

**Katsenäppäimistön muokattavan viiveajan vaikutus
kirjoitusnopeuteen ja virheisiin**

Ulla-Kaija Talvitie

Tampereen yliopisto
Informaatiotieteiden yksikkö
Vuorovaikutteinen teknologia
Pro gradu -tutkielma
Ohjaaja: Päivi Majaranta
Huhtikuu 2011

Tampereen yliopisto

Informaatiotieteiden yksikkö

Vuorovaikutteinen teknologia

Tekijän Nimi: Ulla-Kaija Talvitie os. Ahola

Pro gradu -tutkielma, 65 sivua, 8 liitesivua

Huhtikuu 2011

Katseella ohjattavaa QWERTY-näppäimistöä on pidetty hitaana tapana kirjoittaa, koska näppäimen valinnassa on käytettävä viivettä Midaksen kosketus -ongelman takia. Midaksen kosketus -ongelma tarkoittaa sitä että toiminto tulee valituksi tahattomasti, kun katse syöttövälineenä valitsee kaiken mihin se osuu, koska valinta-aika on liian lyhyt. Ennakoivan tekstinsyötön puuttuminen on myös vaikuttanut joidenkin käsitykseen näppäimistön hitaudesta. Aiemmin ei kuitenkaan ole tutkittu, kuinka kirjoitusnopeuteen vaikuttaa se, että käyttäjä itse saa muokata valinnan viiveaikaa. Tässä tutkielmassa esitellään pitkittäistutkimus, joka suoritettiin Tampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteen laboratoriotiloissa kesäkuussa 2008. Tutkimukseen osallistui 11 vapaaehtoista osallistujaa, jotka eivät aikaisemmin olleet kirjoittaneet katseen avulla. Heistä jokainen osallistui 10 tutkimuskertaan. Jokaisella tutkimuskerralla aktiivista kirjoitusaikaa oli 15 minuuttia, koko tutkimuksen aikana yhteensä 2 tuntia ja 30 minuuttia. Tutkimuksissa käytetty katseenseurantalaite oli Tobii 1750. Ensimmäisen tutkimuskerran alussa kaikkien viiveaika oli 1000 ms, jota he saivat halutessaan lyhentää tai pidentää. Ensimmäisen tutkimuskerran osallistujien kirjoitusnopeuden keskiarvo oli 6,9 sanaa minuutissa ja kymmenennen tutkimuskerran keskiarvo oli 19,9 sanaa minuutissa. Tulokset osoittivat, että viiveajallinen katsenäppäimistö ei ole hidas tapa kirjoittaa verrattuna esimerkiksi ennakoivan komponentin sisältävään Dasheriin, kun käyttäjä itse voi hallita viiveajan pituutta. Kirjoitusnopeus ja virheiden välttäminen olivat tutkimuksen loppupuolella parhaimmillaan noin 260-400 millisekunnin viiveajalla.

Avainsanat ja -sanonnat: tekstinsyöttö katseella, katseenseuranta, tekstinsyöttömenetelmät, pitkittäistutkimus.

Sisällys

1. Johdanto.....	1
2. Katse ja katseenseuranta.....	4
2.1 Silmän rakenne ja toiminta.....	4
2.2 Katseenseuranta.....	6
2.3 Valinta katseella ja viiveaika.....	7
3. Erilaiset tekstinsyöttömenetelmät katseella.....	11
3.1 Näppäilymenetelmät.....	11
3.1.1 QWERTY-näppäimistö.....	11
3.1.2 GazeTalk.....	15
3.1.3 Symbol Creator.....	16
3.2 Katse-eleisiin perustuvat menetelmät.....	17
3.2.1 EyeWrite.....	17
3.3 Jatkuvan kirjoituksen menetelmät.....	19
3.3.2 pEYEdit.....	19
3.3.3 Dasher.....	20
3.4 Erilaisten menetelmien vertailu keskenään.....	22
4. Tutkimus.....	25
4.1 Pilottitestit.....	25
4.2 Osallistujat.....	27
4.3 Tutkimusvälineistö ja tekniset asetukset.....	28
4.4 Tutkimuksen kulku.....	32
5. Tulokset.....	35
5.1 Tekstinsyöttönopeus.....	36
5.2 Viiveajan muutokset.....	40
5.3 Virheet.....	44
5.3 QWERTY-katsenäppäimistön käytettävyys.....	50
5.3.1 Lomakkeiden tulokset.....	51

5.3.2 Haastattelu	53
5.4 Tulosten pohdinta	57
6. Yhteenveto.....	59
Viiteluettelo:	61

Liitteet

Liite 1: Haastattelukysymykset

Liite 2: Taustatietolomake

Liite 3: Vaitiololupauslomake

Liite 4: Silmien väsymys -lomake

Liite 5: Kyselylomake henkilökohtaisesta kokemuksesta

Liite 6: Viiveajan muutokset

1. Johdanto

Jokaisella ihmisellä on halu tai tarve kommunikoida ympäristönsä kanssa. Olemme vuorovaikutuksessa toisten ihmisten kanssa sanallisten ja sanattomien viestien kautta. Viestimme puheen, mutta myös esimerkiksi eleiden, ilmeiden, asentojen ja katseen avulla. Sanattomasti voimme ilmaista omaa tunnetilaamme ilmeillä, suhtautumistamme toiseen henkilöön välimatkalla ja käsien asennoilla, esimerkiksi laittamalla kätemme puuskaan tai rennosti sivuille ja suuntaamalla katseemme joko kohti tai pois päin kerromme, olemmeko kiinnostuneita vuorovaikutuksesta kyseisen henkilön kanssa. Perusterveellä ihmisellä, jolla siis ei esimerkiksi lihasten hallintakyky ole heikentynyt, on useita keinoja välittää sanallisia viestejä. Näiden kommunikointikeinojen nopeus vaihtelee ihmisestä ja hänen taidoistaan riippuen. Kuvassa 1.1 on lueteltu eri kommunikointitapoja ja vertailun vuoksi esitelty tapojen keskimääräisiä nopeuksia. Kun kirjeen kirjoittaa käsin keskimäärin 25 sanan minuuttivauhdilla [Dix et al., 2004], niin normaalissa keskustelussa sanoja vaihtuu jopa yli 100 minuutissa [Hansen and Itoh, 2004]. Puhe on siis nopein tapa välittää sanallisia viestejä.

NOPEUS	KOMMUNIKOINTITAPA
25 sanaa minuutissa	Kirjoittaminen (käsin), tyydyttävä nopeus lennätinviestin kirjoituksessa
40 sanaa minuutissa	Tyydyttävä nopeus chat-keskustelussa
> 50 sanaa minuutissa	Keskiverto kirjoitusnopeus näppäimistöllä
> 100 sanaa minuutissa	Normaali keskustelu

Kuva 1.1. Kommunikointitapojen nopeuksia.

Miten kommunikaatio toimii, kun puhe ei ole mahdollista ja sen lisäksi lihasten hallinta on heikentynyt niin, että kirjoittaminen käsien avulla ei ole mahdollista edes näppäimistöä käyttäen? Tällainen tilanne on mahdollinen vaikeissa lääketieteellisissä tiloissa, kuten neliraajahalvaannustiloissa, jolloin henkilö hallitsee ainoastaan pään alueen lihaksia tai jopa vain silmiään. Kun käsien hallinta on heikentynyt niin, että normaalin näppäimistön tai kädellä ohjattavan hiiren käyttö on mahdotonta, vuorovaikutus tietokoneen kanssa tai kautta voi tapahtua esimerkiksi katseen tai otsaan kiinnitetyn kiintopisteen avulla [Hansen and Itoh, 2004]. Niin sanottu katseella ohjattava osoitin tai eli katsehiiri ja katseeseen perustuvat apuvälineet ovat

liikuntarajoitteisten keskuudessa harvinaisempia kuin kiintopisteeseen perustuvat tekniikat eli pään liikkeellä ohjattavat hiiret. Suurimmiksi esteiksi katsetekniikoiden yleistymiselle on esitetty vaikeakäyttöisyyttä, katseenseurantamenetelmien epätarkkuutta ja kehittyneiden katseenseurantajärjestelmien korkeata hintaa [Bates and Istance, 2000]. Esimerkiksi myTobii P10-katseenseurantajärjestelmän hinta on noin 11900 puntaa eli noin 13300 euroa [SATL Price list, 2009].

Laitteistojen hinnat ovat kuitenkin laskemassa niiden yleistyessä ja niin sanottuja low cost eli halpamenetelmiä on jo olemassa. Niitä kehitetään, jotta päästään tyydyttävään tarkkuuteen halvemmalla laitteistolla jopa tavallisen webkameran avulla. Esimerkiksi Hansen, Hansen ja Johansen [2001] ovat kehittäneet kommunikaatiojärjestelmää joka vaatii perus-pc:n lisäksi webkameran. Kommunikaatiojärjestelmä perustuu 10 näppäimen näppäimistöön. Webkameran epätarkkuus johtaa siihen, että kohteet eivät voi olla kovin pieniä ja tämä estää tällä hetkellä esimerkiksi kokonaisen aakkoston näyttämisen normaalilla näytöllä.

Katseella toimivista kirjoitusmenetelmistä yleisin on viiveajalla toimiva QWERTY-katsenäppäimistö. Viiveajallisia näppäimistöjä on kritisoitu usein epäluonnolliseksi tavaksi kirjoittaa katseella [Ward and McKay, 2002; Bee and André, 2008]. QWERTY-näppäimistön nopeutta mitanneet tutkimukset ovat yleensä käyttäneet kiinteitä viiveaikoja, jotka tutkimuksen tekijät ovat asettaneet ja käyttäjät eivät ole päässeet muokkaamaan aikoja itse käytön aikana [mm. Majaranta and Rähä, 2002; Majaranta et al., 2004; 2006; Urbina, 2007; Wobbrock et al., 2008]. Viiveajan pituus on vaikuttanut saatuihin kirjoitusnopeuksiin. Nopeimpana tapana kirjoittaa katseella on yleisesti pidetty Dasher-kirjoitusmenetelmää, jonka avulla yksittäisten käyttäjien on raportoitu yltävän jopa 23-25 sanaa minuutissa kirjoitusnopeuteen [Ward and MacKay, 2002; Tuisku et al., 2008]. Huippunopeuksiin Dasher pääsee ennustavan kielimallinsa avulla, sillä ilman ennustavaa ominaisuutta Dasherillä kirjoitusnopeudet laskevat huomattavasti: 4,45-5,58 sanaa minuutissa [Urbina, 2007].

Sujuva vuorovaikutus ympäristön kanssa on tärkeää ja ilman kommunikointikeinoja ihminen eristyy ympäristöstään. Kommunikoinnin nopeudella on merkitystä juuri sen sujuvuuden kannalta. Hidas ja kankea viestintä voi johtaa turhautumiseen ja haluttomuuteen käyttää kyseistä järjestelmää tai kommunikaation karsiutumiseen

kyllä/ei-tasolle. Hansen ja Itoh [2004] ehdottavat riittäväksi kirjoitusnopeudeksi 25-30 sanaa minuutissa. Luku perustuu Pierpontin [1997] näkemykseen, jonka mukaan tämä nopeus riittää sujuvaan henkilökohtaiseen keskusteluun, kun viestintävälineenä käytetään lennätintä. Voitaisiin sanoa, että 25 sanaa minuutissa olisi tavoiteltava nopeus, kun pyrkimyksenä olisi sujuva kommunikaatio toisen ihmisen kanssa.

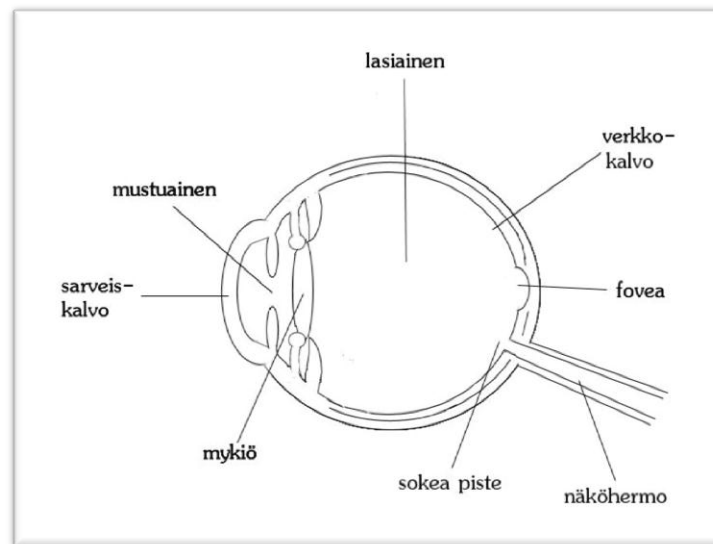
Tämän tutkielman tarkoitus ei ole kuitenkaan käsitellä kommunikaatiota yksityiskohtaisesti, sillä jopa pelkästään sanallisen kommunikaation pohtiminen syvällisesti olisi liian laaja aihe tähän tutkielmaan. Tarkoitukseni on keskittyä tietyn modaliteetin, tässä tapauksen katseen, mahdollisuuksiin syöttömenetelmänä sanallisessa tai tarkemmin sanottuna kirjallisessa kommunikaatiossa sekä kirjalliseen kommunikaatioon vaikuttaviin seikkoihin, kun käytössä on näppäilykirjoitusmenetelmä, jonka viiveaikaa käyttäjä pystyy itse käytön aikana muokkaamaan. Suoritettussa tutkimuksessa oli 11 osallistujaa, joista kukin kirjoitti viiveajallisella QWERTY-katsenäppäimistöllä yhteensä kaksi ja puoli tuntia. Vertailen myös QWERTY-katsenäppäimistöllä saatuja tuloksia Outi Tuiskun [2008] tekemään tutkimukseen, jossa tutkittiin samankaltaisin koejärjestelyin Dasherillä saavutettavaa kirjoitusnopeutta. Tuiskun tutkimuksessa oli 12 osallistujaa ja se kesti 10 tutkimuskertaa, jotka sisälsivät yhtä paljon aktiivista kirjoitusaikaa katseella ohjattavalla Dasherillä kuin QWERTY-tutkimus.

Tämän tutkielman toisessa luvussa esittelen katseen ja katseenseurannan toiminnan teoreettisia perusteita sekä katseella tehtävän valinnan ja siihen tarvittavan viiveajan erityispiirteitä. Kolmannessa luvussa esittelen erilaisia katseella kirjoittamisen menetelmiä. Neljännessä luvussa esittelen tutkimuksen ja sen tuloksista kerron luvussa 5. Kuudennessa luvussa pohditaan tuloksia ja esitellään niistä tehdyt päätelmät ja lopuksi yhteenveto on luvussa seitsemän.

2. Katse ja katseenseuranta

2.1 Silmän rakenne ja toiminta

Näköaisti on elektromagneettinen aisti, sillä silmän reseptoreihin vaikuttaa säteily. Sähkömagneettisen säteilyn ainoa aallonpituusalue, jonka ihminen pystyy havaitsemaan omilla aisteillaan, on valo. Silmä on siis mekanismi, joka vastaanottaa sekä käsittelee esineistä ja asioista heijastuvan valon. Kuvassa 2.1 on kuvattu silmän rakenne peruspiirteissään. Mustuainen eli pupillin koko säätelee silmään tulevan valon määrää. Suurentunut mustuainen päästää enemmän valoa, kun taas pienentynyt mustuainen päästää vähemmän valoa silmään. Hämärässä valaistuksessa sekä akuutissa tunnereaktiossa (esimerkiksi pelästymisen, suuttuminen) mustuainen laajenee ja kirkkaassa valaistuksessa se supistuu [Hiltunen et al., 2006]. Sarveiskalvo ja mykiö keskittävät valon tarkaksi kuvaksi silmän verkkokalvolle silmän takaosaan. Reseptorit muuntavat kuvan elektronisiksi signaaleiksi, jotka näköhermo siirtää aivoihin [Dix et al., 2004].

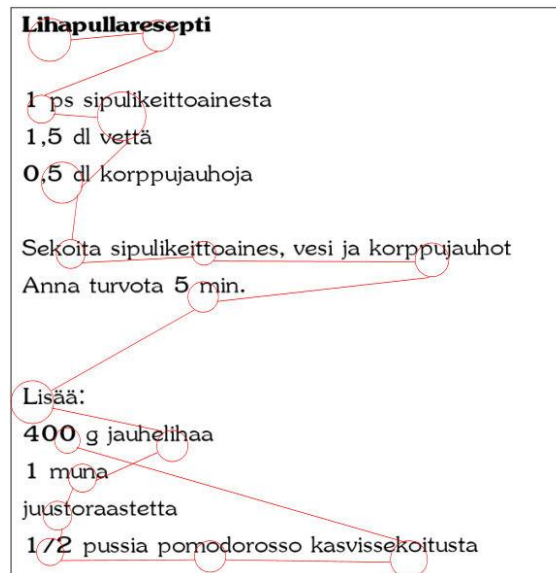


Kuva 2.1. Silmän rakenne

Silmässä on kahdenlaisia näköreseptorisoluja: tappi- ja sauva-soluja. Tappi-solut sijaitsevat tarkan näkemisen alueella foveassa eli verkkokalvon keskikuopassa ja ovat vastuussa nopeasta kuvion hahmottamisesta. Sauvasolut sijaitsevat laajemmin verkkokalvon alueella ja niiden sijoittuminen aiheuttaa sen, että näköalueen reuna-

alueilla emme välttämättä huomaa muutosta kuviossa, mutta havaitsemme liikkeen. [Dix et al., 2004]

Esimerkiksi lukiessa silmät liikkuvat ja katse siirtyy kohteesta toiseen. Silmien nykivää liikettä kohteesta toiseen kutsutaan sakkaadeiksi. Silmien kohdistumista tiettyyn kohteeseen kutsutaan taas fiksaatioksi. Sakkaadien aikana lukijalle ei muodostu havaintoja. Havainnot muodostuvat ainoastaan fiksaatioiden aikana, jolloin fiksaatiopisteestä muodostuu kuva kummankin silmän foveaan [Hiltunen et al., 2006]. Kuvassa 2 on kuvitteellinen katsepolku lukijan katsoessa lihapullareseptiä. Ympyrät kuvaavat fiksaatioita ja ympyrän koko viittaa fiksaatioaikaan. Viivat taas kuvaavat sakkaadeja. Fiksaation jälkeen seuraa sakkaadi, jonka aikana katse siirtyy seuraavaan fiksaatioon.



Kuva 2.2. Kuvitteelliset fiksaatiot ja sakkaadit lihapullareseptiä luettaessa.

Sakkaadista liiketyyppiä esiintyy, kun ihminen ja hänen päänsä sekä katseen kohde pysyvät paikallaan. Näin tapahtuu esimerkiksi luettaessa. Sakkaadit ovat hyvin nopeita. Sakkaadien yleinen kesto on noin 30-70 millisekuntia ja alkanutta sakkadia ei voi keskeyttää, samoin kuin sen kohdetta ei voi vaihtaa kesken sakkadia. Lukijan katsomisajasta 94 % menee fiksaatioihin. Sanoja ei lueta kirjain kerrallaan, vaan sanat tunnustetaan niiden muodon avulla. Tätä väitettä tukee mm. se, että tutkimuksissa on havaittu, että ihminen pystyy tunnustamaan sanoja yhtä nopeasti kuin yksittäisiä kirjaimia. [Hiltunen et al., 2006; Dix et al., 2004; Spakov, 2008]

2.2 Katseenseuranta

Katseenseurannan tarkoitus ei ole mitata silmien sijaintia tai suhteellista liikettä verrattuna päähän, vaan tarkoituksena on mitata katseen linja eli tarkka silmien havainnoiman kohteen sijainti tilassa. Katseella on hyvät ja huonot puolensa syöttömodaliteettina. Ensiksikin katse on erittäin luonnollinen tapa osoittaa kohdetta. Katse kohdistuu siihen mikä kiinnostaa meitä. Ihmisen silmän fysiologia asettaa kuitenkin rajan tarkkuudelle. Fovea eli tarkan näkemisen alue on kooltaan 1 mm eli täyteen tarkkuuteen ei voida koskaan päästä. Katseenseurantalaitteiden tarkkuus on parhaimmillaankin 0,5-1 astetta. Katse voi olla hyvinkin nopea verrattuna muihin osoitintapoihin. Kun löydämme etsimämme, katse on jo kyseisessä kohteessa, näin ollen kohdistinta ei tarvitse enää siirtää mihinkään. Luonnolliset katseen liikkeet väsyttävät hyvin vähän. Katseemme hankkii meille informaatiota ympäröivästä maailmasta väsymättä melkein koko päivän. Vaikkakin katse on tehokas informaation hankintaväline niin ominaispiirteet, jotka ovat hyödyllisiä tiedonhaussa, eivät kuitenkaan välttämättä ole edukseen ”osoita ja valitse” -tyyppisissä tehtävissä. Kaksijakoinen tehtävä toimia sekä informaatiohankintavälineenä että syöttölaitteena ei ole ristiriidatonta. Katse liikkuu nopeasti, mutta usein myös tiedostamatta kohteesta toiseen. Valinta katseen avulla on kuitenkin jokseenkin luonnoton tapa, joka ei aivan sovi katseen luonnolliseen ominaisuuteen olla liikkeessä. Erityisesti viiveikaan perustuvat syöttömenetelmät vaativat katseen pysymistä samassa kohteessa muutamasta sadasta millisekunnista sekunteihin. Tämä rasittaa silmiä erityisesti toistoa vaativissa tehtävissä kuten tekstinsyöttötehtävissä. Katseenseuranta ei kuitenkaan rasita muuten fyysisesti. Kehittyneet katseenseurantalaitteet eivät vaadi käyttäjän pitävän mitään päällään. Katseen hallinta on mahdollista myös tiloissa, joissa muiden lihasten hallinta on ratkaisevasti heikentynyt tai mahdotonta. Katseenseurantalaitteistoa käyttääkin usein vakavasti loukkaantunut tai syntymästään asti halvaantunut henkilö. Katsetta voidaan käyttää tapauksissa, joissa ei ole muita mahdollisia keinoja olla vuorovaikutuksessa tietokoneen kanssa. [Bates and Istance, 2000; Bates, 2002]

2.3 Valinta katseella ja viiveaika

Katseella on ristiriitainen tehtävä katsekäyttöliittymissä; katseen tehtävä on hankkia tietoa, mutta myös toimia syöttölaitteena, jolla aktivoidaan toimintoja. Jos ei pystytä erottamaan koska käyttäjän katse kerää tietoa ja koska valitsee kohteita, syntyy Midaksen kosketus -ongelma, jossa toimintoja valitaan tahattomasti. Midas oli kreikkalaisen mytologian mukaan kuningas, joka epäonnekkaan toiveen ansiosta sai kultaisen kosketuksen, kaikki mitä Midas koski muuttui kullaksi. Katsevuorovaikutuksessa Midaksen kosketus tarkoittaa sitä, että katse valitsee sen mihin se osuu. Millä erotetaan haluaako käyttäjä vain tarkastella ja hankkia informaatiota, esimerkiksi löytää kirjoituskäyttöliittymissä oikean kirjaimen, vai haluaako käyttäjä tehdä valinnan? Midaksen ongelman ratkaisuksi on esitetty viiveaikaa (dwell time). Viiveaika on ennalta määrätty aika, jonka kuluttua valinta vahvistuu, kun käyttäjän katse on suunnattu kohteeseen. [Jacob, 1991; Majaranta and Rähä, 2002]

Tekstinsyötössä pelkkää katsetta käyttävät näppäilymenetelmät eivät voi välttää Midaksen kosketusta ilman tarpeeksi pitkää viiveaikaa. Käytettyjen viiveaikojen pituus vaihtelee käyttöliittymistä riippuen niinkin lyhyestä kuin 100 millisekunnin viiveajasta 3000 millisekuntiin. Tekstinsyötössä yleisimmät viiveajat näppäilymenetelmällä toimivissa katsenäppäimistöissä vaihtelevat 400 ja 1000 millisekunnin välillä [Špakov and Miniotas, 2004].

Viiveaikavalinta voidaan jakaa Hansenin ja muiden [2003] mukaan kolmeen eri metodiin:

1.) **Jatkuva viiveaikavalinta:** Toiminto suoritetaan, kun painike on ollut aktivoituna eli käyttäjän katse kohdistuu siihen yhtäjaksoisesti ennalta säädetyn viiveajan. Jos käyttäjän katse siirtyy pois kohteesta ennen viiveajan kulumista, viiveajastin nollaantuu eli jos katse siirtyisi heti takaisin samaan tai uuteen kohteeseen, viiveajan kuluminen alkaisi alusta. Tämä on yleisin tapa toteuttaa valinta viiveaikavalinnalla ja tämä tapa on käytössä tässä tutkimuksessa.

2.) **Kertyvä viiveaikavalinta:** Toiminto suoritetaan kun painike on ollut aktivoituna tietyn ennalta säädetyn viiveajan. Käyttäjän katse voi siirtyä pois kohteesta ennalta määräämättömän monta kertaa. Viiveikalaskimen nollaaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi niin, että käyttäjä katsoo käyttöliittymän ulkopuolelle tai tiettyyn alueeseen käyttöliittymän sisällä.

