oikealla kädellä. Kaksi pistettä saa, mikäli voi tehdä toiminnon kummalla kädellä vain.

Muokkasin Corenin käyttämää pistelaskujärjestelmää siten, että pisteitä jaetaan aina kaksi vähemmän eli jokaisesta kysymyksestä saa joko -1, 0 tai 1 pisteen. Näin lopputulos ei muutu miksiäkään, mutta pisteytys muistuttaa enemmän Oldfieldin käyttämää pisteytystä. Kätisyystestin 2 pisteet tulkitaan seuraavalla tavalla:

¹⁸ Osa koehenkilöistä tulkitsi tämän vetolaatikoksi, osa laatikoksi jonka päällä on nostettava kansi, osa pahvilaatikoksi.

- -12...-8: voimakkaasti vasenkätinen
- -7...-3: pääasiassa vasenkätinen, mutta osittain oikeakätinen
- -2...2: molempikätinen
- 3...7: pääasiassa oikeakätinen, mutta osittain vasenkätinen
- 8...12: voimakkaasti oikeakätinen.

Kätisyystestit antoivat lähes kaikilla koehenkilöillä saman tuloksen. Oli ainoastaan yksi tapaus, jossa tuli pieni ero: kätisyystestin 1 perusteella koehenkilöstä tuli molempikätinen, mutta kätisyystestin 2 perusteella lievästi oikeakätinen. Kätisyystestin 2 tulos oli kuitenkin vain kahden pisteen päässä molempikätsisen rajasta, joten tulkituin koehenkilön molempikätsiseksi. Ratkaisua puoltaa sekin, että koehenkilö itse kokee olevansa enemmän vasenkuin oikeakätinen sekä se, että hänen kirjoituskätensä on vasen.

Testitehtävien jälkeen pyysin koehenkilöiltä vielä toisella lomakkeella kokemuksia testitehtävien suorittamisesta. Kysymykset oli poimittu niistä, joita ISO [2000] suosittelee, mutta mukana oli vain viisi tämän tutkielman kannalta kiinnostavinta kysymystä. Lisäksi muutin alkuperäisen lomakkeen asteikon 1-7 Douglasin *et al.* [1999] ehdottamaan 1-5. Koehenkilöt täyttivät yhden lomakkeen kumpaankin käteensä liittyen. Tämä lomake on liitteenä 3.

5.5. Mittaamisesta

Tilastollista analyysiä varten koehenkilöt luokiteltiin kolmeen ryhmään sen mukaan, mikä on heidän hallitseva kätensä ja millä kädellä he normaalisti käyttävät hiirtä. Kaikkia ohjelmallisella seurannalla saatuja testituloksia voidaan näiden ryhmien kesken verrata varianssianalyysillä, sillä kaikki mitattavat muuttujat – kokonaistehokkuus, osoitusaika, toteutunut vaikeusindeksi, virheprosentti ja kohteeseen uudelleenosoitukset – ovat suhteasteikollisia. Käytännössä yksisuuntainen varianssianalyysi ei tässä tapauksessa anna paljonkaan tietoa, joten tilastolliset testit tehdään pääosin riippumattomien otosten t-testillä aina kahden ryhmän kesken.

Koehenkilöiden testien jälkeen täyttämä kyselylomake sisältää vain järjestysasteikollisia muuttujia eikä siten sovi varianssianalyysillä testattavaksi. Lomakkeessa on viisi kysymystä, joista kussakin annetaan kokonaislukuarvo

yhdestä viiteen sen mukaan miten lähellä kumpaakin ääripäätä koehenkilön mielipide asiasta on. Laskemalla keskiarvot kullekin ryhmälle saadaan kuitenkin suuntaa-antavia tuloksia. Erityisen informatiivinen arvo on eri käsien saman kysymyksen vastausten erotus. Erojen tilastollista merkitsevyyttä voidaan testata parametrittomilla testeillä. Tässä tapauksessa olen käyttänyt Mann-Whitneyn riippumattomien otosten testiä.

Viidennessä luvussa esittelin kontrolloidun kokeeni koesuunnittelun. Kuvasin lyhyesti hiirikäsiin liittyvän kohdeongelman ja esittelin kontrolloidun kokeen tutkimusstrategiana sekä kerroin tietojen keruun tapahtuvan ohjelmallisen seurannan avulla. Kuvasin koejärjestelyn kertomalla yleisiä tietoja koehenkilöistäni sekä sen, miten testitilanne eteni, millaisia testitehtäviä käytettiin ja miksi. Kuvasin kokeessa käytetyt kysymyslomakkeet sekä sen, miten kätisyyskyselyiden tulokset tulkitaan. Lopuksi kerroin millaisia tilastollisia testejä olen aineistosta pääasiassa tehnyt.

6. Tulokset ja analyysi

Tässä luvussa käyn läpi kontrolloidun kokeen tulokset. Ensin kerron tunnuslukuja koehenkilöistä, jonka jälkeen esittelen tilastollisten testien ja analyysien päätulokset sekä sen jälkeen muut tulokset.

6.1. Tunnuslukuja koehenkilöistä

Olen jakanut kokeen 30 koehenkilöstä 29 kohdassa 5.4.1 kolmeen ryhmään, jotka ovat:

- 1) oikeakätiset hiirtä vain oikealla kädellä käyttämään tottuneet (OO)
- 2) oikeakätiset hiirtä myös vasemmalla kädellä käyttämään tottuneet (OV)
- 3) vasen- tai molempikätiset hiirtä pääosin oikealla kädellä käyttämään tottuneet (VO)

Ryhmä OO oli homogeenisin: sen edustajista kukaan ei ollut käyttänyt hiirtä vasemmalla kädellä muuten kuin kokeilumielessä. Yhtä lukuun ottamatta kaikilla oli vähintään kymmenen vuoden sekä tietokoneen että hiiren käyttökokemus. Kaikki myös käyttävät tietokonetta päivittäin. Ryhmä koostui neljästä naisesta sekä seitsemästä miehestä ja sen keski-ikä oli 33 vuotta. Iän vaihteluväli oli 25–47 vuotta. Ryhmän jokainen edustaja osoittautui testissä erittäin voimakkaasti oikeakätiseksi; tulos kätisyystestissä 1 vaihteli välillä 65–100 ja keskiarvo oli 80. Kätisyystestissä 2 tulosten vaihteluväli oli 9–12 ja keskiarvo 11,1.

Myös ryhmän OV edustajat olivat erittäin vahvasti oikeakätisiä. Kätisyystestissä 1 heidän tuloksensa vaihteli välillä 54–100 ja keskiarvo oli 78. Vaihteluväli kätisyystestissä 2 oli 7–12 ja keskiarvo 10,9. Ryhmä oli siis yhtä voimakkaasti oikeakätinen kuin ryhmä OO. Ryhmässä oli kolme naista sekä kahdeksan miestä. Heidän ikänsä vaihteli 27 ja 35 vuoden välillä ja keski-ikä oli 30 vuotta. Kaikilla oli yli kymmenen vuoden kokemus sekä hiiren että tietokoneen käytöstä ja kaikki käyttävät tietokonetta päivittäin. Kaikki tämän ryhmän edustajat ovat alun perin käyttäneet hiirtä vain oikealla kädellä, mutta ovat sittemmin pääasiassa ergonomiasyistä opetelleet sen käytön myös vasemmalla kädellä. Suurin osa oli käyttänyt hiirtä vasemmalla kädellä noin vuoden tai puolentoista vuoden ajan, mutta ääripäät olivat neljä kuukautta ja

viisi vuotta sekä keskiarvo 1,6 vuotta. Kuusi käyttää hiirtä pääasiassa vasemmalla kädellä tai molemmilla käsillä suunnilleen yhtä paljon. Kolme taas käyttää hiirtä nykyään normaalisti vain vasemmalla kädellä. Loput kaksi ovat myös opetelleet hiiren käytön vasemmalla kädellä, mutta käyttävät silti tällä hetkellä sitä useammin oikealla kädellä.

Ryhmän VO edustajat koostuivat neljästä naisesta ja kolmesta miehestä, joiden keski-ikä oli 35 vuotta sekä iän vaihteluväli 29–45 vuotta. Kaikilla oli sekä tietokoneen että hiiren käytöstä vähintään kymmenen vuoden kokemus ja kaikki yhtä lukuun ottamatta käyttävät tietokonetta päivittäin. Ryhmän seitsemästä edustajasta viisi oli selvästi vasenkätisiä ja kaksi molempikätisiä. Kätisyystestissä 1 tulosten keskiarvo oli -64 ja vaihteluväli -100...0. Kätisyystestin 2 tulokset vaihtelivat välillä -12...4 ja keskiarvo oli -6,9. Kaikki olivat kätisyydestään huolimatta tottuneet käyttämään hiirtä vain oikealla kädellä, jotkut eivät olleet koskaan edes kokeilleet hiirtä vasemmassa kädessä.

Taulukkoon 2 on kerätty tärkeimpien muuttujien keskiarvot kolmesta koehenkilöryhmästä.

Ryh- mä	Keski- ikä	Mie- hiä	Nai- sia	Tieto- koneen käyttö- kokemus	Hiiren käyttö- kokemus	Kätisyys- testi 1	Kätisyys- testi 2
OO	30 v	8	3	19 v	16 v	+78	+10,9
OV	33 v	7	4	15 v	13 v	+80	+11,1
VO	35 v	3	4	18 v	15 v	-64	-6,9
Kaik- ki	33 v	18	11	17 v	15 v	+44	+6,7

Taulukko 2. Keskiarvoja koehenkilöryhmistä.

6.2. Taustaa tulosten analyysille

6.2.1. Oppiminen

Ennen varsinaista tilastollista analyysiä on päätettävä, mikä osa kerätystä aineistosta siinä huomioidaan. Koehenkilöt tekivät 12 testitehtävän jakson kolmeen kertaan kummallakin kädellään. On tärkeää selvittää tapahtuiko jaksosten välillä oppimista niin, että viimeisessä jaksossa saatiin parempia

tuloksia kuin ensimmäisessä. Tuntuu loogiselta, että etenkin tottumattomalla kädellä suoritus paranisi oppimisen myötä. Esimerkiksi Ackland ja Hendrie [1999] ovat osoittaneet tämän todeksi hiiren käytön tehokkuudessa. Mikäli merkittävää oppimista ehtii näiden kolmen jakson suorittamisen aikana tapahtua, kannattaa ensimmäinen tai kaksi ensimmäistä jaksoa jättää tulosten tarkastelussa pois.

Eri jaksojen välisten tulosten erisuuruutta voi testata vertaamalla niiden keskiarvoja ja lisäksi keskiarvojen eron tilastollista merkitsevyyttä voi testata t-testillä. Taulukkoon 3 on koottu eri jaksojen keskimääräiset tulokset eri muuttujilla.

Jakso	<i>TP</i> vasen	<i>TP</i> oikea	<i>MT</i> vasen	<i>MT</i> oikea	<i>ID_e</i> vasen	<i>ID_e</i> oikea	<i>ER</i> vasen	<i>ER</i> oikea	<i>TRE</i> vasen	<i>TRE</i> oikea
1	2,85	3,69	1563	1206	4,27	4,34	2,71	2,07	21 %	12 %
2	2,89	3,71	1520	1202	4,25	4,34	2,71	2,03	18 %	12 %
3	2,94	3,81	1500	1171	4,27	4,34	2,18	1,66	17 %	11 %
Yht.	2,89	3,74	1528	1193	4,26	4,34	2,54	1,92	19 %	12 %

TP = kokonaistehokkuus (throughput)
MT = osoitusaika (movement time)
ID_e = toteutunut vaikeusindeksi (effective index of difficulty)
ER = virheprosentti (error rate)
TRE = uudelleenosoitukset kohteeseen (target re-entries)

Taulukko 3. Koko koehenkilöjoukon eri jaksojen keskiarvot eri mittareilla.

