

SANANTUNNISTUKSEN TEHOKKUUS
LUKEMISEN SUJUVUUDEN ENNUSTAJANA
AIKUISILLA LUKIJOILLA

Nea Alila
Pro gradu -tutkielma
Turun yliopisto
Psykologian ja logopedian laitos
Psykologia
Syyskuu 2021

TURUN YLIOPISTO
Yhteiskuntatieteellinen tiedekunta
Psykologian ja logopedian laitos

ALILA, NEA: Sanantunnistuksen tehokkuus lukemisen sujuvuuden ennustajana
aikuisilla lukijoilla
Pro gradu -tutkielma
42 s.
Psykologia
Syyskuu 2021

Tämän silmänliiketutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, kuinka yksittäisten sanojen tunnistuksella kyetään selittämään tekstin lukemisen sujuvuutta suomenkielisillä aikuisilla lukijoilla. Lisäksi haluttiin selvittää, mikä sanantunnistuksen osaprosessi erityisesti selittäisi yhteyttä. Aiemmissa tutkimuksissa on saatu laajasti näyttöä siitä, että taidoiltaan paremmat lukijat tekevät lukiessaan vähemmän ja lyhyempiä fiksaatioita sekä saavat tekstistä enemmän informaatiota jo parafovean alueelta kuin taidoiltaan heikommat lukijat. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin erikseen fovean ja parafovean alueen sanantunnistusta ja tunnistettavana oli sekä oikeita suomenkielisiä sanoja että suomen kielen rakennetta muistuttavia epäsanoja. Sanantunnistustehtävien oikeiden vastausten osuutta verrattiin silmänliikkeisiin lukemistehtävässä, jossa koehenkilöiden tuli lukea näytöllä olevia suomenkielisiä asiatekstejä. Silmänliikkeistä tarkasteltiin kunkin virkkeen ensimmäisen lukukerran fiksaatioita sekä taipumusta palata tekstissä taaksepäin. Tutkimuksen tulokset analysoitiin lineaarisella sekamallilla sekä yleistetyllä lineaarisella sekamallilla ja analysoinnissa käytettiin R-ohjelmistoa.

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että tehokas sanantunnistus fovealla oli yhteydessä fiksaatioiden pienempään lukumäärään ja lyhyempään keston tekstin lukemisessa. Yhteys oli nähtävissä sekä oikeiden sanojen että epäsanojen osalta mutta epäsanojen tehokas prosessointi selitti lukemisen sujuvuutta hieman oikeiden sanojen tunnistusta paremmin. Tämän ajateltiin kuvaavan epäsuoran sanantunnistusreitin suhteellisen suurta merkitystä suomenkielisessä lukemisessa, mikä voisi selittyä muun muassa sillä, että suomen kielen sanoissa erilaiset päätteet ovat keskeisiä. Parafovean alueen sanantunnistuksen ei havaittu olevan yhteydessä lukemisen silmänliikkeisiin. Voitaisiin siis olettaa, että keskeisempää tekstin lukemisen sujuvuudessa on tehokkaasti toimiva sanantunnistus tarkan näön alueella kuin niinkään laaja havaintokenttä. Aiemmissa tutkimuksissa havaittu ero parafoveaalisessa prosessoinnissa lukutaidon suhteen voisikin ainakin osaltaan selittyä sillä, että nopeat lukijat tunnistavat nopeammin fovealla olevan sanan, jolloin aikaa jää myös parafovealla olevan sanan prosessointiin. Sanantunnistus oli tässä tutkimuksessa yhteydessä nimenomaan lukemisen nopeuteen, mutta luetun ymmärtämisestä ei voida tehdä selkeitä päätelmiä.

Asiasanat: silmänliikkeet, lukeminen, sanantunnistus, fovea, parafovea

Sisällys

1. Johdanto	1
1.1. Fovea ja parafovea.....	3
1.2. Lukijan silmänliikkeet ja niiden vaihtelu sanojen piirteiden mukaan	4
1.3. Lukijoiden silmänliikkeiden yksilöllinen vaihtelu	5
1.3.1. Yksilölliset erot parafoveaalisessa prosessoinnissa	8
1.3.2. Yksilölliset erot foveaalisessa prosessoinnissa	10
1.4. Sanantunnistuksen kaksi prosessointireittiä	14
1.5. Tutkimuskysymykset ja hypoteesit	15
2. Menetelmät.....	17
2.1. Koehenkilöt	17
2.2. Laitteet.....	17
2.3. Tehtävät ja materiaalit	17
2.3.1. Ymmärtävän lukemisen tehtävä	18
2.3.2. Foveaalinen nimeämistehtävä	18
2.3.3. Parafoveaalinen nimeämistehtävä.....	19
2.4. Kokeen kulku	20
2.5. Muuttujat	21
2.6. Tilastollinen analyysi	22
3. Tulokset.....	24
3.1. Sanantunnistuksen yhteys ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskeston	25
3.2. Sanantunnistuksen yhteys eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden keston.....	27
3.3. Sanantunnistuksen yhteys eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden määrään.....	27
3.4. Sanantunnistuksen yhteys uudelleen lukemiseen.....	28
3.5. Sanantunnistuksen yhteys takaisinpaluusiin	28
4. Pohdinta	29
4.1. Tutkimuksen tulokset ja niiden suhde aiempiin tutkimuksiin.....	29
4.2. Parafoveaalisen ja foveaalisen sanantunnistuksen merkitys lukusujuvuudessa ...	31
4.3. Sanojen ja epäsanojen tunnistamisen yhteydet lukusujuvuuteen	32
4.4. Tutkimuksen rajoitteet ja vahvuudet	34
4.5. Mahdolliset jatkotutkimukset	35
5. Lähteet.....	37

1. Johdanto

Tehokas sanantunnistus on olennainen osa sujuvaa lukemista. Sanantunnistuksella tarkoitetaan prosessia, jossa sanan merkitys tunnistetaan sanan kirjoitusasun perusteella. Kun tämä prosessi toimii vaivattomasti, sanat saadaan nopeasti luettua. Pelkkä tehokas sanantunnistus ei kuitenkaan vielä takaa sujuvaa lukemista, sillä virkkeessä sanat täytyy paitsi tunnistaa myös kyetä liittämään toisiinsa merkitykselliseksi kokonaisuudeksi. Ymmärtävässä lukemisessa kokonaisuudet ovat yleensä kuitenkin vielä pidempiä kuin yksittäisiä virkkeitä, joten virkkeet täytyy kyetä edelleen liittämään toisiinsa ja lopulta koko teksti yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Kun kaikki nämä vaiheet onnistuvat sujuvasti, lukeminen on nopeaa ja tehokasta ja luetun tekstin ymmärtäminen helppoa. Koska tekstin lukeminen lähtee liikkeelle yksittäisten sanojen tunnistuksesta, perehdyttiin tässä tutkimuksessa siihen, kuinka hyvin yksittäisten sanojen tunnistuksen tehokkuudella kyetään ennustamaan kokonaisten tekstien lukemisen sujuvuutta suomenkielisillä aikuisilla lukijoilla. Aloittelevilla lukijoilla sanantunnistuksen sujuminen on lukemisen sujuvuuden edellytys, mutta on kiinnostavaa tarkastella, kuinka olennaisessa osassa se on myös tottuneilla lukijoilla.

Vaikka lukutaidon taso on suomalaisilla aikuisilla yleisesti ottaen hyvä, yksilöiden välillä on kuitenkin eroja (Sulkunen & Malin, 2014). Hyvät lukijat ovat nopeita ja tehokkaita ja ymmärtävät hyvin lukemaansa, kun taas heikompi lukutaito johtaa lukemisen hitauteen ja vaikeuksiin luetun ymmärtämisessä. Yksilöiden väliset erot lukutaidon tasossa näkyvät heidän erilaisissa silmänliikkeissään lukemisen aikana (mm. Eskenazi & Folk, 2015; Taylor & Perfetti, 2016; Veldre & Andrews, 2014). Silmänliikemittauksia on hyödynnetty monissa lukemiseen liittyvissä tutkimuksissa, koska niiden avulla pystytään havaitsemaan hyvin tarkasti ja objektiivisesti, mihin lukija katseensa kohdistaa milläkin hetkellä ja kuinka kauan hän tiettyä kohdetta kerralla katsoo (Rayner, 1998, 2009). Silmänliikedataa hyödyntämällä pystytään siten tarkastelemaan, kuinka tehokasta yksilön lukeminen on, sillä sen avulla voidaan päätellä, kuinka nopeasti yksilö lukee sanat ja virkkeet ja pääseekö hän tekstissä sujuvasti eteenpäin vai joutuuko esimerkiksi palaamaan usein takaisin jo luettuihin alueisiin.

Jopa lukutaidoltaan yleisesti hyvätasoisten yliopisto-opiskelijoiden silmänliikkeiden välillä on aiemmissa tutkimuksissa havaittu eroja lukutaidon ja kielellisten taitojen suhteen (mm. Eskenazi & Folk, 2015; Gordon ym., 2019; Kuperman ym., 2018; Rayner ym., 2010; Veldre & Andrews, 2014, 2015). Näissä tutkimuksissa yksilöllisiä eroja

kielellisissä ja kognitiivisissa taidoissa on verrattu joko parafovean tai fovean (ks. luku 1.1) alueella tapahtuvassa prosessoinnissa ilmeneviin eroihin tekstiä lukiessa. Aiempi tutkimus on suurelta osin toteutettu englanninkielisillä koehenkilöillä eikä niiden kaltaisia tutkimuksia ole toteutettu suomenkielisellä koehenkilöillä. Sekä parafovean että fovean alueella tapahtuvan tehokkaan prosessoinnin on aiemmissa tutkimuksissa havaittu olevan yhteydessä sujuvaan lukemiseen. Parafovean prosessointia tarkastelevissa tutkimuksissa käytetyissä menetelmissä foveaalinen prosessointi on kuitenkin ollut osana lukemisprosessia, joten parafoveaalisen prosessoinnin itsenäisestä merkityksestä ei ole saatu täyttä varmuutta.

Tässä tutkimuksessa haluttiin tarkastella erikseen parafovean ja fovean alueen sanantunnistuksen merkitystä lukemisen sujuvuudelle. Aiempien tutkimusten mukaisesti tarkasteltiin yksilöllisiä eroja lukemisen silmänliikkeissä, mutta eroja ei verrattu kielellisten ja kognitiivisten testien tuloksiin vaan yksilöiden välisiin eroihin yksittäisten sanojen ja epäsanojen prosessoinnissa. Parafoveaalista prosessointia tutkivassa osiossa foveaalisen prosessoinnin vaikutus voitiin sulkea pois näyttämällä ärsykeitä vain parafovean alueella. Fovean ja parafovean erillisillä tarkasteluilla voitiin selvittää, onko jommankumman alueen tehokas prosessointi olennaisempaa kokonaisen tekstin sujuvan lukemisen selittäjänä ja kuinka ne kytkeytyvät toisiinsa. Erona aiempiin tutkimuksiin oli myös se, että sanantunnistusta tarkasteltiin erikseen oikeiden sanojen ja epäsanojen osalta. Erottelun ajatuksena oli tarkastella erikseen suoran ja epäsuoran sanantunnistusreitit (ks. luku 1.4) merkitystä suomenkielisessä lukemisessa. Lukemisen sujuvuutta tutkittiin tehtävällä, jossa tutkittavat lukivat suomenkielisiä eri aiheita käsitteleviä tekstikappaleita. Kokonaisten tekstien käytön etuna pelkkien yksittäisten virkkeiden sijaan oli se, että kokonaiset tekstit kuvastavat aidommin normaalia lukemista, jossa tavoitteena on usein ymmärtää jokin kokonaisuus.

Tämän luvun seuraavissa alaluvuissa käsitellään ensin tutkimuksen kannalta olennaisia käsitteitä. Ensin käydään läpi fovean ja parafovean käsitteitä, koska sanantunnistusta tutkittiin näiden molempien osalta. Tämän jälkeen käsitellään yleisellä tasolla silmänliikkeitä ja niissä ilmenevää vaihtelua, josta siirrytään yksilöllisiin eroihin silmänliikkeissä kielellisten taitojen suhteen. Näitä eroja käsitellään erikseen fovean ja parafovean osalta aiempien tutkimusten tulosten pohjalta. Näiden jälkeen perehdytään lyhyesti sanojen ja epäsanojen prosessointitapojen eroihin. Lopussa esitetään vielä tarkennetut tutkimuskysymykset ja hypoteesit.

1.1. Fovea ja parafovea

Ihmisen näkökenttä koostuu useammasta osasta, joissa näöntarkkuus vaihtelee. Kun tekstiä luetaan, vain pieni määrä tekstiä kerrallaan nähdään tarkasti, pieni määrä nähdään vähän epätarkemmin ja suurin osa tekstistä on alueella, josta sitä ei pystytä lukemaan (Rayner, 2009). Tarkimman näkemisen aluetta kutsutaan foveaksi (Rayner, 1998). Se on suuruudeltaan kaksi kaariastetta, joka normaalilta luketaisyydeltä vastaa noin kuudesta kahdeksaan merkkiä fiksaatiopisteen ympärillä. Foveassa kohde nähdään hyvin yksityiskohtaisesti ja foveaalinen prosessointi on välttämätöntä visuaalista tarkkuutta vaativissa tehtävissä – kuten lukemisessa.

Fovean ulkopuolella olevaa epätarkemman näkemisen aluetta nimitetään parafoveaksi. Näkökyvyn kannalta parafovea määritellään alueeksi, joka kattaa viisi kaariastetta fiksaatiopisteen molemmilla puolilla (Rayner, 1998). Lukiessa toiminnallinen parafovea ei kuitenkaan levity symmetrisesti fovean molemmille puolille, vaan se on suurempi siihen suuntaan, johon lukeminen tapahtuu. Suomen kielessä parafovean alue on siis painottunut oikealle, ja kattaa noin 14–15 merkkiä katseen keskipisteen oikealla puolella ja 3–4 merkkiä sen vasemmalla puolella. Lukiessa parafovean alueelta pystytään tunnistamaan joitain tekstin piirteitä, esimerkiksi sanan pituuksia, ortografisia eli oikeinkirjoitukseen liittyviä ja fonologisia eli äänneisiin liittyviä piirteitä sekä mahdollisesti jossain määrin myös sanan merkityksiä (Schotter ym., 2012). Parafovean ulkopuolella oleva teksti kuuluu periferian alueeseen, josta ei enää saada lukemisen kannalta olennaista informaatiota.

Sanan näkeminen parafoveaalisesti ja sinä aikana tapahtuva esiprosessointi helpottaa sanan tunnistamista ja siten nopeuttaa sen tulevaa foveaalista prosessointia (Rayner, 1975). Tätä prosessoinnin helpottumista parafoveaalisen esiprosessoinnin seurauksena kutsutaan parafoveaaliseksi esikatseluvaiikutukseksi (parafoveal preview benefit effect) (Rayner, 1998). Se ilmenee lyhyempinä sanaan kohdistuvina fiksaatioina tilanteissa, joissa sanasta on ollut tarjolla parafoveaalista informaatiota. Toisinaan sanasta saadaan riittävästi informaatiota parafovealta, jotta sana voidaan tunnistaa jo ennen sen päätymistä fovean alueelle, ja tästä syystä sana voidaan hypätä yli ilman, että siihen varsinaisesti kohdistetaan katsetta. Erityisesti lyhyet sanat, yleiset sanat sekä sanat, jotka ovat helposti ennustettavissa kontekstin perusteella, hypätään tekstissä yli muita sanoja todennäköisemmin (Brysbaert ym., 2005; Rayner ym., 1996, 2011). On myös näyttöä siitä, että foveaalisen sanan prosessoinnin vaativuus vaikuttaa seuraavan sanan ylihyppäämiseen, kun resursseja kuluu enemmän foveassa tapahtuvaan prosessointiin

(Henderson & Ferreira, 1990). Erityisesti foveaalisen sanan harvinaisuus ja vaikeudet sen kontekstiin yhdistämisessä voivat vähentää seuraavan sanan ylihyppäämisen todennäköisyyttä (Drieghe ym., 2005; Drieghe, 2008).

1.2. Lukijan silmänliikkeet ja niiden vaihtelu sanojen piirteiden mukaan

Koska lukemisen kannalta välttämätön fovea on laajuudeltaan rajallinen, silmiä täytyy toistuvasti liikuttaa lukemisen aikana sanasta toiseen, jotta sanat tulevat tunnistettua. Lukemisen silmänliikkeitä ovat fiksaatiot ja sakkadit (Rayner, 1998, 2009). Varsinainen tekstin näkeminen tapahtuu fiksaatioiden aikana, jolloin silmät eivät liiku, vaan ne ovat kohdistettuina johonkin yksittäiseen kohteeseen, joka nähdään hyvin tarkasti. Fiksaatiot ovat kestoaltaan lyhyitä, yleensä noin 200–300 millisekunnin mittaisia. Sakkadit puolestaan ovat silmien hyvin nopeita liikkeitä fiksaatiosta toiseen, ja niiden aikana ei sakkadisen suppression vuoksi nähdä mitään. Sakkadien pituudet ja kestot vaihtelevat, mutta tyypillisesti lukemisen aikana sakkadit kestävät noin 20–50 millisekuntia ja ovat pituudeltaan noin 7–9 merkkiä. Vaikka sakkadit pääsääntöisesti suuntautuvat tekstissä eteenpäin, noin 10–15 % sakkadeista on takautuvia ja suuntautuu jo luettuihin alueisiin tekstissä (Rayner, 1998).