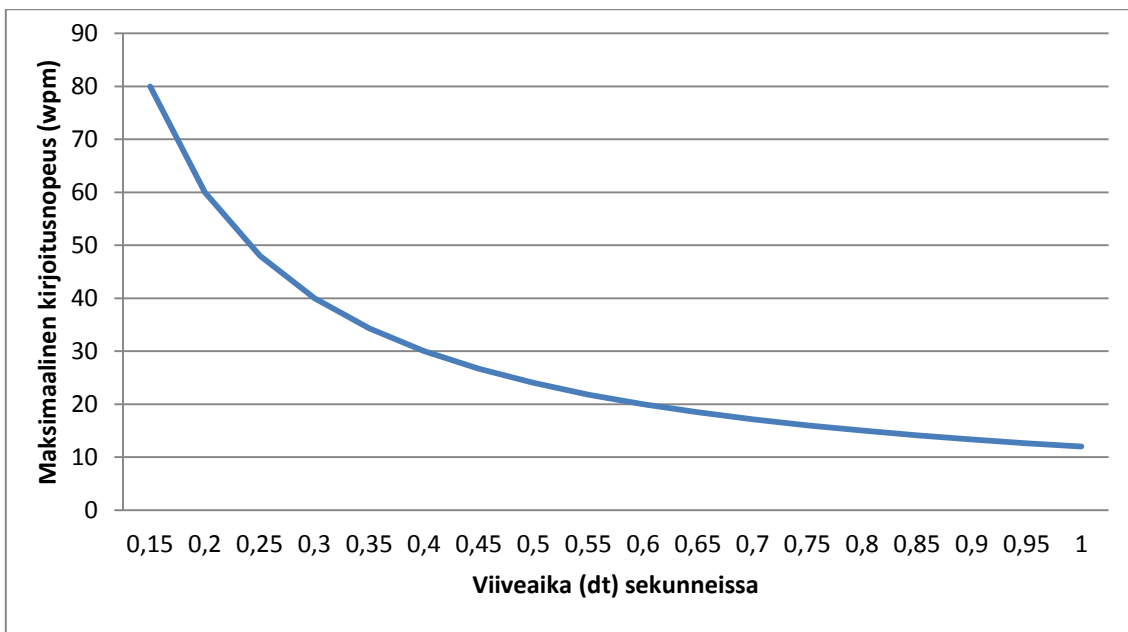
3.) **Mukautuva viiveaikavalinta:** Tässä tekniikassa voidaan käyttää joko jatkuvaa tai kertyvää viiveaikavalintaa. Viiveaika riippuu käyttäjän käyttäytymiskaavoista. Käyttäytymiskaavoja voi olla esimerkiksi käytön tiheys, virheellisten valintojen lukumäärä ja/tai esimerkiksi painikkeelta poistumisajan (exit time) muutos.

Špakov ja Miniotas [2004] ovat kehittäneet algoritmia, joka muokkasi viiveaikaa perustuen käyttäjän poistumisaikoihin tekstiä kirjoitettaessa. Poistumisajaksi laskettiin aika, joka kului hetkestä jolloin painike tuli valituksi hetkeen, jolloin käyttäjän katse poistui painikkeelta. Tutkimuksessaan he huomasivat, että noviisien poistumisajat olivat hitaampia kuin kokeneiden käyttäjien. Tämä tukisi ajatusta, että noviisit tarvitsevat pidemmän viiveajan välttääkseen tuplapainalluksia. Algoritmin testausta edeltävien testien perusteella osallistujat (N=9) ilmoittivat, että 500 ± 100 millisekunnin viiveaika oli sopivin kirjoitustehtävään. Viiveikaa muokkaavan algoritmin testissä saatiin samankaltaisia tuloksia sopivasta viiveajasta kirjoittamiseen. Osallistujien viiveaikojen keskiarvot olivat algoritmin käyttävissä testeissä 450 millisekunnista 600 millisekuntiin, kun kaikkien osallistujien keskiarvo oli 533 ms.

Viiveajan pituuden määrittämisessä on kaksi sudenkuoppaa ja siten yksi iso haaste: oikean pituisen viiveajan löytäminen. Liian lyhyt tai puuttuva viiveaika johtaa Midaksen kosketus -ongelmaan, joka aiheuttaa virhevalintoja. Jos taas viiveaika on liian pitkä, se rasittaa käyttäjän silmiä [Majaranta et al., 2006], hidastaa kirjoittamista ja nämä voivat aiheuttaa turhaumista. Viiveikaan perustuvaa katsenäppäimistöä on arvosteltu hitaaksi. Joissain tapauksissa näkemystä on perusteltu sillä, että kirjoitusnopeuden teoreettisen ylärajan voi laskea [Ward, 2000]. Käytännössä jokaisella kirjoitusjärjestelmän nopeudella on yläraja, vaikka sitä ei pystyttäkään yhtä suorasti laskemaan. Ihmisen havaintokyvyn rajat sekä reaktioajat tulevat ennemmin tai myöhemmin vastaan, vaikkakin tekniikan teoreettista rajaa ei olisi saavutettu. Viiveajan käyttö asettaa automaattisesti ylärajan sille kuinka nopeasti katsenäppäimistöllä voi teoreettisesti kirjoittaa. Mitä lyhyempi viiveaika, sitä nopeammin voi ainakin laskennallisesti kirjoittaa. Viiveajan pituuden suora vaikutus kirjoitusnopeuteen voidaan laskea kaavalla 2.1. Kaavassa WPM on lyhenne sanoista *words per minute* ja tarkoittaa siis sanaa minuutissa. DT on taas lyhenne sanoista *dwell time* eli viiveaika.

$$WPM_{max} = \frac{60}{DT_s} \times \frac{1}{5} \quad 2.1$$

Kun 1000 millisekunnin viiveajalla voi teoriassa maksimissaan kirjoittaa 12 sanaa minuutissa, niin 400 millisekunnin viiveajalla kirjoitusnopeus nousee 30 sanaa minuutissa. Teoreettisen maksiminopeuden laskennassa en ota huomioon muita kirjoitusnopeuteen vaikuttavia tekijöitä. Se ei kerro, kuinka nopeasti katseella voidaan oikeasti kirjoittaa, vaan siitä kuinka pelkkä viiveajan pituus vaikuttaa kirjoitusnopeuteen. Kuvassa 2.3 on kuvaaja joka kuvaa viiveajan vaikutusta maksimaaliseen kirjoitusnopeuteen. Noin puolen sekunnin viiveestä lyhyemmät viiveajat nopeuttavat kirjoitusnopeutta yli 10 % jokaisen 50 millisekunnin vähennyksellä.



Kuva 2.3 Viiveajan pituuden vaikutus maksimaaliseen kirjoitusnopeuteen.

Maksiminopeuden laskeminen ei kuitenkaan ole näin yksioikoista. Viiveaika on vain osa toiminnon valitsemiseen kuluvasta ajasta. Esimerkiksi Ware ja Mikalian [1987] huomasi, että kun käytettiin 400 ms viiveaikaa, keskimääräinen valinta-aika oli 950 ms, joka siis oli yli kaksinkertainen aika verrattuna viive aikaan. Sibertin ja Jacobin [2000] tutkimuksessa, jossa käytettiin 150 millisekunnin viiveaikaa, valinta-aika oli taas 504 millisekuntia. Mistä sitten valinta-aika koostuu? Valinta-ajan viiveajallisessa

käyttöjärjestelmässä muodostaa kolme elementtiä: järjestelmän vasteaika, silmän liikkumiseen kuluva aika sekä tietenkin viiveaika. Kuten Waren ja Mikalianin sekä Sibertin ja Jacobin tutkimuksesta voimme huomata, viiveaika voi muodostaa jopa vain alle puolet valinta-ajasta.

Siirtymisaikaan vaikuttaa isolta osin painikkeelta poistumisaika. Tämä aika on taas riippuvainen osittain käyttäjän yksilöllisistä ominaisuuksista, sekä osittain painikkeen antamasta palautteesta. Ääneen perustuvaan signaaliin ihminen pystyy reagoimaan noin 150 millisekunnissa, kun taas visuaaliseen signaaliin reagointiaika on pidempi, noin 200 millisekuntia. Yhdistetty signaali tuottaa kuitenkin lyhyimmän reaktioajan. Reaktioajat voivat olla lyhyempiä henkilökohtaisten taitojen takia ja myös harjoittelu voi lyhentää reagointiaikoja. Väsymys taas voi pidentää reagointiaikoja. [Dix et. al, 2004]

3. Tekstin syöttö katseella

Tässä luvussa esittelen erilaisia tekstinsyöttömenetelmiä, jotka perustuvat vuorovaikutukseen katseella. Olen jakanut menetelmät kolmeen ryhmään Nikolaus Been ja Elisabeth Andréen [2008] jaottelun mukaisesti. Jako kolmeen on yleinen alan kirjallisuudessa ja vaikka ryhmien nimitykset hieman poikkeavat toisistaan, ovat ne jaottelultaan melko samansisältöisiä. Ensimmäinen ryhmä, jonka esittelen luvussa 3.1, on nimeltään näppäilymenetelmät (typing), luvussa 3.2 kerron katse-eleisiin perustuvista menetelmistä (gesturing) ja luvussa 3.3 ovat vuorossa jatkuvan kirjoituksen menetelmät (continuous writing).

3.1 Näppäilymenetelmät

Näppäilymenetelmiä voidaan joskus kutsua niin sanotuksi perinteisiksi menetelmiksi. Menetelmässä näytöllä esitetään kokonainen näppäimistö tai osa näppäimistöä kerrallaan. Katseenseurannan epätarkkuuden takia näppäimistöt vaativat isoja näppäimiä ja näin ollen ne voivat viedä ison osan näyttötilasta elleivät jopa koko näytön [Majaranta and Räihä, 2007]. Katsenäppäimistöissä osoittimena toimii katse. Valinta perustuu yleisemmin viiveaikaan eli käyttäjä valitsee näppäimen kohdistamalla katseensa siihen tietyksi ennalta määräytyksi ajaksi. Joissain järjestelmissä katse toimii ainoastaan osoittimena ja itse valinta tehdään esimerkiksi painamalla nappia, kuten esimerkiksi MacKenzien ja Zhangin [2008] ennakoivan näppäimistön tutkimuksessa, jossa itse valinta tehtiin normaalin näppäimistön ctrl-näppäimellä.

3.1.1 QWERTY-näppäimistö

Virtuaalinen näppäimistö, jossa kirjaimet on sijoitettu QWERTY-sijoittelun mukaan, on yleisin näppäilymenetelmä katseella [Urbina, 2007]. QWERTY-sijoittelun käyttöä voidaan perustella sen yleisellä tunnettavuudella. Koska se on yleisesti käytetty sijoittelu tietokoneen näppäimistöissä, voidaan ajatella tämän sijoittelun vähentävän katsenäppäimistön käyttöön liittyvää harjoittelu-aikaa. Käyttäjän ei tarvitse opetella kirjainten sijoittelua, jos hän aikaisemmin on käyttänyt tietokoneen näppäimistöä. Onko QWERTY kuitenkin optimaalisin sijoitteluvalinta katsenäppäimistöihin, kun käyttäjäkunta ei välttämättä ole käyttänyt tavallisia näppäimistöjä?

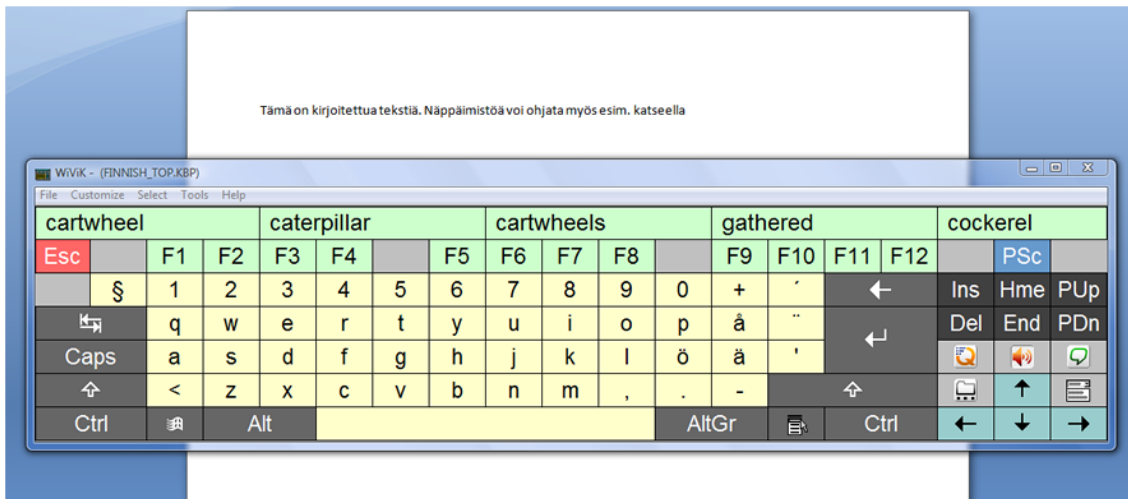
QWERTY-sijoittelu on peräisin ajalta ennen kymmensormijärjestelmää. Konekirjoituksen alkuaikoina konekirjoitus tapahtui enimmäkseen ns. yksisormijärjestelmällä ja kirjainten löytäminen perustui kirjainten katseella löytämiseen eikä niinkään sijoittelun oppimiseen. Ensimmäisen kirjoituskoneen

QWERTY-sijoittelun kaltaisella kirjainjärjestyksellä markkinoille toivat Sholes ja Glidden vuonna 1873. Perustelu Sholesin sijoittelulle oli se, että vaikkakin yksi- tai kaksisormijärjestelmä nykymittapuulla oli hidas tapa kirjoittaa, pystyivät kirjoittajat lyhyen harjoittelujakson jälkeen saavuttamaan sellaisia nopeuksia, joissa kirjoituskoneen kirjasintangot juutuivat yhteen. Sholes järjesti kirjasintangot uudelleen niin, että englannin kielen yleisimmät kirjaimet sijaitsivat mahdollisimman kaukana toisistaan. Samalla hän tarkoittamattaan loi kirjainsijoittelun, jolla oli vaikeampi kirjoittaa nopeasti yleisten kirjainten etäisyyden takia. Muutaman kirjaimen paikka muuttui ennen kuin kirjainsijoittelu tuli tunnetuksi QWERTY:nä, mutta pääasiallisesti kirjainten asettelu on pysynyt samana. QWERTY-sijoittelun voittokulku ei perustunut sen ylivoimaisuuteen kirjoitusnopeudessa. Vuonna 1893 lanseerattiin kirjainsijoittelu, joka oli parempi kuin QWERTY, mutta tuolloin QWERTY-kirjoituskoneilla koulutettiin jo suuria määriä konekirjoittajia, joten se oli ehtinyt kerätä ison joukon käyttäjiä [Yamada, 1980].

QWERTY-näppäimistön etu on sijoittelun tunnettavuus. Tämä lyhentää järjestelmän oppeluaikaa [Ward et al, 2000]. QWERTY on päässyt standardin asemaan, jota siltä on hankalaa ottaa pois. Näin ollen QWERTY on näppäilymenetelmissä luonnollinen valinta virtuaaliselle katsenäppäimistölle, jos käyttäjäkuntana ovat henkilöt, jotka aiemmin ovat käyttäneet näppäimistöä. Toisaalta syntymästään asti vaikeasti vammaiselle, jolla ei ole aikaisempaa kirjoituskokemusta, olisi mahdollista ehkä löytää optimaalisempia kirjainsijoitteluja. Erityisesti katseella kirjoitettaessa kirjainten välimatkan ja sijoittelun voidaan olettaa olevan tärkeitä. Lyhyetkin kymmenien millisekuntien harhapolut hidastavat kommunikaatiota kertautuessaan. Jos jokaisen kirjaimen kohdalla silmät joutuvat etsimään kohdetta ja tekemään muutaman ylimääräisen sakkaadin yhteiskestoltaan noin 150 millisekuntia, niin tämän gradun pituisen tutkielman (noin 127 000 merkkiä) kirjoittaminen katseella veisi noin viisi tuntia kauemmin.

QWERTY-sijoittelu ei ole ainoa kirjainsijoittelu katsenäppäimistöissä. Näppäilymenetelmällä toimivia näppäimistöjä on tehty myös nopeutta ja tehokkuutta ajatellen suunnitellulla Dvorakilla sekä aakkosjärjestykseen perustuvalla ABC-sijoittelulla. Vaikkakin aakkosjärjestys on hyvin tunnettu, se ei tekstinsyötön nopeutta ajatellen ole ehkä paras sijoittelu, kun kyseessä ovat kokeneet kirjoittajat. Urbinan [2007] tutkimuksen mukaan, kun kirjoittamisnopeus noviiseilla kasvoi ABC-

näppäimistöllä verrattuna QWERTY-näppäimistöön, niin kokeneen kirjoittajan kirjoitusnopeus hidastui 14,29 sanasta 12,33 sanaan minuutissa. Kyseessä oli kuitenkin suppea tutkimus ja yksittäisten tulosten perusteella ei voida vetää yleisesti päteviä johtopäätöksiä.



Kuva 3.1. WiVik-näppäimistö, jota voi käyttää useilla eri syöttömenetelmillä esimerkiksi katseella. Kuvassa kirjoitetaan Microsoft Office 2007 word-asiakirjaan tekstiä. WiVik:issä on ennustava ominaisuus.

QWERTY-, ABC- ja Dvorak-sijoitteluilla on kaikilla sama ongelma; kun niitä käytetään katsennäppäimistöissä, ne vaativat hyvin paljon ruututilaa. Kuvassa 3.1 on WiVik-näppäimistö, jota voi ohjata myös katseella. WiVik-näppäimistöissä on myös ennustava ominaisuus. WiVik:in sanaehdotukset ovat näppäimistön yläreunassa. Kuten kuvasta näkyy, kokonainen näppäimistö vie hyvin paljon tilaa ja näin ollen pienellä näytöllä WiVik:in käyttö katseohjauksella vaatii paljon katseenseurantalaitteistolta. Jotta katseenseurannan epätarkkuudesta johtuvat ongelmat saadaan minimoitua, kaikki kirjaimet, numerot, välimerkit ja toimintanäppäimet sisältävä näppäimistö voi viedä koko näytön tilan. Jos kaikki 26 kirjainta, 10 numeroa ja muut näppäimet halutaan esittää samalla näytöllä, niin joudutaan tekemään kompromisseja näppäinten koon kanssa. Usein erikoismerkkejä, numeroita tai muita toimintoja sijoitetaan erillisen näppäimen taakse, josta ne avautuvat ikään kuin erillisenä näppäimistöinä.

Näppäinten asettelu ja viiveajan pituus eivät ole ainoita muuttujia, jotka vaikuttavat kokonaisen aakkoset sisältävän katsennäppäimistön nopeuteen. Päivi Majaranta on

tutkinut kattavasti palautteen vaikutusta. Tutkimuksissa on huomattu, että palautteella on vaikutusta kirjoitusnopeuteen, kun kirjoitetaan QWERTY-katsenäppäimistöllä [Majaranta et al., 2006]. Majarannan ja muiden [2003] tutkimuksessa, jossa viiveaika oli 900 millisekuntia eli suhteellisen pitkä, keskimääräinen kirjoitusnopeus oli 6,97 sanaa minuutissa. Nopein kirjoitusnopeus, keskimäärin 7,55 sanaa minuutissa, saavutettiin, kun palautteena käytettiin visuaalista palautetta yhdistettynä klik-ääniefektiin. Tätä tukee se tosiasia, että ihmisen reaktioaika on lyhyempi, kun palautteena on sekä ääni- että visuaalinen palaute [Dix et al., 2004]. Kun käytetään lyhyttä viiveaikaa, esimerkiksi 400 millisekuntia, yksinkertainen visuaalinen palaute on paras [Majaranta et al., 2004]. Osallistujat eivät pitäneet pelkkää visuaalista palautetta riittävänä, vaan sen lisäksi toivottiin lyhyttä klik-äänipalautetta [Majaranta et al., 2006]. Näiden tulosten pohjalta tässä tutkimuksessa on käytetty palautteena yksinkertaista visuaalista palautetta sekä äänipalautteena klik-ääntä.

David Ward ja dynaamisen kirjoitusmenetelmän Dasherin kehittäjä David MacKay [2002] pitävät niin sanottuja tavallisia kirjoitusmenetelmiä (kuten QWERTY-näppäimistöt) tehottomina, koska niissä ei voida tehokkaasti käyttää ennustavia komponentteja, vaan parhaimmassa tapauksessa voidaan tarjota sanojen täydentämispainikkeita. MacKenzie ja Zhang [2008] kehittivät katseella toimivan QWERTY-näppäimistön, jossa oli kolme ennustavaa elementtiä. Näppäimistö näytti viisi sanaehdotusta painikkeina näppäimistön yläosassa tai korosti kolme todennäköisintä kirjainta sekä käytössä oli myös fiksaatioalgoritmi. Fiksaatioalgoritmi auttoi valitsemaan kirjaimen, vaikka käyttäjä ei katsokaan juuri siihen, mutta sen läheisyyteen. Algoritmi toimi pienellä alueella tulkitun fiksaatiopisteen ulkopuolella. Algoritmi laski, mikä kirjain olisi todennäköisesti seuraava kirjain ja näytti todennäköisimmän valinnan korostettuna. Vaikka fiksaatiota lähinnä oli kirjain d, niin valituksi tuli kirjain e, jos se oli huomattavasti todennäköisempi valinta. Tutkimuksessa kirjoitusnopeudet vaihtelivat välillä 10,8-12,3 sanaa minuutissa. Nämä nopeudet ovat suhteellisen hyviä QWERTY-näppäimistön kirjoitusnopeuksiksi, mutta ovat hitaampia kirjoitusnopeuksia kuin Urbinan [2007] raportoimat QWERTY-näppäimistön nopeudet ilman ennustavaa komponenttia. Ennustavan komponentin sisällyttäminen QWERTY-näppäimistöön ei ainakaan vielä ole onnistunut nopeuttamaan selkeästi kirjoitusnopeuksia. Mielestäni suurin mahdollisuus kirjoitusnopeuden parantamiseen voisi löytyä käyttäjän mukauttamasta viiveajasta. Käyttäjälle sopiva lyhyempi viiveaika voisi mahdollisesti pienentää valinta-aikaa.

3.1.2 GazeTalk

GazeTalk [Hansen et al., 2001] on viiveaikaan perustuva näppäilymenetelmä, joka on sopeutettu käytettäväksi epätarkempien katseenseurantalaitteistojen kanssa, esimerkiksi kuluttajatasoisia webbikameroita hyväksikäyttäviä katseenseurantajärjestelmiä varten. Kameroiden suhteellisen matala resoluutio aiheuttaa sen, että 15 tuuman näytöllä voidaan esittää maksimissaan 12 näppäintä tai painiketta, jotta katseella tapahtuva valinta olisi suhteellisen luotettava. Tämän takia GazeTalk-järjestelmässä näkyy kerrallaan kokonaisen näppäimistön noin 30 näppäimen sijasta vain kymmenen näppäintä. GazeTalk on tällä hetkellä toteutettu englannin, tanskan ja japanin kielelle. Asettelu ja ominaisuudet poikkeavat hieman eri kieliversioiden välillä. [Itoh et al., 2006]

This is the text f_		A to Z	Backspace
[8 most likely words]	A	I	O
Space	R	L	U

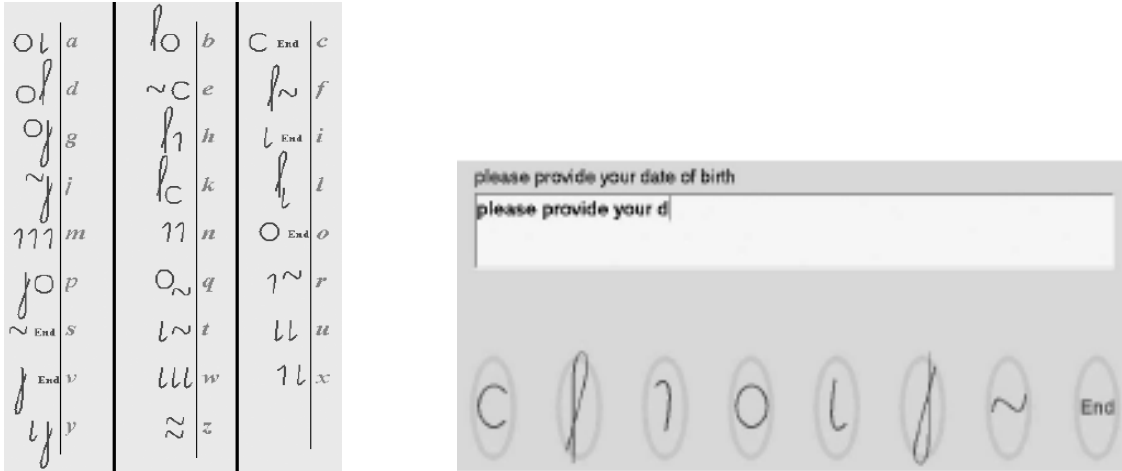
Kuva 3.2. GazeTalkin näppäimistön asettelu. [Hansen and Itoh, 2004]

Kuvassa 3.2 on GazeTalkin näppäimistö. Kirjoitettu teksti ilmestyy vasempaan yläkulmaan, varsinaisille kirjaimille on päänäytössä varattu kuusi paikkaa ja sen lisäksi ovat askelpalautin sekä välilyöntinäppäimet. GazeTalkissa on kaksi ennustavaa elementtiä. GazeTalk ehdottaa kahdeksaa todennäköisintä sanaa ja näistä ehdotuksista voi valita painamalla painiketta, jossa lukee kahdeksan todennäköisintä sanaa. Kuvassa painikkeessa lukee ”8 most likely words”, mutta käytössä painikkeessa lukevat ehdotetut sanat. Kuusi päänäytössä esitettyä kirjainta esitetään todennäköisyyden

perusteella eli GazeTalk näyttää kuusi todennäköisintä kirjainta, ja jos käyttäjä ei löydä haluamaansa näiden kirjainten joukosta, hän saa näkyville loput aakkoset painamalla A to Z -näppäintä (a:sta z:hen). Tällöin kirjaimen valinta vaatii useita painalluksia. Käyttäjän tulee ensin valita kirjainryhmä (esimerkiksi KLMNO), joka sisältää halutun kirjaimen ja sen jälkeen valita haluttu kirjain. Ennustavan algoritmin kielimalli perustuu Hans Christian Andersenin teoksiin. Virheettömällä suorituksella ennustavan algoritmin avulla yhden kirjaimen aikaansaaminen vaatii 0,9 painallusta. 500 millisekunnin viiveajalla kirjoitusnopeuden keskiarvo oli 6,22 sanaa minuutissa virhesuhteen ollessa 4,3 % [Hansen and Itoh, 2004]

3.1.3 Symbol Creator

Virtuaaliset näppäimistöt, jotka sisältävät aakkosten kaikki kirjaimet kuten QWERTY-näppäimistöt, vaativat paljon näyttötilaa, joskus jopa koko näytön, varsinkin jos käytössä on epätarkempi ja huokeampi katseenseurantalaitteisto, koska virheellisen paikannuksen toleranssin on oltava suurempi. Joskus sovellukset vaativat, että näppäimistö vie mahdollisimman vähän näyttötilaa, koska näytöllä täytyy samanaikaisesti näyttää muita komponentteja. Symbol Creator [Miniotas et al., 2003] on luotu tilanteisiin, joissa näyttötilaa pitää säästää tekstinsyöttökomponenttien kohdalla, jotta saataisiin tilaa muille vuorovaikutustoiminnoille tai GUI-elementeille. Symbol Creator on näyttötilaa säästävä viiveaikaan perustuva näppäilymenetelmä. Kuvassa 3.3 oikealla on käyttäjälle näkyvä näppäimistö, joka koostuu seitsemästä kirjainosasta sekä lopetuspainikkeesta. Kirjainten osat perustuvat kaunokirjoituskirjaimiin. Kaunokirjoituksen valintaa merkkien pohjaksi kehittäjät perustelevat sillä, että 95 % halvaantuneista on suorittanut ala-asteen ja näin ollen tutustunut kaunokirjoituksen kirjoitustapaan, vaikkakin kouluissa opetetut kirjoitustyyliä jokseenkin poikkeavat toisistaan. Kuvassa 3.3 vasemmalla on kuvattu Symbol Creatorin aakkoset. Aakkosistossa on kuvattuna jokaisen kirjaimen kirjoittamiseen tarvittavat painikkeet. Yhden kirjaimen kirjoittamiseen vaaditaan 2-3 painallusta. Osat yhdessä muodostavat kirjainta muistuttavat muodon ja näin ollen käyttäjältä ei vaadita erityisten yhdistelmien muistamista. Keskimääräinen kirjoitusnopeus tällä järjestelmällä oli 75 kirjoitettavaa lausetta sisältäneessä tutkimuksessa 8,58 sanaa minuutissa viiveajan ollessa 400 ms. Keskimääräinen virhesuhde oli 3,4 %.