Taulukko 3 osoittaa, että tulokset ovat kaikilla mittareilla parantuneet niin vasemmalla kuin oikeallakin kädellä testin loppua kohti. Muutokset ovat kuitenkin varsin pieniä. Esimerkiksi tärkeimmän muuttujan, kokonaistehokkuuden, muutokset ensimmäisen ja kolmannen jakson välillä ovat sekä vasemmalla että oikealla kädellä vain hieman yli kolme prosenttia. Vaikka ero ei ole suuri, se on kuitenkin niin säännönmukainen että on tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,001$). Suhteellisesti suurin muutos on tapahtunut virheprosentteissa, jotka ovat kolmannessa jaksossa peräti 19,6–19,8 % ensimmäistä jaksoa pienempiä.

Jaksojen välisissä muutoksissa on jonkin verran eroa ryhmien välillä. Eniten muutosta on tapahtunut ryhmällä OO, joten vielä kannattaa erikseen tarkastella kuinka suurina muutokset siinä ovat olleet. Tulokset ovat taulukossa 4.

Jakso	<i>TP</i> vasen	<i>TP</i> oikea	<i>MT</i> vasen	<i>MT</i> oikea	<i>ID_e</i> vasen	<i>ID_e</i> oikea	<i>ER</i> vasen	<i>ER</i> oikea	<i>TRE</i> vasen	<i>TRE</i> oikea
1	2,38	3,86	1828	1161	4,19	4,28	3,86	2,64	27 %	12 %
2	2,46	3,87	1735	1149	4,18	4,28	3,13	2,50	22 %	11 %
3	2,53	4,00	1689	1108	4,18	4,27	2,66	2,02	22 %	11 %
Yht.	2,45	3,91	1750	1139	4,18	4,28	3,22	2,38	23 %	11 %

TP = kokonaistehokkuus (throughput)
MT = osoitusaika (movement time)
ID_e = toteutunut vaikeusindeksi (effective index of difficulty)
ER = virheprosentti (error rate)
TRE = uudelleenosoitukset kohteeseen (target re-entries)

Taulukko 4. Ryhmän OO eri jaksojen keskiarvot eri mittareilla.

Ryhmällä OO on kokonaistehokkuus ensimmäisestä kolmanteen jaksoon kasvanut vasemmalla kädellä 6,3 % ja oikealla kädellä 3,6 %. Ero on näin pieni siitäkin huolimatta, että virheosoitusten osuus vasemmalla kädellä on kolmannessa jaksossa pudonnut jopa kolmanneksen ensimmäisestä jaksosta. Tilastollisesti ero ensimmäisen ja kolmannen jakson kokonaistehokkuudessa on selvästi merkitsevä ($p = 0,001$), mutta lisäksi myös kolmannen jakson keskituloksessa on merkitsevä ero kaikkien jaksojen keskiarvoon nähden ($p = 0,002$).

Verrattaessa taulukoissa 3 ja 4 kaikkien jaksojen keskiarvoa kolmannen jakson tuloksiin huomataan suurimmalla osalla mittareista varsin pienet erot. Kaikilla ryhmillä ja kaikilla mittareilla trendi on kuitenkin se, että parhaat tulokset on saavutettu viimeisessä jaksossa. Näinkin lyhyellä harjoittelulla oppimista siis ehtii etenkin tottumattomammalla kädellä tapahtua sen verran, että sillä on tulosten kannalta merkitystä. Niinpä on perusteltua käyttää tilastollisissa analyysissä jatkossa vain viimeisen jakson tuloksia, varsinkin kun jokaiselta

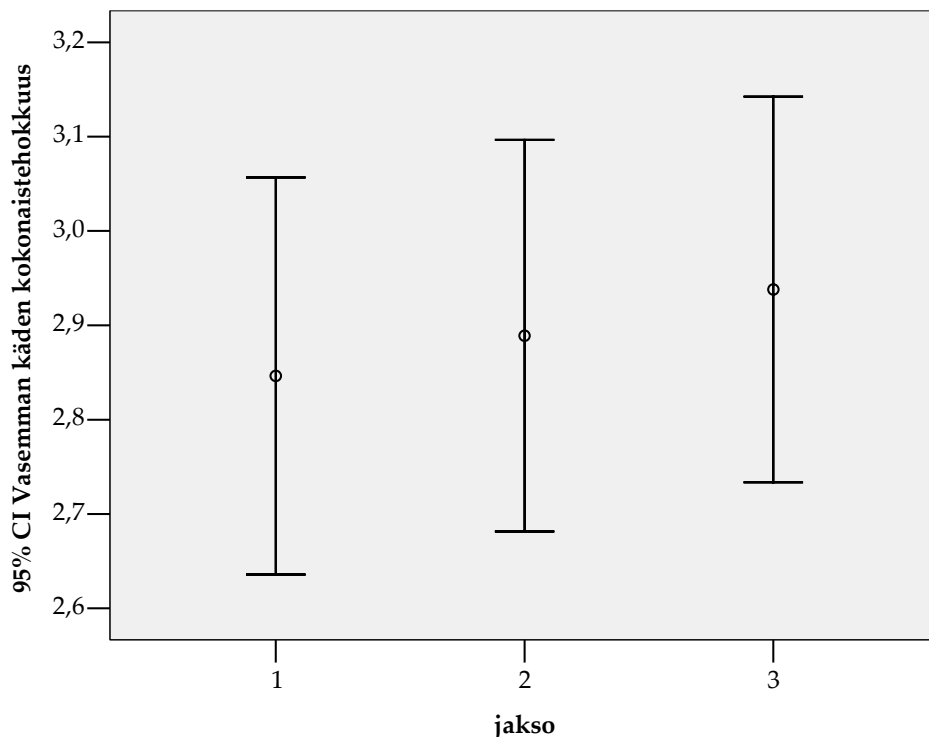
koehenkilöltä tulee silloinkin kättä kohti aivan riittävä määrä osoituksia, 204 (17 osoitusta x 12 testitehtävää).

Loppujen lopuksi tulostulosten analyysissä ei tule suuriakaan eroja, laski sen sitten vain kolmannen jakson perusteella tai kaikkien jaksojen keskiarvona. Olen kuitenkin edellä mainituista syistä laskenut tuloksiin vain kolmannen jakson suoritukset.

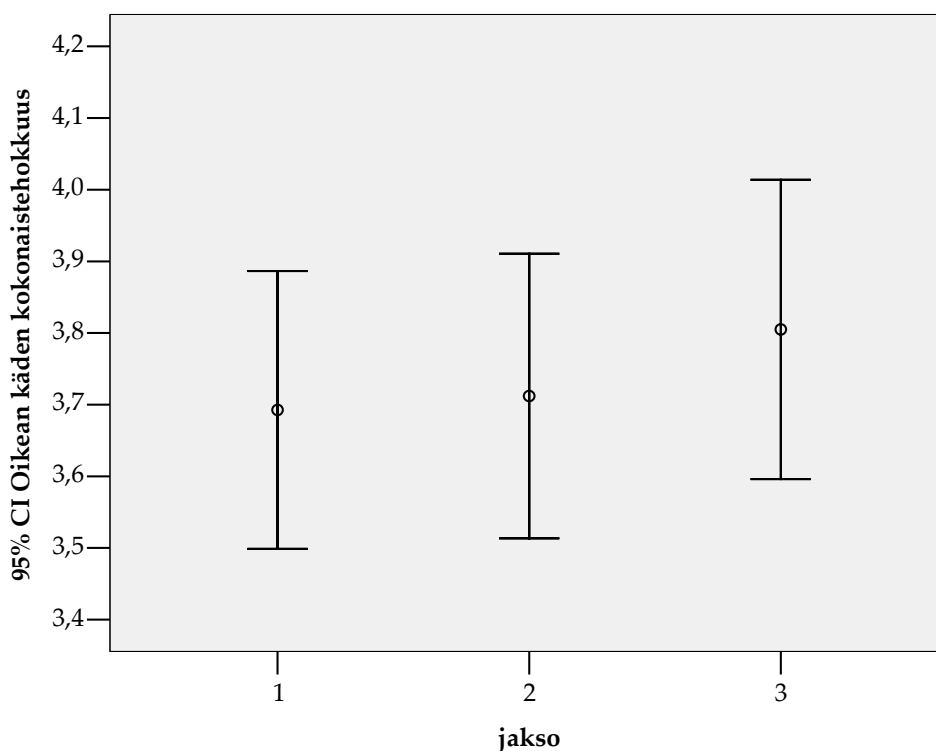
6.2.2. Koko testin kokonaistehokkuus

Koko koehenkilöryhmän kokonaistehokkuuden keskiarvojen pieniä eroja eri jaksojen välillä havainnollistavat kuvat 8 ja 9, joista näkyy myös 95 % luottamusvälit eri jaksoille. Jatkossa käsittelemme tuloksia vain jakson 3 pohjalta.

Kokonaistehokkuutta kuvaavaksi throughput-arvoksi tuli vasemmalla kädellä keskimäärin 2,94 bit/s ja oikealla kädellä 3,81 bit/s. Hallitsevan käden keskiarvo taas oli 3,68 bit/s ja ei-hallitsevan 3,06 bit/s. Kahdeksan koehenkilöä saavutti ei-hallitsevalla kädellään suuremman kokonaistehokkuuden kuin hallitsevalla kädellään. Heistä vain yksi oli oikeakätinen.



Kuva 8. Vasemman käden kokonaistehokkuus eri jaksoissa.



Kuva 9. Oikean käden kokonaistehokkuus eri jaksoissa.

Lisäksi kädet voidaan jakaa vielä sen mukaan kummalla enemmän käyttää hiirtä. Tällöin enemmän käytetylle kädelle kokonaistehokkuuden keskiarvo on 3,66 bit/s ja vähemmän käytetylle 3,08 bit/s. Kahdeksan koehenkilöä saavutti vähemmän käyttämällään hiirikädellä suuremman kokonaistehokkuuden kuin enemmän käyttämällään. He kaikki olivat oikeakätisiä, jotka käyttävät hiirtä pääasiassa vasemmalla kädellään.

Vielä neljäs tapa on laskea keskiarvo sen perusteella, kummalla kädellä kukin koehenkilö saavutti paremman kokonaistehokkuuden. Tämä ei kuitenkaan juurikaan poikkea käsien mukaan tehdystä ryhmittelystä, koska vain kaksi koehenkilöä saavutti vasemmalla kädellään paremman kokonaistehokkuuden kuin oikealla. Tehokkaamman käden keskimääräinen kokonaistehokkuus oli 3,82 bit/s ja vähemmän tehokkaan käden 2,92 bit/s.

Koko koehenkilöryhmän keskiarvojen laskeminen ei anna vielä kovin monipuolisia tuloksia, mutta tehokkaamman käden keskimääräistä kokonaistehokkuusarvoa 3,82 bit/s voidaan verrata siihen mitä muissa tutkimuksissa on hiiren käytön tehokkuudeksi saatu.

Soukoreff ja MacKenzie [2004] ovat keränneet yhdeksän standardiin ISO 9241-9 pohjautuvaa osoitinlaitetutkimusta. Näistä viidessä on laskettu tavallisen hiiren

kokonaistehokkuus, joka on vaihdellut välillä 3,7–4,9. Tässä kokeessa saatu lukema sijoittuu siis aivan vertailun alapäähän. Hieman kokonaistehokkuuden keskiarvoa alentavasti näyttää vaikuttavan se, että aineistossa oli paljon vasenkätisiä koehenkilöitä, jotka eivät ole koskaan edes opetelleet käyttämään hiirtä hallitsevalla kädellään. Mikäli ryhmä VO ei olisi ollut koehenkilöjoukossa väestöosuuteensa nähden noin kaksi kertaa yliedustettuna, heidän tuloksensa olisi vaikuttanut kokonaiskeskiarvoa alentavasti hieman vähemmän.