Lukemisen silmänliiketutkimuksissa ollaan kiinnostuneita sekä fiksaatioista että sakkadeista (Rayner, 1998). Sakkadien osalta voidaan tarkastella niiden pituutta ja suuntaa. Fiksaatioista puolestaan tarkastellaan tyypillisesti sitä, mihin fiksaatiot kohdistuvat ja kuinka pitkiä ne ovat. Näin voidaan selvittää, kuinka kauan esimerkiksi tietyn sanan tai virkkeen lukeminen kestää. Fiksaatioiden tarkastelu voidaan jakaa tekstin varhaisempaan ja myöhäisempään prosessointiin (Lowder & Gordon, 2017; Rayner, 1998). Tässä tutkimuksessa silmänliikkeitä tarkasteltiin virketasolla ja varhaiseen prosessointiin kuuluivat fiksaatiot, jotka kohdistuivat virkkeeseen ensimmäisellä lukukerralla ennen kuin lukija siirtyi virkkeestä pois. Tällaisten fiksaatioiden tarkastelu kertoo erityisesti lukijan sanantunnistuksen tehokkuudesta. Myöhempään prosessointiin puolestaan kuuluivat tilanteet, joissa virkkeeseen palattiin eli lukija kohdisti siihen fiksaatioita takautuvasti, kun hän oli jo pidemmällä tekstissä. Myöhemmän prosessoinnin fiksaatiot kuvaavatkin tekstin integroimista ja niitä tarkastelemalla saadaan tietoa siitä, kuinka lukija ymmärtää lukemaansa. Näiden silmänliikemittareiden ja niissä ilmenevien erojen ajatellaan yleisesti heijastelevan tekstin prosessoinnin vaativuutta, sillä on havaittu, että silmänliikkeet kertovat siitä, mihin tarkkaavaisuus tekstissä milloinkin kohdentuu; vaativiin kohteisiin käytetään enemmän aikaa kuin helppoihin (Just & Carpenter, 1980; McConkie ym., 1979; Rayner, 1978; Rayner, Sereno ym., 1989).

Fiksaatioiden ja sakkadien ilmenemisessä lukemisen aikana on siis eroja, ja tutkimuksissa on havaittu, että esimerkiksi sanan pituudella, sanan yleisyydellä sekä sanan ennustettavuudella muun tekstin perusteella on vaikutusta lukijan silmänliikkeisiin (mm. Calvo & Meseguer, 2002; Kuperman ym., 2018; Rayner ym., 1996). Sanat, jotka ovat lyhyitä, yleisiä tai helposti ennakoitavia luetaan yleensä nopeasti, koska niihin tehdään vähemmän ja kestoaltaan lyhyempiä fiksaatioita. Tällaiset sanat myös hypätään tekstissä yli muita useammin. Erityisesti lyhyet sanat hypätään lukiessa usein kokonaan yli, ja nimenomaan sanan pituus vaikuttaakin lyhyppäämisen todennäköisyyteen sanojen piirteistä kaikkein eniten (Brysbaert ym., 2005; Kliegl ym., 2004; Kuperman ym., 2018; Rayner ym., 1996, 2011).

1.3. Lukijoiden silmänliikkeiden yksilöllinen vaihtelu

Tekstin ja sanojen ominaisuuksien lisäksi lukemiseen vaikuttavat myös lukijoiden yksilölliset tekijät ja niissä ilmenevä vaihtelu. Yksilöiden välisiä eroja on tarkasteltu esimerkiksi iän suhteen sekä tutkittu muun muassa sitä, kuinka lukemisvaikeus näkyy lukemisen silmänliikkeissä. Tutkimuksissa onkin havaittu, että esimerkiksi havaintokentän laajuus on yliopisto-opiskelijoihin verrattuna pienempi aloittelevilla lukijoilla (Häikiö ym., 2009), iäkkäämmillä lukijoilla (Rayner ym., 2009) sekä yksilöillä, joilla on dysleksia (Rayner, Murphy ym., 1989). Aikuisten ja lasten välillä on havaittu eroja useissa eri osa-alueissa, sillä lapset esimerkiksi lukevat hitaammin, tekevät sanoihin useampia ja pidempiä fiksaatioita sekä palaavat edellisiin sanoihin useammin kuin aikuiset (Blythe, 2014; Blythe ym., 2009).

Näiden eri ryhmien välisten eroavaisuuksien lisäksi eroja on havaittu myös tottuneiden aikuisten lukijoiden välillä (mm. Eskenazi & Folk, 2015; Lowder & Gordon, 2017; Taylor & Perfetti, 2016; Veldre & Andrews, 2015). Monissa tutkimuksissa on tarkasteltu yliopisto-opiskelijoiden välisiä eroja lukemisen silmänliikkeissä siten, että on tutkittu esimerkiksi lukuharrastuneisuuden tai kielellisiä taitoja mittaavien testien tulosten yhteyttä havaittuihin silmänliikkeisiin ja tekstin prosessointiin. Yhteenveto näistä tutkimuksista on esitetty taulukossa 1. Taulukossa kuvataan kunkin tutkimuksen otos, käytetyt lukutaitomittarit, tutkimuksessa tarkasteltu lukemisen osa-alue (fovea vs. parafovea) sekä keskeiset tulokset, joten näitä tietoja ei esitetä yksityiskohtaisesti uudelleen kahdessa seuraavassa alaluvussa, joissa käsitellään lukijoiden eroja kielellisten taitojen suhteen ensin parafoveaalisessa ja sitten foveaalisessa prosessoinnissa.

Taulukko 1.

Yhteenveto aikuislukijoiden yksilöllistä eroista tehdyistä silmänliiketutkimuksista

Tutkimus	Tutkittu lukemisaalue	Tutkittavat	Lukutaitomittari	Keskeiset tulokset
Veldre & Andrews, 2015	parafovea (boundary)	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 94)	Nelson-Denny (luetun ymmärtäminen), oikeinkirjoitus (tuotto, tunnistus)	Hyvät lukijat saivat sanasta enemmän informaatiota jo parafovean alueelta kuin heikot lukijat. Tämä ilmeni sanojen ylihyppäämisen todennäköisyytenä sekä lukuajoissa. Mikäli manipuloitua, kohdesanaa muistuttavaa sanaa ei hypäty yli, hyvät lukijat lukivat sen hitaammin, koska parafovealla nähty manipulaatio oli ehtinyt aiheuttaa lateraalista inhibitiota samankaltaisiin sanoihin eli myös kohdesanaan. Heikommilla lukijoilla vastaavaa ei ilmennyt.
Chace ym., 2005	parafovea (boundary)	englanninkieliset aikuiset (n = 32)	Nelson-Denny (luetun ymmärtäminen, sanasto)	Hyvät lukijat hyödynsivät parafovean informaatiota heikkoja enemmän ja hyötyivät erityisesti kohdesanan kanssa fonologisesti samankaltaisista manipulaatioista.
Choi ym., 2015	parafovea (moving window)	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 70)	ART, lukutottumukset, WRMT-III (dekoodaus: sanat, epäsanat), nimeäminen (sanat, epäsanat), RAN, okulomotorisen prosessoinnin nopeus	Hyvien lukijoiden suoritus oli parhaimmillaan, kun tekstin kaikki merkit (yli 16) olivat näkyvissä, kun taas heikkojen lukijoiden suoritus ei parantunut 12 merkistä ylöspäin. Taidoiltaan paremmat myös lukivat nopeammin, heidän fiksaationsa olivat lyhyempiä ja sakkadinsa pidempiä kuin taidoiltaan heikompien tutkittavien. Kielelliset taidot ennustivat parafoveaalista prosessointia paremmin kuin okulomotorinen prosessointi.
Rayner ym., 2010	parafovea (moving window)	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 32)	lununopeus	Nopeiden lukijoiden lununopeus oli korkein silloin, kun kaikki sanat (yli 3) olivat näkyvissä. Hitaiden lukijoiden lununopeus ei kasvanut kahdesta sanasta eteenpäin.
Veldre & Andrews, 2014	parafovea (moving window)	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 45)	Nelson-Denny (luetun ymmärtäminen, sanasto), oikeinkirjoitus (tuotto, tunnistus)	Hyvien lukijoiden suorituminen oli parhaimmillaan, kun kaikki merkit olivat näkyvissä. Heikompien lukijoiden suoritus ei parantunut enää 11 merkistä eteenpäin. Hyvillä lukijoilla myös sakkadit olivat pidempiä ja niiden kohdentaminen tehokkaampaa kuin heikommilla.
Veldre ym., 2021	parafovea (moving window)	englanninkieliset 60–88-vuotiaat (n = 49)	Nelson-Denny (sanasto, luetun ymmärtäminen, lununopeus), oikeinkirjoitustaito, ART	Hyvät lukijat hyödynsivät oikeanpuoleisen parafovean informaatiota 15 merkkiin asti, kun taas heikommat lukijat vain 9 merkkiin asti. Vasemman puolen parafovealla eroja taitojen suhteen ei havaittu. Taidoiltaan paremmat myös ylipäätään lukivat nopeammin sekä tekivät vähemmän fiksaatioita ja regressioita kuin taidoiltaan heikommat.
Eskenazi & Folk, 2015	parafovea/fovea	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 62)	Nelson-Denny (sanasto, luetun ymmärtäminen)	Hyvät lukijat hyppivät heikompia lukijoita useampien sanojen yli tilanteissa, joissa edeltävän sanan foveaalinen kuormitus oli korkea. Foveaaliselta kuormitukseltaan alhaisten sanojen jälkeisten sanojen ylihyppäämisessä ei sen sijaan ollut eroa ryhmien välillä.
Luke ym., 2015	fovea	englanninkieliset 11–13-vuotiaat (n = 21)	TOWRE (sanojen ja epäsanojen lukeminen), WRMT-III (leksikaalinen kyvykyys ja luetun ymmärtäminen)	Hyvät sanastotaidot olivat yhteydessä fiksaatioiden lyhyempään keston ja pienempään lukumäärään sekä runsaampaan sanojen ylihyppäamiseen. Erot silmänliikkeissä näkyivät vain lukemistehtävissä, eikä tekstiä muistuttavien materiaalien pseudolukemisen silmänliikkeissä havaittu eroja.
Gordon ym., 2019	fovea	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 546)	ART, RAN	Korkeat pisteet ART-testissä olivat yhteydessä suurempaan sanojen ylihyppäämisen lukumäärään ja ensimmäisellä lukukerralla sanaan kohdistuneiden fiksaatioiden lyhyempään kokonaiskeston. Korkeat pisteet RAN-testissä olivat yhteydessä lyhyempiin sanan ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskestoihin, edellisen sanan yleisyyden suurempaan vaikutukseen parafoveaalisessa prosessoinnissa, sanasta

Lowder & Gordon, 2017	fovea	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 48)	ART	taaksepäin tekstissä tehtyjen fiksaatioiden vähäisempään määrään, lyhyempiin uudelleenlukuaikeihin sekä sanan yleisyyden vähäisempään vaikutukseen lukuajassa. Korkeat pisteet ART:ssä olivat yhteydessä nopeaan lukemiseen ja erot näkyivät sekä sanojen varhaisessa prosessoinnissa että integraatioissa.
Taylor & Perfetti, 2016	fovea	englanninkieliset aikuiset (n = 35)	ART, Nelson-Denny, oikeinkirjoitus, fonologinen testi, lukutottumukset	Kokeneet lukijat olivat muita nopeampia lukijoita, hyppäsivät enemmän sanoja yli, tekivät vähemmän fiksaatioita sanoihin sekä palasivat edellisiin sanoihin muita vähemmän. Leksikaalinen tietoisuus taas oli yhteydessä lyhyempiin ensimmäisiin fiksaatioihin, vähäisempään fiksaatioiden määrään ennen siirtymistä seuraavaan sanaan sekä sanojen ylihyppäämisen määrään.
Payne ym., 2020	fovea	englanninkieliset 16–64-vuotiaat aikuiset (n = 80)	SORT (sanantunnistus) ja Woodcock-Johnson (lukusujuvuus)	Taidoiltaan paremmat lukivat keskimäärin nopeammin kuin taidoiltaan heikkomat. Lukutaidoltaan heikompia lukijoiden fiksaatiot olivat keskimäärin pidempiä, he tekivät sanoihin useampia fiksaatioita ja heillä oli taipumus tehdä enemmän regressioita sekä hypätä vähemmän sanoja yli lukutaidoltaan parempiin verrattuna. Sanojen pituudet vaikuttivat enemmän heikompia lukijoiden silmänliikkeisiin kuin parempien lukijoiden.
Ashby ym., 2005	fovea	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 44)	Nelson-Denny	Hyvien lukijoiden lukeminen oli ylipäätään nopeampaa kuin heikompia lukijoiden, mutta erityisen selkeästi sanantunnistus erosi harvinaisten sanojen osalta. Heikkomat lukijat myös hyödynsivät enemmän kontekstia sanantunnistuksessa erityisesti haastavien sanojen kohdalla.
Andrews & Bond, 2009	fovea	englanninkieliset psykologian opiskelijat (n = 109)	luetun ymmärtäminen, oikeinkirjoitus (tuotto, tunnistus)	Oikeinkirjoitustaidoiltaan heikkomat hyödynsivät enemmän kontekstia ja erityisesti erot näkyivät tilanteissa, joissa lausetta näytettiin vain lyhyt aika.
Kuperman & Van Dyke, 2011	fovea	englanninkieliset 16–24-vuotiaat (ei yliopisto-opiskelijoita) (n = 71)	18 testiä, joilla mitattiin fonologisia kykyjä, sanojen ja epäsanon tunnistusta, lauseiden ymmärtämistä, työmuistia	Sanantunnistuksessa ja nopeassa nimeämisessä hyvin pärjänneiden tutkittavien ensimmäiset fiksaatiot olivat lyhyempiä ja lähempänä sanan keskiosaa, heidän yksittäiset fiksaationsa olivat lyhyempiä, he tekivät sanoihin vähemmän fiksaatioita ensimmäisellä lukukerralla, tekivät vähemmän ja nopeampia regressioita sanoihin ja heidän kokonaislukuajansa olivat lyhyempiä kuin kyseisissä testeissä heikommin pärjänneillä. Muut testit eivät ennustaneet silmänliikkeitä niin selkeästi.
Kuperman ym., 2016	fovea	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 151)	RAN	Nopean nimeämisen kyvykkyys oli ylipäätään selkeässä yhteydessä silmänliikkeiden tehokkuuteen lukemisen aikana.
Kuperman ym., 2018	fovea	englanninkieliset yliopisto-opiskelijat (n = 65)	lukutottumukset, ART, lukemisen sujuvuus (TOWRE), RAN, sanaston koko, finger tapping	Hyvät tulokset kielellisissä ja kognitiivisissa mittauksissa olivat virketasolla yhteydessä runsaampaan sanojen ylihyppimiseen, lyhyempiin lukuaikeihin, fiksaatioiden pienempään määrään sekä luetun ymmärtämisen parempaan tarkkuuteen. Silmänliikkeisiin olivat erityisesti yhteydessä lukemisen sujuvuus, nimeäminen (RAN) sekä itseraportoitu lukuinnostus, kun taas luetun ymmärtämiseen olivat yhteydessä sanaston koko, lukuharrastuneisuus ART-testillä mitattuna sekä nimeäminen (RAN). Sanastolla sanaston koko, lukemisen sujuvuus, nimeämistaidot (RAN) sekä itseraportoitu lukuinnostus ja taitavuus olivat yhteydessä suurempaan taipumukseen hypätä sanojen yli lukiessa, ensimmäisen fiksaation keston sekä kaikkiin ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskestoon.

ART = Author recognition test (Stanovich & West, 1989), WRMT-III = Woodcock Reading Mastery Tests-III (Woodcock, 2011), RAN = Rapid automatized naming -test, TOWRE = Test of Word Reading Efficiency (Torgesen ym., 1999), SORT = The Slosson Oral Reading Test (Slosson & Nicholsson, 1990). Boundary ja moving window ovat menetelmiä, joilla tutkitaan parafoveaalista prosessointia (ks. luku 1.3.1.).

1.3.1. Yksilölliset erot parafoveaalisessa prosessoinnissa

Parafoveaalista prosessointia on tutkittu esimerkiksi boundary-paradigmalla, jossa ajatuksena on esittää kohdesana parafovealla manipuloidussa muodossa ja lukijan huomaamatta muuttaa se oikeaan muotoonsa sakkadisen suppression aikana juuri ennen kuin lukija siirtää katseensa siihen (Rayner, 1975). Manipulaatioina ovat tavallisesti kohdesanaa muistuttavat oikea sana ja epäsana sekä sana, joka on kohdesanan kanssa täysin erilainen. Esimerkiksi Veldren ja Andrews (2015) tutkimuksessa kohdesanaa *lift* muistuttavat oikea sana ja epäsana olivat *life* ja *lifs* ja täysin erilainen epäsana puolestaan *keer*. Yksilön silmänliikkeitä näissä erilaisissa manipulaatioissa verrataan keskenään sekä lisäksi kontrollitilanteeseen, jossa manipulaatiota ei tapahdu (Rayner, 1975). Silmänliikedatan perusteella saadaan selville, kuinka paljon lukija on ehtinyt saada sanasta informaatiota jo ennen kuin hän on kohdistanut katseensa siihen, koska ristiriita parafoveaalisesti ja foveaalisesti havaitun sanan välillä vaikuttaa sanan prosessointiin ja silmänliikkeisiin.

Eritasoisten lukijoiden silmänliikkeitä vertailemalla on saatu informaatiota siitä, kuinka lukutaito on yhteydessä parafoveaalisen prosessoinnin tehokkuuteen. Boundary-tekniikkaa käyttämällä onkin havaittu, että kielelliset taidot ovat yhteydessä parafovealta saatavaan informaation määrään (Chace ym., 2005; Veldre & Andrews, 2015). Kuten taulukosta 1 käy ilmi, aiemmissa tutkimuksissa luku- ja kirjoitustaidoltaan hyvien yksilöiden on havaittu saavan sanoista jo parafovean alueelta enemmän informaatiota kuin taidoiltaan heikompien, mikä on näkynyt esimerkiksi kohdesanojen lyhyppäämisen korkeampana todennäköisyytenä sekä eroavaisuuksina kohdesanaan kohdistetuissa fiksaatioissa.