Kuva 3.3. Vasemmalla Symbol Creatorin avulla muodostetut aakkoset ja oikealla Symbol Creatorin näppäimistö. [Miniotas et al., 2003]

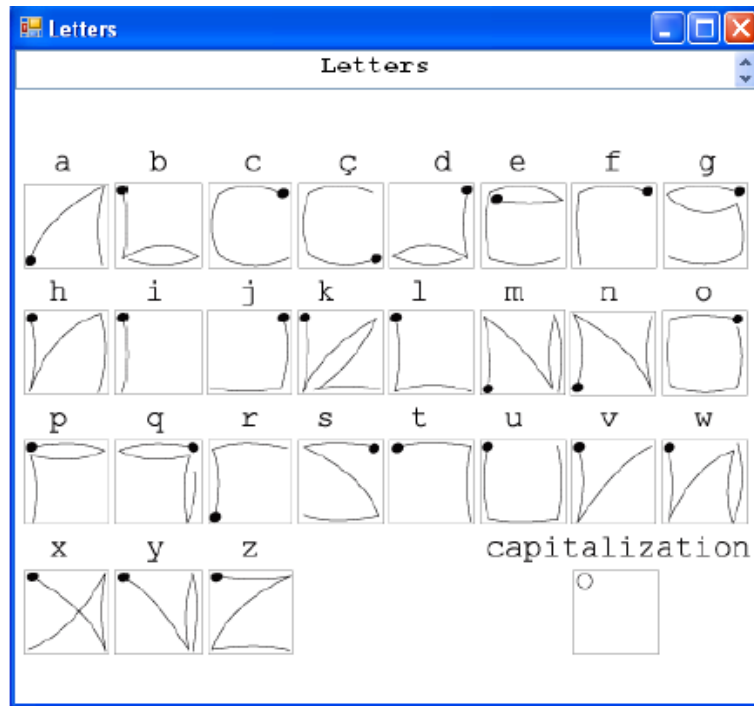
Symbol Creatorilla ei ole mahdollista saavuttaa Dasherin kaltaisia (yli 20 sanaa minuutissa) huippunopeuksia ilman ennustavaa komponenttia, koska yhden merkin hinta on aina vähintään kaksi painallusta. Jokaisen painalluksen vaatima aika on 400 millisekuntia eli kirjaimen muodostamiseksi vaaditaan yhteensä vähintään 800 millisekuntia, jonka lisäksi vaaditaan muu valinnan tekoon kuluva aika kuten oikean painikkeen löytäminen, poistumisaika painikkeelta ja niin edelleen. Teoreettinen maksiminopeus 800 millisekunnin viiveajalla olisi 14,28 sanaa minuutissa.

3.2 Katse-eleisiin perustuvat menetelmät

Elementeet perustuvat nimensä mukaisesti katseella tehtäviin eleisiin. Jokaiselle kirjaimelle on omat eleensä, jotka kirjoitetaan yksitellen. Eleiden välillä on pieni tauko, joka erottaa eleet toisistaan. Elementeet eivät välttämättä ole paras vaihtoehto satunnaiselle käyttäjälle, sillä ne vaativat eleiden opettelua. [Bee and André, 2008]

3.2.1 EyeWrite

EyeWrite [Wobbrock et al., 2008] on viiveajaton katse-elekirjoitusjärjestelmä, joka perustuu PDA-laitteilla, pallohiirellä, joystickilla sekä muilla ohjainlaitteilla toimivaan EdgeWrite-kirjoitusjärjestelmän [Wobbrock et al., 2003] aakkostoon, joka perustuu kirjoitusalueeseen yhdellä vedolla tehtyihin erilaisiin muotoihin. Kuvassa 3.4 on kuvattu EyeWriten aakkosto. Musta pallo merkitsee paikkaa, josta kirjaimen kirjoittaminen tulisi aloittaa. Esimerkiksi kirjoittaakseen u-kirjaimen tulee käyttäjän ensin katsoa neliön muotoisen kirjoitusalueen aloituskulmaan eli tässä tapauksessa vasempaan yläkulmaan, sen jälkeen alas, sitten oikealle, seuraavaksi ylöspäin ja lopuksi päättää kirjain katsomalla kirjoitusalueen keskipisteeseen.



Kuva 3.4. EyeWriten kirjainkartta. [Wobbrock et al., 2008]

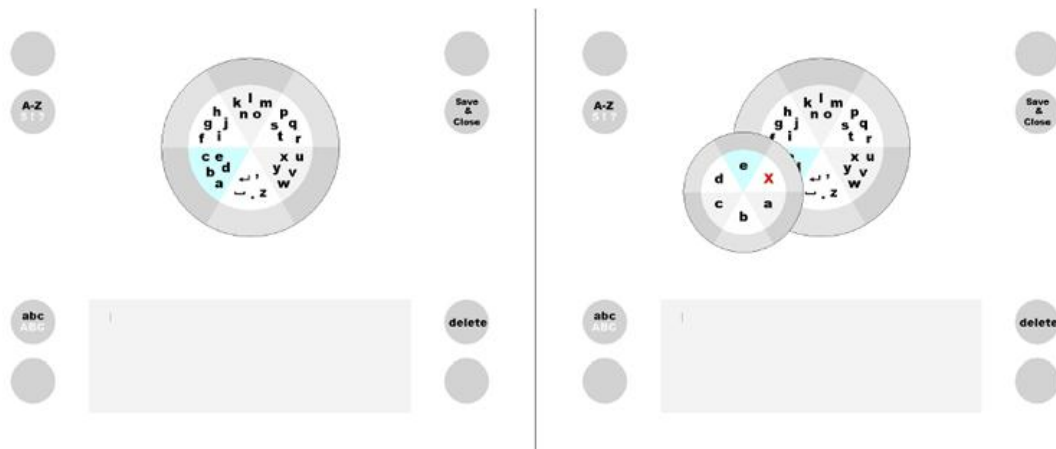
EyeWrite ei vaadi yhtä tarkkaa katseenseurantalaitteistoa kuin esimerkiksi kokonaiset katsenäppäimistöt. Kirjoitusalue myös vaatii vähemmän näyttötilaa sekä Wobbrockin [2008] mukaan vähentää silmien väsymystä verrattuna viiveajallisiin näppäimistöihin. EyeWrite vaatii käyttäjältä jonkin verran ulkoa muistamista, vaikkakin tehtävät eleet jossain määrin muistuttavat kirjoitettavia kirjaimia. EyeWritella on sisäänrakennettu hidaste verrattuna katsenäppäimistöihin, jotka vaativat yhden painalluksen per kirjain. EyeWriten aakkoset muodostuvat useista segmenteistä ja vaativat näin ollen useita silmien liikkeitä, sakkaadeita. Jos ei oteta huomioon ensimmäistä sakkaadia, joka siirtää katseen aloituskulmaan ja viimeistä sakkaadia keskiympyrään, yksi kirjain vaatii keskimäärin 2,52 sakkaadia. Tähän ei siis lasketa mukaan aloitus- ja lopetusliikkeitä. Pitkittäistutkimuksessa, joka sisälsi 14 tutkimuskertaa, joilla kirjoitettiin 8 lausetta EyeWritella, keskimääräinen kirjoitusnopeus oli 4,87 sanaa minuutissa virhesuhteen ollessa 2,21 %.

3.3 Jatkuvan kirjoituksen menetelmät

Jatkuvan kirjoituksen menetelmät ovat viiveajattomia kirjoitusmenetelmiä, joissa kirjainten väliset tauot on pyritty saamaan minimiin. Katseliittymien ulkopuolella parhaiten jatkuvan kirjoituksen menetelmiä kuvaa kaunokirjoitus, jossa kirjaimet jatkuvat yhtenä ketjuna ilman keskeytyksiä. Been ja Andrén [2008] mukaan tämä menetelmä vastaa parhaiten katseen luonnetta.

3.3.2 pEYEdit

Katsekirjoitusohjelma pEYEdit perustuu piirakka- ja merkintävalikoihin ja se on viiveajaton. pEYEditissa kirjaimet on järjestetty ryhmiin. Jos käyttäjä haluaa valita kirjaimen e, hän valitsee ensin piirakkasektorin, jossa on kirjainryhmä joka sisältää e:n, katsomalla sen ulointa reunaa (harmaa alue). Kuvassa 3.7 vasemmalla puolella käyttäjä on valinnut sektorin. Kun käyttäjä on valinnut sektorin, avautuu uusi piirakka, jossa on sektorin kirjaimet omissa osioissaan. Käyttäjä valitsee kirjaimen katsomalla e-sektorin harmaata aluetta tai hän voi peruuttaa valinnan katsomalla punaisen rastin valinta-alueella. Valittu kirjain ilmestyy piirakan alla olevaan vaaleanharmaaseen kirjoitusalueeseen. Valinnan jälkeen kirjainpiirakka sulkeutuu ja järjestelmä palaa alkutilaan. Edistyneemmät käyttäjät voivat tehdä valintoja eleiden avulla, kun kaksi liikettä ikään kuin yhdistyy yhdeksi, eikä heidän tarvitse tehdä valintaa kaksipuolisesti, kun valinta tehdään yhdellä sakkaadilla. Tämä onnistuu, kun kokeneet käyttäjät muistavat jo kirjainten paikat. Katsekirjoitusohjelma antaa valinnoista visuaalista ja audittiivista palautetta. Valittuna oleva piirakka näkyy vaaleansinisenä ja valinnan vahvistumisesta kuuluu klik-ääniefekti. Käyttäjä voi vaihtaa kirjaimet isoiksi tai takaisin pieniksi vasemmassa alakulmassa olevasta pyöreästä painikkeesta. Vasemmassa yläkulmassa on painike, jolla voi vaihtaa numero- ja symbolinäkömään. Vaihtaakseen eri tilaan (esim. isot kirjaimet) käyttäjä katsoo ensin painiketta ja sen jälkeen tyhjää ympyrää, näin painikkeiden valinnassa ei tarvita viiveaikaa. Piirakan avulla voidaan alkunäkymässä esittää kerrallaan 30 merkkiä. [Urbina, 2007]



Kuva 3.7. E-kirjaimen kirjoittaminen pEYEdit:illä. Ensin käyttäjä valitsee oikean ryhmän (vasen kuva) ja seuraavaksi ryhmästä oikean kirjaimen (oikea kuva). [Urbina, 2007]

Noviisit ovat päässeet pEYEditillä kirjoitusnopeuteen 5,58 sanaa minuutissa virhesuhteen ollessa 0,952 % ja ekspertit ovat päässeet nopeuteen 8,63 sanaa minuutissa heidän virhesuhteensa ollessa 1,577 %. [Urbina, 2007]

3.3.3 Dasher

David MacKay loi ensimmäisen hiirellä toimivan Dasher-prototyypin vuonna 1997. David Ward jatkoi Dasherin kehittelyä vuosina 1998-2002 ja käyttöliittymän kehittelyä on jatkettu tähän päivään asti. Dasheria voidaan ohjata nykyään monella tavalla: esimerkiksi katseella, puheella, tai hiirellä [Dasher homepage]. Wardin ja MacKayn mielestä tavallinen näppäimistö on tehoton kahdesta syystä. Ensinnäkin kirjoitettu teksti on hyvin redundanttista. Ymmärtääksemme tekstin ei ole tarpeen lukea jokaista kirjainta, mutta kirjoittaessamme näppäimistöllä pitää kirjoittaa jokainen kirjain. Jokainen kirjain vaatii painalluksen käyttäjältä. Tämän lisäksi näppäimistöjen suurimman nopeuden määrittelevät ihmisen motoriset taidot. Informaatiota voi välittää yhtä nopeasti kuin näppäimiä pystyy painamaan. Jatkuvan kirjoituksen menetelmillä on potentiaalia suurempaan informaationvälitystahtiin. [Ward et al, 2000]

Dasher on malliesimerkki jatkuvan kirjoituksen menetelmästä. Katse ei pysähdy valinnan kohdalle vaan jatkaa kiinnostuksen kohteesta toiseen. Kirjoitettaessa kiinnostuksen kohde on tekstiin tarvittava kirjain. Käyttöliittymän jakaa keskeltä viiva, joka toimii aloituspisteinä. Katsomalla keskikohtaan eli viivaan Dasher on pysähdyksissä. Oikealla olevat kirjaimet pysyvät paikallaan. Katsomalla oikealle viivasta kirjaimet tulevat kursoria kohti. Todennäköisimmät kirjaimet ovat lähempänä

ja suurempana kuin epätodennäköisemmät. Kun kirjain ylittää viivan, se tulee valituksi ja ilmestyy käyttöliittymän yläreunassa olevaan kirjoitusalueeseen. Kun käyttäjä katsoo vasemmalle, mutta pysyy kuitenkin rajaviivan oikealla puolella, kirjaimien liike hidastuu. Kun käyttäjä katsoo viivan vasemmalle puolelle, kirjaimet alkavat liikkua taaksepäin ja näin käyttäjä voi peruuttaa jo valittuja kirjaimia. Kirjaimet poistuvat kirjoitusalueelta kun jo valitut kirjaimet palaavat oikealle puolelle viivaa. Kuvassa 3.9 käyttäjä kirjoittaa lausetta ”Because of the goodness of his heart”. Kuvasta voi huomata kuinka todennäköisin jatko ”of” ja □ (välilyönti) ovat lähimpänä kursoria ja näin ollen nopeasti valittavissa. Kirjaimen alueen koko riippuu sen todennäköisyyden suuruudesta.



Kuva 3.9. Käyttäjä on kirjoittamassa ”Because of the goodness of his heart” Dasherin 4.10-versiolla.

Dasherin nopeus perustuu sen ennustavaan ominaisuuteen. Dasher on juuri niin nopea kuin aineisto, johon se perustaa kirjaimen tai kirjainyhdistelmän todennäköisyyden, on edustava otos käytetystä kielestä. Ilman ennustavaa komponenttia Dasherin keskimääräinen kirjoitusnopeus laskee huomattavasti. Novisiin kirjoitusnopeus Dasherilla ilman ennustavaa komponenttia oli vain 4,45 sanaa minuutissa ja kokeneella käyttäjällä 5,82 sanaa minuutissa [Urbina, 2007].

3.4 Erilaisten menetelmien vertailu

Kaikki menetelmät eivät sovi kaikkiin tilanteisiin ja tarpeisiin. Katsekäyttöliittymien käyttäjillä on yleensä jokin erityinen vamma, joka asettaa vaatimuksensa käyttöliittymälle. Käyttöliittymällä saavutettu kirjoitusnopeus ei ole aina tärkein vaatimus, mutta jos käyttöliittymä muuten sopii, niin nopeudella on iso vaikutus käyttömukavuuteen. Kirjoitusnopeutta ei voi arvioida ilman arviota virheiden määrästä, sillä käyttöliittymä jolla voi nopeasti tuottaa tekstiä, mutta jonka virheiden osuus on suuri, on tosiasiasa korjausten takia luultavasti tehoton.

Edes pelkkien nopeuksien ja virheiden numeeristen arvojen vertailu ei ole ongelmatonta. Jos oletetaan, että kaikissa tutkimuksissa käytettäisiin samoja mittauskäsitteitä: sanaa minuutissa, jossa sana on 5 merkin yksikkö, KSPC eli keystrokes per character (näppäinlyöntiä per tuotettu kirjain), MSD (virhesuhde) ja virheiden lukumäärä, tutkimukset olisivat käsitteellisesti samalla tasolla, mutta tutkimuksessa voi käyttää käytäntöjä, jotka vaikuttavat lukuihin. Näin ollen lukuja ei voi verrata suoraan ilman, että otetaan huomioon tutkimusasetelma. Kuvasta 3.10 voi nähdä, että QWERTY-näppäimistöillä on saatu hyvinkin poikkeavia tuloksia. Viiveajallisessa näppäimistössä iso selittävä seikka voi olla viiveajan pituus, mutta 500 millisekunnin viiveajalla käyttäjät ovat kirjoittaneet 7,8 sanaa minuutissa [Bee and André, 2008] sekä 14,29 sanaa minuutissa [Urbina, 2007]. Been ja André [2008] tutkimuksessa saadusta aineistosta on poistettu analyysistä väärin kirjoitetut lauseet ja näin ollen he eivät raportoi virheiden lukumääriä millään käsitteillä. Tutkimus oli suhteellisen suppea: koehenkilöitä oli kolme kappaletta ja jokainen heistä kirjoitti 30 lausetta. Urbinan [2007] tutkimus oli laajempi: koehenkilöitä oli 16 kappaletta, joista 10 oli noviiseja ja kuusi kokeneita käyttäjiä, joilla oli vähintään 20 harjoituskertaa takanaan kyseisistä järjestelmistä. Osallistujat kirjoittivat kahta saksalaista sanontaa, joissa kirjainten esiintymistiheys vastasi saksan kielen yleistä kirjainten esiintymistiheyttä. Lauseiden lukumäärä oli 30 eli pituudeltaan tutkimukset olivat yhtä pitkiä. Noviisien keskiarvo oli 11,75 sanaa minuutissa ja virhesuhde oli 0,294 %. Kokeneet käyttäjät kirjoittivat 14,29 sanaa minuutissa ilman virheitä, jonka voidaan ainakin osittain olettaa johtuvan kokeneiden käyttäjien kokemuksesta. Kokeneiden käyttäjien määritelmät vaihtelevat ja heidän kokemustaan on hankala mitata, kun taas noviisien vertailu on yksioikoisempaa, koska heillä ei kenelläkään ole kokemusta

käytetyistä kirjoitusjärjestelmistä eli he ovat homogeeninen ryhmä uusien järjestelmien käyttökokemuksen kannalta tarkasteltuna. QWERTY-asettelua käyttävää virtuaalinäppäimistöä ei välttämättä voida kutsua uudeksi järjestelmäksi ja voidaan olettaa, että normaalin näppäimistön käyttökokemus voi vaikuttaa kirjoitusnopeuteen katseellakin kirjoitettaessa. Been ja Andréen [2008] ja Urbinan [2007] tutkimusten noviisiosallistujien tuloksia on hankala verrata keskenään, koska Bee ja André ovat jättäneet virheellisesti kirjoitetut lauseet kokonaan pois analyysistä sekä koska kirjoitettava aineisto poikkeaa tutkimusten kesken. Kun Urbinan tutkimuksessa samaa kahta lausetta kirjoitettiin yhä uudelleen, on mahdollista, että osallistujille muodostui opittuja katseratoja, kun Been ja Andréen tutkimuksessa lauseiden sisältö vaihteli. Kokemusta kertyy osallistujille myös tutkimuksen aikana ja näin ollen tutkimuskertojen pituus ja määrä on myös tärkeä tekijä tutkimusten tulosten vertailussa. Tutkimuskerrat voivat vaihdella yhdestä neljääntoista tai vaikka useampaan. Kertynyttä aktiivista kirjoitusaikaa voi siten olla hyvinkin vaihtelevasti eri tutkimusten välillä, vaikka osallistajat olisivat tutkimuksen alkaessa kaikki noviiseja.

Kirjoitusmenetelmä	Valintatapa	Kirjoitusnopeus (WPM = sanaa minuutissa)	Virhesuhde
QWERTY (kokonäppäimistö)	DT 450 ms	9,89 WPM (9,22, 10,17, 10,27) ¹	1,20 %
	DT 500 ms	14,29 WPM ²	0 %
	DT 500 ms	7,8 WPM ³	-
	DT 900 ms	6,97 WPM (7,00, 7,12, 7,14, 7,55) ¹	0,54 %
	viiveajaton	10.8 WPM - 12.3 WPM ⁴	8,8 % - 14,8 %
ABC (kokonäppäimistö)	DT 500 ms	12,5 WPM ²	0 %
	DT 500 ms	12,33 WPM ²	0 %
GazeTalk	DT 500 ms	6,22 WPM ⁵	4,3 %
Symbol Creator	DT 400 ms	8,58 WPM ⁶	3,4 %
EyeWrite	viiveajaton	4,87 WPM ⁷	2,21 %
Dasher	viiveajaton	4,45 WPM ^{**2}	-
		5,58 WPM ^{**2}	-
		17,26 WPM ⁸	
pEYEdit	viiveajaton	5,58 WPM ²	0,952 %
		8,63 WPM ²	1,577 %

Kuva 3.10. Eri katsekirjoitusmenetelmien vertailua

(*= poikkeava valintamenetelmä, ennustava ominaisuus)(**=ei ennustavaa komponenttia).

Lähteet: 1 [Majoranta et al., 2006], 2 [Urbina, 2007], 3 [Bee and André, 2008], 4 [MacKenzie and Zhang, 2008], 5 [Hansen et al., 2004], 6 [Miniotas et al., 2003], 7 [Wobbrock et al., 2008], 8 [Tuisku et al., 2008]

Eroja tuloksissa voivat selittää myös erilaiset saman käyttöliittymän konfiguraatiot. QWERTY-näppäimistöjen sisältö vaihtelee esimerkiksi kielen mukaan. Suomen kieltä kirjoitettaessa kirjaimia on kolme enemmän ja näppäimistöt voivat myös vaihdella mukana olevien välimerkkien, numeroiden ja erikoismerkkien määrän suhteen. Näppäinten lukumäärä vaikuttaa niiden kokoon, koska käytettävä näyttötila on aina rajallinen ja koska näppäinten koko vaikuttaa kirjoitusnopeuteen [MacKenzie and Zhang, 2008], niin näppäinten lukumäärä on myös merkityksellinen tarkasteltaessa nopeuksien eroja. Monista kirjoitusjärjestelmistä on tarjolla sekä ennustavalla komponentilla varustettu että ilman ennustavaa komponenttia oleva versio. Dasherin nopeus vähenee huomattavasti ilman ennustavaa komponenttia [Urbina 2007], kun taas QWERTY-näppäimistön nopeuteen eivät vaikuta paljon ennustavat komponentit [MacKenzie and Zhang, 2007].

Erilaisten kirjoitusjärjestelmien vertailu ei siis ole yksioikoista vaan tuloksia vertailtaessa tulee ottaa huomioon joskus hyvinkin erilaiset koejärjestelyt. Tässä tutkimuksessa on kysymys 11 noviisin osallistujan ja 10 tutkimuskerran pitkittäistutkimuksesta, jossa käytetään kirjoitusaineistona satunnaisesti valikoituvia lauseita 500 lauseen kokoelmasta. Outi Tuiskun [2008] Dasher-tutkimus vastaa tutkimusasetelmaltaan tätä tutkimusta, joten saatuja tuloksia vertaillaan kyseiseen tutkimukseen. Koetilanteita ei voi saada aivan vastaavaksi osallistujien ja kokeenvetäjien erilaisuuden takia, mutta koeasetelmien samankaltaisuus antaa mielestäni tarpeeksi luotettavan vertailupohjan näiden kahden tutkimuksen välillä.

4. Tutkimus

Esittelen tässä luvussa pitkittäistutkimuksen, joka suoritettiin kesäkuussa 2008 Tampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteiden projektityölaboratoriossa. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka nopeasti noviisit oppivat kirjoittamaan katseella, kun käytössä on katseella ohjattava, näytöllä sijaitseva QWERTY-näppäimistö, jonka viiveaikaa käyttäjä sai itse muokata. Ensimmäiseksi kerron pilottitesteistä. Luvussa 4.2 esittelen tutkimuksen osallistujat ja luvussa 4.3 tutkimusvälineistön. Luvussa 4.4 kerron tarkemmin tutkimuksen kulusta. Testien tuloksia käsittelen ja analysoin tarkemmin luvussa 5.