Suurin syy suhteellisen alhaiseen kokonaistehokkuuteen tässä tapauksessa on todennäköisesti kuitenkin se, että kokeessa käytetty hiirimatto oli useimmille koehenkilöille varsin outo. Hiirimaton karheahko pinta tavallaan imee hiiren tavallista tiukemmin itseensä kiinni ja hiiren liikuttelu siinä on jonkin verran raskaampaa kuin normaalisti. Moni koehenkilö asiasta mainitsikin, mutta koska asia tuli esille ensimmäisen kerran vasta neljännen koehenkilön kanssa, käytin samaa mattoa testien loppuun asti. Toisaalta käytössä olleen maton hyvä puoli on se, että sitä käytettäessä tarkkuus saattaa olla hieman parempi kuin tavallisen hiirimaton kanssa. Lisäksi hiirimaton käyttö oli perusteltua siksi, että eri paikoissa tehdyissä koetilanteissa oli näin samanlainen alusta kaikilla koehenkilöillä.

Epätavallisen hiirimaton lisäksi hiiri oli myös sen vuoksi joillekin hieman outo käyttää, että se oli langaton ja sisällä olevan paristonsa vuoksi huomattavasti langallista hiirtä painavampi. Isokosken ja Raisamon [2002] mukaan tämän ei kuitenkaan pitäisi vaikuttaa suorituskäytön merkittävästi.

Kaikesta huolimatta saavutetut kokonaistehokkuusarvot olivat samaa suuruusluokkaa kuin muissakin tutkimuksissa. Tästä voidaan päätellä, että koejärjestely on ollut onnistunut.

Kätisyyden voimakkuudella ei huomattu merkittävää lineaarista vuorovaikutusta kokonaistehokkuuden kanssa minkään ryhmän kummallakaan kädellä, eikä käsien välisessä tehokkuuserossa. Koko koehenkilöjoukolla tällaista vuorovaikutusta jonkin verran käsien välisessä tehokkuuserossa oli. Tämä ei kuitenkaan ole kovinkaan yllättävää, koska vasenkätisten käsien välisen tehokkuuseron voi olettaakin olevan pienempi kuin oikeakätisten.

6.2.3. Vaikeusindeksin ja suoritusajan suhde

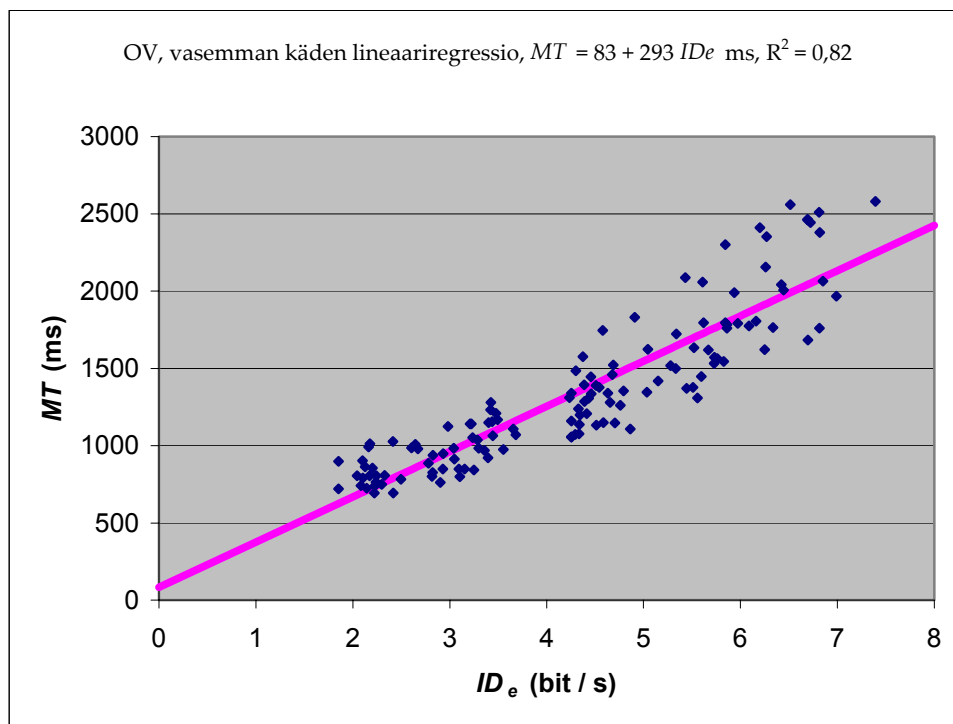
Kokeen datasta on mahdollista tehdä lineaarinen estimaatti kunkin ryhmän kummallekin kädelle. Selittävänä muuttujana on toteutunut vaikeusindeksi ja

selitettävänä muuttujana osoitusaika. Estimaatissa siis arvioidaan miten paljon osoitusaika kasvaa, kun tehtävän vaikeus kasvaa. Osoitusaika voidaan esittää vaikeusindeksin funktiona kaavan 6 mukaisesti ($MT = a + b ID_e$). Taulukkoon 5 on koottu kaikkien osoitustehtävien keskimääräisten toteutuneiden vaikeusindeksien ja suoritusajojen perusteella tehdyn regressioanalyysin tulokset.

Ryhmä ja käsi	a	b	R ²
OO, oikea	11	257	0,59
OO, vasen	197	357	0,67
OV, oikea	53	258	0,75
OV, vasen	83	293	0,82
VO, oikea	37	280	0,82
VO, vasen	14	347	0,77

Taulukko 5. Lineaariset estimaatit suoritusajalle ($MT = a + b ID_e$).

Soukoreff ja MacKenzie [2004] ovat esittäneet, että vakion a arvon tulisi olla välillä $-200...400$ ms. Taulukosta 5 näkyy, että vakio a on erittäin alhainen kaikilla muilla paitsi oikeakätisten vasemmalla kädellä ja heilläkään se ei ole kovin suuri. Parhaiten toteutunut vaikeusindeksi selittää suoritusaikaa kuvassa 10 esitetyllä ryhmän OV vasemmalla kädellä.



Kuva 10. Ryhmän OV vasen käsi: toteutunut vaikeusindeksi ja suoritus aika.

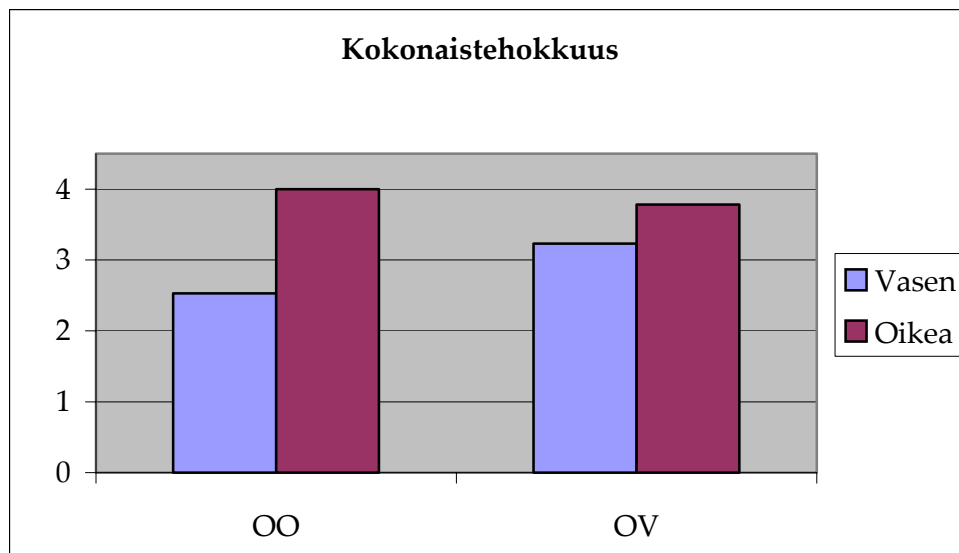
6.3. Päätulokset

Tutkielman tutkimuskysymykset ovat: 1) Paljonko oikeakätinen käyttäjä menettää suorituskyvystä, jos käyttää hiirtä vasemmalla kädellä? 2) Käyttääkö tottunut vasenkätinen hiirtä oikealla kädellä tehokkaammin kuin oikeakätinen vasemmalla? Seuraavaksi haen vastauksia näihin kysymyksiin.

6.3.1. Oikeakätisten tehokkuuden menetys vasemmalla kädellä

Vastauksen saamiseksi ensimmäiseen tutkimuskysymykseen pitää verrata vasemmalla kädellä hiirtä käyttämään tottuneiden oikeakätisten vasemman käden suorituskäkyä heidän oikean käden suorituskäkyynsä.

Tärkein hiiren käytön suorituskävyyn mittari on kokonaistehokkuus eli throughput. Se yhdistää osoitusnopeuden tarkkuuteen ja antaa tehokkuudesta arvon, jonka yksikkö on bittia per sekunti (bit/s). Ryhmä OO saavutti oikealla kädellään keskimäärin kokonaistehokkuuden 4,00 bit/s ja vasemmalla kädellään 2,53 bit/s. Ryhmän OV keskimääräinen kokonaistehokkuus oikealla kädellä oli puolestaan 3,78 bit/s ja vasemmalla taas 3,23 bit/s. Arvot on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Kokonaistehokkuus eri käsillä ryhmillä OO ja OV.

Kuvasta 11 näkee helposti, että ryhmien OO ja OV kokonaistehokkuudet oikealla kädellä eivät paljonkaan poikkea toisistaan. Sen sijaan vasemman käden kokonaistehokkuuksissa on suurempi ero; ryhmä OV on saavuttanut siinä 28 % suuremman tehokkuuden kuin ryhmä OO. Se on siis määrä, jonka verran oikeakätinen ainakin pystyy harjoittelun avulla vasemman kätensä

suorituskykyä parantamaan. Ero on riippumattomien otosten t-testin perusteella tilastollisesti erittäin merkitsevä ($F = 0,290$; $p < 0,001$).

Ryhmän OO oikean käden tehokkuus 4,00 bit/s oli hieman suurempi kuin ryhmän OV 3,78 bit/s. Niinpä ryhmän OV vasemman käden tehokkuudessa oli hieman suurempi ero ryhmän OO oikeaan käteen kuin heidän omaan oikeaan käteensä. Ei ole kuitenkaan mitään syytä olettaa, että ryhmän OV tehokkuus oikealla kädellä olisi muita oikeakätisiä heikompi eikä tilastollisesti merkitsevää eroa havaittukaan ($F = 1,888$; $p = 0,397$). Sen vuoksi luotettavampi mittari sille, paljonko vasemmalla kädellä hiirtä käytettäessä tehokkuutta menetetään, on verrata tehokkuuseroa käsien välillä ryhmän OV sisällä.

Vastauksen saamiseksi tutkimuskysymykseen ryhmän OV vasemman käden kokonaistehokkuutta verrataan saman ryhmän kokonaistehokkuuteen oikealla kädellä. Vasemman käden kokonaistehokkuus oli siis 3,23 bit/s (keskihajonta 0,32) ja oikean käden 3,78 bit/s (keskihajonta 0,48). Tulosten keskimäärin 0,55 bit/s eron tilastollista merkitsevyyttä voidaan testata kahden riippuvan otoksen t-testillä, joka antaa p-arvon 0,001 ja siten voidaan turvallisesti sanoa että ero on merkitsevä.

Ryhmän OV vasemman käden kokonaistehokkuus on noin 85 % oikean käden tehokkuudesta. Osoitusajassa eroa on suhteellisesti suunnilleen yhtä paljon: vasemmalla kädellä suoritusajaksi on 13 % pitempi kuin oikealla (keskiarvot 1184 ms ja 1342 ms). Tarkkuudessa liikutaan hieman suuremmissa lukemissa: virheprosentteissa on eroa noin kolmannes oikean käden hyväksi (1,66 % ja 2,18 %).