Parafoveaalisen prosessoinnin tutkimuksessa hyödynnetään myös liikkuvan teksti-ikkunan menetelmää (moving window; McConkie & Rayner, 1975). Kyseinen tekniikka toimii siten, että lukijalle näytetään kerrallaan vain tietyn kokoinen teksti-ikkuna eli tietty määrä sanoja tai merkkejä fiksaation ympärillä ja loput tekstistä on korvattu esimerkiksi x-kirjaimilla. Teksti-ikkuna liikkuu lukijan katseen mukaan; mihin tahansa lukija katsoo, hän näkee ikkunallisen verran tekstiä. Ikkunan kokoa muuttamalla voidaan tarkastella havaintokentän laajuutta siten, että verrataan eri kokoisten ikkunoiden silmänliikedataa toisiinsa sekä tilanteeseen, jossa koko teksti on näkyvillä. Lukemisen havaintokentän laajuuden rajan voidaan ajatella löytyvän, kun ikkunatilanteen data ei enää eroa kontrollitilanteen silmänliikkeistä eikä tutkittava siis enää hyödy ikkunan kasvattamisesta.

Eritasoisten lukijoiden tuloksia vertailemalla on saatu tietoa lukutaidon yhteydestä havaintokentän laajuuteen. Kuten taulukosta 1 havaitaan, taidoiltaan hyvien lukijoiden havaintokentät ovat tutkimuksissa osoittautuneet laajemmiksi kuin taidoiltaan heikompien (Choi ym., 2015; Rayner ym., 2010; Veldre & Andrews, 2014; Veldre ym., 2021). Erot havaintokentän laajuudessa ovat näkyneet nimenomaan tekstin etenemissuunnan mukaisesti oikealla, eikä fiksaation vasemmanpuoleisen alueen havaitsemisessa ole havaittu eroja (Veldre & Andrews, 2014; Veldre ym., 2021). Taidoiltaan hyvien on myös havaittu häiriintyvän heikompia enemmän tilanteissa, joissa näkökenttää on rajoitettu voimakkaasti ja näkyvissä on ollut vain vähän merkkejä. Liikkuvan teksti-ikkunan menetelmällä tarkasteltuna lukutaito vaikuttaisi siis olevan yhteydessä havaintokentän laajuuteen, ja hyvien lukijoiden lukemisen tehokkuus selittyy ainakin osaltaan sillä, että he hyödyntävät tekstin informaatiota laajasti jo parafovean alueelta. Vaikuttaisi myös siltä, että erot havaintokentän laajuudessa eivät riipu siitä, missä muodossa teksti on esitetty, sillä esimerkiksi Choin ja kumppaneiden (2015) tutkimuksessa materiaalina olivat kokonaiset tekstikappaleet, kun taas Veldren ja Andrewsien (2014) tutkimuksessa koehenkilöt lukivat vain yksittäisiä virkkeitä.

Myös muunlaisilla menetelmillä toteutetuissa tutkimuksissa on havaittu parafoveaalisen prosessoinnin olevan yhteydessä lukutaitoon ja kielelliseen kyvykkyyteen. Tutkimuksissa on esimerkiksi havaittu, että hyvät lukijat hyppäävät tekstissä useammin sanojen yli kuin heikommät lukijat (mm. Kuperman ym., 2018; Taylor & Perfetti, 2016). Sanan yli hyppääminen perustuu parafoveaaliseen prosessointiin, sillä päätös siitä, että sanaan ei tehdä fiksaatiota vaan sakkadi suunnataan sen yli seuraavaan sanaan, täytyy tehdä pelkän parafovean informaation perusteella (Fitzsimmons & Drieghe, 2011).

Vaikka lukutaidon ja parafoveaalisen prosessoinnin tehokkuuden välillä siis selvästi vaikuttaa olevan yhteys, täysin selvää ei ole se, mistä tämä yhteys johtuu. On mahdollista, että hyvät lukijat kykenevät suoraan hyödyntämään informaatiota foveaalista aluetta laajemmalla alueella heikompia lukijoita tehokkaammin (Choi ym., 2015). Toisaalta voi myös olla, että foveaalisen sanantunnistuksen tehokkuus johtaa parempaan parafoveaaliseen prosessointiin. Tehokkaan foveaalisen sanantunnistuksen ansiosta hyvät lukijat tunnistavat nopeasti fiksaation kohteena olevan sanan, jolloin resursseja jää käytettäväksi parafoveaaliseen prosessointiin enemmän kuin heikoilla lukijoilla, joilla sanan foveaalinen tunnistaminen on hitaampaa (Veldre & Andrews, 2015).

Tästä foveaalisen prosessoinnin tehokkuuden vaikutuksesta parafoveaaliseen prosessointiin on saatu näyttöä esimerkiksi Eskenazin ja Folkin (2015) tutkimuksessa,

jossa verrattiin lukutaidoltaan eritasoisten yliopisto-opiskelijoiden välisiä eroja sanojen ylihyppäämisessä. Hyvät lukijat hyppivät heikompia lukijoita useampien sanojen yli tilanteissa, joissa edeltävän sanan foveaalinen kuormitus oli korkea. Foveaalinen kuormitus kuvasi tutkimuksessa foveaalisen sanan yleisyyttä siten, että korkea kuormitus tarkoitti harvinaista sanaa ja matala kuormitus puolestaan yleistä sanaa.

Monipuolisten menetelmien avulla parafoveaalisen prosessoinnin osuutta lukemisen tehokkuudessa voidaan siis tarkastella kattavasti. Tässä tutkimuksessa parafoveaalista prosessointia tutkitaankin yllä esitellyistä tutkimuksista poikkeavalla tavalla, sillä parafovean sanantunnistusta tutkittiin yksittäisillä sanoilla, jotka näytettiin lukijalle parafoveassa, ja koe tehtiin tekstin lukemiskokeesta erillisenä kokeena. Sanojen etäisyyttä fiksaatiopisteestä varioitiin, jotta saatiin selville, kuinka kaukaa parafovealta kukin lukija pystyi tunnistamaan sanan. Tällaisella asetelmalla kyetään tutkimaan nimenomaan parafoveaalisen prosessoinnin tehokkuutta ilman, että foveaalisen prosessoinnin tehokkuus vaikuttaa siihen. Tällaisen sanantunnistuksen tehokkuuden ja tekstien lukemiseen liittyvien silmänliikkeiden yhteyden tarkastelu tarjoaa kiinnostavaa tietoa siitä, mikä merkitys juuri parafoveassa tapahtuvalla prosessoinnilla on tekstikokonaisuuksien lukemisen tehokkuudessa.

1.3.2. Yksilölliset erot foveaalisessa prosessoinnissa

Parafoveaalisen prosessoinnin erojen ohella silmänliiketutkimuksissa on tutkittu myös lukutaidon ja kielellisten taitojen yhteyttä siihen, kuinka tehokasta fovean alueella tapahtuva prosessointi on. Foveaalisen sanantunnistuksen tehokkuuden vaikutus lukemisen sujuvuuteen on ydinajatus esimerkiksi Perfettin (2007) leksikaalisen laadukkuuden hypoteesissa. Sen mukaan tehokas lukeminen ja luetun ymmärtäminen perustuvat nimenomaan tarkkaan sanantunnistukseen, joka on seurausta sanojen laadukkaista representaatioista. Representaatioiden laadulla taas tarkoitetaan tietoa sanan merkityksestä ja muodosta niin ortografian, fonologian kuin morfologiankin osalta sekä näiden osa-alueiden yhteyksiä toisiinsa. Kun sanan representaatio on laadukas, eri osa-alueet ovat tiiviisti yhteydessä toisiinsa ja sana tunnistetaan nopeasti, tarkasti ja joustavasti kontekstissaan. Representaatioiden laadut eroavat sanakohtaisesti siten, että tuttujen sanojen representaatiot ovat vahvemmat kuin vieraiden sanojen. Yksilöt eroavat toisistaan siinä, mitkä sanat kenellekin ovat tuttuja. Lisäksi yksilöiden välillä on eroja myös yleisellä tasolla; toisilla ihmisillä on keskimäärin ylipäätään vahvemmat representaatiot sanoista kuin toisilla. Yksilöiden väliset erot sanojen representaatioiden laadussa näyttäytyvät yksilöiden välisinä eroina lukutaidossa. Yleisesti heikot

representaatiot eli puutteelliset yhteydet joko fonologian, ortografian tai semantiikan välillä hidastavat sanantunnistusta ja sanan liittämistä kontekstiinsa ja siten johtavat edelleen vaikeuksiin luetun ymmärtämisessä.

Kuten taulukosta 1 havaitaan, leksikaalisten representaatioiden laadun on havaittu vaikuttavan lukemisen tehokkuuteen jo nuorilla (Luke ym., 2015). Ne nuoret, joilla leksikaaliset representaatiot olivat tarkkoja, muistuttivat silmänliikkeiltään enemmän aikuisia tottuneita lukijoita kuin he, joilla representaatiot olivat epätarkempia. Representaatioiden tarkentuminen vaikuttaakin siihen, että lasten ja nuorten lukeminen tehostuu ja heidän silmänliikkeensä alkavat muistuttaa enemmän aikuisten lukijoiden silmänliikkeitä.

Leksikaalisen laadukkuuden hypoteesin mukaan representaatiot vahvistuvatkin juuri harjoittelun myötä (Perfetti, 2007). Mitä enemmän yksilö lukee, sitä selkeämmäksi hänen representaationsa tulevat ja samalla lukemisesta tulee yhä tehokkaampaa ja nopeampaa. Nämä erot näkyvät paitsi lasten ja aikuisten välillä, myös pelkästään aikuisten välisissä tarkasteluissa, joissa huomioidaan lukuharrastuneisuus ja ylipäättään tottuneisuus kirjoitetun kielen parissa. Kokeneet lukijat myös oppivat uusia sanoja tehokkaammin, mikä osaltaan kasvattaa eroa paljon ja vähän lukeneiden välillä (Perfetti, 2007; Taylor & Perfetti, 2016). Lukemisen tehokkuudesta ja nopeudesta paljon lukevilla onkin saatu näyttöä silmänliiketutkimuksissa, joissa on selvitetty lukuharrastuneisuuden yhteyttä sanojen prosessoinnin tehokkuuteen (Gordon ym., 2019; Lowder & Gordon, 2017; Taylor & Perfetti, 2016). Kuten taulukosta 1 havaitaan, lukuharrastuneisuuden mittaamiseen on tavallisesti käytetty kirjailijoiden tunnistustestiä (Author Recognition Test, ART), joka on todettu luotettavaksi lukutottuneisuuden mittariksi (Stanowich & West, 1989). Kyseisessä testissä tehtävänä on tunnistaa oikeiden kirjailijoiden nimet listasta, joka sisältää myös keksittyjä kirjailijoiden nimiä.

Kuten taulukosta 1 käy ilmi, aiemmissa tutkimuksissa on havaittu, että erot lukemisen tehokkuudessa eritasoisten lukijoiden välillä ovat selkeitä erityisesti harvinaisempien sanojen eli teksteissä yleisellä tasolla tarkasteltuna harvemmin esiintyvien sanojen osalta (Ashby ym., 2005; Gordon ym., 2019; Kuperman & Van Dyke, 2011; Lowder & Gordon, 2017; Taylor & Perfetti, 2016). Yleisistä sanoista on todennäköisesti selkeät representaatiot lähes kaikilla, sillä niihin törmätään tekstissä niin usein (Perfetti, 2007). Sen sijaan harvinaisempien sanojen representaatiot eivät vähän lukevilla ole hioutuneet tarkoiksi, koska niitä ei ole todennäköisesti nähty kirjoitetussa muodossa tarpeeksi usein. Tottuneet lukijat ovat ylipäättään nähneet kirjoitettua tekstiä enemmän, ja he ovat siten

myös lukeneet harvinaisempia sanoja useita kertoja, jolloin niidenkin representaatiot ovat tarkentuneet. Samankaltainen yhteys on havaittu myös sanojen pituuden suhteen tarkasteltuna, sillä sanojen pituuden on havaittu vaikuttavan enemmän heikompien kuin parempien lukijoiden silmänliikkeisiin (Kuperman & Van Dyke, 2011; Payne ym., 2020). Hyvät lukijat lukevat pitkätkin sanat melko nopeasti, kun taas heikompien lukijoiden nopeus eroaa selkeämmin pitkien ja lyhyiden sanojen välillä. Eritasoisten lukijoiden on havaittu eroavan myös siinä, kuinka konteksti vaikuttaa sanojen prosessointiin. Erot kontekstin hyödyntämisessä kytkeytyvät osaltaan leksikaalisen laadukkuuden hypoteesin mukaisiin eroihin representaatioiden laadussa ja sanantunnistuksen tehokkuudessa. Lukijat, joiden sanantunnistus on tarkkaa ja tehokasta, eivät tarvitse kontekstia avukseen vaan pystyvät tunnistamaan sanat vaivatta tarkkojen leksikaalisten representaatioidensa ansiosta muusta tekstistä riippumatta (Andrews & Bond, 2009; Perfetti, 1992). Lukijat, joille sanantunnistus sen sijaan on vaativampaa, hyötyvät kontekstista, koska se rajaa pois sanat, jotka eivät merkitykseltään sovi luettavaan tekstiin.

Leksikaalisten representaatioiden tarkkuuden lisäksi yhtenä lukemisen silmänliikkeisiin vaikuttavana tekijänä voidaan aiempien tutkimusten mukaan pitää myös nopean nimeämisen (RAN = rapid automatic naming) taitoa (Gordon ym., 2019; Kuperman ym., 2016). Nopean nimeämisen tehtävissä tarkastellaan yksilön kykyä palauttaa nopeasti mieleen sarjallisesti nähtyjen tuttujen visuaalisten ärsykkeiden, kuten kirjaimien tai värien, nimiä. Nopea nimeäminen saattaa kuitenkin kertoa myös sellaisesta lukemisen tehokkuudesta, joka liittyy enemmän havaitsemisen, tarkkaavaisuuden ja motorisen kontrollin koordinointiin kuin niinkään leksikaalisen sanantunnistusprosessin tehokkuuteen.

Nopean nimeämisen yhteyttä lukemisen silmänliikkeisiin selvitettiin esimerkiksi Kupermanin ja kumppaneiden (2016) tutkimuksessa, jossa havaittiin näiden olevan selvässä yhteydessä toisiinsa. Tarkemmissa tarkasteluissa havaittiin, että nopean nimeämisen ja silmänliikkeiden välistä yhteyttä selitti kuitenkin merkitseviltä osin okulomotorinen prosessointi eli yksilöllinen kyky suunnitella ja koordinoida silmänliikkeitä ja kohdistaa katsetta nopeasti ja sarjallisesti myös sellaisiin visuaalisiin ärsykkeisiin, jotka eivät ole kielellisiä. Gordonin ja kumppaneiden (2019) tutkimuksessa tarkasteltiin puolestaan nopean nimeämisen ja lukutottuneisuuden yhteyttä ja eroja vertaamalla sekä ART- että RAN-tehtävien tulosten yhteyttä silmänliikkeisiin ja toisiinsa. Tutkimuksessa havaittiin, että tulokset ART- ja RAN-testeissä eivät olleet yhteydessä toisiinsa, mutta kummallakin oli vaikutusta lukemisen silmänliikkeisiin, eli niiden

ajateltiin kuvaavan eri osa-alueita lukemisprosessissa. Lukutottuneisuuden yhteys lukemisen sujuvuuteen ei siis kyseisen tutkimuksen mukaan näyttäisi selittyvän yleisesti nopealla okulomotorisella prosessoinnilla, vaan se näyttäisi olevan yhteydessä nimenomaan tekstin sujuvaan prosessointiin.

Monissa aiemmissa tutkimuksissa lukemisen silmänliikkeitä on tarkasteltu tehtävissä, joissa luettavana on ollut yksittäisiä virkkeitä kokonaisten tekstien lukemisen sijaan. Kupermanin ja kumppaneiden (2018) tutkimuksessa puolestaan tutkittiin myös kokonaisten tekstien lukemista ja selvittiin, kuinka tutkittavien kielelliset ja kognitiiviset taidot yhdessä tekstin ja sanojen piirteiden kanssa vaikuttivat tutkittavien silmänliikkeisiin sekä luetun ymmärtämiseen. Lukijoiden silmänliikkeiden on havaittu eroavan tilanteissa, joissa samoja virkkeitä on luettu osana tekstiä tai erillisinä yksittäisinä virkkeinä (Radach ym., 2008). Kun tekstejä luetaan, tavoitteena on tavallisesti ymmärtää virkkeet osana jotakin kokonaisuutta, joten kokonaisten tekstien tarkastelu tutkimuksessa vastaa paremmin arkipäivän lukemista kuin vain yksittäisten virkkeiden tarkastelu. Koko tekstin tarkasteluissa havaittiin, että hyvät tulokset kielellisissä ja kognitiivisissa mittauksissa olivat ylipäättään yhteydessä tehokkaampaan lukemiseen silmänliikkeillä mitattuna ja parempaan luetun ymmärtämiseen (Kuperman ym., 2018). Silmänliikkeillä mitattuun tehokkaaseen koko tekstien lukemiseen olivat erityisesti yhteydessä hyvät tulokset lukemisen sujuvuudessa, nimeämisessä (RAN) sekä itseraportoitu lukuinnostus, kun taas hyvään luetun ymmärtämiseen olivat yhteydessä sanaston suuri koko, lukuharrastuneisuus ART-testillä mitattuna sekä hyvät tulokset nopeassa nimeämisessä (RAN).

Edellä esitellyissä tutkimuksissa on havaittu, että yksilölliset erot lukutottuneudessa, leksikaalisissa representaatioissa ja nopean nimeämisen taidossa ovat yhteydessä foveaalisen prosessoinnin tehokkuuteen lukiessa. Tässä tutkimuksessa tarkoituksena oli tarkastella yksilöllisiä eroja vertaamalla foveassa hyvin nopeasti nähtyjen yksittäisten sanojen tunnistamisen tehokkuutta tekstin lukemisen sujuvuuteen ja tehokkuuteen. Sanantunnistuksen tehokkuutta arvioitiin varioimalla sanan foveaalista esitysaikaa. Näin ollen on mahdollista tarkastella, millainen rooli juuri sanojen tunnistuksen tehokkuudella on kokonaisen tekstin lukemisen sujuvuudessa. Erona moniin aiempiin tutkimuksiin on se, että tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sanojen lisäksi myös epäsanoina, joiden prosessoinnin eroja verrattuna sanojen prosessointiin tarkastellaan seuraavaksi.