4.1 Pilottitestit

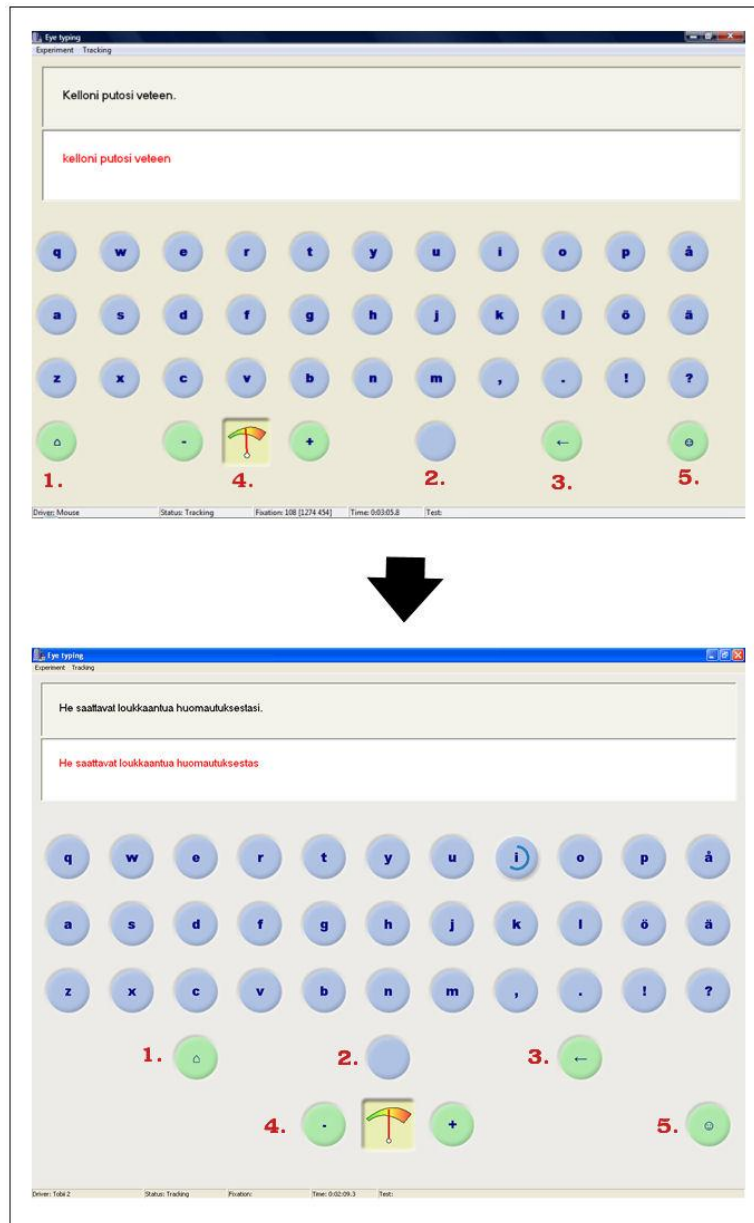
Pilottitestien tärkeimpinä tavoitteina oli selvittää sopiva aloitusvalintanopeus ja mahdolliset ongelmat testin läpikäynnissä sekä käytettävässä katsenäppäimistöohjelmistossa. Pilottitesteissä tarkoituksena ei ollut kerätä tutkimuskelpoista dataa kirjoitusnopeudesta, vaan arvioida aloitusnopeutta, testikäsitteistä, haastattelukysymyksiä ja käytettävää näppäimistöä ja näin antaa arvokasta tietoa ennen varsinaisten testien aloittamista. Pilottitestit toteutettiin, kuin kyseessä olisi ollut varsinainen testi. Ennen testin alkua kaikille osallistujille selvitettiin tutkimuksen tarkoitus ja kulku sekä näppäimistön päätoimintaperiaatteet.

Pilottitesteihin osallistui kolme 21-30 vuotiasta henkilöä, joilla kenelläkään ei ollut aiempaa kokemusta katseella kirjoittamisesta. Kaksi heistä oli aikaisemmin osallistunut testeihin, joissa oli käytetty katseenseurantalaitteistoa. Kahdella osallistujista oli silmälasit.

Pilottitestit järjestettiin toukokuun lopussa Tampereen yliopiston tietojenkäsittelytieteiden laitoksen projektityölaboratoriossa, jossa myös varsinaiset testit järjestettiin. Ensimmäisessä testissä kokeiltiin aloitusnopeutena 1000 millisekuntia ja osallistuja nopeutti sitä useamman kerran testin aikana. Seuraavan testihenkilön kohdalla kokeiltiin 900 millisekunnin aloitusnopeutta ja havaintojen perusteella se todettiin hieman liian nopeaksi tutkimuksen tarkoitukseen. Osallistujalla oli alussa hieman ongelmia kyseisen nopeuden kanssa. Tutkimuksessa aloitusnopeuden tulisi olla sellainen, että se ei olisi kenellekään osallistujista liian nopea. Pilottitestien perusteella varsinaisten testien aloitusnopeudeksi asetettiin 1000 millisekuntia, joka havaittiin nopeudeksi, jolla suurin osa noviiseista todennäköisesti pystyisi kirjoittamaan ilman suurempia ongelmia. Optimaalisinta nopeutta eli nopeutta, jolla osallistuja kirjoitti

nopeimmin, ei pilottitesteissä haettu, vaan nopeuden tuli olla sellainen, että se olisi mieluummin liian hidasta kuin liian nopea. Osallistujat pystyivät kuitenkin nopeuttamaan liian hidasta viiveaikaa helposti viiveajan säätimestä, mutta jos viiveaika olisi niin nopea, että valinnat eivät olleet enää osallistujan hallinnassa, nopeuden muokkaaminen voisi olla vaikeaa.

Toisessa pilottitestissä huomattiin ongelma näppäimistösovelluksessa. Jos osallistuja painoi vahingossa valmis-painiketta ennen kuin hän oli kirjoittanut mitään, ohjelma ei antanut virheilmoitusta, mutta testin päätteeksi huomattiin, että tästä virhepainalluksesta lähtien ohjelma ei ollut tallentanut dataa. Tämä ongelma korjattiin, niin että ohjelma ohitti tällaisen virheellisen rivin ja jatkoi datan tallentamista seuraavasta lauseesta. Näppäinten sijoittelua muokattiin hieman ennen varsinaisten testien alkua toisen pilottitestin jälkeen. Kuvassa 4.1 on vanha ja uusi näppäimistö, jossa tehdyt muutokset on numeroitu yhdestä viiteen. Valmis-painike, joka on merkitty numerolla 5, siirrettiin mahdollisimman kauaksi yleisesti käytetyistä näppäimistä. Viiveajan säätöpainikkeet, jotka on merkitty numerolla 4, siirrettiin pois välilyöntipainikkeen (nro 2) vierestä tahattomien painallusten välttämiseksi. Koeasetelmassa ohjeistimme osallistujia käyttämään viiveajan säätöä ainoastaan lauseiden välissä, joten syrjäisempi paikka säätimelle oli sopiva. Näiden siirtojen jälkeen käytetyimpiä painikkeita kuten vaihtonäppäin (nro 1) ja askelpalautin (nro 3) saatiin keskeisemmälle paikalle.



Kuva 4.1. Näppäimistöön tehdyt muutokset 1-5.

Kolmannessa pilottitestissä uudesta asettelusta saatiin hyvää palautetta ja näppäinten asettelu ei tuottanut kolmannessa pilottitestissä ongelmia, joten uutta asettelua päätettiin käyttää varsinaisissa testeissä.

4.2 Osallistujat

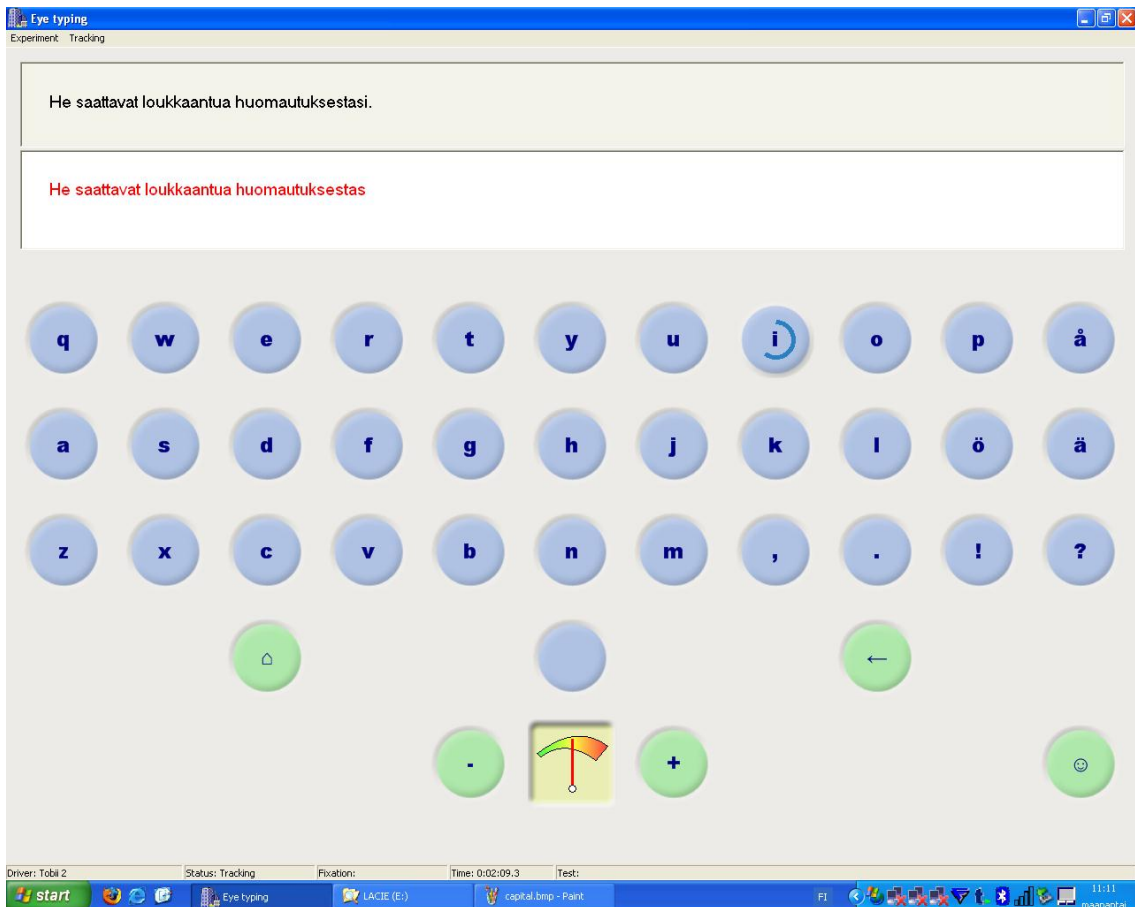
Varsinaiseen tutkimukseen osallistui 11 henkilöä, joista kolme oli miehiä ja kahdeksan oli naisia. Heidät oli rekrytoitu Tampereen yliopiston ainejärjestöjen postituslistojen kautta. Osallistujat olivat iältään 18-30 vuotiaita. Kaikilla oli normaalinäkö, kuudella

osallistujista silmälasilla tai piilolinseillä korjattuna. Kaikki puhuivat äidinkielenään suomea.

Kaikki osallistujat olivat noviiseja katseella kirjoittamisessa ja tämä oli tärkein valintakriteeri osallistujan äidinkielen lisäksi tutkimuksen osallistujia valittaessa. Kaksi osallistujista oli aikaisemmin osallistunut tutkimukseen, jossa oli käytetty katseenseurantalaitteistoa. Kaikki osallistujat käyttivät normaalia QWERTY-näppäimistöä, joko päivittäin useita tunteja tai lähes päivittäin. Osallistujat olivat hyvin perehtyneitä QWERTY-näppäimistön asetteluun, vaikka tämä ei ollut vaatimuksena. Neljä osallistujista käytti kymmensormijärjestelmää kirjoittaessaan normaalilla näppäimistöllä.

4.3 Tutkimusvälineistö ja tekniset asetukset

Tutkimuksessa käytettiin Oleg Špakovin ohjelmoimaa Eyetyping-näppäimistöä Windows XP -käyttöjärjestelmässä. Kuvassa 4.2 on käytetty näppäimistö toiminnassa: esimerkkilause näkyy näppäimistön yläosassa ja käyttäjä katsoo kuvanottohetkellä i-kirjainta. Näyttölaitteena toimi katseenseurantalaite Tobii 1750, jossa on integroitu 17 tuuman TFT-näyttö, jonka resoluutio oli asetettu 1280 x 1024 pikseliin. Painikkeiden koko oli 80 x 80 pikseliä ja kirjainten fonttikoko oli 18 ja tyyppi Arial. Näppäimistössä oli laajennettu muokattu suomalainen näppäimistö, joka sisälsi aakkosten lisäksi yleisimmät välimerkit: pilkun, pisteen, huutomerkin ja kysymysmerkin. Näppäimistö ei sisältänyt numeroja. Kirjainten ja välimerkkien lisäksi näppäimistö sisälsi viiveajansäätimen, vaihtonäppäimen, askelpalautinnäppäimen, välilyönnin ja valmispainikkeen. Osallistujien etäisyys katseenseurantalaiteesta oli testin aikana noin 50–60 senttiä.



Kuva 4.2. Testeissä käytetty Eye typing katsenäppäimistö.

Näppäimistöohjelmisto keräsi datalokeja testin aikana tekstitiedostoon, josta ne voitiin suoraan siirtää Excel-taulukkoon. Ohjelmisto laski automaattisesti lauseiden kirjoitusnopeuden, virheluvut, näppäimistölyöntien määrät ja muut olennaiset tiedot tulevaa analyysiä varten. Lokitiedostoihin tallentui myös yksityiskohtaista tietoa katseen kohdistumisesta, valinnoista ja muista katseen toiminnoista.

Kun testi aloitettiin, näppäimistö esitti kirjoitettavan esimerkkilauseen satunnaisesti 500 lauseen kokoelmasta. Suomenkieliset lauseet perustuivat MacKenzien ja Soukoreffin englanninkieliseen lausekokoelmaan [2003]. He loivat laajan lausekokoelman juuri tekstinsyöttökokeita varten. MacKenzien ja Soukoreffin lauseet vastaavat sanojen ja kirjainten esiintymistiheydeltään luonnollista englannin kieltä. Lauseiden tarkoituksena on olla kohtuullisen lyhyitä, helppoja muistaa ja edustaa kohdekieltä hyvin. Koska tutkimuksessamme käytettiin ainoastaan suomea äidinkielenään puhuvia henkilöitä, oli lausekokoelmankin oltava suomeksi. Isokosken ja Lindenin tekemässä tutkimuksessa [2004] todettiin, että käyttäjät kirjoittavat nopeammin omalla äidinkielellään esitettyjä

lauseita kuin tutulla vieraalla kielellä, tässä tapauksessa englannilla, kirjoitettuja lauseita. Heidän tutkimuksessaan, jossa osallistujat kirjoittivat tavallisella QWERTY-näppäimistöllä heille esitettyjä lauseita, osallistujat kirjoittivat äidinkielellään 16 % nopeammin kuin tutulla vieraalla kielellä. Kirjoitusnopeuden keskiarvon ollessa suomenkielisissä lauseissa 49,7 sanaa minuutissa ja englanninkielisissä lauseissa 41,8 sanaa minuutissa. Vierasta kieltä kirjoitettaessa virheitä syntyi myös enemmän. MSD-virhesuhde, joka kuvaa tekstiin jääneiden virheiden määrää vertaamalla kirjoitettua lausetta annettuun lauseeseen, oli englannin kieltä kirjoitettaessa 0,0044 ja suomen kieltä kirjoitettaessa 0,0025. Tässä tutkimuksessa käytetään Isokosken ja Lindenin lausekokoelmaa, jota he käyttivät kuvatussa tutkimuksessa. Kuvassa 4.3 on yhdeksän esimerkkilauseita 500 lauseen kokoelmasta. Isokosken ja Lindenin käyttämä lausekokoelma on jotakuinkin ainoastaan suomennettu versio MacKenzien ja Soukoreffin kokoelmasta, joillakin muutoksilla. Esimerkiksi lauseisiin on lisätty niihin sopivat välimerkit (kysymysmerkki, piste, pilkku tai huutomerkki) sekä isot kirjaimet. Näiden lauseiden vastaavuutta tyypillisen suomen kielen kanssa ei ole vielä kattavasti testattu eli esimerkiksi kirjainten esiintymistiheyttä verrattu suomen kielen kirjainfrekvensseihin. Suomenkieliset lauseet testikokoelmassa ovat keskimäärin 0,26 kirjainta lyhyempiä kuin englanninkieliset verrattuna MacKenzien ja Soukoreffin kokoelmaan.

turvallista kävellä kaduilla iltaisin
Onneksi lompakkoni löytyi.
Kysymyksille on tunti aikaa.
Luuletko ansaitsevasi palkankorotuksen?
He katsoivat koko elokuvan.
Koulutus johtaa hyvään työpaikkaan.
hyppäsi pois vedestä
Junat ovat aina myöhässä.
Istu bussin etuosassa.

Kuva 4.3. Esimerkkilauseita 500 lauseen kokoelmasta.

Näppäimistö antaa visuaalista palautetta sekä sulkeutuvalla ympyrällä että painautuvapainike-efektillä, kun käyttäjä katsoo painiketta (tai sen lähimaastoon). Käyttäjä saa palautetta ainoastaan, kun hän katsoo painiketta tai sen läheisyyteen. Käyttäjä ei saa minkäänlaista palautetta tyhjän tilan katsomisesta. Kuvassa 4.3 näkyvä sulkeutuva ympyrän alku ilmestyy kun katseenseurantalaitteisto tulkitsee käyttäjän katsovan painiketta. Jos käyttäjä jatkaa kohteen katsomista ympyrä jatkaa sulkeutumista, kunnes viiveaika on täynnä ja painike valitaan. Ääni- ja sulkeutuva ympyrä -palaute voidaan molemmat laittaa pois päältä, mutta ensimmäisen testin alussa molemmat ovat päällä. Kun sulkeutuva ympyrä on poissa päältä, painike näyttää kuitenkin painautuvan pohjaan samalla tavalla kuin ympyrän ollessa päällä.



Kuva 4.3: Sulkeutuva ympyrä -palaute.

Ensimmäisen testin alussa näppäimen viiveaika oli 1000 millisekuntia, mutta osallistuja pystyi itse nopeuttamaan tai hidastamaan viiveaikaa halutessaan valinta-ajan säätimellä, joka on esitetty kuvassa 4.4. Kun viiveaika on kulunut loppuun, painike painautuu alas ja käyttäjä kuulee klik-äänen.



Kuva 4.4: Viiveajan säädin

Kuten kuvasta 4.4 näkyy, viiveaikaa säädettiin kahdella näppäimellä. Miinusmerkillä merkitty näppäin pidentä viiveaikaa eli painike hidasti näppäimen valintaa.

Plussamerkillä merkitty näppäin vähensi viiveaikaa eli nopeutti näppäimien valintaa. Vaikka valinta-ajan arvoja ajatellen näppäimet näyttäisivät olevan väärin päin, osallistujalle, joka ei tiedä valinta-ajan numeerisista arvoista, näppäimet ovat loogisia. Osallistujalle näppäimet olivat vain hidastus- ja nopeutus-näppäin. Keskellä oleva mittari on nopeusmittari, jonka osoitin liikkuu oikealle tai vasemmalle riippuen siitä kasvatetaanko vai pienennetäänkö viiveaikaa. Kuvassa 4.4 viiveaika on säädetty 1000 millisekuntiin.

4.4 Tutkimuksen kulku

Tutkimuskertoja oli jokaisella osallistujalla yhteensä kymmenen. Jokaisen testikerran aikana aktiivista kirjoitusaikaa oli yhteensä 15 minuuttia. Tutkimuskerta kesti suunnilleen puoli tuntia. Ensimmäiseen ja viimeiseen testikertaan oli varattu aikaa tunti, sillä ensimmäinen testikerta sisälsi perehdytystä tutkimukseen sekä sen järjestelyihin. Viimeisen testikerran jälkeen osallistujat haastateltiin ja heille annettiin palkkioksi osallistumisestaan 4 Finnkinon elokuvalippua. Jokaisen testikerran välissä oli vähintään 4 tuntia ja enintään kaksi päivää, osallistuja sai kerran tutkimuksen aikana pitää 3 päivän tauon.

Kun osallistuja saapui ensimmäistä kertaa testiin, hänelle esiteltiin laboratoriotilat ja kerrottiin tutkimuksen tarkoituksesta. Tutkimuksen tarkoituksena oli testata katseella ohjattavaa näppäimistöä. Esittelyiden jälkeen osallistujaa pyydettiin täyttämään taustatietolomake, jossa kysyttiin tutkimuksen kannalta oleellisia taustatietoja. Tämän jälkeen osallistuja täytti esitietolomakkeen, jossa kysyttiin kuinka väsyneiltä hänen silmänsä tuntuivat. Silmien väsymystä mittaava lomake täytettiin jokaisen testikerran alussa. Jokaisen testin jälkeen osallistujalle esitettiin sama kysymys uudelleen toisella lomakkeella, joka sisälsi myös muita kysymyksiä, jotka mittasivat osallistujan henkilökohtaista kokemusta testistä. Esim. ”Saitko säädettyä näppäimen valintanopeuden sopivaksi?” tai ”Kuinka raskasta silmillesi näppäimistön ohjaaminen oli katseella?”. Kysymyslomake kokonaisuudessaan on liitteessä 4.

Seuraavaksi istuuduttiin Tobii 1750 katseenseurantalaitteen ääreen ja esiteltiin sen toimintaa. Osallistujaa pyydettiin olemaan mahdollisimman luonnollisesti paikallaan ja välttämään suuria liikkeitä. Osallistuja kuitenkin pystyi liikkumaan vapaasti eikä hänen liikkumistaan mitenkään estetty. Seuraavaksi katseenseurantalaite kalibroitiin ja sen

jälkeen osallistuja sai kokeilla katseenseurannan toimintaa pelaamalla myTobiin Tic-Tac-Toe-peliä (suomeksi ristinolla) 3 erää. Pelaamalla peliä osallistuja sai harjoitella kursorin liikuttamista. Katseella kirjoittamista ei harjoiteltu ennen varsinaisen testin alkua. Erään osallistujan kohdalla Tic-Tac-Toe ei jostain syystä suostunut toimimaan ja sen sijasta pelattiin kolme erää miinaharavaa. Pelin jälkeen avattiin katsenäppäimistöohjelma ja katseenseurantalaite kalibroitiin uudelleen.

Osallistujalle esiteltiin näppäimistö ja sen toiminnot. Osallistujalle selitettiin testin kulku. Testi alkoi, kun testin vetäjä valitsi aloita testi -toiminnon. Ohjelma näytti kirjoitettavan lauseen, jonka se latsi satunnaisesti 500 testilauseen valikoimasta. Osallistujaa oli pyydetty lukemaan lause tarkkaan, ennen kuin hän aloittaisi sen kirjoittamisen. Kirjoitusaika ei kulunut ennen ensimmäisen kirjaimen valintaa, joten lauseen lukeminen ei kuluttanut kirjoitusaikaa. Koehenkilöllä oli 15 minuuttia aikaa kirjoittaa ja aika alkoi kulua aina, kun koehenkilö valitsi ensimmäisen kirjaimen. Aika pysähtyi, kun hän painoi valmis-painiketta. Valmis-painikkeen painamisen jälkeen ohjelma esitti uuden kirjoitettavan lauseen. Osallistuja pystyi halutessaan pienentämään tai pidentämään viiveaikaa, mutta häntä kehoitettiin muokkaamaan viiveaikaa ainoastaan lauseiden välissä. Osallistujaa ei kuitenkaan mitenkään estetty painamasta valinta-ajan säätöpainikkeita ja valinta-ajan säätäminen oli mahdollista myös lauseiden kirjoittamisen aikana. Ennen seuraavan testin alkua viiveaika säädettiin aina edellisen testin päätösnopeuteen.

Osallistujaa kehoitettiin esittämään mahdolliset kysymykset ja kommentit lauseiden välissä, jolloin kirjoitusaika ei kulunut. Kuitenkin jos katseenseurantalaitteen seurannassa huomattiin ylitsepääsemättömiä ongelmia, niin näistä pyydettiin mainitsemaan myös kesken lauseen, jolloin suoritettiin uudelleenkalibrointi. Jos koehenkilö huomasi virheen kirjoittamassaan lauseessa, hän sai halutessaan korjata sen, mutta osallistujaa kehoitettiin korjaamaan ainoastaan virheet, jos hän huomasi ne samassa sanassa, jota hän oli kirjoittamassa. Jos virhe oli kaukana esim. edellisen sanan alussa kun uusi sana oli melkein kirjoitettu, tuli osallistujan välttää virheen korjaamista. Osallistujaa ei kuitenkaan estetty korjaamasta kaukana sijaitsevia virheitä ja kaksi osallistujaa korjasi hyvinkin kaukana olevia virheitä.

Osallistujaa pyydettiin kirjoittamaan mahdollisimman nopeasti, sillä halusimme selvittää kuinka nopeasti näppäimistöllä voisi kirjoittaa. Jotta osallistujat olisivat

mahdollisimman motivoituneita parantamaan omaa tulostaan, ensimmäisen testikerran jälkeen osallistujalle kerrottiin, että jos hän olisi testiin osallistujista se, joka parantaisi omaa tulostaan eniten, hän saisi 100 euron arvoisen erikoispalkinnon. Erikoispalkinnolla pyrittiin myös pitämään osallistujan motivaatio korkealla testisarjan ajan. Jokaisella testikerralla, kun osallistuja oli kirjoittanut 15 minuutin ajan, hän täytti lomakkeen, jossa kysyttiin henkilökohtaista kokemusta koskevia kysymyksiä, kuten esimerkiksi:

”Kuinka nopeata tekstinsyöttösi oli katsenäppäimistöllä (kokemus omasta nopeudestasi testin aikana)?”.

Vastauskaala oli ykkösestä (esim. erittäin hidasta) seitsemään (esim. erittäin nopeaa). Lomakkeiden tarkoitus oli mitata henkilökohtaisten tuntemusten muutosta pitkittäistutkimuksen aikana. Viimeisellä kerralla osallistujat myös haastateltiin.

5. Tulokset

Tulokset perustuvat 10 koehenkilön aineistoon. Yhden koehenkilön kohdalla katseenseuranta ei onnistunut ja hänen tuloksiaan ei ole huomioitu kokonaistulosten analyysissä. Hänellä oli suuria ongelmia valita tiettyjä näppäimiä (esimerkiksi vaihtonäppäin eli shift). Ongelmiin myötävaikuttivat osittain hänen hyvin vahvat lasinsa. Hänellä oli ongelmia erityisesti tietyissä osissa näppäimistöä, vaikka kalibrointi näyttikin onnistuneen tyydyttävästi. Hänen tietonsa ovat kuitenkin mukana yksittäisten osallistujien tuloksia kuvaavissa kaaviossa merkittynä punaisella katkoviivalla. Analyysistä hylättiin osallistujan kirjoittamat lauseet, joissa ei ollut kirjoitusvirhettä, vaan virhe oli ainoastaan semanttinen ja johtui lauseen väärin muistamisesta. Esimerkiksi tapauksessa, jossa alkuperäinen lause oli ”Squash on mieliurheiluani.”, osallistuja kirjoitti ”Squash on mielilajini.” Tällaisessa tapauksessa ei ollut kyse kirjoitusvirheestä, koska niin sanotussa vapaassa kirjoituksessa, jossa henkilö saa valita itse mitä hän kirjoittaa, kyseisessä lauseessa ei olisi ollut virhettä. Tarkoituksena ei ollut testata osallistujien muistia. Koska lauseiden lukemiseen käytettyä aikaa ei otettu huomioon kirjoitusnopeutta laskettaessa, huolimaton esimerkkilauseiden lukeminen ei parantanut kirjoitusaikaa. Analyysistä hylättiin myös lauseet, joiden kohdalla testi jouduttiin keskeyttämään uudelleenkalibroinnin takia. Jokaisen lauseen kohdalla, jossa käytettiin isoa kirjainta, vähennettiin näppäinlyöntimäärästä yksi, jotta KSPC (näppäinlyöntienmäärä per kirjain) vastaisi todellista määrää. Tämä tehtiin, koska isoa kirjainta ohjelma ei laskenut kuin yhdeksi merkiksi, mutta sen luomiseen kuitenkin kului kaksi painallusta. Jos korjausta ei olisi tehty, olisi isolla alkukirjaimella alkaneissa lauseissa aina isompi KSPC kuin 1, vaikka osallistuja ei tekisikään virheitä.