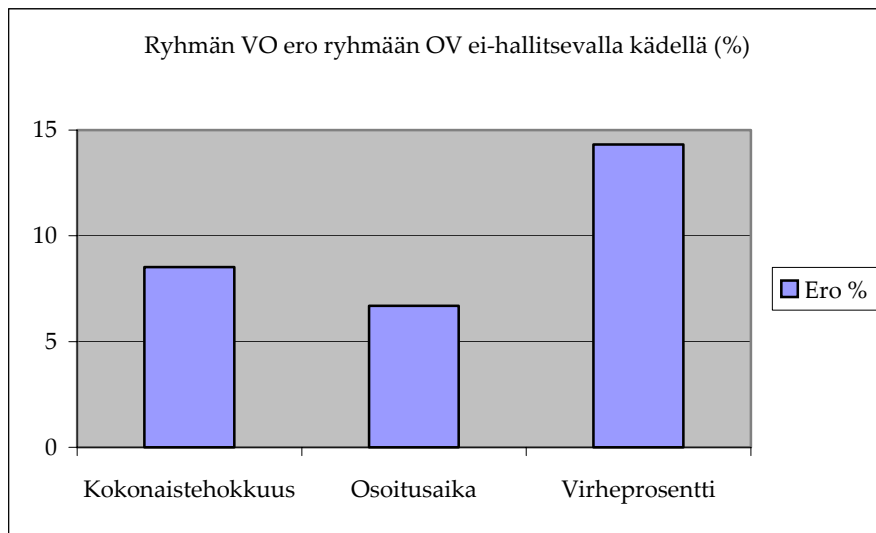
Tuloksesta ei kuitenkaan voi vetää aivan lopullista johtopäätöstä siitä, miten hyväksi hiiren käyttäjäksi vasemmalla kädellä oikeakätinen voi tulla. Osalla ryhmän jäsenistä nimittäin oppimisprosessi vasemman käden hiirikäytössä lienee jonkin verran kesken ja kehitystä saattaa jatkossa tapahtua. Tosin kaikki ryhmän OV edustajat olivat käyttäneet hiirtä vasemmalla kädellä vähintään 4 kuukautta ja yhtä lukuun ottamatta kaikki yli vuoden. Acklandin ja Hendrien [1999] mukaan jo 3 viikon päivittäisellä harjoittelulla ei-hallitsevan käden hiiren käytön tehokkuus on mahdollista saada lähelle hallitsevaa kättä. Suurimman osan ryhmän OV jäsenistä voitaneen olettaa oppineen vasemman käden hiirikäytön jo suurin piirtein niin hyvin kuin tulevat ikinä oppimaan.

Vaikka ryhmän OV hiiren käytön tehokkuus on vasemmalla kädellä 15 % heikompi kuin oikealla, niin ero ei käytännön työskentelyssä ole kovin merkittävä. Käyttäjistä itsestään 0,16 sekunnin ero osoitusajassa voi tuntua

hyvinkin pitkältä. Loppujen lopuksi se hidastaa työskentelyä kuitenkin varsin vähän, koska hiiren ja näppäimistön yhteiskäyttö on sujuvampaa käytettäessä hiirtä vasemmassa kädessä. Suurta tarkkuutta vaativat hiiren osoitustehtävät kannattaa kuitenkin tehdä hallitsevalla kädellä, koska Kabbash *et al.* [1993] ovat osoittaneet, että niissä suorituskykyero ei-hallitsevaan käteen on merkittävän suuri.

6.3.2. Erikätisten tehokkuuserot ei-hallitsevalla kädellä

Toiseen tutkimuskysymykseen vastauksen saamiseksi pitää verrata ryhmän VO oikean käden tuloksia ryhmän OV vasempaan käteen. Niin ei-hallitsevan käden kokonaistehokkuudessa, osoitusajassa kuin virheprosentissakin ryhmän VO vasenkätisten tulokset ovat hieman ryhmän OV oikeakätisiä parempia, mutta erot ovat keskimäärin alle 10 % luokkaa eivätkä siis kovin suuria. Kokonaistehokkuudessa keskiarvot ovat 3,50 bit/s ja 3,23 bit/s, osoitusajassa 1293 ms ja 1360 ms sekä virheprosentissa 1,75 % ja 1,84 %. Mainitut erot näkyvät kuvassa 12. Mikään niistä ei ole tilastollisesti merkitsevä. Hieman suurempi ero näkyy siinä, että ryhmällä OV on 20 % ryhmää VO enemmän kohteeseen uudelleenosoituksia ei-hallitsevalla kädellään ($F = 5,302$; $p = 0,035$).



Kuva 12. Kuinka paljon ryhmä VO oli ei-hallitsevalla kädellään ryhmää OV parempi eri mittareilla.

Voidaan sanoa, että vaikka koehenkilöjoukon vasenkätiset ovat yleisesti ottaen enemmän molempikätisiä kuin oikeakätiset, siitä huolimatta oikeakätiset ovat oppineet käyttämään hiirtä ei-hallitsevalla kädellään lähes yhtä tehokkaasti kuin vasenkätiset omalla ei-hallitsevalla kädellään.

Siitä, paljonko vasenkätiset hyötyvät käyttämällä hiirtä vasemmalla kädellä, on tämän otoksen perusteella mahdoton sanoa mitään varmaa. Lähes täysin ilman harjoitteluakin heidän kokonaistehokkuutensa jäi vasemmalla kädellä vain 17 % alhaisemmaksi kuin oikealla. Vain oikealla kädellä hiirtä käyttäneillä oikeakätisillä vastaava ero oli 37 %. Ilman harjoitteluakin vasenkätiset saavuttivat vasemmalla kädellään lähes yhtä hyvän kokonaistehokkuuden kuin jo pitkään hiirtä vasemmalla käyttäneet oikeakätiset (2,92 bit/s ja 3,23 bit/s). Olisi yllättävää, mikäli vasenkätiset eivät pienen harjoittelun jälkeen yltäisi vasemmalla kädellään vähintään yhtä hyvään kokonaistehokkuuteen kuin oikeallaankin, jolla se oli keskimäärin 3,50 bit/s. Tehokkuushyöty pelkän oikean käden käyttöön verrattuna ei välttämättä ole suuri, mutta ainakin hiiren käytöstä aiheutuva kuormitus jakautuisi molemmille käsille ja lisäksi vasemmalla kädellä saavutettaisiin ergonomisempi työskentelyasento.

Tässä yhteydessä mainittakoon myös, että koehenkilöjoukkoni ainoa vasemmalla kädellä hiirtä käyttävä vasenkätinen saavutti vasemmalla kädellään 8,8 % oikeaa kättään suuremman kokonaistehokkuuden sekä 6,4 % lyhyemmän osoitusajan ja 50 % pienemmän virheosoitusten määrän.

6.4. Muut tulokset

6.4.1. Oikeakätiset hiirtä eri käsillä käyttävät

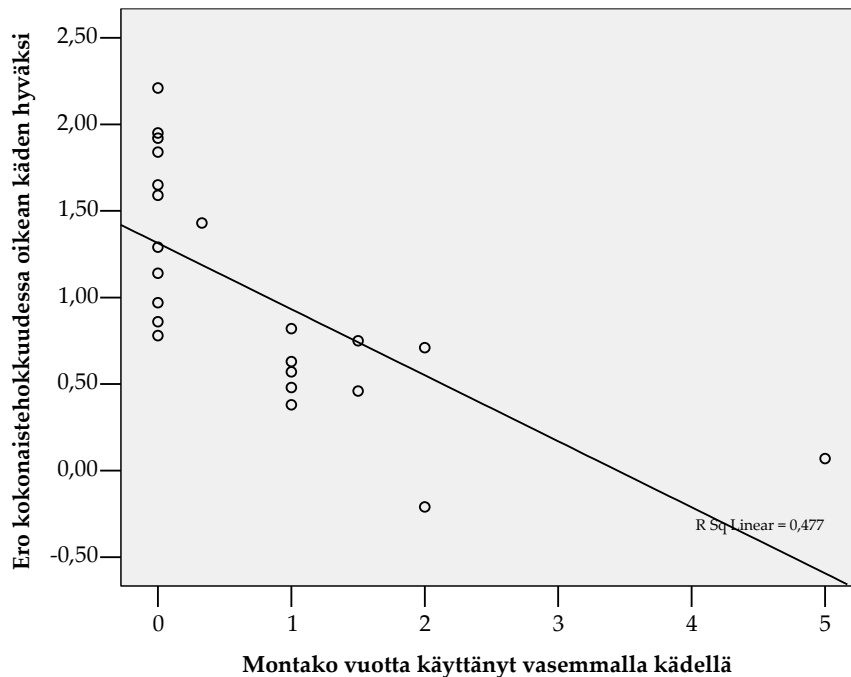
"Vasen käsi väsyi aika paljon ja etenkin osuminen pieniin kohteisiin oli vaikeaa, koska sormien ja ranteen käyttö ei ole yhtä hyvää kuin oikealla. Silti se sujui paremmin kuin odotin. Ero oli yllättävän pieni varsinkin silloin, kun kohteet olivat kaukana toisistaan." – Tyypillinen vain oikealla kädellä hiirtä käyttäneen oikeakätisen kommentti vasemman käden testitehtävien jälkeen.

Tarkasteltaessa suorituskykyä kuvaavia tuloksia kahden oikeakätisten ryhmän kesken, huomataan oikean käden suorituskyky molemmissa ryhmissä samanlaiseksi. Sen sijaan vasemman käden suorituskyvyssä on suuret erot.

Ryhmän OO kokonaistehokkuus oikealla kädellä oli 5,8 % suurempi kuin ryhmällä OV, mutta ryhmän OV vasemman käden kokonaistehokkuus puolestaan oli 28 % suurempi kuin ryhmällä OO. Edellinen on hyvin pieni ero, ja riippumattomien ryhmien t-testillä laskettuna vain jälkimmäinen ero on tilastollisesti merkitsevä ($F = 0,290$; $p < 0,001$). Vasemman käden pitempiaikainen harjoittaminen siis parantaa oikeakätisen vasemman

hiirikäden kokonaistehokkuutta noin neljänneksellä tai kolmanneksella, mutta ei laske oikean käden kokonaistehokkuutta.

Regressioanalyysin perusteella ero käsien välillä supistuu lineaarisesti vasemman käden kokemuksen kasvaessa (kuva 13). Kokemuksen määrällä ja käsien välisen kokonaistehokkuuden erolla näyttää olevan siis aineiston perusteella selvä korrelaatio ($F = 18,269$; $p < 0,001$; $R^2 = 0,477$). Yleistäen voidaan sanoa, että mitä kauemmin oikeakätinen on käyttänyt hiirtä vasemmalla kädellään, sitä lähemmäksi oikean käden kokonaistehokkuuttaan hän pääsee. Oikean käden tasolle vasen käsi ei kuitenkaan ryhmän OV edustajilla ole noussut, vaan kokonaistehokkuus on oikealla kädellä keskimäärin 15 % vasenta suurempi. Ero ryhmään OO on silti suuri, koska näillä vastaava lukema on 58 % (kuva 11).



Kuva 13. Ryhmien OV ja OO koehenkilöiden vasemman käden hiirikäden käytön kokemuksen vaikutus kokonaistehokkuuksien eroon käsien välillä.

Vastaavat erot kuin kokonaistehokkuudessa vasemman käden suorituskyvyssä ryhmien OO ja OV välillä on havaittavissa myös tarkasteltaessa osoitusaikaa ($F = 3,707$; $p = 0,005$) ja jossain määrin myös virheprosenttia ($F = 0,419$; $p = 0,047$). Esimerkiksi osoitusaika ryhmässä OO oli vasemmalla kädellä keskimäärin 581 ms ja 58 % suurempi kuin oikealla kädellä, kun ryhmässä OV erotus oli vain 158 ms ja 13 %.