1.4. Sanantunnistuksen kaksi prosessointireittiä

Monissa aiemmissa tutkimuksissa on saatu näyttöä siitä, että sanojen kirjoitusasujen muistiedustusten tarkkuus on yhteydessä sujuvaan lukemiseen. Nämä sanojen muistiedustukset eivät kuitenkaan aina ole välttämättömiä lukemiselle ja kirjoittamiselle. Lukemisen kaksoisreittiteorian mukaan lukeminen voi nimittäin tapahtua kahta erillistä, eri prosesseihin perustuvaa reittiä pitkin (Coltheart ym., 2001; Jobard ym., 2003). Reittejä kutsutaan suoraksi ja epäsuoraksi reitiksi. Suoran reitin kautta sanat tunnustetaan kokonaisina visuaalisissa kirjoitusmuodoissaan, jotka ovat suoraan yhteydessä sanan merkitykseen. Suoran reitin toiminta perustuukin tarkkojen sanakohtaisten muistiedustusten aktivaatioihin; sen kautta pystytään lukemaan vain tuttuja sanoja, joiden kirjoitusmuodoista on olemassa tarkka muistiedustus. Suoran reitin kautta luettavien sanojen sanavarasto kasvaa, kun yksilön lukukokemus karttuu. Vieraiden sanojen tai epäsanojen lukemisessa puolestaan hyödynnetään epäsuoraa reittiä, jossa sanaa ei tunnusteta kokonaisuutena, vaan se muunnetaan kirjain-äännevastaavuussääntöjen mukaisesti puheenkaltaiseen muotoon, josta päästään käsiksi sanan merkitykseen. Epäsuoran reitin toimintaa voidaan tutkia epäsanoilla, jotka muistuttavat rakenteeltaan oikeita sanoja, mutta jotka eivät kuitenkaan tarkoita mitään. Tässä tutkimuksessa useisiin aiempiin poiketen sanantunnistusta tutkittiinkin sekä oikeilla sanoilla että epäsanoilla. Näin ollen tässä tutkimuksessa tarkastellaan siis sekä suoran että epäsuoran reitin sanantunnistusta. Tutkimalla kahden eri reitin sanantunnistusta sekä niiden yhteyksiä lukemistehtävän silmänliikedataan voidaan selvittää, miten eri reittien sanantunnistukset ennakoivat varsinaisen tekstin lukemisen silmänliikkeitä.

Lukemisen kaksoisreittiteorian yhteydessä huomionarvoista on se, että tässä tutkimuksessa tutkittiin suomenkielisiä lukijoita ja materiaalit olivat suomenkielisiä, kun taas valtaosa aiemmasta tutkimuksesta on toteutettu englannin kielellä. Kiinnostavaa tästä tekee englannin ja suomen kielten selkeästi toisistaan eroavat ortografiset rakenteet (Aro, 2004). Suomi on kirjain-äännevastaavuudeltaan hyvin säännönmukainen ja kutakin kirjainta ja niiden yhdistelmiä vastaa lähes aina tietty äänne. Englanti puolestaan on epäsäännöllinen, sillä samat kirjoitetut rakenteet äännetään eri sanoissa eri tavoin ja ääntämykseltään toisiaan muistuttavat sanat saatetaan kirjoittaa toisistaan selkeästi poikkeavasti. Englannin kielessä on paljon kirjain-äännevastaavuudeltaan epäsäännöllisiä sanoja, kun taas suomen kielessä tällaisia ei ole, vaan ainoa poikkeavuus kirjain-äännevastaavuuteen on äng-äänne. Koska suomen kielessä ei epäsäännöllisiä sanoja juuri ole, suora reitti ei ole yhtä välttämätön kuin englannin kielessä, vaan myös epäsuora reitti toimii lähes aina sanojen lukemisessa. Lisäksi voisi jopa olettaa, että

suomen kielessä epäsuoraa reittiä tarvittaisiin verrattain useinkin, sillä suomen kielessä erilaisten päätteiden käyttö on sanoissa hyvin yleistä, ja yhdenkin kirjaimen ero voi muuttaa sanan merkityksen (esimerkiksi *talossa* vs. *talosta*).

Erot suomen ja englannin kielten ortografisissa rakenteissa johtavat myös eroihin tutkimusmenetelmien valinnassa. Aiemmissa tutkimuksissa on esimerkiksi havaittu, että englanninkielisillä lukijoilla oikeinkirjoitustaito ennakoi sujuvaa lukemista (esim. Veldre & Andrews, 2015). Englanninkielisillä lukijoilla sanojen kirjoitusasujen muistiedustusten tarkkuutta on luontevaa tutkia oikeinkirjoituksen avulla, jolloin voidaan tarkastella nimenomaan kirjoitetun kielen tuntemusta. Suomen kielessä tällainen tarkastelu ei sen sijaan tunnu kovin mielekkäältä, sillä säännöllisen kirjain-äännevastaavuuden vuoksi sanat kirjoitetaan aina siten kuin ne äännetään, ja tottuneet suomalaiset lukijat osaavat tämän vuoksi kirjoittaa sanat helposti, vaikka tarkkoja ortografisia muistiedustuksia niistä ei olisikaan. Tässä tutkimuksessa ei tutkitakaan oikeinkirjoitusta, vaan nopea sanantunnistus oikeilla sanoilla kuvastaa erityisesti muistiedustusten tarkkuutta, ja epäsanojen tunnistuksella saadaan tietoa kirjain-äänneprosessoinnin tehokkuudesta. Tässä tutkimuksessa sanantunnistusta tutkittiin ääneen nimeämisen tehtävällä, jossa sekä esitetyt sanat että epäsanat tuli lukea ääneen. Näin voitiin tarkastella sitä, kuinka hyvin lukija todella ehtii lukea esitetyn kirjainjonon lyhyessä ajassa tai parafovealla esitettynä, sillä pelkkä tunne siitä, onko ärsyke tutun oloinen ja muistuttaako se sanaa ei riitä, vaan se täytyy kyetä sanomaan ääneen kokonaisuudessaan (Schilling ym., 1998).

1.5. Tutkimuskysymykset ja hypoteesit

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ensinnäkin yleisesti sitä, ennustaako sanantunnistuksen tehokkuus silmänliikkeitä ymmärtävässä lukemisessa suomenkielisillä aikuisilla, jotka ovat tottuneita lukijoita. Tätä yhteyttä tarkasteltiin erikseen parafovean ja fovean alueilla sekä oikeiden sanojen että epäsanojen tunnistuksen osalta. Näin ollen tutkimuskysymyksistä muodostettiin seuraavanlaiset:

1. Miten parafoveassa tapahtuvan oikeiden sanojen tunnistuksen tehokkuus ennakoi ymmärtävän lukemisen silmänliikkeitä tottuneilla aikuisilla lukijoilla?
2. Miten parafoveassa tapahtuvan epäsanojen tunnistuksen tehokkuus ennakoi ymmärtävän lukemisen silmänliikkeitä tottuneilla aikuisilla lukijoilla?
3. Miten foveassa tapahtuvan oikeiden sanojen tunnistuksen tehokkuus ennakoi ymmärtävän lukemisen silmänliikkeitä tottuneilla aikuisilla lukijoilla?
4. Miten foveassa tapahtuvan epäsanojen tunnistuksen tehokkuus ennakoi ymmärtävän lukemisen silmänliikkeitä tottuneilla aikuisilla lukijoilla?

Ensimmäisen tutkimuskysymyksen hypoteesina on, että tehokas sanojen tunnistus parafovealla on yhteydessä sujuvaan tekstin lukemiseen. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että lukutaito ja lukunopeus ovat yhteydessä laajempaan parafoveaaliseen havaitsemiseen (Chace ym., 2005; Choi ym., 2015; Rayner ym., 2010; Veldre & Andrews, 2014, 2015). Näiden tutkimusten mukaisesti oletetaan, että hyvä suoriutuminen parafoveaalisisessa sanojen tunnistuksessa on yhteydessä nopeampaan lukemiseen (Rayner ym., 2010), mikä näkyisi erityisesti pidempinä sakkadeina ja sitä kautta vähäisempinä fiksaatioina (seurauksena sanojen ylihyppäämisistä).

Toisen tutkimuskysymyksen osalta ei voida tehdä yhtä selkeää hypoteesia kuin ensimmäisen tutkimuskysymyksen osalta, koska epäsanaja ei aiemmissä tutkimuksissa ole erikseen tutkittu. Joissain tutkimuksissa epäsanat ovat kuitenkin olleet mukana yhteisissä tarkasteluissa oikeiden sanojen tunnistuksen kanssa (Choi ym. 2015). Tällöin ne ovat yhdessä olleet yhteydessä parafoveaalisen prosessoinnin tehokkuuteen. Hypoteesina on siten, että tehokas epäsanajen tunnistus parafovealla on yhteydessä lukemisen sujuvuuteen. Lisäksi epäsanajen lukemisessa hyödynnettävän epäsuoran sanantunnistusreitit voisi ajatella olevan suomen kielessä keskeinen sanoissa esiintyvien lukuisten päätteiden vuoksi. Tämä tukee oletusta epäsanajen tehokkaan tunnistamisen yhteydestä sujuvaan lukemiseen.

Kolmannen tutkimuskysymyksen osalta oletetaan aiempien tutkimusten (mm. Lowder & Gordon, 2017; Kuperman ym., 2018; Taylor & Perfetti, 2016) mukaisesti, että tehokas foveaalinen sanojen tunnistus on yhteydessä lukemisen sujuvuuteen. Yhteyden oletetaan näkyvän lyhyempinä fiksaatioina (Kuperman & Van Dyke, 2011) sekä fiksaatioiden pienempänä lukumääränä (Kuperman ym., 2018).

Neljännessä tutkimuskysymyksessä, kuten toisessakin, oletuksena on, että tehokas epäsanajen tunnistus on yhteydessä sujuvaan lukemiseen, vaikka aiempaa tutkimusnäyttöä tästä onkin niukasti. Epäsuoran sanantunnistusreitit voisi ajatella olevan keskeinen erityisesti foveaalisisessa prosessoinnissa, kun kaikki informaatio on tarkasti saatavilla. Kuten oikeidenkin sanojen foveaalisen tunnistuksen osalta, myös epäsanajen tehokkaan tunnistamisen oletetaan johtavan lyhyempiin (Kuperman & Van Dyke, 2011) ja lukumäärältään vähäisempiin (Kuperman ym., 2018) fiksaatioihin.

Kaikkien tutkimuskysymysten osalta sanojen ja epäsanajen tunnistuksen oletetaan olevan yhteydessä erityisesti virkkeiden ensimmäisen lukukerran aikaisiin silmänliikkeisiin. Nämä kuvaavat sitä, kuinka tehokkaasti lukija saa uutta informaatiota tekstistä.

Myöhemmät fiksaatiot puolestaan kuvaavat enemmän tekstin integroinnin ja kokonaisuuden ymmärtämisen prosessia, johon sanantunnistuksen taidon ei oleteta olevan yhtä selkeästi yhteydessä.

2. Menetelmät

2.1. Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui 74 äidinkieltään suomenkielistä tutkittavaa, joista 7 oli miehiä ja 67 naisia. Nuorin tutkimukseen osallistuja oli iältään 17 vuotta ja 0 kuukautta ja vanhin 66 vuotta ja 6 kuukautta. Tutkittavien ikäjakauman keskiarvo oli 24.77 vuotta eli 24 vuotta ja 9 kuukautta ja keskihajonta 7.21 vuotta eli 7 vuotta ja 3 kuukautta. Koehenkilöt olivat pääasiassa yliopisto-opiskelijoita, jotka opiskelivat pää- tai sivuaineenaan psykologiaa. Opiskelijoiden lisäksi koehenkilöinä oli muutamia ”superlukijoita”, jotka olivat ilmoittautuneet koehenkilöiksi erityisen hyviä lukijoita koskeneen erillisen ilmoituksen perusteella. Kaikkien koehenkilöiden näkö oli joko normaali tai silmälasilla normaaliksi korjattu. Kaksi koehenkilöä ilmoitti karsastuksesta oikeassa silmässä ja yksi vasemmassa silmässä, ja neljä koehenkilöä ilmoitti aikaisemmasta diagnoosista lievään tai keskiasteiseen lukihäiriöön. Sisäänottokriteerinä tutkimuksessa oli ainoastaan se, että koehenkilöiden äidinkielen tuli olla suomi. Koehenkilöt saivat kokeeseen osallistumisesta vastineeksi valintansa mukaan joko koehenkilötunteja psykologian opintoihin tai elokuvalipun.

2.2. Laitteet

Koehenkilöiden silmänliikkeiden tallentamiseen käytettiin EyeLink 1000 – silmänliikekameraa (SR Research, Ontario, Kanada). Silmänliikekamera tallensi vain koehenkilöiden toisen silmän liikkeitä, mutta koehenkilöt kuitenkin katsoivat koko ajan molemmilla silmillä. Oikean silmän karsastuksesta ilmoittaneilta seurattiin vasemman silmän liikkeitä ja kaikilta muilta oikean silmän liikkeitä. Koehenkilöt istuivat 69 cm:n päässä (silmästä monitoriin) lävistäjältään 24 tuumaisesta näyttöruudusta, jonka virkistystaajuus oli 144 Hz ja resoluutio 1920 x 1080. Silmänliikekameran näytteenottotaajuus oli 1000 Hz. Pöytään kiinnitetyn otsaleukatuen avulla minimoitiin pään liikkeet tehtävien aikana.

2.3. Tehtävät ja materiaalit

Koe koostui yhteensä kolmesta tehtävästä, joista kahdessa mitattiin sanantunnistusta ja yhdessä ymmärtävää lukemista.

2.3.1. Ymmärtävän lukemisen tehtävä

Ymmärtävän lukemisen tehtävässä koehenkilön tuli lukea tekstikappaleita samalla, kun hänen silmänliikkeensä rekisteröitiin. Tehtävä koostui yhteensä kahdeksasta erimittaisesta suomenkielisestä asiatekstistä, jotka käsittelivät eri aiheita (lampaat, autokilpailu, jalkapallo, öljy, sokeri, kävely, tuulivoima ja tipin antaminen ravintoloissa). Koehenkilöitä ohjeistettiin lukemaan tekstit siten kuin he normaalistikin lukevat ja siten, että he ymmärtävät ne. Kunkin tekstin lopussa koehenkilölle esitettiin kaksi tekstin sisältöön liittyvää monivalintakysymystä, joihin vastattiin näppäimistöllä. Tekstien pituudet olivat 91–265 sanaa ja ne oli jaettu 2–6 sivun mittaisiksi siten, että kullakin sivulla oli 1–8 virkettä. Kaikkiaan virkkeitä oli 144. Tekstit oli kirjoitettu Courier New -fontilla, joka on tasavälinen ja siksi silmänliikemittauksiin soveltuva. Merkkien koko oli 20 pikseliä. Yksi merkki vastasi 0,46 astetta visuaalista kulmaa, jolloin yhden asteen visuaalinen kulma vastasi 2.17 merkkiä näyttöruudulla. Riviväli tehtävässä oli 1.08 astetta visuaalista kulmaa. Tekstit olivat samoja, joita oli käytetty aiemmin Liversedgen ja kumppaneiden (2016) tutkimuksessa, jossa verrattiin keskenään suomen-, englannin- ja kiinankielisten lukijoiden silmänliikkeitä. Tekstit olivat alun perin olleet englanninkielisiä, ja ne oli käännetty suomen kielelle. Käännökset oli toteutettu ensin englannista suomen kielelle ja sitten toisin päin, ja tätä oli toistettu riittävän moneen kertaan, kunnes käännös oli ollut pysyvä.

2.3.2. Foveaalinen nimeämistehtävä

Foveaalisessa nimeämistehtävässä koehenkilön tuli lukea ääneen ruudulla esitetty ärsyke, joka oli joko oikea sana tai epä sana. Ruudun keskelle fiksaatoristin kohdalle ilmestyi aina jokin kirjainjono, ja koehenkilön tehtävänä oli sanoa mahdollisimman tarkasti ääneen se, mitä hän oli omasta mielestään ruudulla nähnyt. Kokeenjohtaja kirjasi jokaisen kohdan oman tietokoneensa näppäimistöllä joko oikein tai väärin menneeksi. Mikäli koehenkilö oli epävarma näkemästään, hän sai yrittää tapailia sitä tai halutessaan sanoa ohi. Vain täysin oikein nimetyt sanat ja epä sanat hyväksyttiin oikeiksi vastauksiksi. Koe koostui kahdesta osiosta, joiden välillä koehenkilö sai halutessaan pitää tauon.