Pitkittäistutkimuksen koejärjestely vastasi Tuiskun ja muiden [2008] tutkimuksen koeasetelmaa, joten mielestäni tutkimustulokset ovat vertailukelpoisia. Näin ollen vertailen tulosanalyysissä Dasheristä saatuja tuloksia viiveajallisen näppäimistön tuloksiin, kun vertailu on mahdollista. QWERTY- ja Dasher-tutkimuksissa käytettiin osallistujina eri henkilöitä, joten heidän kykynsä ja taitonsa eivät ole identtisiä. Molemmissa tutkimuksissa kuitenkin rekrytoitiin yliopiston postituslistoilta osallistujia, joilla ei ollut aikaisempaa kokemusta kyseisestä katsejärjestelmästä. Testiasetelmat olivat hyvin samanlaiset. Molemmissa oli yhteensä 10 testikertaa ja jokaisella testikerralla osallistujalla oli 15 minuuttia aktiivista kirjoitusaikaa. Käytetty testilausekokoelma oli sama ja katseenseurantalaitteena molemmissa tutkimuksissa käytettiin Tobii 1750-laitetta. Osallistujien subjektiivista kokemusta ei ole niin

suoraviivaista vertailla, koska henkilökohtainen mieltymys on hyvin suhteellinen asia. Vaikka Dasher oli yleisesti ottaen pidetty kirjoitusmenetelmä, ei voida sanoa kuitenkaan sen paremmuudesta tai huonommuudesta paljoa ellei osallistuja ole kokeillut molempia kirjoitusmenetelmiä.

5.1 Tekstinsyöttönopeus

Tekstinsyöttönopeutta kuvataan tässä tutkielmassa “sanaa minuutissa”-yksiköllä. Yksiköstä käytän yleisesti käytettyä lyhennettä WPM, joka tulee englanninkielisistä sanoista *words per minute*. Sana ei tässä tapauksessa tarkoita luonnollisen kielen sanaa, vaan yleiseksi käytännöksi on vakiintunut kutsua sanaksi 5 merkin sarjaa. Tämä on ollut yleinen käytäntö vuodesta 1905 kirjoitusnopeuksia laskettaessa [Yamada, 1980]. Merkeiksi lasketaan kirjainten, numeroiden ja välimerkkien lisäksi tyhjät välit.

WPM laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$WPM = \frac{T}{S} \times 60 \times \frac{1}{5} \quad (5.1)$$

Kaavassa 5.1 kirjain T on lopullisen kirjoitetun tekstin eli merkkijonon pituus, laskien myös välilyönnit. S tarkoittaa aikaa sekunteina, joka kirjoittajalta menee ensimmäisen merkin valinnasta valmis-painikkeen painamiseen. Ajan ottaminen alkaa, kun kirjoittaja valitsee ensimmäisen merkin eli ensimmäisen merkin valintaan käytetty aika jää pois.

Yleensä tämä korjataan käyttämällä kaavaa:

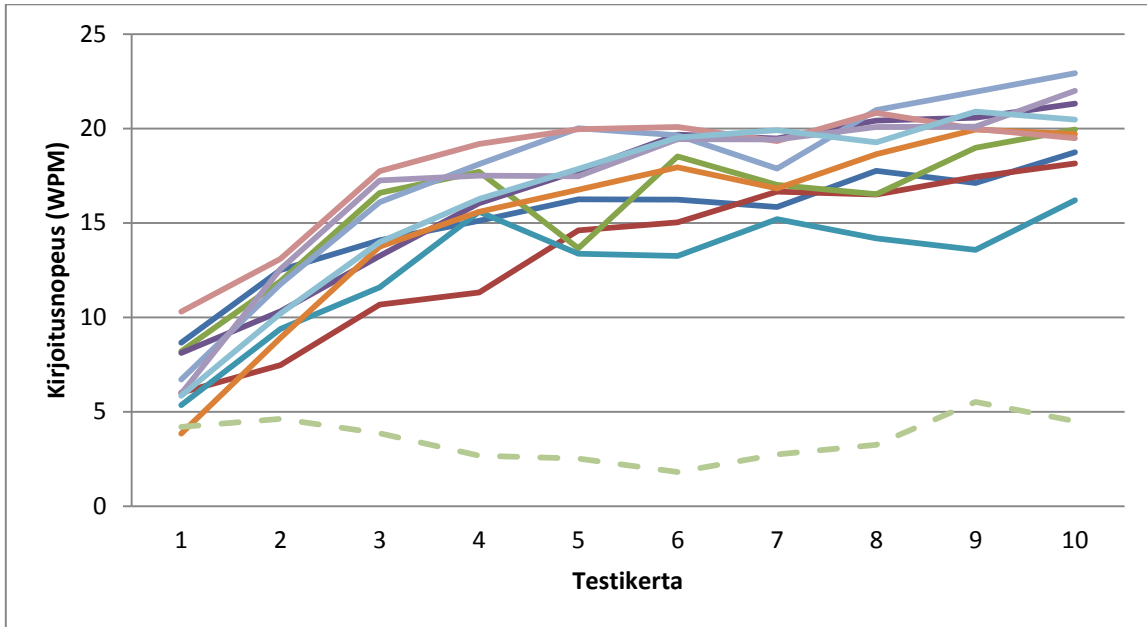
$$WPM = \frac{T-1}{S} \times 60 \times \frac{1}{5} \quad (5.2)$$

Kaavassa 5.2 [Wobbrock, 2007] vähennetään lopullisen merkkijonon pituudesta yksi merkki, jotta ensimmäisen merkin laskematon valitsemisaika ei vääristä tulosta. Valitsemisajalla tarkoitan tässä aikaa, joka kirjoittajalla menee merkin löytämiseen ja sen lopulliseen valitsemiseen. Tässä tapauksessa merkin vähennys ei ole tarpeellista, sillä tutkimuksessamme jokaisen lauseen tai merkkijonon päätteeksi kirjoittaja painaa ylimääräistä näppäintä (valmis-näppäin), jota ei lasketa merkkijonon pituuteen. Ajassa on siis laskettuna yhtä monta merkkien valitsemisaikaa kuin merkkijonossa on merkkejä. Valmis-painikkeen valitsemisaika siis kompensoi ensimmäisen merkin valitsemisajan puuttumisen.

Kaavassa 5.1 tekijä $\frac{T}{S}$ kertoo, kuinka monta merkkiä kirjoittaja on kirjoittanut sekunnissa. Jotta saisimme selville kuinka monta sanaa kirjoittaja kirjoittaisi minuutissa, luku kerrotaan 60:llä (sekuntien määrä minuutissa) ja jaetaan viidellä, jotta saadaan sanojen määrä minuutissa. Joissakin lauseissa kirjoittajan piti kirjoittaa lauseita, joissa oli isoja kirjaimia. Vaihtonäppäimen painallusta ei lasketa automaattisesti merkiksi, joten niissä lauseissa, joissa oli isoja kirjaimia tuli muokata datassa kirjainjonon pituutta lisäämällä pituuteen yhtä monta merkkiä kuin isoja kirjaimia oli tekstissä.

Kuvassa 5.1 on kaikkien osallistujien kirjoitusnopeudet. Kuten kuvasta voi huomata, kaikkien osallistujien paitsi poikkeustapauksen WPM-käyrä on suhteellisen samankaltainen keskihajonnan ollessa ensimmäisen testin kohdalla 1,90 sanaa minuutissa ja viimeisen testin kohdalla 1,95 sanaa minuutissa. Poikkeustapauksen kirjoitusnopeus vaihteli kuudennen testin nopeuden 1,81 sanaa minuutissa ja yhdeksännen testin 5,51 sanaa minuutissa välillä. Kuvassa 5.1 poikkeustapauksen käyrä on merkitty katkoviivalla. Aloitusnopeus tällä käyttäjällä oli 4,20 sanaa minuutissa ja viimeisessä testissä hänen nopeutensa oli 4,50 sanaa minuutissa. Hänelle kertyi vähemmän kirjoitettuja lauseita kuin muille, koska hänen kohdallaan testi jouduttiin usein keskeyttämään uudelleenkalibroinnin vuoksi, joka kuitenkin auttoi hyvin vaihtelevasti ja joskus jopa huononsi tulosta. Muiden osallistujien tulos parani huomattavasti alussa ja käyrän nousu tasaantui noin puolessa välissä testisarjaa. Osallistuja 8 oli nopein kirjoittaja ensimmäisellä tutkimuskerralla kirjoittamalla 10,30 sanaa minuutissa. Hän pysytteli nopeimpana kirjoittajana viidenteen tutkimuskertaan asti, jolloin osallistuja 7 sai hänet kiinni kirjoitusnopeudessa. Osallistuja 8 saavutti kirjoitusnopeuden huippunsa jo puolessa välissä tutkimusta ja parhaan tuloksensa hän sai kahdeksannella tutkimuskerralla: 20,82 sanaa minuutissa. Viimeisellä tutkimuskerralla hänet ohitti kirjoitusnopeudessa 6 osallistujaa. Hän paransi suoritustaan tutkimuksen aikana kaikista vähiten: 9,18 sanaa minuutissa, kun ensimmäisen ja viimeisen tutkimuskerran välinen keskimääräinen parannus oli 12,99 sanaa minuutissa. Osallistuja 7, joka ensimmäisellä tutkimuskerralla piti suhteellisen keskinkertaista kirjoitusnopeutta: 6,71 sanaa minuutissa, jatkoi noususuhdannaan jopa tutkimuksen loppuvaiheessa ja oli viimeisellä tutkimuskerralla ja koko tutkimuksen aikana nopein kirjoittaja nopeudellaan 22,92 sanaa minuutissa. Osallistuja 7 myös paransi eniten tulostaan. Hänen tuloksensa parani 16,21 sanalla minuutissa.

Hitainkin kirjoittaja piti yllä suhteellisen hyvää kirjoitusvauhtia. Osallistuja 5 saavutti kymmenennellä kirjoituskerralla nopeuden 16,19 sanaa minuutissa ja parannusta ensimmäisen ja viimeisen testikerran välillä oli hieman alle keskiarvon: 10,84 sanaa minuutissa.

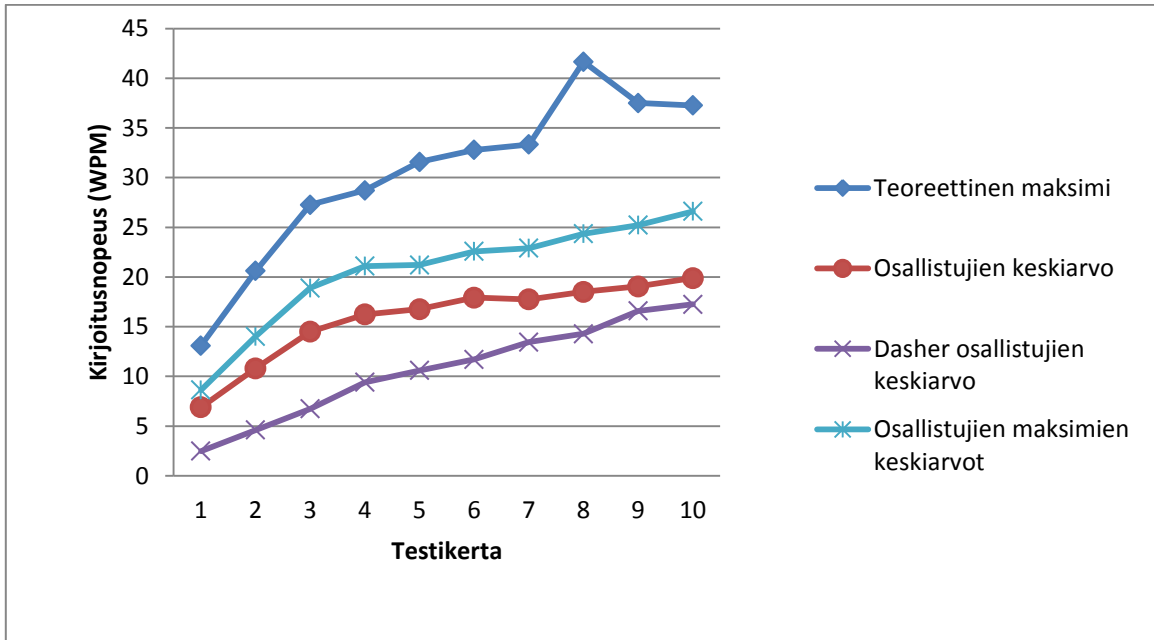


Kuva 5.1. Kaikkien osallistujien kirjoitusnopeudet.

Kuvassa 5.2 olen verrannut tutkimuksemme kymmenen osallistujan WPM -keskiarvoa, osallistujien maksimien keskiarvoon, viiveaikaan perustavaan maksimiin sekä Outi Tuiskun tutkimuksen [Tuisku, 2008] osallistujien keskiarvoon. Kuten tiedämme, viiveaika asettaa ylärajan maksimaaliselle nopeudelle. Selvittääkseni kuinka nopeasti viiveaikaan perustuvalla QWERTY-näppäimistöllä olisi teoriassa mahdollista kirjoittaa käytin kaavaa 5.3. Kaavassa 60 tarkoittaa minuutissa olevia sekunteja ja ne jaetaan lukujen viiveajan keskiarvo sekunteina ($DT\chi_s$) ja sakkadiliikkeen kesto sekunteina (0,04) summalla. Testikerran keskiarvon laskennassa käytettiin osallistujien viiveaikkaa testikerran päättyessä. Sakkadin kesto lisättiin viiveaikaan, koska fiksaatioiden välillä on aina sakkadi. Sakkadin kesto on tyypillisimmillään noin 30-70 millisekuntia. Kun näin on saatu lasketuksi kuinka monta kirjainta on mahdollista kirjoittaa minuutissa, luku jaetaan viidellä, jotta saataisiin selville kuinka monta sanaa voidaan kirjoittaa minuutissa. Tämä kaava ei ota huomioon yksilöstä, näppäimestä ja kirjoitettavasta kirjaimista johtuvia vaihtelevia aikoja, kuten poistumisaikaa (exit time), etsintäaikaa ja siirtymisaikaa.

$$WPM_{max} = \frac{60}{D\bar{T}_{x_s} + 0,04} \times \frac{1}{5} \quad (5.3)$$

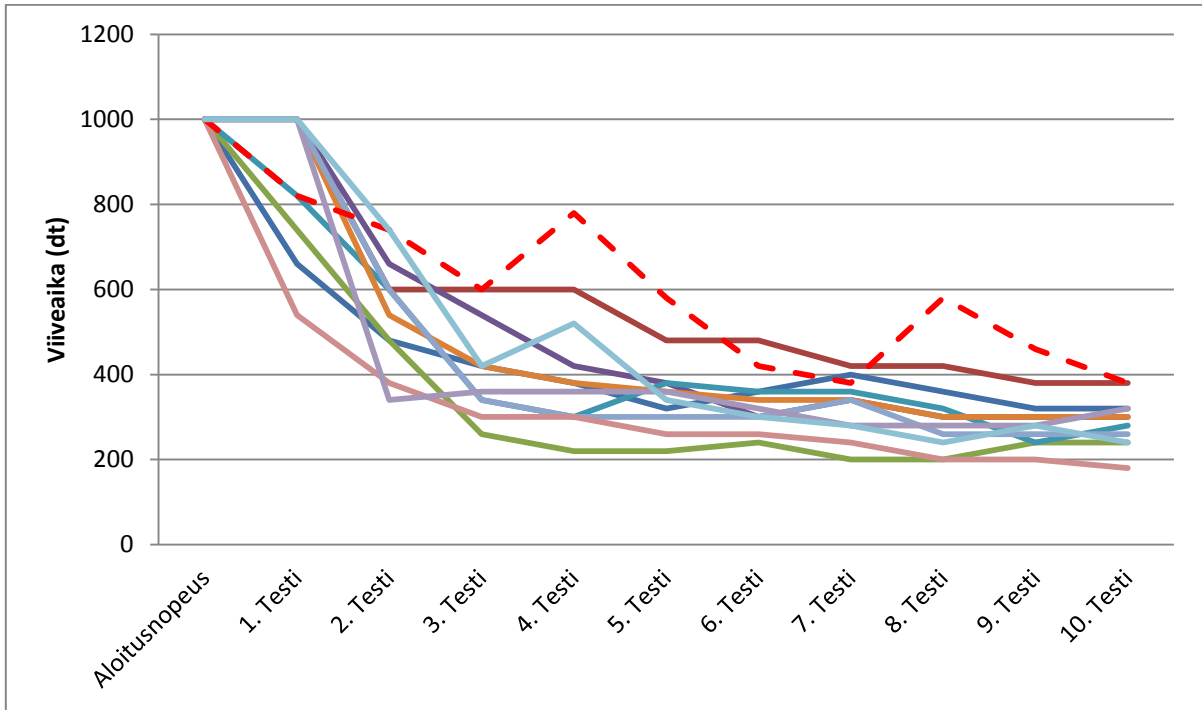
Dasherin kuvaaja ei 10 testikerran vertailussa koskaan leikkaa viiveajallisen QWERTY-näppäimistön WPM-kuvaajaa, mutta Dasherin kuvaaja on selkeästi vielä nouseva, kun taas QWERTY:n kuvaajan nousu on selkeästi laantunut. Kaikkien osallistujien keskiarvo ensimmäisellä testikerralla oli 6,9 sanaa minuutissa keskihajonnan ollessa 1,90 sanaa minuutissa ja kymmenennen tutkimuskerran keskiarvo oli 19,9 sanaa minuutissa keskihajonnan ollessa 1,95 sanaa minuutissa. Nämä luvut olivat korkeampia kuin Dasherilla, jolla osallistujat pääsivät ensimmäisellä testikerralla vain 2,49 WPM kirjoitusnopeuteen ja kymmenennen tutkimuskerran keskiarvo oli 17,26 WPM. Tämä näyttäisi osoittavan, että Dasherilla kirjoittamaan oppiminen ja kehittyminen vievät enemmän aikaa, mutta kehitys jatkuu pidempään. Osallistujien maksimien keskiarvot -kuvaaja kertoo kuinka nopeasti osallistujat voivat hetkellisesti kirjoittaa. Teoreettinen maksimi -kuvaaja osoittaa, että viiveaika ei ole ainoa kirjoitusnopeuteen vaikuttava tekijä, kuten luvussa 2.3 selvitettiin. Viiveajan muokkaamisella voidaan siivota kirjoitusnopeuden parantumista ainoastaan tiettyyn pisteeseen saakka, jolloin muut kirjoitusnopeuteen vaikuttavat tekijät asettavat kirjoitusnopeudelle katon. Luultavammin yleisesti katseella kirjoitettaessa suurimmalle osalle käyttäjistä 200 millisekunnin viiveaika kohtuullisella virheiden määrällä ei ole kovin realistinen tavoite, vaikkakin jotkut osallistujista saavuttivat sen ainakin hetkellisesti. Katon viiveajoille asettavat jo ihmisen reaktioajat, jotka ääni- ja visuaalisiin ärsykkeisiin ovat noin 150-200 millisekuntia [Dix, 2004]. Reaktioaika vaikuttaa painikkeelta poistumisaikaan: jos se on suurempi kuin viiveaika, käyttäjä ei voi välttyä tahattomilta tuplapainalluksilta eli niin sanotulta Midaksen kosketukselta.



Kuva 5.2. Kirjoitusnopeuden keskiarvo, Dasherin kirjoitusnopeuden keskiarvo, osallistujien maksimien keskiarvot sekä teoreettinen maksimi.

5.2 Viiveajan muutokset

Kuvassa 5.3 on kaikkien osallistujien viiveajat. Poikkeustapauksen kuvaaja on merkitty katkoviivalla. Kaikki eivät aloittaneet viiveajan pienentämistä ensimmäisellä kerralla, mutta viimeistään toisella kerralla kaikki olivat vähentäneet viiveaika. Itseasiassa ensimmäisellä kerralla viiveaika lyhensi ainoastaan 4 osallistujaa. Viiveajan vähentämisessä oli kolme strategiaa: uhkarohkea, konservatiivinen ja hyvin konservatiivinen.

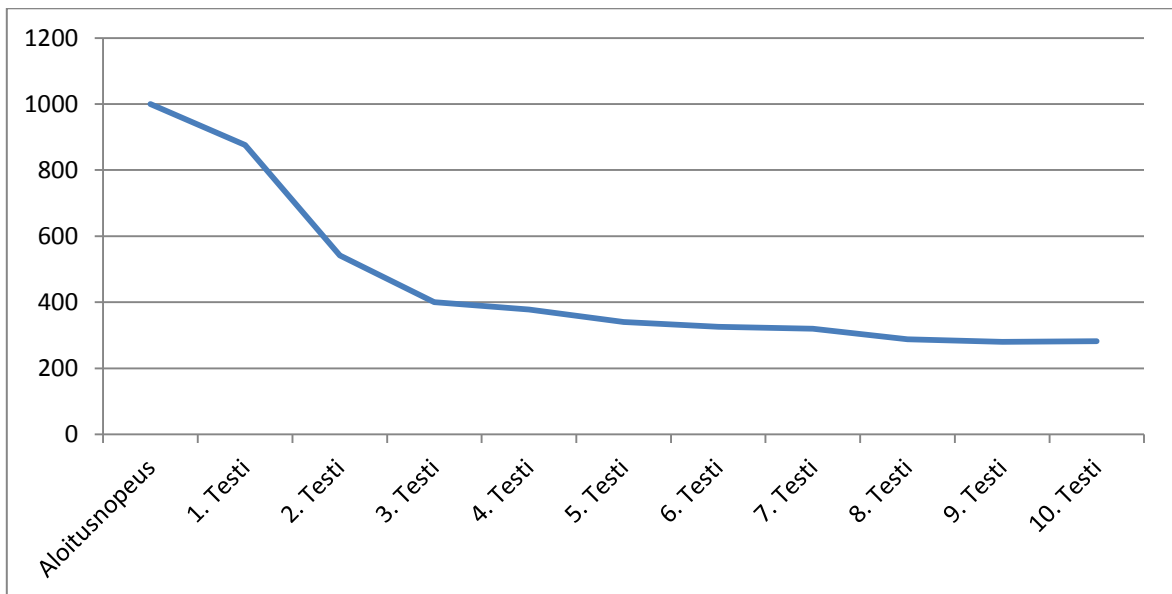


Kuva 5.3. Yksilölliset muutokset viiveajan keskiarvossa.

Osallistujat 3 ja 8 edustivat uhkarohkeata linjaa. Osallistuja 8 lyhensi viiveaikaan ensimmäisellä kerralla yhteensä 6 kertaa ja hänen viiveaikansa laski 1000 millisekunnista 540 millisekuntiin. Vertailun vuoksi lyhennyskertojen keskiarvo oli 1,44 lyhennyskertaa ja mediaani oli 0, joka kertoo viiveajan lyhentämisen olleen harvinaista. Keskimääräinen viiveaika ensimmäisen tutkimuskerran jälkeen oli 876 ms. Osallistuja 3 vähensi ensimmäisellä kerralla viiveaikaan vain 3 kertaa ja hänen viiveaikansa oli ensimmäisen testin jälkeen 740 millisekuntia. Osallistujien viiveajan vähentämisestä ei tee uhkarohkeaa suoraan vähennyskertojen lukumäärä, vaikkakin osallistuja 3:n 25 vähennyskertaa on suurehko verrattuna osallistujien mediaaniin, joka oli 18 kertaa. Uhkarohkeata heidän tyylistään tekee se, että he hyvin harvoin pidensivät viiveaikaan ja silloinkin vasta, kun virhepainalluksia alkoi kasaantua liian lyhyen viiveajan takia. Osallistuja 8 pääsi selkeästi lyhyimpiin viiveaikoihin ja hänen viiveaikansa eivät nousseet testikertojen välillä. Hän saavutti lyhyimmän viiveajan 180 millisekuntia viimeisellä testikerralla. Vertailun vuoksi osallistuja 3 saavutti 200 millisekunnin viiveajan seitsemännellä kerralla ja viimeisen testin lopussa hänen viiveaikansa oli 240 millisekuntia. Lähellä 200 millisekuntia hän kyllä kävi jo neljännellä tutkimuskerralla, kun hän lyhensi viiveajan 220 millisekuntiin. Osallistuja 8 oli ainoa joka alitti 200 millisekunnin viiveajan ja osallistujista 5 pysytteli 300

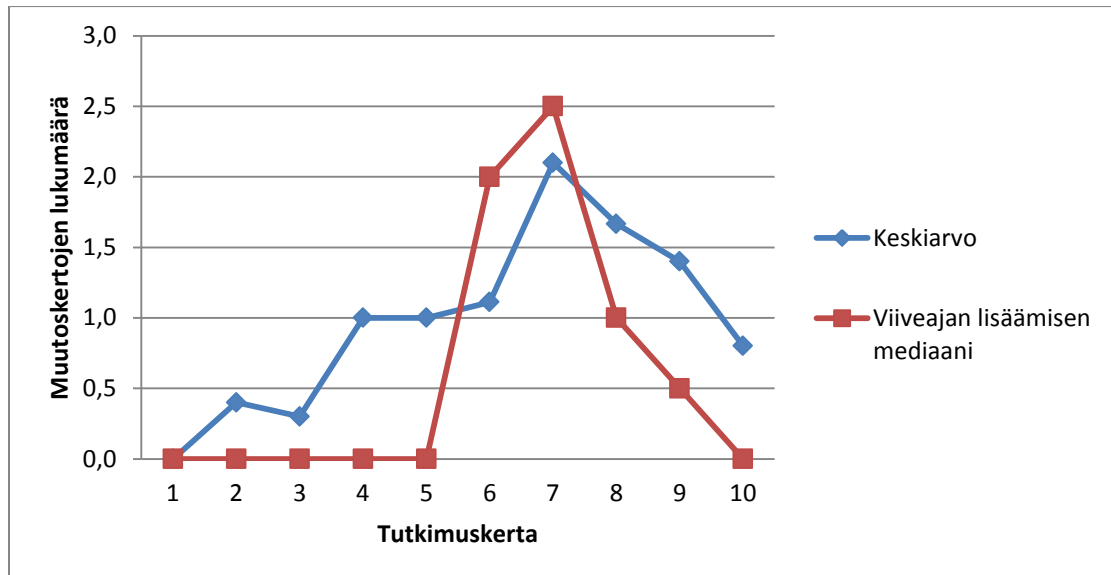
millisekunnin yläpuolella viimeisellä tutkimuskerralla. Suurin osa osallistujista, seitsemän kymmenestä, edusti konservatiivista linjaa. Viiveaikaa lyhennettiin, kun viiveaika tuntui liian pitkältä ja jos virheitä tuli, viiveaikaa pidennettiin suhteellisen helposti. Konservatiiviset luultavasti edustavat parhaiten peruskäyttäjää. He pysyttelivät tutkimuksen puolen välin jälkeen 240-400 millisekunnin viiveajoissa ottamatta suuria riskejä. Hyvin konservatiivista strategiaa noudatti yksi osallistujista. Hän vähensi ensimmäistä kertaa viiveaikaa toisella kerralla 600 millisekuntiin ja hänen viiveikansa pienentäminen oli hyvin varovaista. Seuraavan kerran hänen viiveikansa laski viidennessä testissä 480 millisekuntiin, seitsemännellä kerralla 420 millisekuntiin ja yhdeksännellä kerralla se laski hänen viimeiseen viiveaikaansa, joka oli 380 millisekuntia.