Flowers [1975] on havainnut, että Fittsin osoitustehtävissä heikosti oikeakätiset saavat oikealla kädellään tarkempia – joskin hitaampia – tuloksia kuin voimakkaasti oikeakätiset. Tällä aineistolla pientä samansuuntaista vuorovaikutusta onkin havaittavissa, mutta tilastollisesti merkitsevää se ei ole. Lisäksi ryhmän OV oikean käden virheprosentti oli noin neljänneksen alhaisempi kuin ryhmän OO, mutta sekään ero ei ole tilastollisesti merkitsevää. Ero saattaa selittyä sattuman lisäksi osin sillä, että ryhmän OV edustajat ovat joutuneet vasemmalla kädellä hiiren käyttöä opetellessaan tottumaan siihen, että kohteeseen pitää tähdätä huolellisesti ja tämä näkyy myös oikean käden hiirikäytössä.

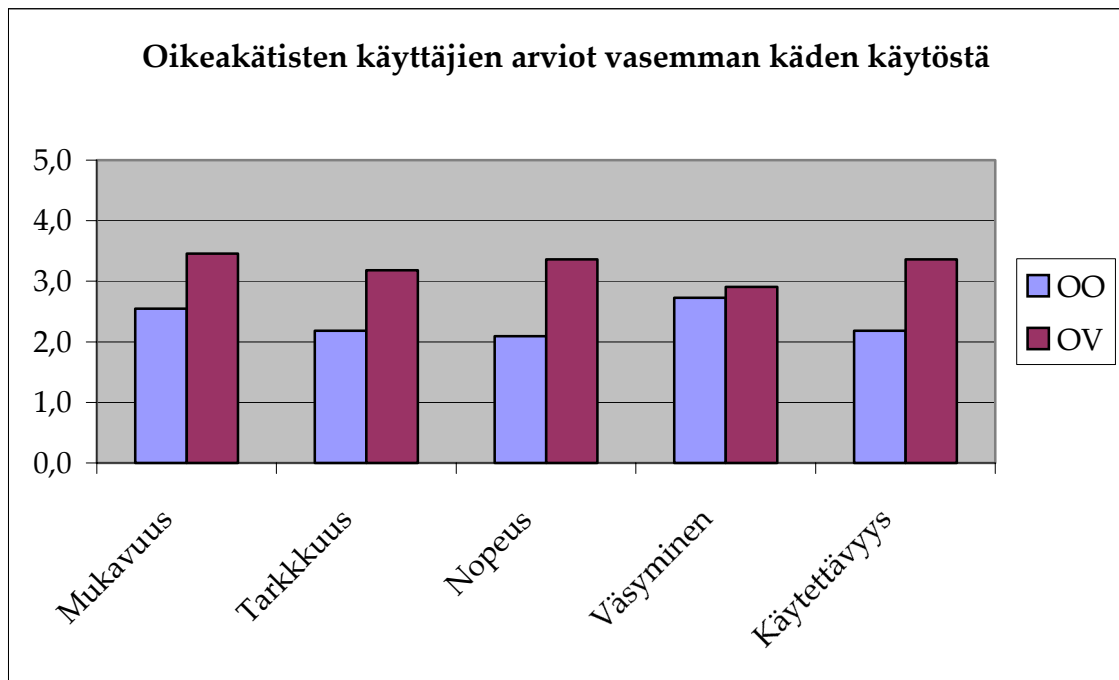
Kohteeseen uudelleenosoitusten määrässä ovat vasemmalla kädellä hiirtä käyttämään tottuneet saaneet myös muita oikeakätisiä keskimäärin paremmat tulokset (keskiarvot 14 % ja 22 %; $F = 0,729$; $p = 0,019$). Oikealla kädellä sen sijaan ryhmien välillä ei tällä mittarilla tilastollisesti merkitsevää eroa havaittu (keskiarvot 10 % ja 11 %; $F = 4,081$; $p = 0,516$).

Ryhmän OV vasemman käden keskimääräinen kokonaistehokkuus oli 3,23 bit/s ja ryhmän OO oikean käden puolestaan 4,00 bit/s. Ryhmä OO saavutti siis enemmän käyttämällään kädellä 24 % paremman tehokkuuden kuin ryhmä OV. Ero ei ole aivan pieni ja se on tilastollisestikin merkitsevää ($F = 4,740$; $p = 0,005$). Tehokkuusero syntyi täysin eroista osoitusajassa; virheprosentissa ja osumien hajonnassa ryhmä OV itse asiassa sai vasemmalla kädellä paremmat arvot kuin ryhmä OO oikealla. Kun kuitenkin ryhmän OV edustajat käyttävät noin puolet ajastaan hiirtä vasemmalla ja noin puolet oikealla kädellä, tämä nopeuserokin käytännön työskentelyssä kaventuu 14 %:iin.

Lopuksi tarkastelen vielä ryhmien OO ja OV eroja testien jälkeen täytetyissä kyselylomakkeissa. Olen pisteyttänyt koehenkilöiden arviot hiiren käyttömukavuudesta, tarkkuudesta, nopeudesta ja käytettävyydestä sekä sen aiheuttamasta sormien, käden, käsivarren, niskan ja hartioiden väsymisestä eri käsillä yhdestä viiteen. Kyseessä on siis järjestysasteikollinen muuttuja, jonka eroja voidaan tilastollisesti testata parametrittomilla testeillä. Olen käyttänyt Mann-Whitneyn riippumattomien otosten testiä. Mainitsen tulosten yhteydessä myös laskennallisia keskiarvoja tuloksista, vaikka järjestysasteikollisesta muuttujasta ei varsinaisesti keskiarvoa saakaan. Ryhmien OO ja OV vastausten keskiarvot on esitetty kuvassa 14.

Selkein ero tässä kyselyssä on käytettävyydessä. Ryhmän OO keskiarvo vasemman käden käytettävyydelle on 2,18 ja ryhmän OV 3,36 ($p = 0,001$). Oikean käden käytettävyydessä sen sijaan vastauksissa ei ole eroa: ryhmän OO

keskiarvo on 4,18 ja ryhmän OV 4,09 ($p = 1,000$). Kuten luvuista näkyy, ei ryhmä OV:kaan koe hiiren käytettävyyttä vasemmalla kädellä yhtä hyväksi kuin oikealla – vain kolmen tämän ryhmän koehenkilön mielestä käytettävyys vasemmalla kädellä oli parempi kuin oikealla. Ryhmässä OO kaikkien mielestä käytettävyys oikealla kädellä oli parempi.



Kuva 14. Ryhmien OO ja OV kokemukset hiiren käytöstä vasemmalla kädellä.

On huomattavaa, että kyselylomakkeessa ei määritelty mitä hiirikäden käytettävyys tarkoittaa ja se jäi koehenkilön itsensä tulkittavaksi. Koska ryhmät OO ja OV ovat kuitenkin oikean käden arvoissaan niin lähellä toisiaan, on uskottavaa että tällä ei lopputuloksen kannalta ole ollut suurta merkitystä.

Samankaltaiset tulokset kuin käytettävyydessä on huomattavissa myös vasemman käden käyttömukavuudessa ($p = 0,019$), nopeudessa ($p = 0,001$) ja tarkkuudessa ($p = 0,016$); kaikki nämä ovat selvästi parempia ryhmällä OV kuin ryhmällä OO. Vastaavasti oikealla kädellä eroja ei ole. Huomattavaa on sekin, että kaikki ryhmän OO edustajat pitivät hiiren käyttöä oikealla kädellä mukavampana kuin vasemmalla, kun taas ryhmän OV koehenkilöistä neljän mielestä käsien mukavuudessa ei ollut eroja ja yksi piti vasenta kättä mukavampana. Sen sijaan vasemman käden väsymistä on molemmilla ryhmillä tapahtunut yhtä paljon (keskiarvot 2,91 ja 2,73; $p = 0,652$). Myöskään oikean käden väsymisessä ei ole merkittäviä eroja. Kummankin ryhmän enemmistöllä vasen käsi väsyi enemmän, mutta molemmissa ryhmissä oli koehenkilöitä,

joilla väsymistä tapahtui yhtä paljon tai jopa oikealla enemmän. Väsymisen määrä ei tunnu siis riippuvan käyttökokemuksesta.

Yhteenvetona ryhmien OO ja OV vertailusta voidaan todeta, että oikeakätisten hiiren käytön opetteleminen vasemmalla kädellä parantaa selvästi nopeutta, tarkkuutta, mukavuutta, käytettävyyttä ja kokonaistehokkuutta. Se ei kuitenkaan vähennä käyttäjän kädessään kokemaa väsymistä. Kokonaistehokkuudessa saavutetaan harjoittelun avulla vasemmalla kädellä 85 % oikean käden tehokkuudesta. Ero on riittävän pieni ollakseen käytännön työasematyöskentelyssä paljonkaan työtehoon vaikuttamatta, joskin selvä ero vain oikealla kädellä hiirtä käyttävien oikeakätisten tehokkuuteen siinä on. Harjoittelemalla on mahdollista parantaa myös vasemman käden käyttömukavuutta, mutta suurin osa pitää pitkänkin käytön jälkeen hiiren käyttöä oikealla kädellä mukavampana.

6.4.2. Erikätiset hiirtä vain oikealla kädellä käyttävät

”Hei, tämähän on helppoa! Miten en ole aiemmin tullut kokeilleeksi!” –
 Tyypillinen vain oikealla kädellä hiirtä käyttäneen vasenkätisen kommentti vasemman käden testitehtävien jälkeen.

Kaikki analysoimani vasenkätiset ovat tottuneet käyttämään hiirtä vain oikealla kädellään. Jotkut olivat tosin satunnaisesti kokeilleet myös vasenta kättä. Vertaamalla heidän oikean käden tuloksiaan oikeakätisten vastaaviin, voidaan päätellä miten lähelle hallitsevan käden suorituskykyä ei-hallitseva käsi voidaan harjoittaa. Tästä ei kuitenkaan suoraan voida vetää johtopäätöksiä kuin vasenkätisiin, sillä – kuten yleensäkin – aineiston vasenkätiset eivät ole keskimäärin niin voimakkaasti vasenkätisiä kuin oikeakätiset oikeakätisiä.

Odotetusti ryhmä VO saavutti paremman kokonaistehokkuuden vasemmalla kädellä ja ryhmä OO oikealla kädellä. Erotkin ovat samaa suuruusluokkaa, ryhmä VO oli vasemmalla kädellä 15 % ryhmää OO tehokkaampi ja ryhmä OO puolestaan oikealla kädellä 14 % tehokkaampi kuin ryhmä VO. Kumpikaan ero ei kuitenkaan ole tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,064$; $p = 0,103$). Tuloksen perusteella siis ei voida osoittaa, että vasenkätisten hiiren käytön kokonaistehokkuus oikealla kädellä olisi heikompi kuin oikeakätisten. Tulos vahvistaa Hoffmannin *et al.* [1997] samaa havaintoa.

Valitettavasti aineistosta ei voida päätellä miten hyvä vasenkätisten kokonaistehokkuus hallitsevalla kädellään voisi olla. Nyt se oli ryhmällä VO vain lyhyen harjoittelun jälkeen 83 % oikean käden tehokkuudesta, mikä sekin

on varsin pieni ero verrattuna ryhmän OO 53 %:iin. Vastaavasti ryhmän OO hallitsevan oikean käden tehokkuudesta se oli 71 %. Ryhmän OO ei-hallitsevan vasemman käden tehokkuus taas oli 72 % ryhmän OV oikean käden tehokkuudesta. Kummankin ryhmän voi näin olettaa pystyvän parantamaan noin kolmanneksella sen käden kokonaistehokkuutta, jolla se ei ole tottunut hiirtä käyttämään. Lisäksi käsien välisen osoitusajan ero on ryhmällä VO selvästi ryhmää OV pienempi (keskiarvot 258 ja 580 ms; $F = 0,344$; $p = 0,001$).