Fiksaatoristi oli molemmissa osioissa näkyvissä aina yhden sekunnin ajan, jonka jälkeen ärsyke näkyi ruudulla ensimmäisessä osiossa 60 ms ja toisessa 30 ms. Ärsyksen jälkeen ennen seuraavan fiksaatoristin ilmestymistä ruudulla oli 30 millisekunnin ajan X-kirjaimista koostuva visuaalinen maski. Yhteensä koko tehtävä koostui 84 ärsykkeestä, joista sanoja oli puolet ja epä sanoja puolet, ja sanat ja epä sanat olivat pituuksiltaan 6–8 merkkiä. Molemmissa osioissa oli täsmälleen yhtä monta 6-, 7- ja 8-merkkistä sanaa ja epä sanaa. Sanat ulottuivat puoli sanaa fiksaatoristin molemmille puolille. 6-kirjaimisen

sanan koko leveys oli 2.2 astetta, 7-kirjaimisen sanan leveys oli 2.6 astetta ja 8-kirjaimisen sanan leveys oli 2.9 astetta. Sanat poimittiin sanomalehtiaineistoon perustuvasta tietokannasta (Laine & Virtanen, 1999), joka käsittää noin 22.7 miljoonaa sanaa. Käytettyjen sanojen frekvenssien keskiarvo oli 9.50 ja keskihajonta 12.22 miljoonaa havaintoa kohden, ja frekvenssien vaihteluväli oli 0.26–175.68 miljoonaa havaintoa kohden. Käytetyt sanat eivät siten olleet erityisen yleisiä eivätkä erityisen harvinaisia. Tietokannan tekstit ovat melko yleismaailmallisia eivätkä sisällä juurikaan esimerkiksi teknologian tai kulttuurin sanastoa, joten sanojen frekvenssien voidaan olettaa pysyneen melko samoina tähän päivään saakka, vaikka tietokanta onkin jo melko vanha. Epäsanat muodostettiin tietokannan (Laine & Virtanen, 1999) sanoista vaihtamalla 1–2 kirjainta niin, että sanat vielä muistuttivat suomen kielen rakennetta siten, että ne olivat lausuttavissa olevia. Epäsanat eivät kuitenkaan vastanneet merkitykseltään mitään oikeaa sanaa. Esimerkkejä käytetyistä epäsanoina ovat muun muassa *noraitin*, *jinnäte*, *sauppa*, *amoiisuus* ja *maarna*. Käytettyjen sanojen ja epäsanoina yleisyyden vertailemiseksi näistä laskettiin jokaisten bigramien, eli kahden peräkkäisen kirjaimen muodostaman kirjainyhdistelmän, ryhmäfrekvenssit ja ryhmäkeskihajonnat. Sanoissa esiintyvien bigramien frekvenssien keskiarvo oli 7.53 ja keskihajonta 2.57 tuhatta havaintoa kohden. Vastaavat luvut epäsanoina osalta olivat 7.34 ja 2.47. Bigramien ryhmäkeskiarvojen ja ryhmäkeskihajontojen perusteella voidaan sanojen ja epäsanoina muistuttaneen kirjainrakenteeltaan toisiaan merkittävästi. Sanat ja epäsanat oli molemmissa nimeämistehtävissä kirjoitettu Lucida Console -fontilla, jonka koko oli 20. Yksi kirjain oli 0.37 astetta, ja yksi aste visuaalista kulmaa vastasi 2.73 merkkiä.

2.3.3. Parafoveaalinen nimeämistehtävä

Myös parafoveaalisisessa nimeämistehtävässä koehenkilön tuli lukea ääneen se, mitä oli ruudulla nähnyt. Tehtävässä sana tai epäsana esitettiin fiksaattoristin jommallakummalla puolella satunnaisessa järjestyksessä. Puolet ärsykeistä esitettiin fiksaattoristin vasemmalla ja puolet oikealla puolella. Koehenkilön tuli kuitenkin koko ajan pitää silmänsä kohdistettuna fiksaattoristiin ja yrittää olla katsomatta sanaa. Pelkkä fiksaattoristi oli näkyvässä yhden sekunnin ajan, jonka jälkeen ärsyke ilmestyi ruudulle ja näkyi aina 120 millisekunnin ajan. Näyttöaika oli valittu siten, että lukija ei sakkadisen latenssin vuoksi ehtinyt siirtää katsettaan sanaan, vaikka olisi yrittänyt. Ohjeistuksena oli samoin kuten foveaalisisessäkin nimeämistehtävässä lukea ääneen mahdollisimman tarkasti, mitä oli ruudulla nähnyt. Kokeenjohtaja kirjasi jälleen oikeat ja väärät vastaukset.

Tehtävä koostui yhteensä 120 ärsykkeestä, jotka oli jaettu kahteen osioon, joissa etäisyydet fiksaatoristista olivat eripituiset. Ensimmäisessä osassa sanan alku oli 1.33, keskikohta 2.24 ja loppu 3.15 astetta visuaalista kulmaa fiksaatoristista. Toisessa osassa vastaavat etäisyydet olivat 2.24, 3.15 ja 4.07 astetta visuaalista kulmaa. Nämä etäisyydet olivat parafovean alueella, sillä fovea kattaa 2 kulma-astetta fiksaatiopisteen ympärillä (1 vasemmalla ja 1 oikealla) ja parafovea puolestaan 5 kulma-astetta fiksaatiopisteen molemmilta puolilta. Puolet ärsykkeistä oli sanoja ja puolet epäsanoina. Sekä sanat että epäsanat olivat kaikki pituudeltaan 5 merkkiä, ja pituudet asteina olivat 1.83 astetta. Sanat oli valittu ja epäsanat muodostettu samoin kuin foveaaliseen tehtävään. Esimerkkejä käytetyistä epäsanoina ovat muun muassa *vassu*, *neita*, *lienu*, *laasu* ja *tasla*. Kirjainrakenteen yleisyyden selvittämiseksi verrattiin myös tässä tehtävässä sanoissa ja epäsanoina esiintyvien bigramien ryhmäfrekvenssejä ja ryhmäkeskiarvoja. Sanojen bigramien frekvenssien keskiarvo oli 6.52 ja keskihajonta 3.04 tuhatta havaintoa kohden ja epäsanoina bigramien frekvenssien keskiarvo oli 6.54 ja keskihajonta 3.20. Myös tässä tehtävässä käytetyt sanat ja epäsanat muistuttivat siten toisiaan kirjainrakenteeltaan.

2.4. Kokeen kulku

Tutkimus toteutettiin tutkimuseettisiä periaatteita noudattaen. Koetilanteen alussa koehenkilöille kerrottiin lyhyesti kokeesta ja heidän oikeuksistaan koehenkilönä sekä mahdollisuudesta keskeyttää kokeeseen osallistuminen missä vaiheessa tahansa ilman seurauksia. Koehenkilöiltä pyydettiin myös kirjallinen suostumus kokeeseen osallistumisesta. Tämän jälkeen tutkittavilta kysyttiin taustatietoina syntymäaika, sukupuoli sekä tieto mahdollisesta lukihäiriöstä tai silmän motoriikan häiriöstä. Koehenkilöille myös kerrottiin, että heidän tuloksiaan käsitellään anonymisti, eivätkä tutkimukseen osallistuneet koehenkilöt ole tunnistettavissa. Kaikkia tietoja käsiteltiin huolellisesti, ja koehenkilöiltä pyydettiin vain tutkimuksen kannalta oleelliset taustatiedot.

Ensimmäisenä tehtävänä suoritettiin ymmärtävän lukemisen tehtävä. Tehtävän alussa koehenkilö sai lukea ensin itsenäisesti ohjeet englanniksi ja tämän jälkeen ne käytiin vielä suullisesti läpi suomen kielellä siten, että koehenkilö varmasti ymmärsi kaiken. Ohjeiden jälkeen suoritettiin yhdeksän pisteen kalibrointi, josta otettiin ylös AVG- ja MAX-arvot. Kokeessa pyrittiin kalibrointiin, jossa yksittäisten kalibrointipisteiden virhearvo oli enimmillään 1 aste (MAX) ja kaikkien kalibrointipisteiden virheiden keskiarvo maksimissaan 0.5 astetta (AVG). Mikäli kalibraatio oli tavoiteltua huonompi, virhe korjautui vertikaalisuunnassa aineiston esikäsittelyvaiheessa. Tekstien pituudet

vaihtelivat kahdesta kahdeksaan sivuun, ja seuraavalle sivulle siirtyäkseen koehenkilön tuli painaa ohjeistettua näppäintä. Ennen seuraavan sivun tekstin ilmestymistä ruudun vasemmassa reunassa oli kalibrointipiste, johon koehenkilön tuli katsoa, jolloin kokeenjohtaja manuaalisesti laittoi tekstin näkyviin. Näin toimittiin, jotta koehenkilön ensimmäinen fiksaatio saataisiin osumaan seuraavan tekstin ensimmäiseen sanaan. Kunkin tekstin lopussa olevien sisältökysymysten jälkeen suoritettiin tarvittaessa uusi kalibrointi. Muuten tehtävä suoritettiin kerralla alusta loppuun.

Seuraavana tehtävänä oli foveaalista sanantunnistusta mittaava nimeämistehtävä ja viimeisenä tehtävänä oli parafoveaalinen nimeämistehtävä. Molemmissa nimeämistehtävissä kummatkin osuudet suoritettiin peräkkäin, ja koehenkilö sai halutessaan pitää pienen tauon niiden välillä. Kummassakaan nimeämistehtävässä ei ollut varsinaista harjoitusosiota, mutta samassa koetilaisuudessa koehenkilöt tekivät ennen nimeämistehtäviä leksikaalisen päätöksenteon tehtävät, joissa luokiteltiin samanlaisia ärsykeitä erikseen fovealla ja parafovealla. Nämä tehtävät toimivat siten harjoituksena nimeämistehtäville. Näitä leksikaalisen päätöksenteon tehtävien tuloksia ei kuitenkaan analysoida tässä tutkimuksessa.

2.5. Muuttujat

Sanatunnistustehtävissä tarkasteltiin oikeiden vastausten osuutta. Molempien nimeämistehtävien tuloksia tarkasteltiin erikseen sekä sanojen että epäsanon osalta. Analyysija varten muodostettiin summamuuttujat erikseen foveaalisen tehtävän sanoille ja epäsanonille yhdistämällä 30 ja 60 millisekunnin tehtävien tulokset sekä parafoveaalisen tehtävän sanoille ja epäsanonille yhdistämällä 1.33 ja 2.24 visuaalisen kulman tehtävien tulokset. Summamuuttujat muodostettiin mallin yksinkertaistamiseksi; osatehtävien väliset korrelaatiot olivat .64–.75. Näin ollen sanatehtävien muuttujiksi saatiin foveaalinen sanojen tunnistus (FS), foveaalinen epäsanon tunnistus (FE), parafoveaalinen sanojen tunnistus (PS) ja parafoveaalinen epäsanon tunnistus (PE). Analyysija varten muuttujat keskitettiin vähentämällä niiden jokaisesta arvosta muuttujan keskiarvo.

Rekisteröityjen silmänliikkeiden aineisto esitarkastettiin ennen analyysien laskemista. Esitarkastusvaiheessa aineistosta poistettiin sellaiset fiksaatiot, jotka osuivat tekstialueen ulkopuolelle, eivätkä täten olleet oikeaa lukemista. Mahdolliset epäoptimaalisesta kalibroinnista johtuneet virheet korjattiin sitomalla fiksaatiopisteet vastaamaan lukuaineiston tekstirivejä, mikäli ne poikkesivat selkeästi ja systemaattisesti aineiston rivityksestä. Lukutehtävän analyysissa otettiin kultakin koehenkilöltä mukaan vain

sellaiset virkkeet, jotka koehenkilö oli lukenut eli joissa mitattu lukuaika oli yli nollan. Tekstien lukemistehtävästä tarkasteltiin virketasolla fiksaatioiden kestoja ja lukumääriä virkkeen ensimmäisen lukukerran aikana ennen siirtymistä toiseen virkkeeseen sekä sitä, palattiinko virkkeeseen muualta tekstistä. Fiksaatioista tarkasteltiin kunkin virkkeen ensimmäisen lukukerran aikaisia fiksaatioita, joista tarkasteltiin erikseen vain eteenpäin suuntautuneita fiksaatioita, virkkeen sisällä tapahtuvan uudelleen lukemisen fiksaatioita sekä näitä yhdessä. Lisäksi tarkasteltiin muualta tekstistä takaisin virkkeeseen kohdistettuja fiksaatioita. Lukutehtävän muuttujat olivat kunkin virkkeen ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskesto (FKK), eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden yhteenlaskettu kesto (FEK) ja lukumäärä (FEL), virkkeen ensimmäiseen lukemiseen liittyvä uudelleen lukemisen todennäköisyys (UT) sekä takaisinpaluiden todennäköisyys (TT). Lineaarista sekamallia varten fiksaatioiden kokonaiskestolle sekä eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kestolle tehtiin logaritmuunnokset, jotta niiden jakaumat olivat lähempänä normaalijakaumaa. Uudelleen lukemisten kestoja sekä takaisinpaluiden kestoja tarkasteltiin analyyseissa kategorisina muuttujina vertaamalla keskenään tilanteita, joissa niitä ei tapahtunut ollenkaan ja tilanteita, joissa niitä ilmeni. Uudelleen lukemisesta ja takaisinpaluista muodostettiin analyyseja varten kaksiluokkaiset muuttujat, joissa arvon 0 saivat ne tapaukset, joissa uudelleen lukemisen/takaisinpaluiden kesto oli 0 millisekuntia, eli niitä ei ilmennyt, ja arvon yksi ne tapaukset, joissa vastaavat kestot olivat 0:aa millisekuntia suuremmat eli uudelleen lukemista/takaisinpaluita ilmeni.

2.6. Tilastollinen analyysi

Aineiston analysoinnissa käytettiin R-ohjelmistoa (R Core Team, 2020). Sanatehtävien oikeiden vastausten osuuskien yhteyttä tekstien lukemisen silmänliikkeisiin analysoitiin lineaarisella sekamallilla (linear mixed effects -malli, LME-malli) ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskeston sekä eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden keston ja määrän osalta, koska nämä olivat luonteeltaan jatkuvia muuttujia. Uudelleen lukemisten ja tekstissä takaisinpaluiden yhteyttä sanantunnistustehtäviin tarkasteltiin lineaarisen sekamallin sijaan yleistetyllä lineaarisella sekamallilla. Yleistettyjen lineaaristen sekamallien rakenteet olivat sellaiset, että riippuvana muuttujana oli toisessa uudelleen lukemisen ilmeneminen (ilmeni / ei ilmennyt) ja toisessa taas takaisinpaluiden ilmeneminen (ilmeni / ei ilmennyt) eikä lineaarista sekamallia voitu käyttää tällaisiin kaksiluokkaisiin riippuviin muuttujiin. Lineaarisen sekamallin analyysit toteutettiin lme4-paketin (Bates ym., 2015) lmer-funktiolla ja yleistetyn lineaarisen sekamallin analyysit saman paketin glmer-funktiolla.

Lineaarinen sekamalli koostuu kahdesta osasta, jotka ovat kiinteä osa ja satunnaisosa (Winter, 2013). Kiinteän osan kiinteät vaikutukset tarkoittavat muuttujia, jotka selittävät systemaattista vaihtelua selitettävässä muuttujassa. Kiinteät vaikutukset ovatkin verrattavissa tavallisen lineaarisen mallin selittäviin muuttujiin. Tavalliseen lineaariseen malliin verrattuna erottava tekijä on puolestaan sekamalliin sisältyvät satunnaistekijät. Linearisessa sekamallissa tavallisesta lineaarisesta mallista poiketen kaikki havainnot eivät nimittäin ole toisistaan riippumattomia, vaan aineistossa on tiettyjä yksiköitä, joiden sisällä havainnot riippuvat toisistaan. Tällaisia yksiköitä voivat olla esimerkiksi yksittäiset koehenkilöt, joilta on useampia mittauksia. Satunnaistekijöillä tarkoitetaan sitä, että aineistossa olevat yksiköiden sisäiset toisistaan riippuvat havainnot huomioidaan mallin muodostamisessa.

Tekstin lukemistehtävän silmänliikemuuttujat olivat tässä tutkimuksessa riippuvina muuttujina, ja kutakin niistä tarkasteltiin erikseen omalla mallilla. Mallien satunnaistekijöiden osalta toimitettiin siten, että aluksi kaikkien mallien satunnaistekijöiden tasoiksi asetettiin koehenkilötaso ja virketaso sekä näille tasoille satunnaismuuttujiksi kaikki mallin selittävät tekijät (ns. täysi satunnaismalli). Tämän jälkeen satunnaistekijöiden merkitsevyyttä tutkittiin pääkomponenttianalyysin avulla, jotta päädyttiin kunkin mallin kohdalla sellaiseen satunnaistekijärakenteeseen, joka sai tukea käytetyltä aineistolta (Bates ym., 2015). Pääkomponenttianalyysin perusteella päädyttiin lopulta kunkin mallin kohdalla satunnaistekijärakenteeseen, joka piti sisällään ainoastaan koehenkilötason ja virketason ilman varsinaisia selittävien muuttujien satunnaistekijöitä (nk. intercept only -malli).

Varsinainen mallien vertailu aloitettiin aina mallista, jossa olivat mukana kaikki selittävät muuttujat eli foveaalinen sanojen tunnistus, foveaalinen epäsanon tunnistus, parafoveaalinen sanojen tunnistus ja parafoveaalinen epäsanon tunnistus sekä pääkomponenttianalyysillä määritelty satunnaistekijärakenne. Tämän jälkeen poistettiin askeleittain aina yksi heikoin selittäjä. Poistamisessa pidettiin merkitsevyyden raja-arvona lineaarisissa sekamalleissa $t > \pm 1.96$ ja yleistetyissä malleissa $z > \pm 1.96$. Edellistä ja kyseisellä askeleella karsittua mallia vertailtiin keskenään tutkimalla AIC (Akaike Information Criterion) - ja BIC (Bayesian Information Criterion) -arvoja, joiden perusteella valittiin sopivampi malli. Karsimista jatkettiin, kunnes löydettiin malli, jossa oli jäljellä enää merkitseviä selittäjiä (t tai $z > \pm 1.96$) ja joka AIC- ja BIC-arvojen perusteella oli sopivin.

3. Tulokset

Kustakin muuttujasta laskettiin kuvailevat tunnusluvut, jotka on esitetty taulukossa 2. Sanatehtävien tulosten vaihteluvälit ja kvartiilit on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 2.