Kuvassa 5.4 on nähtävissä sama ilmiö kuin yksilöllistä viiveaikaa kuvaavassa kuvaajassa. Jyrkin muutos viiveajassa tapahtuu ensimmäisen neljän testikerran aikana ja tutkimuksen puolen välin jälkeen viiveajassa tapahtuu vain hyvin pieniä muutoksia. Ensimmäisen testikerran jälkeen viiveajan keskiarvo oli 876 millisekuntia keskihajonnan ollessa 174,30 millisekuntia, viidennellä testikerralla keskiarvo oli 340 millisekuntia keskihajonnan ollessa 71,80 millisekuntia ja viimeisen testikerran jälkeen keskiarvo oli 282 millisekuntia keskihajonnan ollessa 55,34 millisekuntia. Parempi kuva viiveajan muutoksista saadaan, kun tarkkaillaan viiveajan muutoksia muutostasolla, niin viiveajan hidastuksia kuin nopeutuksia.



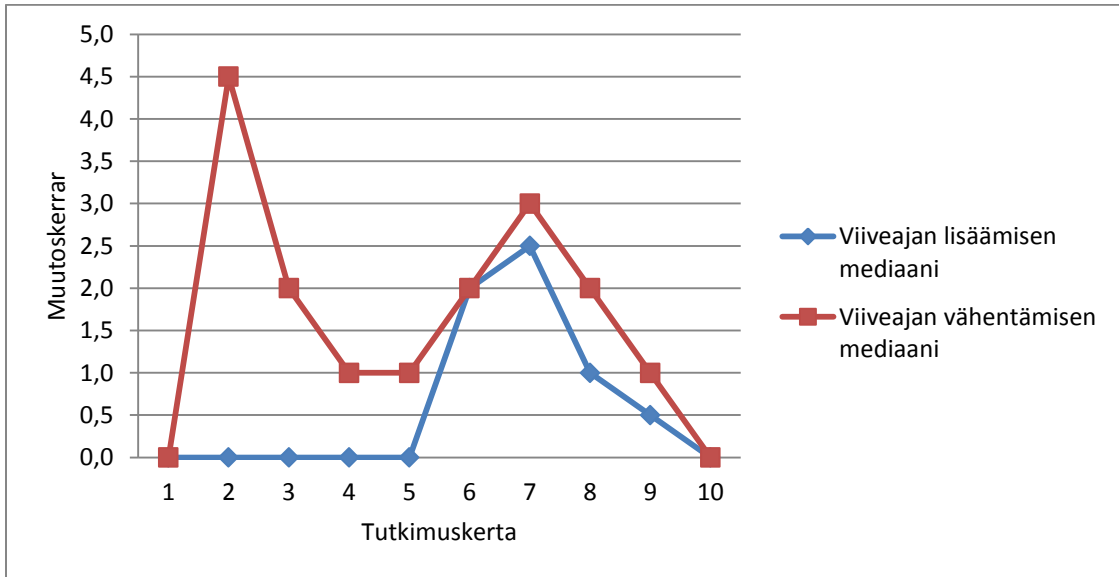
Kuvaaja 5.4: Kaikkien osallistujien viiveajan keskiarvon muutos.

Kuvassa 5.5 on viiveajan pidentämistä kuvaavat mediaani- ja keskiarvokuvaajat. Vertaamalla viiveajan muutoskertoja muutoskertataulukossa liite 6 ja kuvaajia, niin huomataan, että mediaanikuvaaja kuvaa paremmin kokonaistilannetta, sillä vain harva pidensi viiveaikaansa ensimmäisen viiden testikerran aikana, vaikka keskiarvokuvaaja näyttäisi viiveajan pidentämisen olevan yleisempää. Mediaanista näkee kuinka valinta-ajan pidentäminen oli harvinaista ennen puolen välin ylitystä. Puolessa välissä tutkimusta viiveajan lyhentyminen hidastui huomattavasti. Viiveajan lyhentämispainiketta luultavammin käytettiin puolivälin jälkeenkin, mutta kuten kuvasta 5.5 näemme viiveajan pidentämiset yleistyivät puolen välin jälkeen.



Kuva 5.5. Viiveajan pidentäminen: muutoskertojen mediaani ja keskiarvo.

Viimeisen kerran viiveajan pidentämiskertojen vähyys voi johtua siitä, että osallistujat halusivat saada mahdollisimman nopean kirjoitusajan viimeiselle tutkimuskerralle tavoitellakseen yllätyspalkintoa, josta oli vihjattu ensimmäisellä tutkimuskerralla. Liitteessä 6 olevasta taulukosta myös näkee, että viiveajan lyhentyminen väheni viimeisissä testeissä ja viiveajat alkoivat vakiintua.



Kuva 5.6. Viiveajan pidentämistä ja lyhentämistä kuvaavat mediaanikuvaajat.

Kuvaajasta 5.6 näkee, kuinka varovaisia osallistujat olivat viiveajan lyhentämisen kanssa ensimmäisellä testikerralla. Ensimmäisen testikerralla mediaani on nolla, mutta toisella kerralla useimmat alkoivat vähentää viiveajan pituutta. Viiveajan lyhentäminen jatkui laskevana käyränä tutkimuksen puoleen väliin saakka, jolloin sekä viiveajan lyhentämisessä että pidentämisessä tuli selkeä piikki. Viiveajan lyhentämiskertojen piikki näkyy selkeästi kuvassa 5.2 kirjoittamisen teoreettisen maksimin kohdalla. Testikerralla 8 on myös teoreettisen maksimin kuvaaja erottuvasti koholla.

Viiveaika lyheni osallistujilla tutkimuksen puoleen väliin saakka, jonka jälkeen alettiin selkeästi saavuttaa viiveajan minimiä. Viiveajan lyhentäminen ei loppunut, mutta viiveajan pidentäminen alkoi nousta samalle tasolle käyttökerroissa. Tutkimuksen loppupuolella sekä pidentämis- että lyhentämiskerrat kääntyivät laskuun. Tästä voidaan päätellä, että osallistujat alkoivat löytämään kirjoittamiselleen sopivan viiveajan.

5.3 Virheet

Virheitä mitattiin useammalla tavalla: MSD-virhesuhteella (Minimum String Distance), KSPC-suhteella (Keystrokes Per Character) sekä peruutusnäppäimen käyttötiheydellä, jotta lukuja voitaisiin verrata Dasherin kanssa. Koska Dasherissä ei ole näppäimiä, niin näppäinlyöntien suhdetta tuotettuihin merkkeihin eli KSPC:tä ei voida laskea. MSD-virhesuhde kertoo ainoastaan korjaamattomien virheiden määrästä, mutta ei kerro korjatuista virheistä mitään. Kun lasketaan, kuinka monta kertaa käytettiin peruutustoimintoa Dasherissa verrattuna tuotettuihin merkkeihin ja kuinka monta kertaa

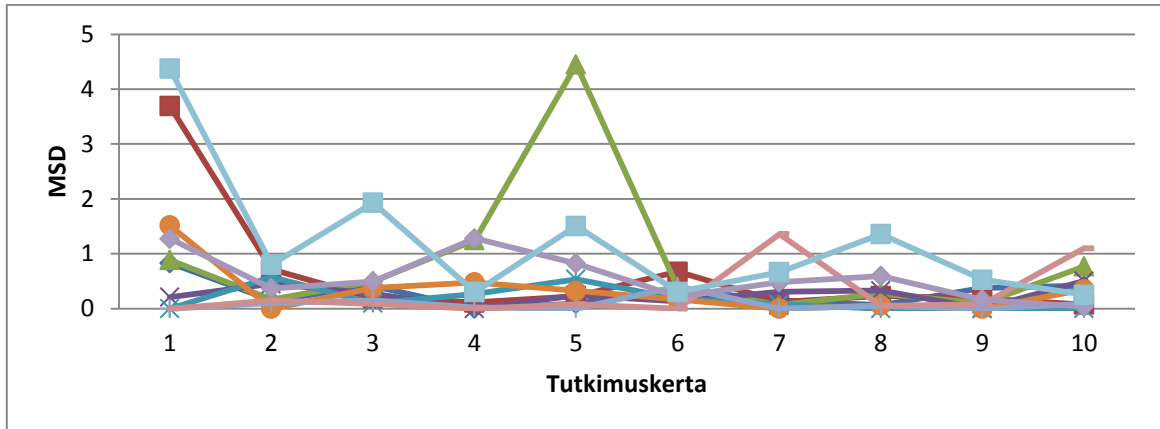
QWERTY-näppäimistöllä kirjoitettaessa käytettiin askelpalautinta, saadaan vertailtavat suureet, jotka kertovat myös korjatuista virheitä.

MSD-algoritmin avulla saadaan pienin etäisyys eli perusmuokkaustoimintojen määrä kahden merkkijonon välillä. Perusmuokkaustoiminnoiksi lasketaan lisääminen (insertion), poisto (deletion) ja korvaaminen (substitution). Tarkoituksena on löytää pienin määrä perusmuokkaustoimintoja, joilla voidaan muokata toinen merkkijono toiseksi. Esimerkiksi merkkijono ”kartamelt” muuttuu merkkijonoksi ”karamelli” nopeimmin ylimääräisen t-kirjaimen poistolla, toisen t-kirjaimen korvaamisella l:llä ja i:n lisäämisellä eli tarvitaan vähintään kolme muutosta. [Soukoreff and MacKenzie, 2001]

$$MSD = \frac{MSD(A,B)}{S_A} \times 100\% \quad (5.4)$$

Kaavassa 5.4 esitetään MSD-suhteen laskukaava. Soukoreff ja MacKenzie [2003] suosittelevat tämän kaavan käyttämistä vanhan kaavan [MacKenzie and Soukoreff, 2002] sijasta, koska se antaa aina saman tuloksen kuin merkki merkiltä tehty analyysi optimaalisesta korjauksesta. Kaavassa A on esitetty merkkijono ja B on kirjoitettu merkkijono. MSD(A,B) tarkoittaa A-merkkijonon ja B-merkkijonon pienintä eroa. S_A tarkoittaa merkkijonojen pituuksien keskiarvoa. MSD-virhesuhde edustaa pienintä osuutta (%) merkeistä, jotka voidaan katsoa virheiksi kun verrataan kahta merkkijonoa.

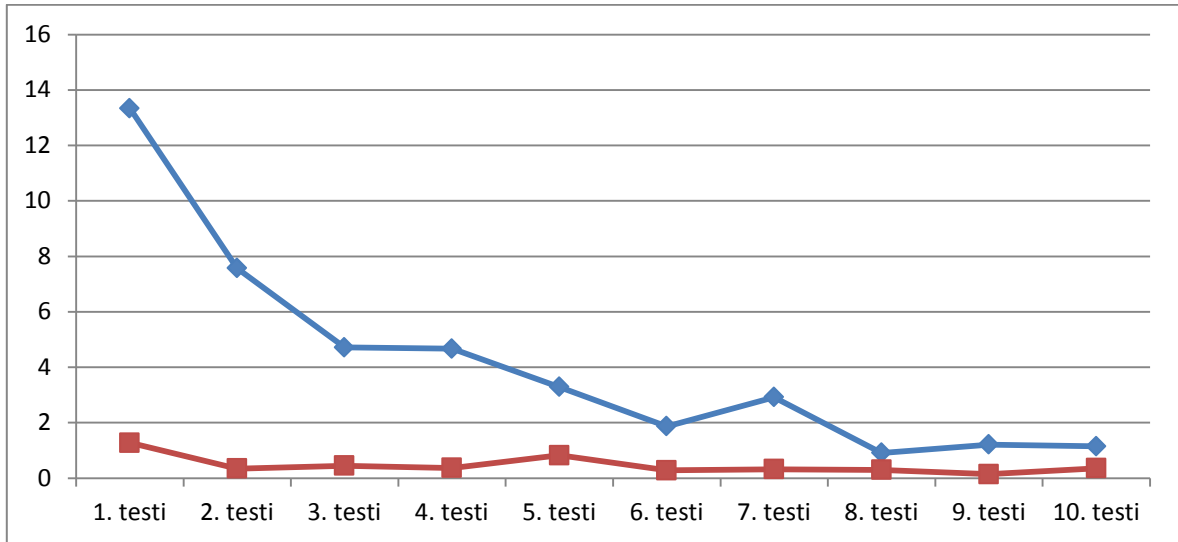
Kuvassa 5.8. on osallistujien MSD-suhdekuvaajat. Joukosta erottuu osallistuja 3:n käyrä, joka on merkitty kolmioilla. Osallistuja 3 vähensi viiveaikansa lyhyemmäksi, kuin hänen kirjoitustahdilleen oli käytännöllistä ja liian lyhyt viiveaika johti ajoittain Midaksen kosketus -ongelmaan, jossa näppäimet tulevat valituksi käyttäjän sitä itse haluamatta. Hänen virhehuippunsa 4,45 tuli viidennellä tutkimuskerralla, jolloin hänen viiveaikansa oli 220 millisekuntia.



Kuva 5.8. Osallistujien MSD-suhde tutkimuksen edetessä.

Kuvassa 5.9 on vertailussa QWERTYn ja Dasherin MSD-kuvaajat. QWERTYn käyrä on merkitty neliökuvioilla. Kuten kuvasta voi nähdä, tutkimuksen alussa Dasherin MSD-suhde on huomattavasti isompi kuin QWERTYn. Dasherin virhesuhteen keskiarvo oli ensimmäisellä kerralla 10,72, kun QWERTYn virhesuhde oli 1,28. Dasherissä on mukautuva nopeus eli se mukauttaa nopeutta automaattisesti, kun QWERTYssä käyttäjä sai itse muokata viiveajan nopeutta. Suuri virhesuhde alussa voi viitata siihen, että nopeus oli liian kova noviiseille, jolle Dasherin käyttöliittymä oli aivan uusi. QWERTYn aloitusnopeudeksi valittiin tarkoituksellisesti keskiarvoa hitaampi viiveaika, jotta se ei tuottaisi noviiseille hankaluuksia. Osallistuja sai itse nopeuttaa tahtia, kun hän koki sen tarpeelliseksi. Dasherin MSD-käyrä on jyrkästi laskeva ja kahdeksannella testikerralla Dasher alkoi tavoittaa QWERTYn virhesuhdetta. Dasher-tutkimuksessa osallistujien keskiarvo oli 0,60 ja QWERTYn 0,30. Virhesuhteen jyrkkä lasku kertoo oppimisesta. QWERTY näyttäisi olevan aloittajaystävällisempi. Koska muokattavalla viiveajalla ja QWERTY-sijoittelulla varustetulla katsenäppäimistöllä voidaan saavuttaa verrattain hyviä kirjoitusnopeuksia vähäisillä virheillä, oppimiskäyrä on aluksi jyrkkä ja taantuu aika nopeasti. Pelkästään tekstin jääneiden virheiden kohdalla oppimista ei näyttäisi olevan ollenkaan. Mutta MSD-suhde kertoo ainoastaan tekstin jääneistä virheistä ja niiden suhteesta esimerkkilauseeseen. Virheiden korjaaminen vie aina aikaa ja MSD-suhde täytyy ottaa aina huomioon myös kirjoitusnopeutta tarkastellessa; jos MSD on korkea, pitää kirjoitusnopeutta suhteuttaa siihen. Alhainen MSD-suhde voi kertoa hyvin huolellisista osallistujista ja jotta saadaan tietää, kuinka paljon oikeasti virhepainalluksia tapahtui,

täytyy tarkasteluun ottaa myös KSPC eli kuinka monta näppäimen lyöntiä osallistuja joutui tekemään jokaista tuotettua merkkiä kohden.



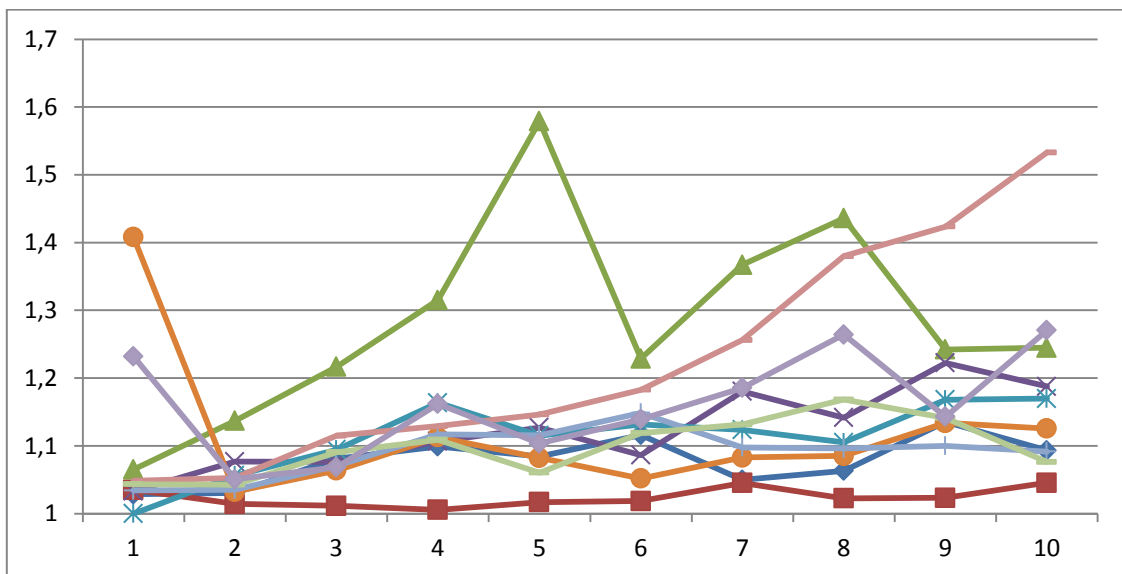
Kuva 5.9. MSD-virhesuhde Dasheria ja Qwerty-näppäimistöä käytettäessä.

KSPC kertoo kuinka monta kertaa keskimäärin käyttäjä painaa näppäintä saadakseen aikaiseksi säilytetyn merkin. Tämän laskemiseksi käytetään kaavaa 5.5. KS tarkoittaa kuinka monta kertaa käyttäjä ”painoi” näppäintä, kun taas C_T kertoo kuinka monta merkkiä lopullisessa tuotoksessa on. Jos virhepainalluksia ei tapahdu yhtään kappaletta käytettäessä pieniä kirjaimia QWERTY-näppäimistöllä, KSPC on 1 eli yhden kirjaimen aikaan saadakseen kirjoittaja painoi yhtä painiketta. Ennustavilla kirjoitusmenetelmillä voidaan päästä alle 1 KSPC-arvoon. [MacKenzie, 2002]

$$KSPC = \frac{KS}{C_T} \quad (5.5)$$

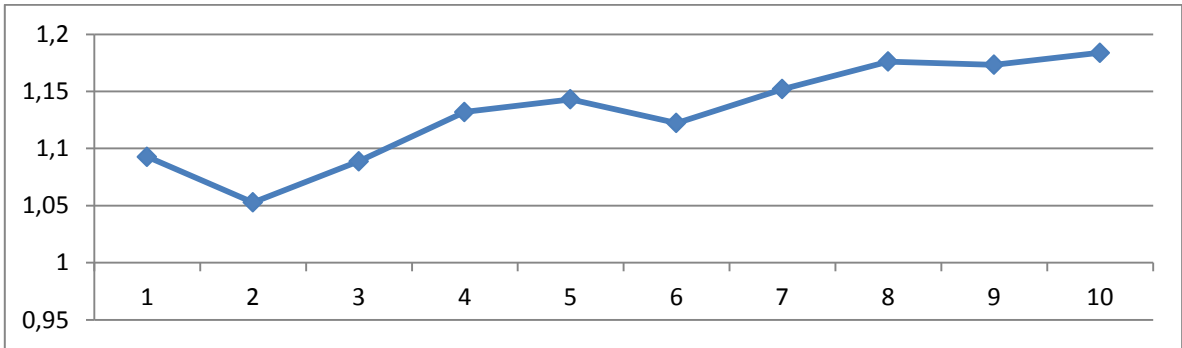
Kuvassa 5.10 on osallistujien KSPC-käyrät tutkimuksen edetessä. Kahden osallistujan uhkarohkea viiveajan lyhennystyyli näyttäytyy näissä käyryissä. Osallistuja 3, joka näytti lyhentävän viiveaikaa nopeammin kuin hänen taitonsa kehittyivät, sai korkeampia KSPC-arvoja kuin muut osallistujat suurimmassa osassa tutkimuskertoista. Hänen käyränsä on merkitty kolmioilla. Hän saavutti viidennellä tutkimuskerralla korkeimman KSPC-arvon verrattuna muihin osallistujiin koko tutkimuksen aikana: 1,58. Toisen

uhkarohkeaan strategiaan turvautuneen osallistuja 8:n käyrä oli melkein lineaarisesti nouseva ja hänellä oli viimeisen kerran korkein KSPC-arvo: 1,53. Tulee huomata, että osallistujan käyttämä viiveaika oli tällöin 180 millisekuntia ja kirjoitusnopeus 19,48 sanaa minuutissa. Osallistujalla 8 siis näytti olevan jonkinlaisia ongelmia hallita nopeutuvia viiveaikoja. Syy viiveajan mahdollisesti jopa tarpeettomaan nostamiseen voi johtua mahdollisesti kilpailuhenkisyydestä. Tutkimuksen loppuksi oli tarjolla palkinto sille, joka paransi omaa tulostaan eniten. Hän myös korjasi omia virheitään kauempaa kuin oli ohjeistuksen mukaan tarpeellista. Hänen MSD-virhesuhteensa viimeisellä testikerralla oli 1,10. Hyvin konservatiivisen viiveajan lyhentämistyylin omaavan osallistujan KSPC oli joukon matalimpia. Hänellä oli pienin KSPC yhdeksässä kymmenestä testikerrasta.



Kuva 5.10. Osallistujien KSPC tutkimuksen edetessä.

Osallistujien KSPC pysyi koko tutkimuksen ajan suhteellisen alhaisena. Osallistujien KSPC-keskiarvon vaihteluväli oli 1,05-1,18, kuten kuvasta 5.11 voimme nähdä. Virheiden määrissä, niin korjatuissa kuin korjaamattomissakaan oppiminen ei juuri näkynyt kuvaajan suunnassa. Tämä luultavasti johtui osittain sopivasta viiveajan pituudesta sekä QWERTY-sijoittelun tuttuudesta. KSPC nousi hieman loppua kohden, mutta nousu oli suhteellisen vähäistä ottaen huomioon viiveajan lyhentymisen.

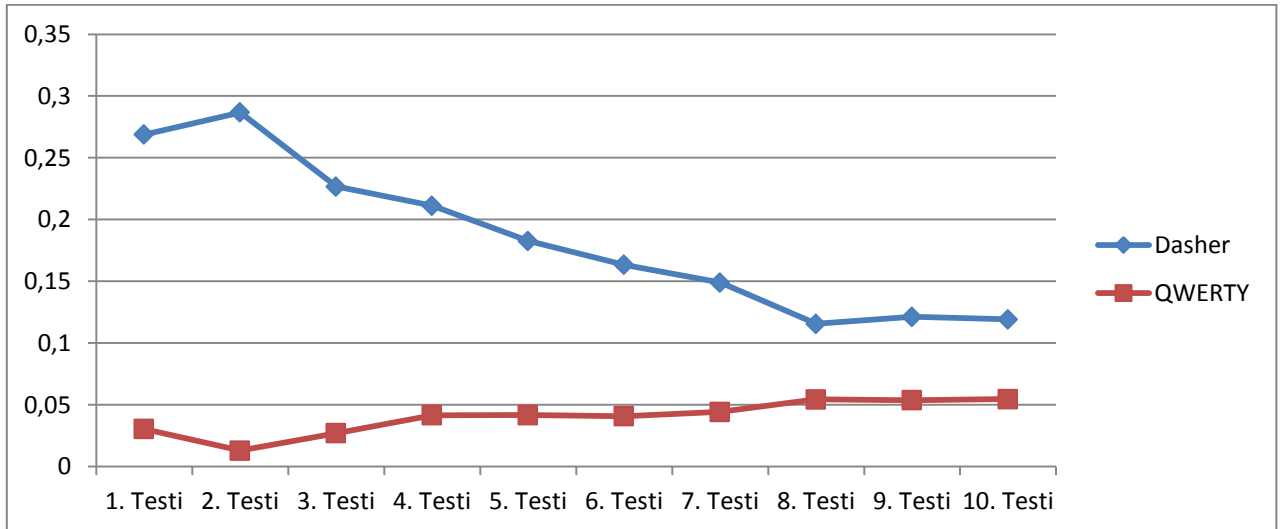


Kuva 5.11. Osallistujien KSPC-keskiarvo tutkimuksen edetessä.