Koehenkilöiden omissa kokemuksissa ei ole oikean käden vastauksissa merkittäviä eroja. Aineiston perusteella ei voida osoittaa että ryhmien OO ja VO välillä olisi koehenkilöiden mielestä merkittäviä eroja oikean käden hiirikäytön mukavuudessa, tarkkuudessa, nopeudessa, käytettävyydessä tai käden väsymisessä.

Vasemman käden kokemuksissa sen sijaan on suurempia eroja. Niin tarkkuudessa (keskiarvot 3,6 ja 2,2; $p = 0,006$) kuin nopeudessa (keskiarvot 3,7 ja 2,1; $p < 0,001$) ovat ryhmän VO vasenkätiset antaneet selvästi korkeampia arvosanoja kuin ryhmän OO oikeakätiset. Myös käytettävyydessä ero keskiarvoissa on lähes yhtä suuri, mutta vasenkätisten hajonta on tässä erittäin suuri. Sen sijaan vasemman käden mukavuudessa tai väsymisessä erot ryhmien kesken ovat erittäin pienet. Tuntuu siis siltä, että vasenkätiset kyllä oudokseltaankin pystyvät hieman parempaan suorituskykyyn vasemmalla kädellään kuin oikeakätiset, mutta molemmat kokevat vasemman käden käytön jonkin verran kömpelöksi.

Ehkä tärkein omien kokemusten mittari on kuitenkin se, mikä on ollut saman kysymyksen erotus vasemman ja oikean käden välillä. Molemmissa ryhmissä kaikilla mittareilla on oikealle kädelle annettu keskimäärin parempi tulos kuin vasemmalle. Kuitenkin vasenkätisillä ero oikean käden hyväksi on selvästi oikeakätisiä pienempi nopeudessa ($p = 0,020$) ja käytettävyydessä ($p = 0,044$). Vaikka käyttömukavuudessa ei tilastollisesti merkitseviä eroja havaittukaan, niin suullisista kommentteista saattoi huomata, että moni vasenkätinen oli positiivisesti yllätynyt siitä miten mukavalta hiiren käyttäminen vasemmalla kädellä tuntui. Oikeakätisistä taas kukaan ei kehunut sitä mukavaksi. Hiirikäden väsymisessä erot sen sijaan ovat ryhmien välillä suunnilleen samanlaiset.

Ryhmiä OO ja VO voidaan verrata vielä sen mukaan millaisia tuloksia ne saivat hallitsevalla ja ei-hallitsevalla kädellä. Luonnollisesti ryhmä OO on selvästi parempi hallitsevan käden tuloksissa ja ryhmä VO ei-hallitsevan, mutta kiinnostava tieto on kuinka suuria erot kummassakin tapauksessa ovat.

Kaikissa ohjelmallisesti mitatuissa muuttujissa havaittiin nämä oletetut erot. Johdonmukaisesti kuitenkin ero hallitsevalla kädellä oikeakätisten hyväksi on pienempi kuin ei-hallitsevalla kädellä vasenkätisten hyväksi. Tämä merkitsee sitä, että ryhmän VO käsien suorituskyvyt ovat lähempänä toisiaan kuin ryhmän OO.

Yhteenvetona ryhmien OO ja VO vertailusta voidaan todeta, että vasenkätiset ovat oppineet käyttämään oikeaa kättään varsin tehokkaasti ja että ilman harjoittelua heidän suorituskykynsä vasemmalla kädellä on selvästi parempi kuin harjoittelemattomilla oikeakätisillä. Harjoittamalla hallitsevaa vasenta kättään he voisivat parantaa sen kokonaistehokkuutta ehkä noin kolmanneksella. Tämä parannus on suunnilleen yhtä paljon kuin vain oikealla kädellä hiirtä käyttäneet oikeakätiset voisivat harjoittelemalla parantaa ei-hallitsevan vasemman kätensä kokonaistehokkuutta. Oikealla kädellä hiirtä käyttäneet vasenkätiset kokevat hiiren käyttämisen oikealla kädellä yhtä helpoksi kuin oikeakätisetkin.

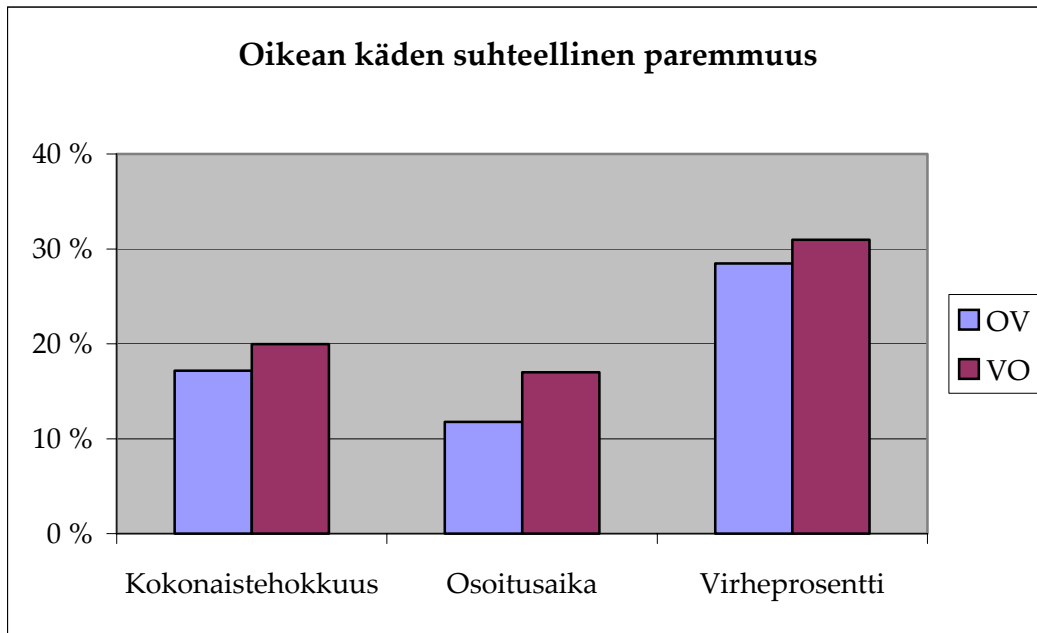
6.4.3. Erikätiset hiirtä ei-hallitsevalla kädellä käyttävät

”Vasen käsi väsyvä vähän enemmän ja pieniin kohteisiin on vaikeampi osua. Nopeuseroakin on jonkin verran oikean hyöäksi etenkin tarkoissa tehtävissä.” – Tyypillinen vasemmallakin kädellä hiirtä käyttämään tottuneen oikeakätisen kommentti testitehtävien jälkeen.

Lopuksi vertaan vielä ryhmien OV ja VO tuloksia toisiinsa. Ryhmät poikkeavat toisistaan siinä, että vain oikeakätiset ovat tottuneet käyttämään hiirtä myös hallitsevalla kädellään. Molempien ryhmien kaikki edustajat ovat kuitenkin jo pitkään käyttäneet hiirtä ei-hallitsevalla kädellään.

Verrattaessa näiden ryhmien vasempia ja oikeita käsiä toisen ryhmän samoihin käsiin ei tuloksissa huomata suuriakaan eroja. Yleisesti ottaen ryhmän OV oikeakätisillä on hieman paremmat tulokset kummallakin kädellä kuin ryhmän VO vasenkätisillä, mutta tilastollisesti merkitseviä erot eivät ole. Mielenkiintoisempi havainto on se, että kummassakin ryhmässä oikean käden suorituskyky on varsin tarkkaan yhtä paljon suurempi kuin vasemman käden. Esimerkiksi kokonaistehokkuudessa molemmissa ryhmissä on oikea käsi saanut 17–20 % paremman tuloksen kuin vasen käsi (kuva 15).

Tehokkuuserot ryhmien ei-hallitsevien käsien välillä on käsitelty jo edellä kohdassa 6.3.2.



Kuva 15. Oikean käden paremmuus vasempaan verrattuna ryhmillä OV ja VO.

Koehenkilöiden omista arvioista on hieman suurempia eroja kuin ohjelmallisesti mitatuissa arvoissa. Vasenkätiset kokevat olevansa ei-hallitsevalla kädellä nopeampia ($p = 0,020$) ja tarkempia ($p = 0,044$) kuin oikeakätiset. Merkittävin ero on kuitenkin se, että vasenkätiset kokevat hiiren käytön käytettävyyden ei-hallitsevalla kädellään oikeakätisiä paremmaksi (keskiarvot 4,29 ja 3,36; $p = 0,044$). Oikeakätisten lisäksi myös vasenkätiset antoivat kaikkiin kysymyksiin oikealle kädelle keskimäärin hieman parempia arvosanoja kuin vasemmalle. Vasenkätiset käyttivät hiirtä oikealla kädellään varsin luontevasti, kun taas oikeakätisille hiiren käyttäminen vasemmalla kädellä tuntuu jossain määrin väkijäsenä pitkästä kokemuksen jälkeenkin.

Yhteenvedon ryhmien OV ja VO vertailusta todetaan, että vasen- ja oikeakätiset oppivat suunnilleen yhtä tehokkaiksi, tarkoiksi ja nopeiksi hiiren käyttäjiksi ei-hallitsevalla kädellään. Vasenkätiset kokevat hiiren käytettävyyden ei-hallitsevalla kädellään paremmaksi kuin oikeakätiset. Lisäksi vasenkätiset oppivat käyttämään hiirtä oikealla kädellään niin lähelle yhtä hyvin kuin oikeakätisetkin, että erolla ei ole juuri käytännön merkitystä.

Kuudennessa luvussa esittelin kokeeni tilastolliset tulokset. Vasemmalla kädellä hiirtä käyttäneiden oikeakätisten kokonaistehokkuus todettiin vasemmalla kädellä 15 % matalammaksi kuin oikealla kädellä. Oikealla kädellä hiirtä käyttäneiden vasenkätisten oikean käden tehokkuus taas oli keskimäärin 8,5 % korkeampi kuin oikeakätisten vasemmalla kädellä hiirtä käyttävien vasemman käden tehokkuus.

7. Yhteenveto

7.1. Tulokset

Tutkielman yhtenä päätuloksena huomattiin hiirtä vasemmalla kädellä käyttämään tottuneilla oikeakätisillä 28 % suurempi kokonaistehokkuus vasemmalla kädellä kuin tottumattomilla oikeakätisillä. Koska kätisyystestissä molempien ryhmien edustajat todettiin voimakkaasti oikeakätisiksi, on todennäköistä että ero tehokkuudessa johtuu eroista vasemman käden hiirikäytön kokemuksessa. Vastaavasti hiirtä vasemmalla kädellä käyttämään tottuneiden oikeakätisten vasemman käden tehokkuus oli 15 % alhaisempi kuin heidän oikean käden tehokkuutensa. Harjoittelu kehittää oikeakätisten vasenta kättä huomattavan paljon, mutta ei aivan yhtä hyväksi kuin oikea käsi. Ero oikeaan käteen on kuitenkin niin pieni, että etenkin hiirikättä vuorottelemalla työteho ei käytännössä kärsi opetteluvaiheen jälkeen hiiren käytöstä vasemmalla kädellä paljonkaan. Myös vasemman käden käyttömukavuus ja käytettävyyys hiirikätenä kasvavat harjoittelun myötä selvästi.