Muuttujien keskiarvot, keskihajonnat ja luottamusvälit

<i>Muuttuja</i>	<i>Ka</i>	<i>Kh</i>	<i>Lv (95 %)</i>
Kaikkien fiksaatioiden kesto (ms)	3066.0	2140.7	[3025.1, 3106.8]
Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kesto (ms)	2416.5	1441.5	[2389.0, 2444.0]
Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden määrä (kpl)	12.0	6.7	[11.8, 12.1]
Virkkeensisäisen uudelleen lukemisen todennäköisyys	0.70	0.46	[0.69, 0.71]
Takaisinpaluun todennäköisyys	0.30	0.46	[0.29, 0.31]
Foveaalinen sanojen tunnistus (oikein %)	84.5	15.1	[81.0, 88.0]
Foveaalinen epäsanon tunnistus (oikein %)	32.4	20.7	[27.6, 37.2]
Parafoveaalinen sanojen tunnistus (oikein %)	70.3	12.7	[67.3, 73.2]
Parafoveaalinen epäsanon tunnistus (oikein %)	38.5	18.0	[34.3, 42.7]

Ka = keskiarvo, Kh = keskihajonta, Lv (95 %) = 95 %:n luottamusväli. Ensimmäiset viisi muuttujaa ovat tekstitehtävästä ja loput neljä sana- ja epäsanatehtävistä.

Taulukko 3.

Sanatehtävien tulosten kvartiilit ja vaihteluvälit

<i>Muuttuja</i>	<i>Kvartiili</i>			<i>Vaihteluväli</i>
	<i>25 %</i>	<i>50 %</i>	<i>75 %</i>	
Foveaalinen sanojen tunnistus (oikein %)	76.2	89.3	95.2	[33.3, 100.0]
Foveaalinen epäsanon tunnistus (oikein %)	16.7	29.8	45.2	[2.4, 88.1]
Parafoveaalinen sanojen tunnistus (oikein %)	62.1	70.1	78.3	[40.0, 98.3]
Parafoveaalinen epäsanon tunnistus (oikein %)	25.0	36.7	48.3	[10.0, 86.7]

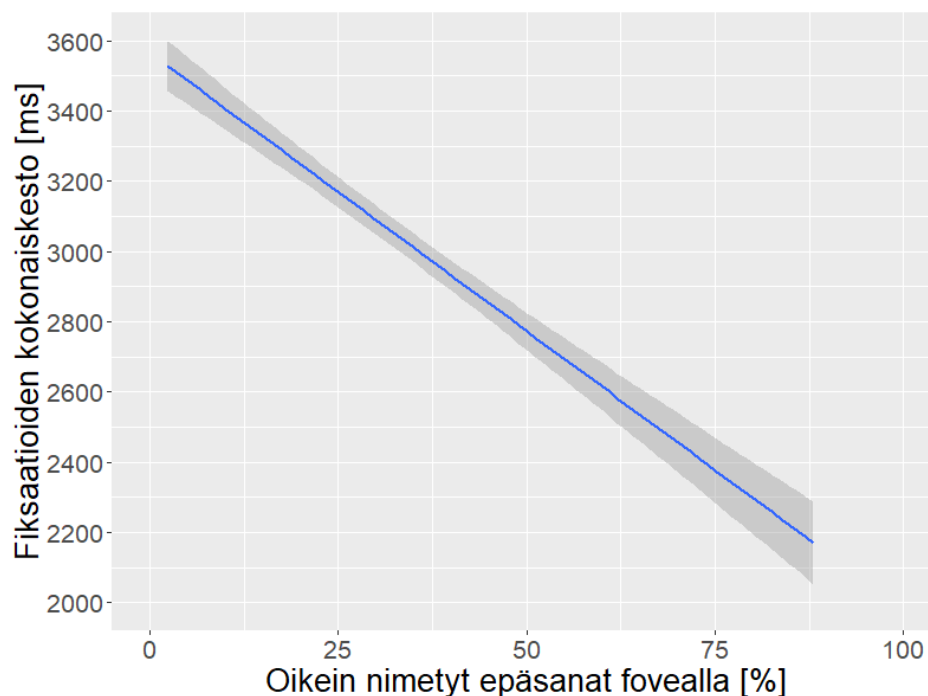
Kvartiileista on raportoitu kunkin kvartiilin arvojen yläraja (25% tarkoittaa väliä 0 %–25 %, 50 % väliä 25 %–50 %, 75 % väliä 50 %–75 % ja ylimmän kvartiilin eli 75 %–100 % yläraja on vaihteluvälin yläraja).

Sanantunnistuksen yhteyttä kaikkien ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden keston sekä eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden keston ja määrään tarkasteltiin lineaarisella sekamallilla ja uudelleen lukemisten sekä takaisinpaluiden osalta yleistetyllä lineaarisella sekamallilla. Mallien oletusten mukaisesti tutkittiin kiinteiden vaikutusten multikollineaarisuutta VIF-arvoilla (variance inflation factor). Tarkasteluissa havaittiin, ettei kiinteiden vaikutusten välillä ilmennyt ongelmaa multikollineaarisuuden suhteen minkään riippuvan muuttujan osalta, sillä kaikki arvot jäivät alle suositellun 3.3 rajan (Kock & Lynn, 2012) (arvot 1.7–2.3). Yhteyksien tarkastelu aloitettiin kunkin riippuvan

muuttujan osalta mallilla, jossa mukana olivat kaikki sanatehtävät (parafoveaaliset sanat ja epäsanat sekä foveaaliset sanat ja epäsanat) kiinteinä vaikutuksina. Näiden kokonaisten mallien tulokset on esitetty taulukossa 4. Kunkin sanatehtävän osalta on taulukoitu regressiokerroin B 95 prosentin luottamusväleineen, keskiarvo sekä t/z-arvo. Kokonaisia malleja karsittiin luvussa 2.6. esitetyllä tavalla. Sopivimmat mallit on esitetty taulukossa 5. Seuraavaksi käsitellään mallien rakenne ja tulokset yksitellen kunkin riippuvan muuttujan osalta.

3.1. Sanantunnistuksen yhteys ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskesto

Fiksaatioiden kokonaiskeston kokonaisessa mallissa, jossa kiinteinä vaikutuksina olivat mukana kaikkien sanatehtävien tulokset (FS, FE, PS, PE), ainoa tilastollisesti merkitsevä kiinteä vaikutus oli taulukon 4 mukaisesti foveaalisten epäsanojen tunnistus ($B = -0.0046$, $SE = 0.0022$, 95 % CI = $[-0.0090, -0.0003]$, $t = -2.11$). Tarkasteluissa sopivimmaksi malliksi osoittautuikin malli, jossa foveaalinen epäsanojen tunnistus oli ainoana kiinteänä vaikutuksena ($B = -0.0062$, $SE = 0.0016$, 95 % CI = $[-0.0093, -0.0030]$, $t = -3.82$). Tämän mallin tunnusluvut on esitetty taulukossa 5. Hyvä foveaalinen epäsanojen tunnistus ennusti lyhyempää fiksaatioiden kokonaiskesto virkettä kohden. Yhteys on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1.

Virkkeen 1. lukukerran fiksaatioiden kokonaiskeston yhteys epäsanojen tunnistustarkkuuteen fovealla. Kuviossa 95 %:n luottamusväli on esitetty harmaalla värillä. Kuvaaja esittää havaittuihin arvoihin sovitetun lineaarisen estimaatin.

Taulukko 4.

Kokonaisten mallien kiinteiden vaikutusten tunnusluvut

Selitettävä muuttuja	Kiinteät vaikutukset														
	Vakiotermit			Fovea sanat			Fovea epäsanat			Parafovea sanat			Parafovea epäsanat		
	B, CI 95 %	SE	t	B, CI 95 %	SE	t	B, CI 95 %	SE	t	B, CI 95 %	SE	t	B, CI 95 %	SE	t
FKK	7.80 [7.70, 7.91]	0.056	139.20	-0.0049 [-0.010, 0.001]	0.0028	-1.75	-0.0046 [-0.0090, -0.0003]	0.0022	-2.11	-0.0011 [-0.0087, 0.0065]	0.0039	-0.29	0.0027 [-0.0025, 0.0078]	0.0026	1.02
FEK	7.61 [7.51, 7.71]	0.052	147.11	-0.0054 [-0.010, -0.0005]	0.0025	-2.15	-0.0038 [-0.00768, -0.000006]	0.0020	-1.96	0.00088 [-0.0059, 0.0076]	0.0034	0.26	0.00058 [-0.0040, 0.0051]	0.0023	0.25
FEL	11.93 [10.87, 12.99]	0.54	22.07	-0.040 [-0.0790, -0.0008]	0.020	-2.00	-0.038 [-0.068, -0.007]	0.015	-2.44	-0.012 [-0.065, 0.041]	0.027	-0.44	0.015 [-0.021, 0.050]	0.018	0.80
Selitettävä muuttuja	B, CI 95 %	SE	z	B, CI 95 %	SE	z	B, CI 95 %	SE	z	B, CI 95 %	SE	z	B, CI 95 %	SE	z
UT	1.16 [0.87, 1.44]	0.15	7.96	-0.0058 [-0.024, 0.013]	0.0094	-0.61	-0.0042 [-0.019, 0.010]	0.0073	-0.58	-0.024 [-0.049, 0.002]	0.013	-1.84	0.013 [-0.004, 0.030]	0.0087	1.46
TT	-1.08 [-1.35, -0.81]	0.14	-7.72	0.00043 [0.020, 0.021]	0.011	0.041	-0.0062 [-0.022, 0.0098]	0.0082	-0.76	0.00047 [-0.028, 0.029]	0.014	0.032	0.0061 [-0.013, 0.025]	0.0097	0.63

FKK = ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskesto, FEK = eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kesto, FEL = eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden lukumäärä, UT = virkkeen sisäisten uudelleen lukemisten todennäköisyys, TT = takaisinpaluiden todennäköisyys. (Kaikki vain virkkeissä, joissa lukemisen kesto > 0 ms). FKK ja FEK muuttujat ovat logaritmuunnettuja ja kiinteät vaikutukset ovat keskitettyjä. Tilastollisesti merkitsevät t/z-arvot ($|t/z| > 1.96$) on merkitty taulukkoon tummennettuina. FKK, FEK ja FEL on analysoitu lineaarisella sekamallilla ja UT sekä TT yleistetyllä lineaarisella sekamallilla.

3.2. Sanantunnistuksen yhteys eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kestoon

Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kestoa osalta kokonaisen mallin tarkastelussa tilastollisesti merkitsevät kiinteät vaikutukset olivat taulukon 4 mukaisesti foveaalinen sanojen tunnistus ($B = -0.0054$, $SE = 0.0025$, 95 % CI = $[-0.010, -0.0005]$, $t = -2.15$) ja foveaalinen epäsanon tunnistus ($B = -0.0038$, $SE = 0.0020$, 95 % CI = $[-0.00768, -0.000006]$, $t = -1.96$). Sopivimmassa mallissa kiinteäksi vaikutukseksi jäi ainoastaan foveaalinen sanojen tunnistus ($B = -0.0081$, $SE = 0.0020$, 95 % CI = $[-0.012, -0.0042]$, $t = -4.09$). Mallin tunnusluvut on esitetty taulukossa 5. Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden yhteenlaskettu kesto oli siis lyhyempi niillä koehenkilöillä, jotka tunnistivat sanoja tehokkaasti foveassa kuin sanantunnistuksessa heikommin pärjänneillä. Yhteys on esitetty kuviossa 2.



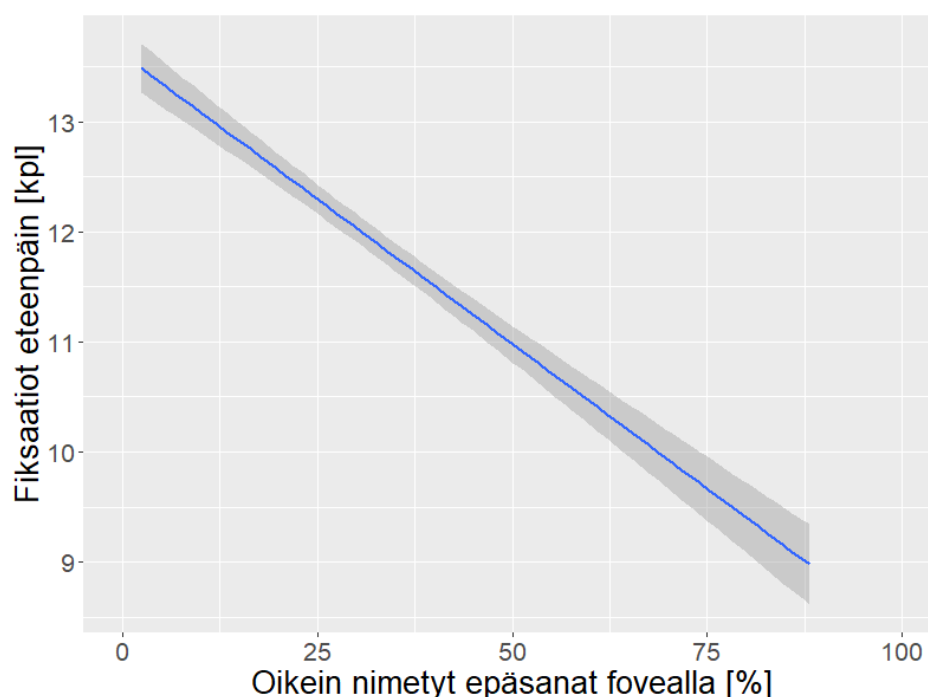
Kuvio 2.

Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kokonaiskeston yhteys sanojen tunnistustarkkuuteen fovealla. Kuviossa 95 %:n luottamusväli on esitetty harmaalla värillä. Kuvaaja esittää havaittuihin arvoihin sovitetun lineaarisen estimaatin.

3.3. Sanantunnistuksen yhteys eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden määrään

Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden määrän tarkasteluissa tilastollisesti merkitsevät kiinteät vaikutukset kokonaisessa mallissa olivat taulukon 4 mukaisesti foveaalinen sanojen tunnistus ($B = -0.040$, $SE = 0.020$, 95 % CI = $[-0.0790, -0.0008]$, $t = -2.00$) sekä foveaalinen epäsanon tunnistus ($B = -0.038$, $SE = 0.015$, 95 % CI = $[-0.068, -0.007]$, $t = -2.44$). Sopivimmassa mallissa oli kiinteänä vaikutuksena ainoastaan foveaalinen epäsanon tunnistus ($B = -0.054$, $SE = 0.011$, 95 % CI = $[-0.076, -0.031]$, $t = -4.71$).

Mallin tunnusluvut on esitetty taulukossa 5. Hyvä foveaalinen epäsanojen tunnistus ennusti siis eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden pienempää lukumäärää virkettä kohden. Yhteys on esitetty kuviossa 3.



Kuvio 3.

Eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden lukumäärän yhteys epäsanojen tunnistustarkkuuteen fovealla. Kuviossa 95 %:n luottamusväli on esitetty harmaalla värillä. Kuvaaja esittää havaittuihin arvoihin sovitetun lineaarisen estimaatin.

3.4. Sanantunnistuksen yhteys uudelleen lukemiseen

Kuten taulukosta 4 nähdään, yleistetyllä lineaarisella sekamallilla tarkasteltuna uudelleen lukemisen kokonaisesta mallista ei löytynyt tilastollisesti merkitseviä kiinteitä vaikutuksia. Sopivimmassa mallissa kiinteänä vaikutuksena oli ainoastaan parafoveaalinen sanojen tunnistus, joka oli tilastollisesti merkitsevässä yhteydessä uudelleen lukemisen esiintymiseen ($B = -0.018$, $SE = 0.0087$, $95\% \text{ CI} = [-0.035, -0.00075]$, $z = -2.05$). Nämä tunnusluvut on esitetty taulukossa 5. Hyvä parafoveaalinen sanojen tunnistus siis ennusti pienempää todennäköisyyttä lukea tekstiä uudelleen virkkeen sisällä.

3.5. Sanantunnistuksen yhteys takaisinpaluisiin

Yleistetyllä lineaarisella sekamallilla muodostetusta takaisinpaluiden kokonaisesta mallista ei taulukon 4 mukaisesti löytynyt yhtään tilastollisesti merkitsevää kiinteää vaikutusta. Myöskään mallia karsimalla tilastollisesti merkitseviä kiinteitä vaikutuksia ei löydetty. Sanantunnistus ei siis ennustanut taipumusta palata takaisin jo luettuun virkkeeseen muualta tekstistä.

Taulukko 5.

Lopullisten mallien kiinteiden vaikutusten tunnusluvut

<i>Selitettävä muuttuja</i>	<i>Vakiotermi</i>			<i>Muuttuja</i>	<i>Kiinteä vaikutus</i>		
	<i>B, CI 95 %</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>		<i>B, CI 95 %</i>	<i>SE</i>	<i>t</i>
FKK	7.81 [7.69, 7.92]	0.057	138.04	FE	-0.0062 [-0.0093, -0.0030]	0.0016	-3.82
FEK	7.61 [7.51, 7.71]	0.052	145.90	FS	-0.0081 [-0.012, -0.0042]	0.0020	-4.09
FEL	11.93 [10.87, 13.00]	0.54	21.95	FE	-0.054 [-0.076, -0.031]	0.011	-4.71
<i>Selitettävä muuttuja</i>	<i>B, CI 95 %</i>	<i>SE</i>	<i>z</i>	<i>Muuttuja</i>	<i>B, CI 95 %</i>	<i>SE</i>	<i>z</i>
UT	1.16 [0.87, 1.45]	0.15	7.88	PS	-0.018 [-0.035, -0.00075]	0.0087	-2.05

FKK = ensimmäisen lukukerran fiksaatioiden kokonaiskesto, FEK = eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kesto, FEL = eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden määrä, UT = virkkeen sisäisten uudelleen lukemisten todennäköisyys. (Kaikki vain virkkeissä, joissa FKK > 0 ms). FKK ja FEK muuttujat ovat logaritimuunnettuja ja kiinteät vaikutukset ovat keskitettyjä. FFK, FEK ja FEL on analysoitu lineaarisella sekamallilla ja UT yleistetyllä lineaarisella sekamallilla. Lopulliset mallit on muodostettu karsimalla kokonaisia malleja, ja kaikkien selitettävien muuttujien osalta sopivimpaan malliin jäi vain yksi kiinteä vaikutus, joka on esitetty taulukon sarakkeessa *Muuttuja*. FE = foveaalinen epäsanon tunnistus, FS = foveaalinen sanojen tunnistus, PS = parafoveaalinen sanojen tunnistus.