Dasher ei ole näppäilymenetelmä vaan dynaamisesti liikkuva jatkuvan kirjoituksen kirjoitusmenetelmä. Näin ollen sen KSPC-lukua ei voida laskea. Sen sijaan käytetään peruutusnäppäimen käyttötiheyttä. Peruutusnäppäimen käyttötiheys kertoo kuinka paljon peruutustoimintoa käytettiin verrattuna kaikkiin kirjoitettuihin kirjaimiin, kun myös peruutetut kirjaimet lasketaan. Peruutusnäppäimen käyttötiheys QWERTY-näppäimistölle lasketaan kaavalla 5.6.

$$\text{Peruutusnäppäimen käyttötiheys} = \frac{\text{Peruutusnäppäimen painalluskertojen määrä}}{\text{Kaikki kirjoitetut merkit}} \quad (5.6)$$

Alussa Dasherin peruutusnäppäimen käyttötiheys (0,26) on huomattavasti korkeammalla kuin QWERTYn (0,03) (ks kuva 5.12). Dasher-tutkimuksessa osallistujat siis käyttivät peruutustoimintoa useammin kuin QWERTY-tutkimuksen osallistujat, vaikkakin korjaamattomien virheiden suhde (MSD) oli korkeampi. Dasherin osallistujien MSD-keskiarvo oli 0,57 kun QWERTY-tutkimuksen osallistujien keskiarvo oli 0,36. Dasherin käyrä on kuitenkin selvästi laskeva ja viimeisellä tutkimuskerralla käyttötiheyksien ero oli jo huomattavasti pienempi, Dasherillä tiheyden ollessa 0,13 verrattuna QWERTYä käyttäneiden 0,05 tiheyteen.



Kuva 5.12. QWERTY-katsenäppäimistön peruutusnäppäimen ja Dasherin peruustustoiminnon käyttötiheydet

5.3 QWERTY-katsenäppäimistön käytettävyys

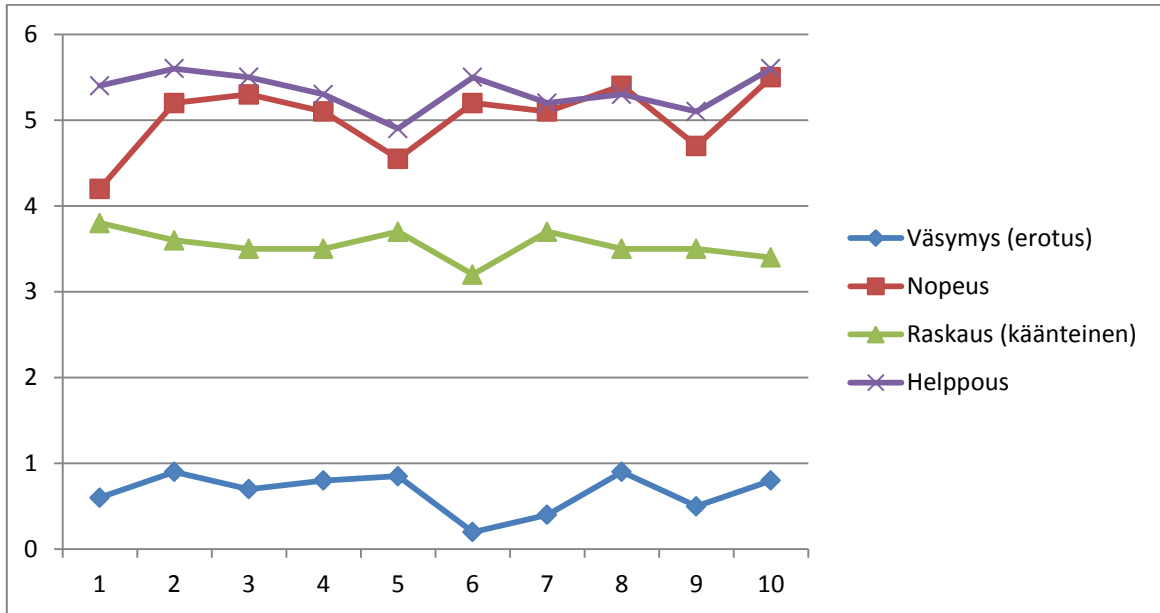
Käytettävyys ei ole yksi yksittäinen ominaisuus. Jacob Nielsen [1994] kuvailee kirjassaan Usability Engineering viisi ominaisuutta, jotka yhdessä muodostavat hyvän käytettävyyden. Nämä viisi ominaisuutta ovat: opittavuus, tehokkuus, muistettavuus, virheiden välttäminen ja käyttäjätyytyväisyys. QWERTY-näppäimistön oppimiskynnys on melkoisen matala verrattuna esimerkiksi Dasheriin. QWERTY-katsenäppäimistö vastaa tavallista näppäimistöä, joten vaikka näppäimistön käyttäjä olisi täysin noviisi katsenäppäimistön käytössä, tuttu kirjaintensijoittelu auttaa käyttäjää. Opittavuus tarkoittaa sitä, että noviisikin pystyy aloittamaan työskentelyn nopeasti kyseisellä järjestelmällä. Tutkimuksessamme saimme ensimmäisellä tutkimuskerralla osallistujien kirjoitusnopeuden keskiarvoksi 6,90 sanaa minuutissa, joka on tyydyttävä kirjoitusnopeus ensimmäisen 15 minuutin tulokseksi. Dasher-tutkimuksen kirjoitusnopeuden keskiarvo oli ensimmäisen tutkimuskerran jälkeen 2,49 sanaa minuutissa. Järjestelmän tehokkuus tarkoittaa sitä, että kun käyttäjä on oppinut järjestelmän käytön, hän pystyy käyttämään kyseistä järjestelmää tuottavasti. Kuinka nopea kirjoitusnopeus on tehokas? Voidaan sanoa, että 25 sanaa minuutissa olisi tavoiteltava ja mahdollinen kirjoitusnopeus, jos tarkoituksena on pyrkiä reaaliaikaiseen keskusteluun. QWERTY-näppäimistöllä ei tähän lukemaan päästy 2,5 tunnin harjoitusajalla. Viimeisen kerran keskimääräinen kirjoitusnopeus oli 19,90 sanaa minuutissa, joka on kilpailukykyinen nopeus verrattuna Dasherin 17,26 sanaa minuutissa -tulokseen. Dasherin kirjoitusnopeudella oli kuitenkin vielä tilaa parantua,

sillä poikkeavana kirjoitusjärjestelmänä se vaati enemmän aikaa opetella kuin tuttu QWERTY-näppäimistö. Dasherin kirjoitusnopeus-kuvaaja näytti vielä nousevalta kuvassa 5.2. Voidaan sanoa, että QWERTY-näppäimistön muistettavuus on parempi kuin Dasherin. QWERTY:ssä on staattinen kirjainjärjestely joka on yleinen standardi normaaleissa näppäimistöissä. Käyttäjätyytyväisyyttä on hankala ja epäluotettavaa vertailla kahden käyttöliittymän välillä, kun käyttäjät eivät ole kokeilleet molempia. Voidaan lähinnä sanoa, ovatko kokemukset positiivisia tai negatiivisia, mutta paremmuuden testaamiseen tarvitaan vertailevampaa tutkimusta. Käyttäjätyytyväisyyttä ei siis tässä tutkimuksessa tarkemmin verrata Dasher-tutkimuksen tuloksiin. Osallistujien henkilökohtaista kokemusta katseella ohjattavan QWERTY-näppäimistön käytöstä ja valinta-ajan muokkaamisesta mitattiin loppuhaastattelulla testisarjan päätteeksi sekä jokaisen yksittäisen testin jälkeen kyselylomakkeella. Kyselylomakkeella pyrittiin mittaamaan osallistujien tuntemuksien muutosta kokeen edetessä. Ensiksi esittelen käyttäjätyytyväisyys-lomakkeiden tulokset ja sen jälkeen haastattelun tulokset.

5.3.1 Lomakkeiden tulokset

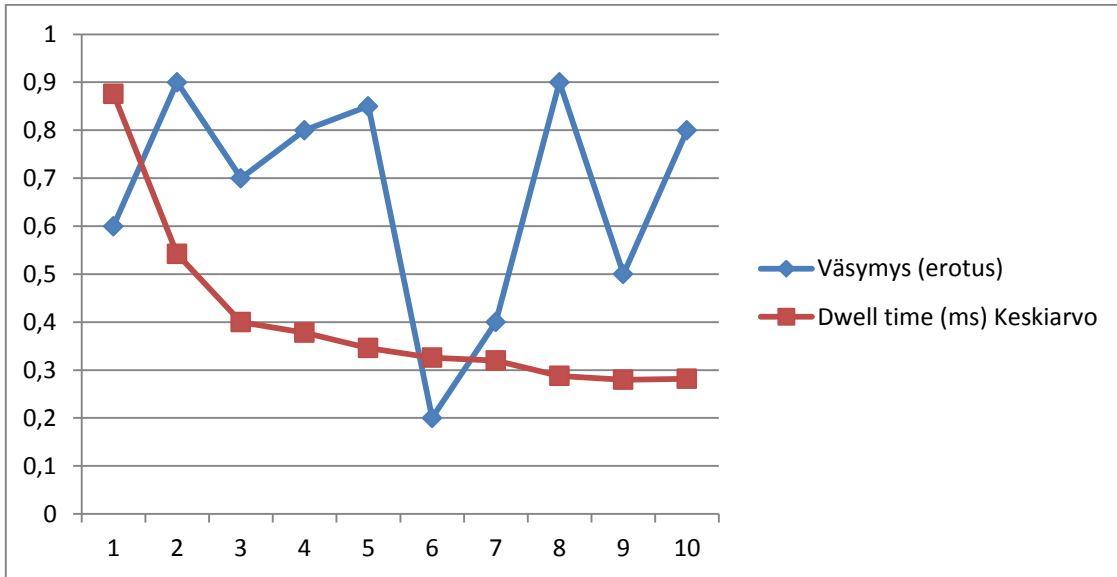
Kyselylomake täytettiin jokaisen testikerran jälkeen, jotta voitiin paremmin mitata muuttuiko subjektiivinen kokemus katsennäppäimistön käytöstä tutkimuksen edetessä. Kysymykset sisälsivät Likert skaala -kysymyksiä katseella kirjoittamisen nopeudesta, väsyttävyydestä, raskaudesta ja helppoudesta. Lomake sisälsi myös muutaman kysymyksen palautteesta ja viiveajan säädöstä. Lomake on kokonaisuudessaan liitteissä (ks. liite 5).

Kuvasta 5.13 näemme, että nopeus ja kirjoittamisen helppous saivat hyvin samankaltaisia arvoja tutkimuskertojen edetessä. Tämä on luontevaa, sillä jos kirjoitus tuntuu helpolta, niin kirjoitusnopeuskin tuntuu tyydyttävältä ja päinvastoin. Silmien väsymyksen -arvo pysyi kohtalaisen samana koko tutkimuksen ajan eikä näyttänyt kasvamisen merkkejä viiveajan lyhentyessä. Silmät väsyivät alle yhden yksikön verrattuna ennen testiä ilmoitettuun silmien väsymykseen koko tutkimuksen ajan. Kirjoittamisen raskaus pysyi arvon 3 (ei tuntunut raskaalta eikä kevyeltä) ja arvon 4 (jokseenkin raskaalta) välillä.



Kuva 5.13. Väsymyksen, nopeuden, raskauden ja helppouden keskiarvon muutokset tutkimuksen edetessä.

Kuvassa 5.14 on viiveajan kuvaaja sekä silmien väsymyskuvaaja. Osallistujia pyydettiin antamaan numeroarvo silmiensä väsymykselle ennen jokaista testiä ja jokaisen testin jälkeen. Näiden lukujen erotus merkittiin silmien väsymystä kuvaavaksi luvuksi. Viiveajalla ei näyttäisi olevan suoraa yhteyttä silmien väsymykseen tässä kuvaajassa. Kun viiveaika lyhenee, niin silmien väsymystä kuvaava luku ei johdonmukaisesti suurene, vaan 6. testikerran kohdalla jopa pienenee huomattavasti silmämääräisesti arvioituna. Luultavammin silmien väsymykseen vaikuttavat muut tekijät, kuten kellonaika, yleinen vireystila verrattuna viiveaikaan ja niin edelleen. Ei voida siis tulkita suoraan, että lyhyempi viiveaika johtaisi automaattisesti väsyneempiin silmiin. Tarkempi tilastollinen analyysi voisi tietenkin olla kohdallaan. Lyhyempi viiveaika voi olla käyttäjälle sopivampi kirjoitustehtävässä kuin pidempi tai erityisesti liian pitkä viiveaika.



Kuva 5.14: Väsymyksen muutos verrattuna viiveajan muutokseen.

5.3.2 Haastattelu

Haastattelukysymykset oli kirjoitettu etukäteen (ks. liite 1), joten haastattelun rakenne oli strukturoitu. Kokeen vetäjä saattoi esittää haastattelun aikana tarkentavia kysymyksiä, mutta pääpiirteissään kaikilta osallistujilta kysyttiin samat kysymykset. Haastattelun aikana näytöllä oli katsenäppäimistö auki, joten testihenkilöt pystyivät virkistämään muistiansa katsomalla näppäimistöä. Tässä luvussa käsitellään tiivistetysti osallistujien haastatteluvastaukset, kehitysideat ja kommentit.

Osallistujien mielipiteet kokeessa käytetystä katsenäppäimistöstä olivat yleisesti ottaen positiivisia. Näytöllä olevan QWERTY-näppäimistön ohjaaminen katseella tuntui kaikkien osallistujien mukaan helpolta. Yksi osallistujista kuitenkin mainitsi, että 15 minuuttia oli ehdottomasti pisin aika mitä näppäimistöllä jaksoi kirjoittaa yhtäjaksoisesti ilman, että rasittui. Vaikka yleisesti kokemukset katsenäppäimistöstä olivat positiiviset, niin kolme osallistujaa mainitsi haastattelussa, että ns. normaalilla näppäimistöllä kirjoittaminen oli helpompaa. Hankaliksi asioiksi kaksi osallistujaa mainitsi paikallaan pysymisen ja keskittymisen ja kolmella osallistujalla oli välillä hankaluuksia eräiden näppäinten kanssa tai kirjainten löytämisessä.

”Ihan hyvältä [katseella kirjoittaminen tuntui], ei se ole vaikeaa. Välillä tuntui, että piti pysyä patsaana, että se seuraa. Mie en pysy paikalla muutenkaan.”

”Kyl se onnistu, ku valintanopeus oli sopiva ja kun muisti missä kirjaimet ovat. Jos ei muistanut, tuli aika paljon virheitä.”

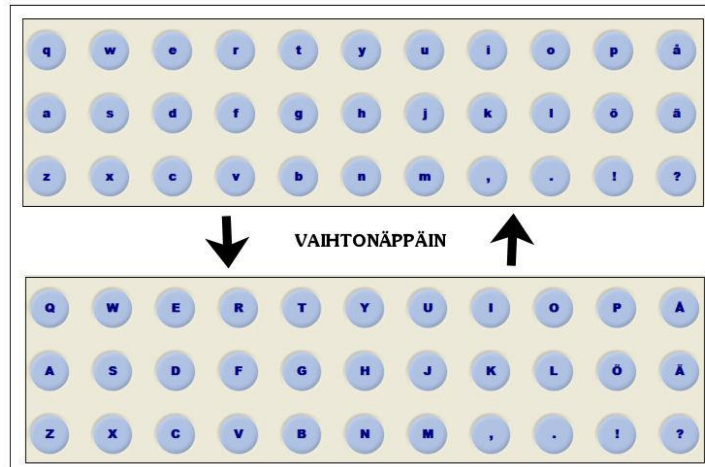
”Se on kivaa. Paljon helpompaa, ku olin kuvitellut. Lopussa meni ajatuskin oikein [kun kirjoitti]. Isot kirjaimet tuottivat välillä ongelmia. Helpompaa olisi, jos ei olisi isoja kirjaimia tai välimerkkejä.”

Kaikkien osallistujien mielestä QWERTY-asettelu oli hyvä asettelu näppäimistössä. Osallistujat olivat kokeneita QWERTY-näppäimistön käyttäjiä ja näin ollen löysivät näppäinten paikat vanhasta muistista. Kaksi osallistujaa antoi palautetta standardista poikkeavasta välilyöntinäppäimestä, joka käytetyssä katsenäppäimistössä oli samankokoinen kuin muutkin näppäimet. Normaalisissa näppäimistössä välilyönti on tunnetusti leveämpi kuin muut ja siten helposti tunnistettavissa. MacKenzie ja Soukoreff [2002] ovat tutkineet näppäimien käyttötiheyksiä ja välilyöntinäppäin on tutkitusti näppäimistön käytetyin näppäin. Sen käyttö muodosti 11,29% näppäinlyönneistä. Tästä syystä kyseinen näppäin voisi perustellusti olla isompi ja siten helpommin saavutettavissa. Askelpalautin oli toiseksi yleisin 7,1%:lla ja shift, down ja delete olivat hyvin yleisiä.

”Helpolta, kun oli käyttänyt [qwerty-näppäimistöä]. Jos olisi ollut muussa järjestyksessä [olisi] vaikeampi.”

”Se oli hyvä, että se oli sama mikä normaalisti. Ei tarvinnut opetella uutta systeemiä.”

Osallistujilla oli joskus ongelmia tietyn kirjaimen kanssa. Esimerkiksi osallistujalla 2 oli välillä vaikeuksia saada kirjain a valituksi. Katseenseuranta ei luultavasti pystynyt seuraamaan katsetta välillä reuna-alueilla kyseisen henkilön kohdalla, mutta nämä vaikeudet olivat yleensä ohimeneviä. Suurimman ongelman aiheutti vaihtonäppäin eli shift-näppäin tai vaihtonäppäimen painalluksen jälkeinen kirjainten muuttuminen isoiksi tai pieniksi kirjaimiksi. Kuvasta 5.15 voi nähdä kuinka ainoastaan kirjainnäppäimet muuttuvat vaihtonäppäimen painalluksen jälkeen.



Kuva 5.15: Vaihtonäppäimen painallus vaihtaa isot kirjaimet pieniksi ja pienet kirjaimet isoiksi.

Ongelman perussyö oli ruudun päivityksessä. Kun osallistuja laittoi vaihtonäppäimen päälle, niin pienet kirjaimet muuttuivat isoiksi kirjaimiksi tai kun vaihtonäppäin otettiin pois päältä, kirjaimet muuttuivat pieniksi. Näppäimistön vaihtuessa osallistujan katse ehti siirtyä muualle näppäimistöön, mutta näppäimistö ei pysynyt mukana ja erityisesti lyhyissä viiveajoissa tämä aiheutti virhevalintoja ja jopa turhautumista kirjoittamisen aikana. Viisi osallistujaa mainitsi vaihtonäppäimen hankalimmaksi näppäimeksi juuri kyseisen ongelman vuoksi. Vaihtonäppäinongelmalla luultavasti oli jonkin verran vaikutusta kirjoitusnopeuteen sekä virheisiin yksittäisissä lauseissa, mutta luultavasti ei merkittävästi huonontavaa vaikutusta kokonaisuuteen.

”Ei mikään yksittäinen [kirjain]. Jos painaa shiftiä, selvästi shiftin jälkeen tulee virheitä, vaikka katsoo ihan normaalisti eikä nopeasti.”

Kaikkien osallistujien mielestä viiveajan säätö oli selkeä ja kyseisen toiminnon käyttöikeys osoittaa, että se oli suhteellisen helppo käyttää tarvittaessa. Yksi osallistujista mainitsi, että lyhyellä viiveajalla saattoi tulla virhepainalluksia, kun katse matkasi koko näppäimistön alas, sinne missä säätö oli. Toinen osallistuja taas piti siitä, että kyseinen säätövalikko oli alhaalla, koska näin ei kirjoittaessaan tahtomattaan säätännyt nopeutta.

”Joo, on hyvä, että [se] on alhaalla, ettei vahingossa osu katse. Luontaisesti katsoo lausetta ylhäältä ja nopeutta alhaalta.”

Kaikkien mielestä he saivat tarpeeksi palautetta näppäimen painamisesta ja sen valinnasta. Kun osallistujilta kysyttiin: ”Mikä palautemuodoista: ääni, visuaalinen palaute (sulkeutuva ympyrä -palaute, painikkeen alas painautuminen) vai molemmat auttoi heitä enemmän kirjoittamisessa?”, kuusi osallistujista oli sitä mieltä, että heitä auttoi eniten ääni. Kolme piti molemmista palautemuodoista yhtä paljon ja yksi piti eniten visuaalisesta vihjeestä.

”Visuaalinen. Siitä pystyi hahmottamaan ajan kuinka kauan pitää katsoa. Kuuloaisti ei ole niin tärkeässä asemassa.”

Osallistujista viisi ei osannut nimetä mitään tiettyä asiaa, joka olisi erityisesti rasittanut heidän silmiään testien aikana. Kaksi osallistujista mainitsi, että näytön kirkkaus rasitti silmiä ja kaksi mainitsi sen, että testien aikana ei pystynyt räpsyttämään silmiään yhtä useasti kuin normaalisti. Vaikkakin kirjoitusnopeuden keskiarvo nousi kymmenen testikerran aikana huomattavasti: ensimmäisen testikerran osallistujien kirjoitusnopeuden keskiarvo oli 6,9 sanaa minuutissa ja kymmenennen tutkimuskerran keskiarvo oli 19,9 sanaa minuutissa, niin osallistujat tunsivat edistyneensä lähinnä alkuun verrattuna tai hieman vähätelivät edistymistään.

”Alusta joo. Alussa oppi nopeasti, mutta lopussa vähemmän. Ehkä pari kertaa [vielä] niin olisi tottunut nopeuteen ja olisi tullu vähemmän virheitä.”

Haastattelun perusteella käyttäjät pitivät QWERTY-näppäimistöä ja viiveajan muokkaamista helppona. Katsenäppäimistö ei kuitenkaan ollut heidän mielestään parempi vaihtoehto kuin tavallinen näppäimistö, jos heillä ei ole vammoja, jotka estäisivät tai hidastaisivat normaalin näppäimistön käyttöä.

5.4 Tulosten pohdinta

Viiveajan keston sopivuus on usein tehtävisidonnainen. Käytettyjen viiveaikojen pituus vaihtelee käyttöliittymistä riippuen niinkin lyhyestä kuin 100 millisekunnin viiveajasta 3000 millisekuntiin. Tekstinsyötössä yleisimmät viiveajat näppäilymenetelmällä toimivissa katsenäppäimistöissä vaihtelevat 400 ja 1000 millisekunnin välillä [Špakov and Miniotas, 2004]. Noin 250–400 millisekunnin viiveaika voi olla sopiva esimerkiksi kirjoittamiseen katsenäppäimistöllä tai muissa toiminnoissa, jotka vaativat nopeita ja useita peräkkäisiä valintoja sekä suhteellisen vähän käyttöliittymien elementtien tarkastelua, mutta tämä ei tarkoita, että kyseinen viiveaika olisi sopivin esimerkiksi monimutkaisempiin ja vähemmän toistoa vaativiin tehtäviin. Tottunut kirjoittaja kirjoittaa katsenäppäimistöllä kirjoitusrytmin avulla eikä välttämättä odota edes näppäimistön antamaa palautetta tai tarvitse sitä [Majaranta et al., 2006]. Vaikka universaalia optimaalisinta viiveaikaa ei voidakaan määritellä käyttäjien ja toimintojen erilaisten vaatimusten takia, voidaan sanoa, että itse viiveajan muokattavuuden tarpeellisuutta ei voi kiistää. Tämän tutkimuksen osallistujien mielestä viiveajan muokkaus auttoi heitä parempiin tuloksiin. Roolipeleissä katseen roolin voidaan katsoa olevan enemmän tutkiva kuin toistuvia valintoja tekevä väline. Tämä voi vaatia huomattavasti pidempiä viiveaikoja tai täysin erilaisia aktivointimekanismeja. Näin ollen lyhyet viiveajat eivät välttämättä sovi. Muokattavan viiveajan avulla käyttäjä voi säätää viiveajan sopivaksi ottaen huomioon käyttöliittymän ja tilanteen vaatimukset. Käyttäjän tulisi saada muokata viiveaikaa mahdollisimman helposti, jotta se vastaisi mahdollisimman hyvin käyttäjän tarpeita kyseisessä käyttöliittymässä. Käyttäjän yksilöllisetkin tarpeet vaihtelevat. Väsyneenä käyttäjä voi tarvita pidempiä viiveaikoja kuin hyvin levänneenä.

On totta, että viiveajan pituus asettaa kirjoitusnopeudelle maksimin, jota ei voida ylittää. Tämä ei kuitenkaan poissulje mahdollisuutta, että viiveajalla toimivalla näppäimistöllä voisi päästä nopeisiinkin kirjoitustuloksiin. Jokaisella kirjoitusmenetelmällä on maksimaalinen kirjoitusnopeus, jota ei voi ihminen ylittää. Niitä ei kuitenkaan ole yhtä yksinkertaista laskea kuin viiveajallisen näppäimistön maksimia.

Kirjainten asettelun tuttuus vaikutti kirjoitusnopeuteen myös osallistujien omien sanojen mukaan. Tuttu ja staattinen kirjainsijoittelu antaa mahdollisuuden

kirjainpaikkojen ulkoa opetteluun. Testinvetäjä havaitsi ja osallistujat sanallisesti vahvistivat, että lyhyimmissä viiveajoissa tutkimuksen lopussa osallistujat löysivät kirjaimet muistamalla kirjaimen sijainnin ja kirjainten etsintää tapahtui lähinnä harvinaisempien kirjainten kohdalla. Norman ja Fisher [1981] väittävät tutkimuksessaan, että noviisien kirjoitusnopeus on yleensä parempi perinteisellä QWERTY-näppäimistöllä tai ainakin yhtä hyvä kuin epätavallisemmalla abc-näppäimistöillä juuri aikaisemman kokemuksen takia. Kokeneet käyttäjätkin hyötyvät vain noin 5% dvorak-näppäimistöstä. Zhai ja Smith [2001] taas uskovat, että uusilla sijoittelulla on merkitystä ja noviisit voivat kirjoittaa nopeammin kuin Sholesin QWERTYllä. Noviisien käyttäessä virtuaalinäppäimistöä heidän sijoittelullaan suoritukset paranivat 9 prosenttia.