Vasenkätiset hiirtä oikealla kädellä käyttämään tottuneet todettiin oikealla kädellään hieman tehokkaammiksi kuin hiirtä vasemmalla kädellä käyttäneet oikeakätiset vasemmalla kädellään. Ero kokonaistehokkuudessa oli kuitenkin vain noin 8,5 % ja samaa suuruusluokkaa muillakin mittareilla. Koska vasenkätiset ovat yleensä oikeakätisiä enemmän molempikäisiä, tulos merkitsee sitä, että oikeakätisetkin pystyvät kehittämään vasemman hiirikätensä huomattavan hyväksi. Toisaalta vasenkätiset todennäköisesti pystyisivät vasemmalla kädellään vielä hieman parempaan tehokkuuteen. Lisäksi vasenkätiset kokevat hiiren käytettävyyden ei-hallitsevalla kädellään paremmaksi kuin oikeakätiset.

Kaiken kaikkiaan kokeessa ei löytynyt sen paremmin oikea- kuin vasenkätisillekään mitään syytä olla vuorottelematta hiirikättä tehokkuussyistä. Koska jo aiemmin muun muassa Delisle *et al.* [2004], MacKenzie [2003] sekä Cook ja Kothiyal [1998] ovat osoittaneet hiiren käytön olevan ergonomisempaa vasemmalla kädellä ja hiirikäden vuorottelua ovat suositelleet muun muassa Ackland ja Hendrie [1999] sekä Peters ja Ivanoff [1999], voidaan tämän tutkielman tulosten pohjalta näitä suosituksia vahvistaa. Yksilöllisiä eroja voi tietysti olla ja joillakin voi hiiren käyttäminen vasemmalla kädellä olla harjoittelun jälkeenkin hyvin vaikeaa. Tässä tapauksessa kannattaa harkita sellaisen näppäimistön käyttämistä, jossa ei ole oikealla puolella tilaa vievää numeronäppäimistöä tai se on irrotettavissa (esim. Logitech® diNovo™

Cordless Desktop®). Silloin, kun tehdään paljon suurta tarkkuutta vaativia hiiren osoitustehtäviä, hiirtä kannattaa käyttää hallitsevalla kädellä.

7.2. Vertailua aiempiin tutkimuksiin

Tutkielman tulokset vahvistavat aiemmin saatuja tuloksia. Hoffmann *et al.* [1997] mittasivat, että vasen- ja oikeakätisten hiiren käytön tehokkuus oikealla kädellä oli suunnilleen sama. Nyt saaduissa tuloksissa vasenkätisten keskimääräinen kokonaistehokkuus oli 3,50 bit/s ja oikeakätisten 3,89 bit/s eli eroa oli vain kymmenisen prosenttia oikeakätisten hyväksi eikä tämäkään ero ole tilastollisesti merkitsevä.

Myös Petersin ja Ivanoffin [1999] sekä Acklandin ja Hendrien [1999] tuloksille saatiin vahvistusta: niin vasen- kuin oikeakätisetkin pystyvät oppimaan tehokkuudeltaan tyydyttävän tasoisen hiiren käytön ei-hallitsevalla kädellään. Vasemmalla kädellä hiirtä käyttäneet oikeakätiset koehenkilöt saavuttivat vasemmalla kädellään keskimäärin 15 % huonomman kokonaistehokkuuden kuin oikealla kädellään. Oikealla kädellä hiirtä käyttäneet vasenkätiset puolestaan jäivät ei-hallitsevalla oikealla kädellään vain 10 % päähän kaikkien oikeakätisten hallitsevan käden kokonaistehokkuudesta.

Kabbash *et al.* [1993] mittasivat vain oikealla kädellä hiirtä käyttämään tottuneille oikeakätisille vasemmalla kädellä 34 % oikeaa kättä suuremman osoitusajan. Tässä tutkielmassa mittasin eroksi 52 % (1689 ms ja 1108 ms). Ero on siis suurempi kuin Kabbashin *et al.* toteama, mutta molemmat erot ovat varsin suuria.

Kaiken kaikkiaan tutkielman tulokset olivat aikaisemmin tehtyjen tutkimusten valossa varsin odotetut. On kuitenkin huomattavaa, että missään aikaisemmassa tutkimuksessa ei ole yhdistetty yhtä heterogeenistä koehenkilöryhmää ja ISO-standardin 9241-9 suosittelimia menetelmiä. Juuri tämän vuoksi tuloksilla on suuri merkitys.

7.3. Rajoitukset ja jatkotutkimusaiheet

Tutkielmassa ei ollut mahdollista ottaa pidemmän oppimisen vaikutuksia huomioon. Vaikka jo tunnin koetilanteessakin oppimista hiukan ehti tapahtua, olisi mielenkiintoista nähdä millaisia tuloksia vain yhdellä kädellä hiirtä käyttämään tottuneet koehenkilöt olisivat saaneet viikkojen tai kuukausien harjoittelun jälkeen. Asiaa ovat tosin jo tutkineet muun muassa Ackland ja Hendrie [1999] sekä Delisle *et al.* [2004].

Tutkielman aineistosta olisi myös mahdollista hakea vahvistusta Kabbashin *et al.* [1993] havainnolle siitä, että ei-hallitsevalla kädellä sujuvat erityisen hyvin tehtävät, joissa osoitusteäisyys on pitkä ja kohde suuri sekä hallitsevalla kädellä vastaavasti lähellä toisiaan olevia pieniä kohteita sisältävät tehtävät. Ajan ja tilan puutteen vuoksi en tätä nyt kuitenkaan selvittänyt. Myös eri ryhmien ja eri käsien erot siinä, miten paljon osoitustehtävien aikana on poikettu suoralta polulta, jäivät analysoimatta. MacKenzie *et al.* [2001] ovat osoittaneet tämän poikkeaman kasvun olevan yhteydessä osoitinlaitteen kokonaistehokkuuden huononemiseen. Erittäin todennäköistä on, että vastaavat tulokset olisivat havaittavissa verrattaessa hallitsevaa ja ei-hallitsevaa kättä toisiinsa.

Koska vasenkätiset ovat hieman erilaisia kuin oikeakätiset, ei tutkielmassa ole saatu varmaa näyttöä siitä, miten hyviä vasenkätiset voisivat olla käyttämään hiirtä hallitsevalla kädellään. Myöskään ei voida sanoa millainen heidän ei-hallitsevan käden tehokkuutensa olisi ilman harjoittelua. Näiden asioiden selvittämiseksi pitäisi tutkia vasenkätisiä, hiirtä vain vasemmalla kädellä käyttämään tottuneita koehenkilöitä. Koska tällaisia ihmisiä on vaikea löytää, tässä tutkielmassa se ei ollut mahdollista.

Kabbash *et al.* [1993] ovat mitanneet, että hiiren raahaustehtävissä hiirtä vain oikealla kädellä käyttämään tottuneilla oikeakätisillä käsien välinen ero suoritusajassa on pienempi kuin osoitustehtävissä. Toisaalta virheiden määrässä ero taas heidän kokeessaan oli suurempi. Yksi mahdollinen jatkotutkimuksen aihe voisi olla myös se, ovatko erikätisten ja hiirtä eri käsillä käyttävien erot myös hiiren raahaustehtävissä samanlaiset kuin nyt testatuissa osoitustehtävissä.

Hiiren osoitus- ja raahaustehtävät ovat vain osa jokapäiväistä työasemakäyttöä. Tavallisesti näppäimistö on kuitenkin se syöttölaite, jota käytetään eniten. Nyt saadut tulokset soveltuvat vain hiiren käyttöön sellaisenaan, eivätkä ne suoraan kerro sitä, miten tehokkaasti erikätiset ja hiirtä eri käsillä käyttävät ihmiset käyttävät hiirtä ja näppäimistöä yhdessä. MacKenzie ja Guiard [2001] ovat esittäneet, että näiden kahden syöttölaitteen käyttö on paitsi ergonomisempaa, myös tehokkaampaa silloin kun hiirtä käytetään vasemmassa kädessä. Asiaa ei ole kuitenkaan tarkasti mitattu. Tämän tutkielman tulokset tukevat MacKenzien ja Guiardin esitystä, mutta kätisyyden, hiirikätisyyden sekä erilaiset näppäimistöt ja hiiret huomioon ottavat mittaustulokset olisivat kiintoisia.

Viiteluettelo

- [Accot ja Zhai, 2001] Johnny Accot ja Shumin Zhai, Scale effects in steering law tasks. *Human Factors in Computing Systems, Proceedings of CHI 2001*. ACM Press, New York, 2001, 1-8.
- [Ackland ja Hendrie, 1999] Tim Ackland ja Gillian Hendrie, Training the non-preferred hand for fine motor control using a computer mouse. <http://cyberg.wits.ac.za/cyberg/sessiondocs/physical/hand/hand2/hand2.htm> (1.11.2005).
- [Annett, 1998] M. Annett, Handedness and cerebral dominance. *Journal of Neuropsychiatry* **10** (1998), 459-469.
- [Bakan, 1971] Paul Bakan, Handedness and birth order. *Nature* **229** (15 Jan 1971), 195.
- [Bakan, 1990] Paul Bakan, Non-right-handedness and the continuum of reproductive casualty. Teoksessa *Left-Handedness – Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 33-74.
- [Bakan et al., 1973] Paul Bakan, Gary Dibb ja Phil Reed, Handedness and birth stress. *Neuropsychologia* **11**, 3 (1973), 363-366.
- [Bootsma et al., 2004] R. J. Bootsma, L. Fernandez ja D. Mottet, Behind Fitts' law: Kinematic patterns in goal-directed movements. *International Journal of Human-Computer Studies* **61**, 6 (2004), 811-821.
- [Burnett et al., 1982] Sarah A. Burnett, David M. Lane ja Lewis M. Dratt, Spatial ability and handedness. *Intelligence* **6**, 1 (1982), 57-68.
- [Card et al., 1978] Stuart K. Card, William K. English, ja Betty J. Burr, Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics* **21** (1978), 601-613.
- [Cook ja Kothiyal, 1998] Catherine J. Cook ja Kamal Kothiyal, Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer use. *Applied Ergonomics* **29**, 6 (1998), 439-443.

- [Coren, 1989] Stanley Coren, Left-handedness and accident-related injury risk. *American Journal of Public Health* **79**, 8 (1989), 1040–1041.
- [Coren, 1992] Stanley Coren, *The Left-Hander Syndrome*. The Free Press, MacMillan, New York, 1992.
- [Coren, 1996] Stanley Coren, Handedness as a predictor of increased risk of knee, elbow, or shoulder injury, fractures and broken bones. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition* **1**, 2 (1996), 139–152.
- [Coren ja Searleman, 1990] Stanley Coren ja Alan Searleman, Birth stress and left-handedness: The rare trait marker model. Teoksessa *Left-Handedness – Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 3–32.
- [Delisle *et al.*, 2004] Alain Delisle, Daniel Imbeau, Brenda Santos, André Plamondon ja Yves Montpetit, Left-handed versus right-handed computer mouse use: Effect on upper-extremity posture. *Applied Ergonomics* **35**, (2004), 21–28.
- [Douglas *et al.*, 1999] Sarah A. Douglas, Arthur E. Kirkpatrick ja I. Scott MacKenzie, Testing pointing device performance and user assessment with the ISO 9241, part 9 standard. *Human Factors in Computing Systems, Proceedings of CHI 1999*. ACM Press, New York, 1999, 215–222.
- [Ellis, 1990] Lee Ellis, Left- and mixed-handedness and criminality: Explanations for a probable relationship. Teoksessa *Left-Handedness – Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 485–507.
- [Fitts, 1992] Paul M. Fitts, The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology: General* **121**, 3 (1992), 262–269.
- [Flowers, 1975] Kenneth Flowers, Handedness and controlled movement. *British Journal of Psychology* **66**, 1 (1975), 39–52.
- [Guiard, 1987] Yves Guiard, Asymmetric division of labor in human skilled bimanual action: The kinematic chain as a model. *Journal of Motor Behavior*, **19** (1987), 486–517.
- [Guiard ja Beaudouin-Lafon, 2004] Yves Guiard ja Michel Beaudouin-Lafon, Fitts' law 50 years later: Applications and contributions from Human-

Computer Interaction. *International Journal of Human-Computer Studies* **61**, 6 (2004), 747–750.