4. Pohdinta

4.1. Tutkimuksen tulokset ja niiden suhde aiempiin tutkimuksiin

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, kuinka yksittäisten sanojen tunnistustehokkuus on yhteydessä tekstin lukemisen sujuvuuteen suomenkielisillä aikuisilla lukijoilla. Tutkimuksessa asetettiin neljä tutkimuskysymystä. Ensimmäisessä tarkasteltiin sitä, kuinka parafovean alueella tapahtuva oikeiden sanojen tunnistus on yhteydessä koko tekstin lukemisen sujuvuuteen ja toisessa tutkimuskysymyksessä puolestaan epäsanon tunnistuksen yhteyttä lukemisen sujuvuuteen. Oletuksena oli, että tehokas sanojen ja epäsanon tunnistus parafovean alueella olisi yhteydessä pidempään sakkadeihin ja siten myös fiksaatioiden vähäisempään määrään. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu selkeitä yhteyksiä parafovean alueen oikeiden sanojen eikä epäsanon tunnistuksen tehokkuuden ja fiksaatioiden määrän tai kestojen välillä. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen osalta hypoteesi ei näin ollen saanut selkeää tukea. Sen sijaan tehokkaan parafoveaalisen oikeiden sanojen tunnistuksen havaittiin olevan yhteydessä vähäisempään taipumukseen lukea tekstiä uudelleen virkkeen sisällä sen ensimmäisen lukukerran aikana. Tämä yhteys ei kuitenkaan noussut esiin täydessä mallissa, jossa mikään sanatehtävistä ei noussut uudelleen lukemisen merkitseväksi selittäjäksi, joten yhteys ei siten ole kuitenkaan kovin vahva.

Kolmas tutkimuskysymys koski fovean alueella tapahtuvan oikeiden sanojen tunnistuksen tehokkuuden yhteyttä lukemisen sujuvuuteen. Tämän tutkimuskysymyksen osalta oletettiin, että tehokas foveaalinen sanojen tunnistus olisi yhteydessä fiksaatioiden lyhyempään keston ja pienempään lukumäärään. Tulosten tarkasteluissa havaittiin, että tehokas prosessointi fovean alueella ennusti lyhyempää eteenpäin suuntautuvien fiksaatioiden kestoa virkettä kohden. Kolmannen tutkimuskysymyksen osalta asetettu hypoteesi sai siten tukea tutkimuksen tuloksista.

Neljännessä tutkimuskysymyksessä puolestaan tarkasteltiin fovean alueen epäsanojen prosessoinnin yhteyttä lukemisen sujuvuuteen. Oletuksena oli kuten oikeiden sanojenkin kohdalla, että tehokas prosessointi olisi yhteydessä lyhyempiin ja määrältään vähäisempiin fiksaatioihin. Epäsanojen tehokkaan prosessoinnin havaittiin olevan yhteydessä ensimmäisen lukukerran aikaisten fiksaatioiden lyhyempään kokonaiskeston. Lisäksi tehokas foveaalinen epäsanojen tunnistus oli yhteydessä fiksaatioiden vähäisempään lukumäärään virkettä kohden. Näin ollen myös neljäs hypoteesi sai tukea tutkimustuloksista.

Aiemmissa tutkimuksissa on saatu laajasti näyttöä siitä, että yksilöiden väliset erot lukutottuneisuudessa sekä erilaisilla testeillä mitatuissa kielellisissä taidoissa ja lukutaidossa näyttäytyvät eroina lukemisen aikaisissa silmänliikkeissä. Tottuneemmat lukijat sekä taidoiltaan paremmat lukijat lukevat tehokkaammin ja sujuvammin, mikä näkyy erityisesti fiksaatioiden pienempänä lukumääränä (mm. Kuperman ym., 2018; Kuperman & Van Dyke, 2011; Luke ym., 2015; Payne ym., 2020; Taylor & Perfetti, 2016; Veldre & Andrews 2014; Veldre ym., 2021), niiden lyhyempinä kestoina (mm. Choi ym., 2015; Gordon ym., 2019; Kuperman ym., 2018; Kuperman & Van Dyke 2011; Luke ym., 2015; Payne ym., 2020) sekä uudelleenlukemisen vähäisempänä ilmenemisenä (mm. Gordon ym., 2019; Kuperman & Van Dyke, 2011; Payne ym., 2020; Taylor & Perfetti, 2016; Veldre ym., 2021). Yksilöiden on havaittu eroavan lukutaidon suhteen sekä foveaalisissa että parafoveaalisissa prosessoinnissa.

Yleisesti ottaen tutkimuksen tulokset ovat linjassa aiemmin tehtyjen tutkimusten tulosten kanssa. Vaikka tämän tutkimuksen asetelma poikkeakin aiemmista tutkimuksista, tässä tutkimuksessa on tarkasteltu samaa asiaa toisesta näkökulmasta. Aiemmissa tutkimuksissa lukutaidon on havaittu olevan yhteydessä tehokkaaseen havaitsemiseen fovealla ja parafovealla. Tässä tutkimuksessa haluttiin tarkastella, mitä yksittäisten sanojen tunnistuksen tehokkuus fovealla ja parafovealla kertoo kokonaisen tekstin lukemisen sujuvuudesta. Koehenkilöiden lukutaitoa ei tässä tutkimuksessa tutkittu muilla

tavoin. Koska tässä tutkimuksessa havaittiin, että yksittäisten sanojen tunnistus fovealla on yhteydessä lukemisen silmänliikkeisiin, voidaan siis ajatella, että tehokas foveaalinen prosessointi on yhteydessä lukutaitoon ainakin lukemisen sujuvuuden ja nopeuden osalta. Luetun ymmärtämisen osalta ei tämän tutkimuksen pohjalta sen sijaan voida tehdä selkeitä johtopäätöksiä, sillä tässä tutkimuksessa tarkastelu oli rajattu lukemisen sujuvuuteen eikä luetun ymmärtämistä erikseen tutkittu. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin kuitenkin taipumusta palata tekstissä taaksepäin jo aiemmin luettuihin virkkeisiin, ja tällaiset takaisinpaluut tekstin sisällä kertovat tekstin integroimisesta ja liittyvät siten luetun ymmärtämiseen. Sanantunnistuksen tehokkuuden ei havaittu olevan yhteydessä taipumukseen palata aiemmin luettuun virkkeeseen muualta tekstistä. Tämän tutkimuksen pohjalta voitaisiin siis ajatella, ettei sanojen tunnistamisen tehokkuus selkeästi ennakoisi sitä, kuinka hyvin lukija kykenee jäsentämään tekstikokonaisuutta.

4.2. Parafoveaalisen ja foveaalisen sanantunnistuksen merkitys lukusujuvuudessa

Tämän tutkimuksen johdannossa esitellyissä aiemmissa parafoveaalista prosessointia tarkastelleissa tutkimuksissa on saatu laajasti näyttöä siitä, että hyvät lukijat saavat informaatiota heikompia lukijoita laajemmalla alueelta tekstistä (Chace ym., 2005; Choi ym., 2015; Rayner ym., 2010; Veldre & Andrews, 2014; Veldre & Andrews, 2015; Veldre ym., 2021). Tässä tutkimuksessa vastaavanlaista yhteyttä ei kuitenkaan havaittu. Voidaankin pohtia sitä, onko aiempien tutkimusten mukainen laajempi havaintokenttä seurausta siitä, että lukija todella saa tehokkaammin informaatiota laajemmalla alueelta vai johtuuko se ennemminkin siitä, että fovean alueella tapahtuva prosessointi on tehokkaampaa, jolloin samassa ajassa resursseja jää enemmän käyttöön myös parafoveaaliseen prosessointiin. Tätä kysymystä pohtivat esimerkiksi Veldre ja Andrews (2015) sekä Henderson ja Ferreira (1990) tutkimuksissaan. Tässä tutkimuksessa kysymystä pystyttiin osaltaan tarkastelemaan, sillä sanantunnistusta mitattiin erikseen parafovean ja fovean alueilta ilman toistensa vaikutuksia. Fovean sanantunnistus osoittautui parafovean sanantunnistusta paremmaksi ennustajaksi tekstin lukemisen sujuvuudelle eikä parafoveaalinen sanantunnistus noussut yhdessäkään täydessä mallissa merkitseväksi selittäjäksi. Tämä tutkimus siis antaa viitteitä siitä, että nopeampi lukeminen olisi selkeämmin yhteydessä tehokkaaseen foveaaliseen prosessointiin kuin laajempaan havaintokenttään parafovealla, ja tehokas parafoveaalinen havaitseminen tekstiä lukiessa voisi mahdollisesti selittyä foveaalisen prosessoinnin tehokkuuden kautta.

Koska foveaalinen sanantunnistus osoittautui parafoveaalista merkittävämmäksi lukusujuvuuden ennustajaksi, parafoveaalisen prosessoinnin osuutta haluttiin tässä

tutkimuksessa kuitenkin tarkastella vielä erikseen ilman foveaalisen prosessoinnin vaikutusta. Parafovean omaa selitysosuutta tarkasteltiin karsimalla tutkimuksen eri malleja siten, että foveaalinen prosessointi jätettiin kokonaan pois ja tutkittiin vain parafoveaalisen prosessoinnin yhteyttä lukusujuvuuteen. Näissä tarkasteluissa havaittiin, että parafoveaalinen prosessointi kokonaisuudessaan ei ennustanut lukemisen sujuvuutta tilastollisesti merkitsevästi. Kaikissa malleissa parafoveaalinen oikeiden sanojen tunnistus ennusti lukusujuvuutta epäsanoina selkeämmin, mutta tilastollisesti merkitsevästi pelkkä oikeiden sanojen tunnistus ennusti lukusujuvuutta kuitenkin vain fiksaatioiden lukumäärän osalta sekä jo tulososiossa kerrotun virkkeensisäisen uudelleen lukemisen osalta. Vaikuttaisi siis siltä, että pelkästään parafovean alueella tapahtuva sanantunnistus on myös jossain määrin yhteydessä lukusujuvuuteen, mutta ei selitä sitä yhtään niin vahvasti kuin foveaalinen tunnistus.

Kun tarkasteltiin parafovean ja fovean alueen sanantunnistusten keskinäisiä yhteyksiä koehenkilöittäin, havaittiin, että korrelaatiot olivat välillä .44–.55, joten niillä oli yhteyttä toisiinsa, mutta täysin selkeästi samat lukijat eivät kuitenkaan olleet molemmissa yhtä hyviä. Todennäköisesti siis ne lukijat, joilla tunnistaminen on tehokasta sekä fovean että parafovean alueilla, lukevat kokonaista tekstiä sujuvasti. Tämän tutkimuksen mukaan keskeistä lukemisen sujuvuudelle vaikuttaisi kuitenkin olevan nimenomaan se, että lukija on tehokas prosessoimaan sanoja fovealla, eikä laaja havaintokenttä parafovealla ole yhtä tärkeää. Voisi siis ajatella, että lukemisen sujuvuudelle riittävää saattaisi olla jo pelkkä tehokas sanojen tunnistus fovealla, ja tämän seurauksena lukija mahdollisesti kykenisi tunnistamaan sanoja tehokkaasti myös parafovean alueelta, vaikka varsinainen parafoveaalinen havaintokenttä ei olisikaan erityisen laaja. Sen sijaan pelkkä tehokas parafoveaalinen prosessointi yksinään ei vaikuttaisi johtavan sujuvaan lukemiseen. Selkeitä johtopäätöksiä asiasta ei kuitenkaan tämän tutkimuksen perusteella voida tehdä, mutta voisi olla kiinnostavaa selvittää sitä vielä tarkemmin.

4.3. Sanojen ja epäsanoina tunnistamisen yhteydet lukusujuvuuteen

Tämän tutkimuksen yhtenä erona moniin aiempiin tutkimuksiin verrattuna oli se, että sanojen lisäksi tutkittiin myös epäsanoina. Epäsanoina mukaan ottamisella pystyttiin tässä tutkimuksessa tarkastelemaan suoran reitin kokosanantunnistuksen ohella myös epäsuoran reitin toimintaa. Epäsanat ovat olleet mukana myös joissain aiemmissa tutkimuksissa (esim. Choi ym., 2015; Kuperman & Van Dyke, 2011; Luke ym., 2015), mutta näissä tutkimuksissa ei ole yleensä tutkittu erikseen sanoja ja epäsanoina, vaan niitä molempia on yhdessä käytetty sanantunnistuksen ja dekodeustaidon sujuvuuden

tarkastelussa. Tässä tutkimuksessa havaittiin, että sanoja tunnistettiin yleisesti ottaen epäsanoina tehokkaammin. Sekä oikeiden sanojen että epäsanoina näyttöajat foveaalisessa tehtävässä olivat tässä tutkimuksessa yhtä pitkät, ja tulokset osoittivat, että sanoja ehdittiin tunnistamaan paljon paremmin kuin epäsanoina. Samoin sanojen ja epäsanoina etäisyydet fiksaatiopisteestä parafoveaalisessa tehtävässä olivat yhtä suuret, ja myös tässä tehtävässä sanoja tunnistettiin huomattavasti paremmin kuin epäsanoina. Nämä erot kuvaavat lukemisen kaksoisreittiteorian mukaisia eroavaisuuksia sanojen ja epäsanoina prosessoinnissa. Vaikka sanoja tunnistettiin tässä tutkimuksessa epäsanoina paremmin, sekä sanojen että epäsanoina tunnistukset olivat kuitenkin yhteydessä tekstin lukemisen sujuvuuteen. Lopullisissa malleissa epäsanoina tunnistus osoittautui sanojen tunnistusta paremmaksi selittäjäksi, mikä osoittaa, että epäsuoran reitin sanantunnistus on suomen kielessä olennaisessa asemassa. Tämän tutkimuksen tulokset tukevat siten jo aiemmin esitettyä pohdintaa siitä, että erityisesti sanojen päätteiden vuoksi epäsuora reitti voisi suomen kielessä olla suoraa keskeisempi. Toisaalta epäsanoina tunnistustehtävä oli sanojen tunnistustehtävää vaativampi, ja siinä esiintyi enemmän yksilöllistä vaihtelua, mikä voi vaikuttaa havaittuun epäsanoina sanoja parempaan ennustuskykyyn.

Sanojen ja epäsanoina tunnistusten yhteyksiä lukusujuvuuteen on kiinnostavaa tarkastella johdannon luvussa 1.3.2. esitetyn leksikaalisen laadukkuuden hypoteesin (Perfetti, 2007) pohjalta. Sen mukaan nimenomaan oikeiden sanojen tunnistus olisi yhteydessä lukemisen sujuvuuteen, koska siinä ajatuksena on, että lukeminen on sujuvaa, kun sanoja on nähty kirjoitettuna usein, jolloin niiden representaatiot ovat muodostuneet tarkoiksi. Sen sijaan epäsanoina ei ole aiemmin luettu, jolloin niiden tunnistaminen ei perustuisi leksikaalisen laadukkuuden hypoteesin mukaiseen sanantunnistukseen. Monissa aiemmissa tutkimuksissa lukusujuvuuden onkin havaittu olevan yhteydessä juuri lukutottuneisuuteen (mm. Gordon ym., 2019; Lowder & Dordon, 2017; Taylor & Perfetti, 2016). Tämä yhteys on kytköksissä leksikaalisen laadukkuuden hypoteesin ajatukseen siitä, että sanojen representaatioista tulee laadukkaampia harjaantuneisuuden seurauksena.

Leksikaalisen laadukkuuden hypoteesin yhteydessä huomionarvoista on se, että aiemmat tutkimukset on toteutettu englanninkielisillä lukijoilla, ja suomen ja englannin kielten rakenteet poikkeavat toisistaan selkeästi. Englannin kielessä oleellista on nimenomaan kokonaisten sanojen tunnistaminen, kun taas suomen kielessä lukusujuvuudessa olennaista on sekä tunnistaa kokosanaahmoja tehokkaasti että kyetä tehokkaasti lukemaan sana äänne äänneeltä. Tämä kielten välinen ero selittää tässä tutkimuksessa

havaittua epäsanojen prosessoinnin oleellista merkitystä. Tässä tutkimuksessa sanojen ja epäsanojen tunnistusten tehokkuudet olivat melko hyvin yhteydessä toisiinsa ($r = .63-.71$). Usein samat koehenkilöt olivat siten tehokkaita tunnistamaan sekä sanoja että epäsanoja. Korrelaatioiden suuruuteen voi kuitenkin vaikuttaa se, että oikeita sanoja tunnistettiin kaikkiaan todella hyvin (keskimäärin 84,5 % oikein fovealla), joten kaikki koehenkilöiden väliset erot eivät ehkä sanojen tunnistuksessa tule näkyviin. Suoran ja epäsuoran reitin erottaminen toisistaan selkeästi ei melko korkeiden korrelaatioiden vuoksi ole perusteltua, mutta voidaan kuitenkin ajatella, että epäsuora reitti saattaisi olla jonkin verran keskeisempi suomenkielisessä lukemisessa.

4.4. Tutkimuksen rajoitteet ja vahvuudet

Tämän tutkimuksen yhtenä rajoitteena tulosten yleistettävyyden kannalta voidaan pitää valikoitunutta koehenkilöjoukkoa. Tämän tutkimuksen koehenkilöt olivat lähes kaikki yliopisto-opiskelijoita, suurin osa oli naisia ja koehenkilöt olivat iältään melko nuoria. Näin ollen tutkimuksen tuloksia ei voida suoraan yleistää esimerkiksi vanhempiin ihmisiin tai lukutaidoltaan heikompiin lukijoihin. Voidaan kuitenkin olettaa, että lukusujuvuudeltaan hyvien ja heikkojen lukijoiden välillä ilmenisi todennäköisesti suurempia eroja yksittäisten sanojen tunnistamisen tehokkuudessa kuin tässä tutkimuksessa pelkkien tottuneiden lukijoiden välillä. Koska tässä tutkimuksessa erot kuitenkin tulivat esiin verraten homogeenisessa ryhmässä, se toisaalta vahvistaa näiden tulosten luotettavuutta. Tämän tutkimuksen otoskoko oli myös melko hyvä, mikä osaltaan parantaa tutkimuksen tulosten luotettavuutta.