Viiveajan muokkaaminen tulisi antaa käyttäjän itsensä tehtäväksi, koska viiveajojen keskihajonta oli varsinkin alussa suurta. Kaikille katseella kirjoittaville ei välttämättä sovi sama viiveajan pituus. Pelkällä reaktioajallakin (n. 150-200 ms) on iso osuus valinta-ajasta. Reaktioaika vaikuttaa painikkeelta poistumisaikoihin, jotka eivät saa olla yhtä pitkiä tai pidempiä kuin viiveaika Midaksen kosketus -ongelman välttämiseksi. Muokattava viiveaika antaa mahdollisuuden kirjoittaa omaan tahtiin. QWERTY-näppäimistön oppimisajat ovat suhteellisen lyhyitä. Tutkimuksen osallistujat näyttivät saavuttaneen maksimaalisen nopeutensa kymmenenteen tutkimuskertaan mennessä. Puolessa välissä tutkimusta viiveajan lyhentyminen vähentyi selkeästi ja kirjoitusnopeuksien käyrät alkoivat näyttää tasaantumisen merkkejä. QWERTY-katsenäppäimistö on nopea ottaa käyttöön ja sillä kirjoittamisessa käyttäjä voi kehittyä hyvinkin nopeasti sen tuttuuden vuoksi.

6. Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa haluttiin selvittää, millaisia vaikutuksia käyttäjän kirjoitusnopeuteen sekä tehtyihin virheisiin olisi muokattavalla viiveajalla. Tämän tutkimuskysymyksen selvittämiseksi suoritettiin pitkittäistutkimus katseohjattavalla viiveajallisella QWERTY-virtuaalinäppäimistöllä, jonka viive oli käyttäjän muokattavissa testien aikana. Tutkimukseen osallistui 11 vapaaehtoista osallistujaa, jotka olivat noviiseja katseella kirjoittamisessa eivätkä olleet käyttäneet katseenseurantalaitteistoa kahta osallistujaa lukuun ottamatta, jotka olivat osallistuneet hakukonetutkimukseen, mutta eivät olleet ohjanneet käyttöliittymää katseella. Jokainen osallistui 10 tutkimuskertaan ja jokaisella kerralla heillä oli 15 minuuttia aktiivista kirjoitusaikaa. Katseenseurantalaitteena käytettiin Tobii 1750 katseenseurantalaitetta.

Tutkimuksen ensimmäisellä tutkimuskerralla kaikkien osallistujien kirjoitusnopeuden keskiarvo oli 6,90 minuutissa ja viimeisen testikerralla osallistujien kirjoitusnopeuden keskiarvo oli 19,90 sanaa minuutissa. Ensimmäisen ja viimeisen tutkimuskerran keskimääräinen kirjoitusnopeus parani 13 sanaa minuutissa. Kun näitä lukemia verrataan Outi Tuiskun Dasher-tutkimukseen [2008], huomataan selkeät erot kirjoitusjärjestelmien aloitusnopeuksissa. Dasher-tutkimuksessa osallistujien nopeuden keskiarvo ensimmäisellä tutkimuskerralla oli 2,49 sanaa minuutissa ja viimeisellä kerralla 17,26. Dasher-tutkimuksessa kirjoitusnopeus parani siis 14,77 sanaa minuutissa. Dasherin kirjoitusnopeuden muutosta kuvaava kuvaaja viittaa siihen, että sen käytön oppiminen vie enemmän aikaa, mutta kehittyminen jatkuu pitempään. Dasher-tutkimuksessa kirjoitusnopeuden ylärajaa ei vielä saavutettu, joten on mahdollista, että Dasherin maksiminopeudet olisivat merkittävästi suurempia, kuin tutkimuksen kymmenellä kerralla saadut WPM-arvot. Ward et al. [2000] raportoivat tutkimuksessaan osallistujan saavuttaneen 25 WPM nopeuden, joka olisi voinut mahdollisesti olla saavutettavissa, jos tutkimusta olisi jatkettu.

QWERTYn ensimmäisen kerran MSD suhteen keskiarvo oli 1,28, kun Dasherin MSD-suhde oli 10,72. Viimeisellä tutkimuskerralla QWERTYn MSD-suhde oli 0,36 ja Dasherin suhde oli 0,57. Peruutusnäppäimen (eli QWERTY:n tapauksessa askelpalauttimen) käyttöiheys oli ensimmäisen kerralla 0,03 ja viimeisellä kerralla 0,05 verrattuna Dasherin lukuihin 0,26 ja 0,13. QWERTY-näppäimistöissä

kirjoitustehokkuus pysyi hyvänä viiveajan lyhentyessäkin. Ensimmäisellä tutkimuskerralla osallistujan tuli painaa 1,09 näppäintä saadakseen aikaiseksi yhden pysyvän merkin ja viimeisellä kerralla 1,18. Näiden tutkimuskertojen välissä keskimääräinen viiveaika laski 1000 millisekunnista 282 millisekuntiin.

Tässä tutkimuksessa yksi osallistujista oli selkeä erikoistapaus, jonka tuloksia ei laskettu yhteistuloksiin ja niiden analyysiin. Katseenseuranta ei kohtuullisesti onnistuneen kalibraation jälkeenkään onnistunut tyydyttävästi. Hänellä oli suuria vaikeuksia tiettyjen kirjainten kanssa. Näihin ongelmiin vaikuttivat luultavasti ainakin osittain hänen hyvin vahvat silmälasinsa. Koska ongelmia näytti olevan tietyillä näytön alueilla, niin häntä olisi luultavasti auttanut erilainen näppäimistön sijoittelu, joka ei olisi vienyt koko näyttötilaa. Esimerkiksi GazeTalkin isommat näppäimet olisivat ongelma-alueella olleet anteeksiantavaisempia katseenseurannan ongelmille. Yleisesti ottaen tuttu QWERTY-sijoittelu näppäimistössä ja muokattava viiveaika saivat positiivisia kommentteja. Osallistajat katsoivat, että viiveajan muokkaaminen auttoi heitä parempiin tuloksiin. Palaute katsottiin riittäväksi ja osallistajat tunsivat sen auttaneen kirjoittamisessa. Parhaaseen kirjoitusnopeuteen päästiin viiveajan ollessa keskimäärin 282 millisekuntia. Vaikka viiveajan keskiarvo testikertojen lopussa lyheni 876 millisekunnista 282 millisekuntiin, eivät osallistajat tunteneet palautteen häiritsevän nopeassakaan kirjoitustahdissa. Ongelmaksi käyttäjät ilmoittivat shift-toiminnon, joka johtui näppäimistön päivitysviiveestä. Tämä shift-ongelma aiheutti varsinkin nopeissa viiveajoissa virhepainalluksia ja turhautumista. Kun Dasherin oppimiskäyrän lineaarinen muoto viittasi siihen, että osallistujilla oli mahdollisuuksia merkittäviin kirjoitusnopeuden keskiarvon parantamiseen, QWERTY:n oppimiskäyrä ja viiveaikakäyrä antavat odottaa, että ainakin osa oli saavuttamassa maksimikirjoitusnopeutensa samoin kuin lyhyimmän käytännöllisen kirjoitusviiveajan. Tulokset osoittavat, että viiveajan muokkaaminen nopeuttaa kirjoitusnopeutta.

Viiteluettelo:

[Bates and Istance, 2000] Bates, R., Istance, H. O. 2000. Why Are Eye Mice Unpopular? A Detailed Comparison of Head and Eye Controlled Assistive Technology Pointing Device. *Universal Access in the Information Society* 2, 280-290.

[Bates, 2002] Bates, R. 2002. Have patience with your eye mouse ! Eye gaze interaction with computer can work. *Proceedings of the 1st Cambridge Workshop on Universal Access and Assistive Technology (CWUAAT)*, Trinity Hall, University of Cambridge, 2002. Available at <http://www.cse.dmu.ac.uk/~rbates/Bates7.pdf> (Tarkistettu 27.02.2011).

[Bee and André, 2008] Bee, N., André, E. 2008. Writing with Your Eye: A Dwell Time Free Writing System Adapted to the Nature Of Human Eye Gaze. *PIT 2008*, 111-122.

[Dix et al., 2004] Dix, A., Finlay, J., Abowd, G. D., Beale, R. 2004. *Human-Computer Interaction* 3rd edition. Pearson Education Limited, 14-22.

[Hansen and Itoh, 2004] Hansen, J. P., Itoh, K. 2004. Gaze Input Compared with Input by Head and Hand. *Proceedings of the 2004 symposium on Eye tracking research & applications*, ACM Press, 131 -138.

[Hansen et al., 2001] Hansen, J. P., Hansen, D. W., Johansen, A. S. 2001. Bringing gaze-based interaction back to basics. C. Stephanidis (Ed.), *Universal Access in HCI*. Lawrence Erlbaum Associates, 325-328.

[Hansen et al., 2003] Hansen, J.P., Johansen, A. S., Hansen, D. W., Itoh, K., Mashina, S. 2003. Command Without Click: Dwell Time Typing by Mouse and Gaze Selection. *Proceedings of the INTERACT' 03*, IOS Press, 121-128.

[Hiltunen et al., 2006] Hiltunen, E., Holmberg, P., Kaikkonen, M., Lindblom-Ylänne, S., Nienstedt, W., Wähälä, K. 2006. Galeanos – ihmiselimistö kohtaa ympäristön. *Werner Söderström Osakeyhtiö*, 312-328.

[Isokoski and Linden, 2004] Isokoski, P., Linden, T. 2004. Effect of Foreign Language on Text Transcription Performance: Finns Writing English. Proceedings of NordiCHI 2004, ACM Press, 105-108.

[Itoh et al., 2006] Itoh, K., Aoki H., Hansen, J. P. 2006. A comparative usability study of two Japanese gaze typing systems. Proceedings of the 2006 symposium on Eye tracking research & applications, ACM Press, 59-66.

[Jacob, 1991] Jacob, R. J. K. 1991. The Use of Eye Movements in Human-Computer Interaction Techniques: What You Look at is What You Get. ACM Trans Info Systems 9, 2 (1991), 152-169.

[MacKenzie, 2002] MacKenzie, I. S. 2002. KSPC (Keystrokes per Character) as a Characteristic of Text Entry Techniques. Proceedings of the 4th International Symposium on Mobile Human-Computer Interaction 2002, 195-210.

[MacKenzie and Zhang, 2008] MacKenzie, I. S., Zhang, X. 2008. Eye Typing Using Word and Letter Prediction and a Fixation Algorithm. Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications, ACM Press, 55-58.

[MacKenzie and Soukoreff, 2002] MacKenzie, I. S., Soukoreff, R. W. 2002. A Character-level Error Analysis Technique for Evaluating Text Entry Methods. Short Papers of NordiCHI 2002, 243-246.

[MacKenzie and Soukoreff, 2002] MacKenzie, I. S., Soukoreff, R. W. 2002. Text Entry for Mobile Computing: Models and Methods, Theory and Practice. Human-Computer Interaction, 17, 147-198.

[MacKenzie and Soukoreff, 2003] MacKenzie, I. S., Soukoreff, R. W. 2003. Phrase Sets for Evaluating Text Entry Techniques. Extended Abstracts of CHI 2003, ACM Press, 754-755.

[Majaranta et al., 2004] Majaranta, P., Aula, A., Rähkä, K-J. 2004. Effects of Feedback on Eye Typing with a Short Dwell Time. Proceedings of the 2004 symposium on Eye tracking research & applications, ACM Press, 139 – 146.

[Majaranta et al., 2006] Majaranta, P., MacKenzie, I. S., Aula, A., Rähä, K.-J. 2006. Effects of feedback and dwell time on eye typing speed and accuracy. *Universal Access in the Information Society* 5, 199-208.

[Majaranta and Rähä, 2002] Majaranta, P., Rähä, K.-J. 2002. Twenty Years of Eye Typing Systems and Design Issues. *Proceedings of the 2002 symposium on Eye tracking research & applications*, ACM Press, 15-22.

[Majaranta and Rähä, 2007] Majaranta, P., Rähä, K.-J. 2007. Text Entry by Gaze: Utilizing Eye Tracking. MacKenzie, I. S., Tanaka-Ishii (Eds.), K., *Text Entry Systems: Mobility, Accessibility, Universality*. Morgan Kaufman Publishers, 175-184.

[Miniotas et al., 2003] Miniotas, D., Spakov, O., and Evreinov, G. E. 2003. Symbol Creator: An Alternative Eye-based Text Entry Technique with Low Demand for Screen Space. M. Rauterberg et al. (Eds.), *Proceedings of INTERACT '03*, IOS Press, IFIP, 137-143.

[Nielsen, 1993] Nielsen, J. 1993. *Usability Engineering*. Morgan Kaufman Publishers, 23-48.

[Norman and Fisher, 1981] Norman, D., A., Fisher, D. 1981. Why alphabetic keyboards are not easy to use: keyboard layout doesn't much matter. *Human Factors* 24, 5 (1981), 509-519.

[Pierpoint, 1997] Pierpont, W., G. 1997. *The Art and Skill of Radio-Telegraphy*. NOHFF1997. 3rd edition. Available: <http://www.qsl.net/n9bor/n0hff.htm> (Tarkistettu 19.12.2010).

[SATL Price list, 2009] Smartbox Assistive Technology Limited Price list. Available at: <http://www.smartboxat.com/assets/docs/UK%20Price%20List.pdf> (Tarkistettu 12.12.2009).

[Soukoreff and MacKenzie, 2001] Soukoreff, R. W., MacKenzie, I. S. 2001. Measuring Errors in Text Entry Tasks: An Application of the Levenshtein String Distance Statistic. Extended Abstracts of CHI 2001, 319-320.

[Soukoreff and MacKenzie, 2003] Soukoreff, R. W., MacKenzie, I. S. 2003. Metrics for Text Entry Research: An Evaluation of MSD and KSPC, and a New Unified Error Metric. Proceedings of CHI 2003, ACM Press, 113-120.

[Špakov and Miniotas, 2004] Špakov, O., Miniotas, D. 2004. On-line Adjustment of Dwell Time for Target Selection by Gaze. Proceedings of NordiCHI 2004, 203-206.

[Špakov, 2008] Špakov, O. 2008. iComponent – Device-Independent Platform for Analyzing Eye Movement Data and Developing Eye-Based Applications. Academic dissertation. Dissertations in Interactive Technology, Number 9, Tampere 2008.

[Tuisku, 2008] Tuisku, O. 2008. Tekstinsyöttö katseella – Pitkittäistutkimus nopeasta tekstinsyötöstä katseella. Gradu, Tampereen yliopisto, sivut 37-44.

[Tuisku, et al. 2008] Tuisku, O., Majaranta, P., Isokoski, P., Rähä, K-J. 2008. Now Dasher! Dash Away! Longitudinal Study of Fast Text Entry by Gaze. Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications, 19-26.

[Urbina, 2007] Urbina, M. H. 2007. Conception and evaluation of dwell time free eye typing interfaces. Diplomarbeit, Bauhaus-Universität Weimar.

[Ward et al., 2000] Ward, D.J, Blackwell, A. F., MacKay, D. J. C. 2000. Dasher – A Data Entry Interface Using Continuous Gestures and Language Models. Proceedings of UIST 2000: The 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, ACM Press, 129-137.

[Ward and MacKay, 2002] D. J. Ward and D. J. C. MacKay. 2002. Fast hands-free writing by gaze direction. Nature 414 (2002), 838.

[Ware and Mikalian, 1987] Ware, C., Mikalian, H. T. 1987. An Evaluation of an Eye Tracker as a Device for Computer Input. Proceedings of CHI 1987, 184-188.

[Wobbrock, et al., 2003] Jacob O. Wobbrock, Brad A. Myers, John A. Kembel. 2003. EdgeWrite: A Stylus-Based Text Entry Method Designed for High Accuracy and Stability of Motion. Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology, ACM Press, Pages: 61 – 70.

[Wobbrock, 2007] Wobbrock, J. O. 2007. Measures of Text Entry Performance, In MacKenzie, I. S., Tanaka-Ishii (Eds.), K., Text Entry Systems: Mobility, Accessibility, Universality. Morgan Kaufman Publishers, 47-71.

[Wobbrock et al., 2008] Wobbrock, J.O., Rubinstein, J., Sawyer, M., Duchowski, A. T. 2008. Longitudinal evaluation of discrete consecutive gaze gestures for text entry. Proceedings of the 2008 symposium on Eye tracking research & applications, 11-18.

[Zhai and Smith, 2001] Zhai, S., Smith, B. A. 2001. Alphabetically Biased Virtual Keyboards Are Easier to Use - Layout Does Matter. Proceedings of CHI 2001, 321-322.

[Yamada, 1980] Yamada, H. 1980. A Historical Study of Typewriters and Typing Methods: from the position of planning Japanese parallels. Journal of Information Processing 2, 4 (1980), 175-202.

Liitteet

Liite 1. Haastattelukysymykset

1. Kysymys: Miltä näppäimistön ohjaaminen katseella tuntui?

2. Kysymys: Käytössä oli standardi qwerty-näppäimistö. Miltä se tuntui ja mitä mieltä olit kirjainten sijainnista?

3. Kysymys: Oliko joku näppäin tai painike erityisesti hankala tai oliko sinulla ongelmia jonkun tietyn näppäimen tai painikkeen kanssa?

4. Oliko valintanopeuden säätö mielestäsi selkeä?

5. Kysymys: Saitko mielestäsi tarpeeksi palautetta, kun painoit näppäintä?
 - b. Oliko helppo huomata kun näppäin tuli valituksi?

6. Kysymys: Kumpi palaute auttoi enemmän: ääni, visuaalinen (ympyrä, painikkeen alaspainautuminen) vai molemmat?

7. Rasittiko jokin erityisesti silmiäsi?

8. Tunsitko kehittyneesi katsenäppäimistön käytössä?

9. Oliko erityisiä haasteita?

10. Kommentteja?

Liite 2. Taustatietolomake

Kokeen vetäjä täyttää: Koehenkilön tunniste: _____

Tällä lomakkeella keräämme taustatietoja tutkimukseemme. Vastauksesi tulevat olemaan nimettömiä. Testin vetäjä täyttää lomakkeeseen tunnisteen, jonka avulla voimme yhdistää tämän lomakkeen tuloksiisi.

1. Ikä:

- 20
- 21 - 30
- 31 - 40
- 41 - 50
- 51 - 60
- 61 - 70

2. Sukupuoli:

- Mies
- Nainen

3. Onko näkösi normaali?

- Kyllä
- Kyllä, silmälaseilla tai piilolinseillä korjattuna
- Ei

4. Oletko käyttänyt aikaisemmin mitään katsenäppäimistöä (katseella ohjattavaa näppäimistöä)?

- En
 - Kyllä Mitä, milloin, kuinka kauan? _____
-

5. Oletko käyttänyt mitään näytöllä olevaa näppäimistöä (kosketusnäppäimistöä kuten esim. pda:n näppäimistöä styluksella)

En

Kyllä Mitä, milloin, kuinka kauan? _____

6. Kuinka usein käytät tietokonetta normaalilla näppäimistöllä (tarkoittaa myös kannettavan näppäimistöä)?

Käytän päivittäin useita tunteja

Käytän päivittäin / lähes päivittäin

Pari kertaa viikossa

Satunnaisesti / harvoin

7. Käytätkö 10-sormijärjestelmää normaalilla näppäimistöllä kirjoittaessasi?

Kyllä

En

8. Oletko käyttänyt aikaisemmin katseenseurantalaitteistoa?

En

Kyllä Mitä, milloin, kuinka kauan? _____

9. Oletko aikaisemmin osallistunut minkäänlaiseen tekstinsyöttötestiin?
(Tekstinsyöttötesti: Koe, jossa on tutkittu, kuinka kirjoitat (millä tahansa välineellä).)

En

Kyllä Mihin, milloin, kuinka kauan? _____

Liite 3. Vaitiololupauslomake**Vaitiololupaus****Lupaus harjoittelusta pidättäytymisestä**

Minä _____ vakuutan kunniani ja omatuntoni kautta, että en käytä katseella ohjattavia näppäimistöjä muualla kuin Projektityö laboratoriossa, enkä kerro muille henkilöille kokeen yksityiskohdista, niin kauan kun olen mukana näissä testeissä.

Paikka ja aika

Allekirjoitus

Nimen selvennös

Liite 4. Silmien väsymys-lomake

Kokeen vetäjä täyttää: Koehenkilön tunniste: _____

Tällä lomakkeella keräämme esitietoja tutkimukseemme. Vastauksesi tulevat olemaan nimettömiä. Testin vetäjä täyttää lomakkeeseen tunnisteen, jonka avulla voimme yhdistää tämän lomakkeen tuloksiisi.

Ympäröi numero, joka parhaiten vastaa tuntemuksiasi. Vastaa mahdollisimman rehellisesti.

Miltä silmäsi tuntuvat tällä hetkellä?

Erittäin levänneitä	Levänneitä väsyneitä	Jokseenkin levänneitä	Eivät levänneitä, eivätkä väsyneitä	Jokseenkin väsyneitä	Väsyneitä	Erittäin
1	2	3	4	5	6	7

Liite 5. Kyselylomake henkilökohtaisesta kokemuksesta

Kokeen vetäjä täyttää: Kyselylomake nro: _____

Kokeen vetäjä täyttää: Koehenkilön tunniste: _____

Vastauksesi tulevat olemaan nimettömiä. Testin vetäjä täyttää lomakkeeseen tunnusteen, jonka avulla voimme yhdistää tämän lomakkeen tuloksiisi.

Ympäroi numero, joka parhaiten vastaa tuntemuksiasi. Vastaa mahdollisimman rehellisesti ja jokaiseen kysymykseen.

Miltä silmäsi tuntuivat heti testin jälkeen?

Erittäin levänneiltä	Levänneiltä	Jokseenkin levänneiltä	Eivät levänneiltä, eivätkä väsyneiltä	Jokseenkin väsyneiltä	Väsyneiltä	Erittäin väsyneiltä
1	2	3	4	5	6	7

Kuinka nopeata tekstinsyöttösi oli katsenäppäimistöllä (kokemus omasta nopeudestasi testin aikana)?

Erittäin hidasta	Hidasta	Jokseenkin hidasta	Ei hidasta, eikä nopeaa	Jokseenkin nopeaa	Nopeaa	Erittäin nopeaa
1	2	3	4	5	6	7

Kuinka raskasta silmillesi näppäimistön ohjaaminen oli katseella?

Erittäin raskasta	Raskasta	Jokseenkin raskasta	Ei raskasta, eikä kevyttä	Jokseenkin kevyttä	Kevyttä	Erittäin kevyttä
1	2	3	4	5	6	7

Miltä katsenäppäimistön käyttö tuntui?

Erittäin vaikealta	Vaikealta	Jokseenkin vaikealta	Ei vaikealta, eikä helpolta	Jokseenkin helpolta	Helpolta	Erittäin helpolta
1	2	3	4	5	6	7

Saitko säädettyä näppäimen valintanopeuden sopivaksi?

- Kyllä
 En, valintanopeus oli liian hidas.
 En, valintanopeus oli liian nopea.

En säätänyt nopeutta. Miksi? _____

Auttoiko nopeuden säätäminen mielestäsi sinua parempaan tulokseen?

- Kyllä
 Ei
 Ei, nopeuden säätäminen huononsi tulostani.

En säätänyt nopeutta.

Kommentteja? _____

Löysitkö haluamasi kirjaimet helposti?

- Kyllä
 Ei

Kommentteja? _____

Oliko visuaalinen palaute (sulkeutuva ympyrä) näppäintä valittaessa hyödyllinen?

- Kyllä
 Ei
 En kiinnittänyt asiaan huomiota.

Oliko visuaalinen palaute (sulkeutuva ympyrä) näppäintä valittaessa häiritsevää?

- Kyllä
 Ei

Oliko äänipalaute näppäintä valittaessa hyödyllinen?

- Kyllä
 Ei
 En kiinnittänyt asiaan huomiota.

Oliko äänipalaute näppäintä valittaessa häiritsevää?

- Kyllä
 Ei

Liite 6. Viiveajan muutokset

OSALLIS- TUJA	1. TESTI			2. TESTI			3. TESTI			4. TESTI			5. TESTI		
	N	H	DT	N	H	DT	N	H	DT	N	H	DT	N	H	DT
1	4	0	660	3	0	480	1	0	420	1	0	380	1	0	320
2	0	0	1000	6	1	600	0	0	600	0	0	600	2	0	480
3	3	0	740	4	0	480	6	1	260	3	2	220	0	0	220
4	0	0	1000	4	0	660	2	0	540	2	0	420	1	0	380
5	-	-	820	5	2	600	6	1	340	3	2	300	1	3	380
6	0	0	1000	6	0	540	2	0	420	1	0	380	-	-	-
7	0	0	1000	5	0	600	5	0	340	1	0	300	0	0	300
8	6	0	540	3	0	380	2	0	300	0	0	300	1	0	260
10	0	0	1000	11	1	340	0	1	360	1	1	360	3	3	360
11	0	0	1000	3	0	740	5	0	420	3	5	520	6	2	340
* N = nopeutuskerta H = hidastuskerta DT = viiveaika (ms)															
OSALLIS- TUJA	6. TESTI			7. TESTI			8. TESTI			9. TESTI			10. TESTI		
	N	H	DT	N	H	DT	N	H	DT	N	H	DT	N	H	DT
1	1	2	360	0	1	400	1	0	360	4	3	320	0	0	320
2	0	0	480	5	4	420	0	0	420	1	0	380	0	0	380
3	2	2	240	4	3	200	2	2	200	0	0	240	1	1	240
4	-	-	300	1	0	340	1	0	300	0	0	300	0	0	300
5	2	2	360	3	3	360	4	3	320	6	2	240	5	6	280
6	2	0	340	0	0	340	-	-	300	1	1	300	0	0	300
7	2	2	300	3	3	340	2	0	260	0	0	260	0	0	260
8	0	0	260	0	1	240	4	3	200	0	0	200	1	0	180
10	3	2	320	3	2	280	6	6	280	1	1	280	0	1	320
11	1	0	300	5	4	280	2	1	240	6	7	280	1	0	240