- [Hoffmann *et al.*, 1997] Errol R. Hoffmann, Wai Y. Chang ja Ka Y. Yim, Computer mouse operation: Is the left-handed user disadvantaged? *Applied Ergonomics* **28**, 4 (1997), 245–248.
- [IEA, 2000] International Ergonomics Association, The discipline of ergonomics. <http://www.iea.cc/ergonomics/> (1.11.2005).
- [ISO, 2000] ISO/DIS 9241–9 *Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs) – Part 9: Requirements for Non-Keyboard Input Devices (ISO 9241–9)*. International Organization for Standardization, 2000.
- [Isokoski, 2001] Poika Isokoski, Fittsin laki ja johdannaiset. Teoksessa *Käyttöliittymäteoriat ja -mallit (Report B-2001-7)*, Roope Raisamo (toim.) Tietojenkäsittelytieteiden laitos, Tampereen yliopisto, 2001, 1–20.
- [Isokoski ja Raisamo, 2002] Poika Isokoski ja Roope Raisamo, Speed-accuracy measures in a population of six mice. *Proceedings of the Fifth Asia Pacific Conference on Human-Computer Interaction – APCHI 2002*. Science Press, Beijing, 2002, 765–777.
- [Järvinen ja Järvinen, 2000] Pertti Järvinen ja Annikki Järvinen, *Tutkimustyön metodeista*. Opinpajan kirja, Tampere, 2000.
- [Kabbash *et al.*, 1993] Paul Kabbash, I. Scott MacKenzie ja William Buxton, Human performance using computer input devices in the preferred and non-preferred hands. *Proceedings of the INTERCHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM Press, New York, 1993, 474–481.
- [Kalat, 1992] James Kalat, *Biological Psychology*. Wadsworth, Pacific Grove, California, 1992.
- [Kanninen *et al.*, 1997] Auli Kanninen, Marjatta Hämälä ja Heikki Palomäki, *Neuropsykologian käsitteet*. Helsingin Psykotutkimus Oy, Helsinki, 1997.
- [Karlqvist *et al.*, 1998] L. K. Karlqvist, E. Bernmark, L. Ekenvall, M. Hagberg, A. Isaksson ja T. Rostoe, Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* **24**, 1 (1998), 62–73.

- [Lewis ja Harris, 1990] Richard S. Lewis ja Lauren Julius Harris, Handedness, sex and spatial ability. Teoksessa *Left-Handedness – Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 319–341.
- [MacKenzie, 1989] I. Scott MacKenzie, A note on the information-theoretic basis for Fitts' law. *Journal of Motor Behavior* **21** (1989), 323–330.
- [MacKenzie, 1991] I. Scott MacKenzie, *Fitts' Law as a Performance Model in Human-Computer Interaction*. Väitöskirja. University of Toronto, 1991.
- [MacKenzie, 2003] I. Scott MacKenzie, Motor behaviour models for human-computer interaction. Teoksessa *Toward a Multidisciplinary Science of Human-Computer Interaction*, J. M. Carroll (ed.) Morgan Kaufmann, San Francisco, 2003, 27–54.
- [MacKenzie et al., 1991] I. Scott MacKenzie, Abigail Sellen ja William Buxton, A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks. *Human Factors in Computing Systems, Proceedings of CHI 1991*. ACM Press, New York, 1991, 161–166.
- [MacKenzie et al., 2001] I. Scott MacKenzie, Tatu Kauppinen and Miika Silfverberg, Accuracy measures for evaluating computer pointing devices. *Human Factors in Computing Systems, Proceedings of CHI 2001, CHI Letters*, 3 (1), ACM Press, 2001, 9–16.
- [MacKenzie ja Buxton, 1992] I. Scott MacKenzie ja William Buxton, Extending Fitts' law to two-dimensional tasks. *Human Factors in Computing Systems, Proceedings of CHI 1992*. ACM Press, New York, 1992, 219–226.
- [MacKenzie ja Guiard, 2001] I. Scott MacKenzie ja Yves Guiard, The two-handed desktop interface: Are we there yet? *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – CHI 2001*. ACM Press, New York, 1994, 417–423.
- [MacKenzie ja Jusoh, 2001] I. Scott MacKenzie ja Shaidah Jusoh, An evaluation of two input devices for remote pointing. *Proceedings of the Eighth IFIP Working Conference on Engineering for Human-Computer Interaction – EHCI 2000*. Heidelberg, Springer-Verlag, 2001, 235–249.
- [Muggleton ja Allen, 1999] J. M. Muggleton ja R. Allen, Hand and arm injuries associated with repetitive manual work in industry: A review of

disorders, risk factors and preventive measures. *Ergonomics* **42**, 5 (1999), 714-739.

- [Murata, 1999] Atsuo Murata, Extending effective target width in Fitts' law to a two-dimensional pointing task. *International Journal of Human-Computer Interaction* **11**, 2 (1999), 137-152.
- [O'Boyle ja Benbow, 1990] Michael W. O'Boyle ja Camilla Persson Benbow, Handedness and its relationship to ability and talent. Teoksessa *Left-Handedness - Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 343-372.
- [Oldfield, 1971] R. C. Oldfield, The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* **9**, 97-113.
- [Peters ja Ivanoff, 1999] Michael Peters ja Jason Ivanoff, Performance asymmetries in computer mouse control of right-handers, and left-handers with left- and right-handed mouse experience. *Journal of Motor Behavior* **31**, 1 (1999), 86-94.
- [Porac, 1993] Clare Porac, Hand preference and the incidence of accidental unilateral hand injury. *Neuropsychologia* **31** (1993), 355-362.
- [Porac et al, 1990] Clare Porac, Laura Rees ja Terri Buller, Switching hands: A place for left hand use in a right hand world. Teoksessa *Left-Handedness - Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 259-290.
- [Porac ja Coren, 1981] Clare Porac ja Stanley Coren, *Lateral Preferences and Human behavior*. Springer Verlag, New York, 1981.
- [Schwartz, 1990] Murray Schwartz, Left-handedness and prenatal complications. Teoksessa *Left-Handedness - Behavioral Implications and Anomalies*, Stanley Coren (ed.) Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990, 75-97.
- [Searleman ja Porac, 2001] Alan Searleman ja Clare Porac, Lateral preference patterns as possible correlates of successfully switched left hand writing: Data and a theory. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain, and Cognition* **6**, 4 (2001), 303-314.
- [Shannon, 1963] Claude E. Shannon ja Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, Illinois, 1963.

- [Sillanpää, 1999] Suvi Sillanpää, *Vasenkätisenä oikeakätisten maailmassa. Vasenkätisen miehen ja naisen kokemuksia vasenkätisyydestä*. Pro gradu -tutkielma. Kajaanin opettajankoulutuslaitos, kasvatustiede, huhtikuu 1999.
- [Soukoreff ja MacKenzie, 2004] R. William Soukoreff ja I. Scott MacKenzie, Towards a standard for pointing device evaluation: Perspectives on 27 years of Fitts' law research in HCI. *International Journal of Human-Computer Studies* **61**, 6 (2004), 751–789.
- [Todor ja Doane, 1978] J. I. Todor ja T. Doane, Handedness and hemispheric asymmetry in the control of movements. *Journal of Motor Behavior*, **10** (1978), 295–300.
- [Ullmann, 1972] J. F. Ullmann, Laterality. Teoksessa *Encyclopedia of Psychology*, H. J. Eysenck, W. Arnold, R. Meili (Ed.) Search Press, London, 1972, 182–183.
- [Welford, 1968] A. T. Welford, *Fundamentals of Skill*. London, Methuen.
- [Zhai, 2004a] Shumin Zhai, Characterizing computer input with Fitts' law parameters – the information and non-information aspects of pointing. *International Journal of Human-Computer Studies* **61**, 6 (2004), 791–809.
- [Zhai, 2004b] Shumin Zhai, The computer mouse and related input devices. Teoksessa *Berkshire Encyclopedia of Human-Computer Interaction*, W. S. Bainbridge (Ed.) Berkshire Publishing Group, 2004. <http://www.almaden.ibm.com/u/zhai/papers/MouseInHCIEncyclopedia.pdf> (1.11.2005)

Liite 1: Kyselylomake käyttäjätesteihin osallistuville

Nimi: _____ Syntymävuosi: _____

Sukupuoli: nainen mies

Montako vuotta olet käyttänyt tietokonetta: _____ entä hiirtä: _____

Koetko olevasi: täysin vasenkätinen
 enimmäkseen vasenkätinen
 täysin molempikätinen
 enimmäkseen oikeakätinen
 täysin oikeakätinen

Käytätkö hiirtä: vain vasemmalla kädellä
 molemmilla käsillä
 vain oikealla kädellä
 kyllä en

Oletko joskus vaihtanut hiirikättä? kyllä en

Jos, niin milloin, miten ja miksi? _____

Miten usein käytät tietokonetta? lähes päivittäin
 joitakin kertoja viikossa
 noin kerran viikossa
 joitakin kertoja kuussa
 kerran kuussa tai harvemmin

Millaista hiirtä yleensä käytät? _____

Liite 2: Kätisyyskyselylomake käyttäjätesteihin osallistuville

Lopuksi muutama kysymys, joilla pyrin selvittämään kätisyttäsi. Merkkää kumpaa kättä mieluummin käytät seuraavissa toiminnoissa *kirjoittamalla merkki + sen käden sarakkeeseen*. Jos ero käsissä on niin suuri, että et ikinä käyttäisi toimintoon toista kättäsi ellei siihen pakoteta, *merkkää ++*. Kun kädellä ei todella ole mitään merkitystä, *merkkää + molempiin sarakkeisiin*.

Jotkin toiminnot vaativat kahta kättä. Niissä tapauksissa se tehtävä, jota tarkoitetaan, on ilmoitettu sulkeissa.

Pyri vastaamaan kaikkiin kysymyksiin ja jätä kohta tyhjäksi vain jos et ole koskaan tehnyt kyseistä toimintoa.

Toiminto	VASEN	OIKEA
Kirjoittaminen		
Piirtäminen		
Pallon heittäminen		
Sakset		
Hammasharja		
Veitsi (ilman haarukkaa)		
Lusikka		
Luuta (ylempi käsi)		
Tulitikun sytyttäminen (tulitikku)		
Laatikon avaaminen (kansi)		
Tennismaila tai vastaava		
Vasara		
Pyyhekumi		
Korttien jakaminen pakasta (kortin pakasta ottava käsi)		
Langan ujuttaminen neulansilmään (lankaa pitävä käsi)		
Kärpäslätkä		
Kummalla jalalla potkaiset mieluummin?		
Kun katsot vain yhdellä silmällä, niin kummalla?		

Liite 3: Käyttäjäkokeuskysely käyttäjätesteihin osallistuville

Ympyröi sopivin numero.

VASEN KÄSI (samanlainen lomake oli oikealle kädelle)

Hiiren käyttömukavuus

1	2	3	4	5
Erittäin epämukava			Erittäin mukava	

Hiiren tarkkuus

1	2	3	4	5
Erittäin epätarkka			Erittäin tarkka	

Hiiren käyttämisen nopeus

1	2	3	4	5
Epähyväksyttävä			Hyväksyttävä	

Sormien, ranteen, käsivarren, niskan ja olkapään väsyminen

1	2	3	4	5
Erittäin paljon			Ei lainkaan	

Käytettävyys

1	2	3	4	5
Erittäin vaikea käyttää			Erittäin helppo käyttää	