Tutkimuksen tuloksiin vaikuttaa myös se, että sanatason tehtävien vaikeustasot eivät olleet tasaisia. Tunnistustehokkuus oikeiden sanojen osalta oli kaikkiaan hyvää, ja keskimäärin koehenkilöt nimesivät fovealla nähdystä sanoista 84.5 % oikein ja parafovealla nähdystä sanoista 70.3 % oikein. Sen sijaan epäsanoja nimettiin oikein fovealla 32.4 % ja parafovealla 38.5 %. Tämän tutkimuksen taulukosta 3 havaitaan, että myös kvartiileiden avulla tarkasteltuna sanatehtävät olivat epäsanatehtäviä helpompia. Erytisessä foveaalisessa sanatehtävässä koehenkilöt tunnistivat sanoja erittäin hyvin. Sanatehtävät saattoivatkin olla mahdollisesti liian helppoja ja epäsanatehtävät puolestaan liian vaikeita, eivätkä kaikki koehenkilöiden väliset pienemmät erot välttämättä näissä tehtävissä tulekaan esiin. Jos tehtävät olisivat erotelleet koehenkilöitä selkeämmin, myös lukemisen aikaiset silmänliikkeet olisivat voineet olla vielä selkeämmässä yhteydessä sanatason tehtäviin. Foveaalisen sanatehtävän tulosjakauma lähentelee kattoefektiä (taulukko 3) ja 12 % koehenkilöistä tunnisti oikein kaikki sanat. Kattoefekti heikentää

hieman foveaalisen sanatehtävän luotettavuutta. Muissa tehtävissä ei kuitenkaan esiintynyt selkeää lattia- tai kattoefektiä, joten ne toimivat paremmin yksilöllisten erojen arvioinnissa.

Tämän tutkimuksen yhtenä vahvuutena voidaan pitää sitä, että koetilanne oli hyvin strukturoitu, ja kaikki koehenkilöt suorittivat kokeen samalla tavalla. Sanantunnistustehtävien ärsykyttä ja lukutehtävien virkkeitä oli molempia sen verran paljon, että koehenkilöiden taidoista saatiin luotettavaa dataa, mutta toisaalta koe ei kuormittanut koehenkilöitä liikaa. Tutkimuksessa käytetyn analyysitavan etuna oli se, että koehenkilöitä ei kyseisessä analyysitavassa jaeta ryhmiin, joiden tuloksia verrataan keskenään, vaan kunkin koehenkilön tuloksia tarkastellaan omana yksikkönään. Tällaisella analyysimenetelmällä kaikki aineiston vaihtelu saadaan esiin. Tutkimuksen vahvuuksina voidaan pitää myös foveaalisen ja parafoveaalisen prosessoinnin sekä sanojen ja epäsanojen tunnistamisen vertailua, sillä nämä vertailut tarjosivat kiinnostavaa tietoa siitä, minkälainen sanantunnistus näyttäisi selkeimmin ennakoivan kokonaisen tekstin lukemisen sujuvuutta ja mikä osatekijä puolestaan ei ole niin keskeinen.

4.5. Mahdolliset jatkotutkimukset

Tässä tutkimuksessa saatua tietoa olisi kiinnostavaa syventää ja laajentaa jatkotutkimuksilla. Yhtenä jatkotutkimuksena olisi kiinnostavaa tarkastella virketason analyysien ohella myös sanatasoa. Sanatason tarkastelut voisivat mahdollisesti olla herkempiä osoittamaan sanantunnistuksen tehokkuuden vaikutuksia lukemisessa. Koehenkilöiden välinen vaihtelu saataisiin tällöin esiin vielä yksityiskohtaisemmin, kun tarkasteltavat yksiköt olisivat pienempiä. Lisäksi sanantunnistuksen yhteyttä lukemisen sujuvuuteen olisi mielenkiintoista tutkia tottuneiden aikuisten lukijoiden sijaan myös muunlaisilla otoksilla. Olisi esimerkiksi kiinnostavaa tutkia, kuinka yhteys näkyy lapsilla tai henkilöillä, joilla on lukivaikeus. Tällaisilla koehenkilöillä vastaavan kaltaisia tutkimuksia ei ole juurikaan tehty.

Lisäksi olisi kiinnostavaa tutkia yhteyttä myös muilla kielillä. Esimerkiksi englanninkieliset lukijat olisivat kiinnostava tutkimuskohde suomen ja englannin kielten erilaisten ortografisten rakenteiden vuoksi. Vaikka englanninkielisillä koehenkilöillä onkin tehty lukemisen silmänliikkeisiin liittyvää tutkimusta runsaasti, parafoveaalista ja foveaalista prosessointia ja sanojen sekä epäsanojen lukemista ei ole juuri verrattu toisiinsa samassa tutkimuksessa. Englanninkielisillä lukijoilla voitaisiin myös tarkastella sekä säännöllisiä että epäsäännöllisiä sanoja ja saada sitä kautta tietoa sanojen kirjoitusasujen muistiedustusten tarkkuuksien merkityksestä lukemisen sujuvuudelle.

Mielenkiintoista olisi myös tarkastella, miten sanatason vaikutukset näkyvät lukijalle vieraan kielen lukemisessa. Voisi olettaa, että vaikutukset olisivat selvästi suuremmat, kun kyseessä olisi jokin muu kuin lukijan oma äidinkieli.

Tämän tutkimuksen tulokset antavat näyttöä siitä, että yksittäisten sanojen tunnistamisen tehokkuudella kyetään ennustamaan kokonaisen tekstin lukemisen sujuvuutta tottuneilla aikuisilla lukijoilla. Tämänkaltaisia menetelmiä voitaisiinkin hyödyntää lukutaidon nopeassa arvioinnissa. Toisaalta tekstikokonaisuuksien lukemisessa pelkkä nopeus ei kuitenkaan vielä riitä, vaan teksti täytyy myös ymmärtää. Olisikin hyvä tutkia vielä tarkemmin myös sitä, kuinka hyvin sujuvasti tekstissä etenevät lukijat todella myös ymmärtävät lukemansa tekstin. Lukusujuvuuden lisäksi luetun ymmärtämisen mukaan ottamisella lukemisprosessista saataisiinkin vielä kokonaisvaltaisempaa tietoa ja voitaisiin täydentää nyt saatuja tuloksia lukusujuvuuden yhteydestä sanantunnistukseen.

5. Lähteet

- Andrews, S., & Bond, R. (2009). Lexical expertise and reading skill: Bottom-up and top-down processing of lexical ambiguity. *Reading and Writing*, 22(6), 687–711. doi: 10.1007/s11145-008-9137-7
- Aro, M. (2004). Learning to read: The effect of orthography. *Jyväskylä Studies in Education, Psychology and Social Research 237*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Ashby, J., Rayner, K., & Clifton Jr, C. (2005). Eye movements of highly skilled and average readers: Differential effects of frequency and predictability. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 58(6), 1065–1086.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. doi:10.18637/jss.v067.i01
- Blythe, H. I. (2014). Developmental changes in eye movements and visual information encoding associated with learning to read. *Current Directions in Psychological Science*, 23(3), 201–207. doi: 10.1177/0963721414530145
- Blythe, H. I., Liversedge, S. P., Joseph, H. S., White, S. J., & Rayner, K. (2009). Visual information capture during fixations in reading for children and adults. *Vision Research*, 49(12), 1583–1591. doi: 10.1016/j.visres.2009.03.015
- Brysbaert, M., Drieghe, D., & Vitu, F. (2005). Word skipping: Implication for theories of eye movement control in reading. Teoksessa G. Underwood (toim.), *Cognitive processes in eye guidance* (s. 53–78). Oxford University Press.
- Calvo, M. G., & Meseguer, E. (2002). Eye movements and processing stages in reading: Relative contribution of visual, lexical and contextual factors. *The Spanish Journal of Psychology*, 5(1), 66–77.
- Chace, K. H., Rayner, K., & Well, A. D. (2005). Eye movements and phonological parafoveal preview: Effects of reading skill. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, 59(3), 209–217.
- Choi, W., Lowder, M. W., Ferreira, F., & Henderson, J. M. (2015). Individual differences in the perceptual span during reading: Evidence from the moving

- window technique. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(7), 2463–2475.
doi: 10.3758/s13414-015-0942-1
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., & Ziegler, J. (2001). DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, 108(1), 204–256. doi: 10.1037/0033-295X.108.1.204
- Drieghe, D. (2008). Foveal processing and word skipping during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 15(4), 856–860. doi: 10.3758/PBR.15.4.856kaakik
- Drieghe, D., Rayner, K. & Pollatsek, A. (2005). Eye movements and word skipping during reading revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(5), 954–969. doi: 10.1037/0096-1523.31.5.954
- Eskenazi, M. A., & Folk, J. R. (2015). Reading skill and word skipping: Implications for visual and linguistic accounts of word skipping. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(6), 1923–1928. doi: 10.1037/xlm0000156
- Fitzsimmons, G., & Drieghe, D. (2011). The influence of number of syllables on word skipping during reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(4), 736–741. doi: 10.3758/s13423-011-0105-x
- Gordon, P. C., Moore, M., Choi, W., Hoedemaker, R. S., & Lowder, M. W. (2019). Individual differences in reading: Separable effects of reading experience and processing skill. *Memory & Cognition*, 1–13. doi: 10.3758/s13421-019-00989-3
- Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(3), 417–429.
- Häikiö, T., Bertram, R., Hyönä, J., & Niemi, P. (2009). Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102(2), 167–181.
doi:10.1016/j.jecp.2008.04.002
- Jobard, G., Crivello, F., & Tzourio-Mazoyer, N. (2003). Evaluation of the dual route theory of reading: a metanalysis of 35 neuroimaging studies. *Neuroimage*, 20(2), 693–712. doi: 10.1016/S1053-8119(03)00343-4

- Joseph, H. S., Livversedge, S. P., Blythe, H. I., White, S. J., & Rayner, K. (2009). Word length and landing position effects during reading in children and adults. *Vision Research*, *49*(16), 2078–2086. doi: 10.1016/j.visres.2009.05.015
- Just, M. A., & Carpenter, P. A. (1980). A theory of reading: From eye fixations to comprehension. *Psychological Review*, *87*(4), 329–354.
- Kliegl, R., Grabner, E., Rolfs, M., & Engbert, R. (2004). Length, frequency, and predictability effects of words on eye movements in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, *16*(1-2), 262–284. doi: 10.1080/09541440340000213
- Kock, N., & Lynn, G. (2012). Lateral collinearity and misleading results in variance-based SEM: An illustration and recommendations. *Journal of the Association for Information Systems*, *13*(7). Haettu osoitteesta <https://ssrn.com/abstract=2152644>
- Kuperman, V., Matsuki, K., & Van Dyke, J. A. (2018). Contributions of reader-and text-level characteristics to eye-movement patterns during passage reading. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *44*(11), 1687–1713. doi: 10.1037/xlm0000547
- Kuperman, V., & Van Dyke, J. A. (2011). Effects of individual differences in verbal skills on eye-movement patterns during sentence reading. *Journal of Memory and Language*, *65*(1), 42–73. doi: 10.1016/j.jml.2011.03.002
- Kuperman, V., Van Dyke, J. A., & Henry, R. (2016). Eye-movement control in RAN and reading. *Scientific Studies of Reading*, *20*(2), 173–188. doi: 10.1080/10888438.2015.1128435
- Laine, M., & Virtanen, P. (1999). WordMill lexical search program. Turku, Finland: University of Turku, Center for Cognitive Neuroscience.
- Liversedge, S. P., Drieghe, D., Li, X., Yan, G., Bai, X., & Hyönä, J. (2015). Universality in eye movements and reading: A trilingual investigation. *Cognition*, *147*, 1–20. doi: 10.1016/j.cognition.2015.10.013
- Lowder, M. W., & Gordon, P. C. (2017). Print exposure modulates the effects of repetition priming during sentence reading. *Psychonomic Bulletin & Review*, *24*(6), 1935–1942. doi: 10.3758/s13423-017-1248-1
- Luke, S. G., Henderson, J. M., & Ferreira, F. (2015). Children’s eye-movements during reading reflect the quality of lexical representations: An individual differences

- approach. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(6), 1675–1683. doi: 10.1037/xlm0000133
- McConkie, G. W., Hogaboam, T. W., Wolverton, G. S., Zola, D., & Lucas, P. A. (1979). Toward the use of eye movements in the study of language processing. *Discourse Processes*, 2(3), 157–177.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17(6), 578–586.
- Payne, B. R., Federmeier, K. D., & Stine-Morrow, E. A. (2020). Literacy skill and intra-individual variability in eye-fixation durations during reading: Evidence from a diverse community-based adult sample. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 73(11), 1841–1861. doi:10.1177/1747021820935457
- Perfetti, C. A. (1992). *The representation problem in reading acquisition*. Teoksessa P. B. Gough, L. C. Ehri & R. Treiman (toim.), *Reading Acquisition* (s. 145–174). Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Perfetti, C. (2007). Reading ability: Lexical quality to comprehension. *Scientific Studies of Reading*, 11(4), 357–383. doi: 10.1080/10888430701530730
- R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Haettu osoitteesta <https://www.R-project.org/>
- Radach, R., Huestegge, L., & Reilly, R. (2008). The role of global top-down factors in local eye-movement control in reading. *Psychological Research*, 72(6), 67–688. doi: 10.1007/s00426-008-0173-3
- Rayner, K. (1975). The perceptual span and peripheral cues in reading. *Cognitive Psychology*, 7(1), 65–81. doi: 10.1016/0010-0285(75)90005-5
- Rayner, K. (1978). Eye movements in reading and information processing. *Psychological Bulletin*, 85(3), 618–660. doi: 10.1037/0033-2909.85.3.618
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. doi: 10.1037/0033-2909.124.3.372

- Rayner, K. (2009). The 35th Sir Frederick Bartlett Lecture: Eye movements and attention in reading, scene perception, and visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *62*(8), 1457–1506. doi: 10.1037/0033-2909.124.3.372
- Rayner, K., Castelhana, M. S., & Yang, J. (2009). Eye movements and the perceptual span in older and younger readers. *Psychology and Aging*, *24*(3), 755–760. doi: 10.1037/a0014300
- Rayner, K., Murphy, L. A., Henderson, J. M., & Pollatsek, A. (1989). Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, *6*(4), 357–378. doi: 10.1080/02643298908253288
- Rayner, K., Sereno, S. C., Morris, R. K., Schmauder, A. R., & Clifton, C. (1989). Eye movements and on-line language comprehension processes. *Language and Cognitive Processes*, *4*(3-4), 21–49. doi: 10.1080/01690968908406362
- Rayner, K., Sereno, S. C., & Raney, G. E. (1996). Eye movement control in reading: a comparison of two types of models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *22*(5), 1188–1200.
- Rayner, K., Slattery, T. J., & Bélanger, N. N. (2010). Eye movements, the perceptual span, and reading speed. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*(6), 834–839. doi:10.3758/PBR.17.6.834
- Rayner, K., Slattery, T. J., Drieghe, D., & Liversedge, S. P. (2011). Eye movements and word skipping during reading: effects of word length and predictability. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *37*(2), 514–528. doi: 10.1037/a0020990
- Schilling, H. E., Rayner, K., & Chumbley, J. I. (1998). Comparing naming, lexical decision, and eye fixation times: Word frequency effects and individual differences. *Memory & Cognition*, *26*(6), 1270–1281.
- Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*(1), 5–35. doi: 10.3758/s13414-011-0219-2r
- Slosson, R. L., & Nicholson, C. L. (1990). *Slosson Oral Reading Tests - Revised*. Slosson Educational Publishers.

- Stanovich, K. E., & West, R. F. (1989). Exposure to print and orthographic processing. *Reading Research Quarterly*, 402–433.
- Sulkunen, S., & Malin, A. (2014). Aikuisten lukutaito tiedon käsittelyn ja hallinnan avaintaitona. *Kieli, koulutus ja yhteiskunta: Kielikoulutuspolitiikan verkoston verkkolehti*, 10.4.2014. Haettu osoitteesta <http://www.kieliverkosto.fi/article/aikuisten-lukutaito-tiedon-kasittelyn-ja-hallinnan-avaintaitona/>
- Taylor, J. N., & Perfetti, C. A. (2016). Eye movements reveal readers' lexical quality and reading experience. *Reading and Writing*, 29(6), 1069–1103. doi: 10.1007/s11145-015-9616-6
- Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., & Wagner, R. K. (1999). *TOWRE: Test of Word Reading Efficiency*. Austin, TX: Pro-ed.
- Veldre, A., & Andrews, S. (2014). Lexical quality and eye movements: Individual differences in the perceptual span of skilled adult readers. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(4), 703–727. doi: 10.1080/17470218.2013.826258
- Veldre, A., & Andrews, S. (2015). Parafoveal lexical activation depends on skilled reading proficiency. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(2), 586–595. doi: 10.1037/xlm0000039
- Veldre, A., Wong, R., & Andrews, S. (2021). Reading proficiency predicts the extent of the right, but not left, perceptual span in older readers. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 83(1), 18–26. doi: 10.3758/s13414-020-02185-x
- Winter, B. (2013). Linear models and linear mixed effects models in R with linguistic applications. arXiv:1308.5499. [<http://arxiv.org/pdf/1308.5499.pdf>]
- Woodcock, R. W. (2011). *Woodcock Reading Mastery Tests Third Edition Manual*. Oxford: Pearson.