

Sara Marjakangas

HAASTEET VIITTOMAKIELEN KONEKÄÄNNÖSJÄRJESTELMIEN KEHITYKSESSÄ

Kandidaatintutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Lokakuu 2023

TIIVISTELMÄ

Sara Marjakangas: Haasteet viittomakielen konekäännösjärjestelmien kehityksessä
Kandidaatintutkielma
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaattiohjelma
Lokakuu 2023

Maailmalta löytyy noin 300 erilaista viittomakieltä, joilla on yhteensä noin 70 miljoonaa käyttäjää. Suomessa suomalainen tai suomenruotsalainen viittomakieli on noin 3100 kuuron henkilön äidinkieli. Viitotuilla kielillä on erityinen asema osana kuurojen kulttuuria, ja viittomakieliset muodostavatkin sekä kielellisen että kulttuurillisen vähemmistön. Tietokonesovellusten käyttöliittymät, hakukoneet ja kääntäjät eivät useimmiten tue viittomakieltä, mikä aiheuttaa esteitä esimerkiksi tiedon saavutettavuuteen viittomakielisille. Kehitys konenäön ja -oppimisen alalla on vähentänyt esteitä viittomakielen konekääntämisen kehityksessä ja luonut mahdollisuuksia sitä hyödyntävien järjestelmien luomiseen.

Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastelen tutkimuskirjallisuuden avulla viittomakielen koneellisen käsittelyn haasteita automaattisen käännöksen ja sen sovelluskohteiden eri osaluilla. Toteutin tutkielman kirjallisuuskatsauksena, johon valitsin aineistoksi ajankohtaisia tutkimuksia, kirjallisuusanalyysyjä ja kuuroyhteisön tuottamaa materiaalia kuten lausuntoja. Valitsin tutkielmaan mukaan aineistoja, jotka käsittelevät aihetta eri näkökulmista, esimerkiksi teknologian, käyttäjän tai kuuroyhteisön kannalta.

Tunnistan tutkielmassa useita haasteita teknologian suunnittelussa ja kehityksessä. Merkittäviä haasteita näissä kategorioissa ovat esimerkiksi viittomakielen koneellisen tuottamisen korkeat vaatimukset teknologialle, huono ymmärrys käyttäjien tarpeista ja vaatimuksista sekä kuuroyhteisön vähäinen osallisuus projekteissa. Myös rakenteelliset ja modaaliteetteihin liittyvät erot viitottujen ja puhuttujen kielten välillä hankaloittavat kehitystyötä, sillä luonnollisen kielen käsittelyn ja konekääntämisen olemassa olevien järjestelmien hyödyntäminen on hankalaa viitottujen kielten ominaisuuksien vuoksi. Useissa konekäännösjärjestelmissä viittomakieltä olisi käsiteltävä tekstimuodossa, jota useimmilla viittomakielillä ei ole.

Viittomakielen konekäännöksen sovellusten kehittäminen vaatii käyttäjien, etenkin kuurojen käyttäjien, osallistamista kehityksen eri vaiheissa ja kehitys- ja tutkimustyön suorittamista monitieteellisissä työryhmissä. Vain näin saadaan aikaan käytettävyydeltään onnistuneita ja käyttäjien omaksumia sovelluksia.

Avainsanat: viittomakieli, konekääntäminen, käyttäjäkokemus, käyttäjätutkimus, käytettävyys, saavutettavuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|---|----|
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 2. TUTKIMUSMENETELMÄ | 3 |
| 3. HAASTEET TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISESSÄ..... | 5 |
| 3.1 Viittomakielen tunnistaminen..... | 5 |
| 3.2 Viittomakielen käsittely ja kääntäminen | 6 |
| 3.3 Viittomakielen tuottaminen | 8 |
| 4. JÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU JA ARVIOINTI..... | 10 |
| 4.1 Kuuroyhteisö osana suunnitteluprosessia | 10 |
| 4.2 Käännöksen, käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen arviointi..... | 11 |
| 5. TULOSTEN KOONTI JA YHTEENVETO | 13 |
| 5.1 Tutkielman keskeiset tulokset | 13 |
| 5.2 Tunnistettuja lisätutkimustarpeita | 15 |
| 5.3 Lopuksi | 16 |
| LÄHTEET | 17 |

1. JOHDANTO

Viittomakielen koneellista käsittelyä, alkaen viittomakielen tunnistamisesta, on kehitetty muutamien vuosikymmenten ajan. Sen kehitys perinteisten, puhuttuja kieliä tukevien järjestelmien rinnalla on jäänyt huomattavasti jälkeen. Viittomakielen konekääntäminen ja sen eri vaiheisiin liittyvät teknologiat tarjoavat monia mahdollisia sovelluskohteita erilaisilla toimialoilla. Suurin osa nykyisistä viestintäteknikoista on kehitetty tukemaan puhuttua tai kirjoitettua kieltä, eivätkä ne tue viittomakieliä (Bragg et al., 2019).

Viittomakielet ovat ryhmä gesturaalis-visuaalisia kieliä (Imashev et al., 2022). Viittomakielillä on erityinen asema osana kuurojen kulttuuria ja viittomakieliset muodostavat kielellisen ja kulttuurillisen vähemmistön. Viittomakieliä on maailmalla noin 300 erillistä kieltä ja niillä on arviolta 70 miljoonaa käyttäjää. (Bragg et al., 2019) Bragg ja muut (2020) arvioivat kuurojen viittomakieltä käyttävien osuudeksi noin 17.5 miljoonaa henkilöä. Puhuttujen kielten tapaan viittomakieli voidaan omaksua äidinkielenä tai myöhemmässä iässä, eikä kuulon status ole ainoa syy oppia kieltä, vaan sen voi omaksua esimerkiksi perheen, ystävien, työn tai kiinnostuksen kautta (European Centre for Modern Languages, 2023).

Kuuroyhteisön jäsenet kaikkialla maailmassa kohtaavat merkittäviä esteitä kielimuurin vuoksi esimerkiksi koulutuksen, työn ja terveydenhuollon piirissä (Wolfe, 2021). Viittomakielen konekääntäminen avasi monenlaisia mahdollisuuksia informaation parempaan saavutettavuuteen viittomakielisille sekä viittomakielellä toimivien käyttöliittymien ja sovellusten kehittämiseen. Mahdollisia sovelluskohteita viittomakielen konekäännöksille ovat esimerkiksi viittomakielisellä syötteellä toimivat hakukoneet, automaattinen ja reaaliaikainen konekääntäminen ja viittomakieliset tekoälyavustajat (Bragg et al., 2019).

Viittomakieltä käsittelevien järjestelmien kehitys lukeutuu konekäännöksen ja luonnollisen kielen käsittelyn tieteenaloihin, mutta viittomakielisen syötteen ja tulostuksen käsittely, kielen oikeaoppinen mallinnus ja prosessointi sekä käyttäjien tarpeet kohtaavien käyttöliittymien ja sovellusten suunnittelu vaativat monialaista osaamista. Muita kehitykseen vaikuttavia tieteenaloja ovat esimerkiksi ihmisen ja teknologian vuorovaikutus, saavutettavuus, konenäkö, kielitieteet ja Deaf studies eli kuurojen kulttuurin ja yhteisön tutkimus. (Bragg et al., 2020)

Kiinnostuin aiheesta sekä oman harrastuneisuuden kautta että yleisestä kiinnostuksesta käyttäjäkeskeiseen ja esteettömään suunnitteluun. Viittomakielen konekäännöksen kehitys on herättänyt huomiota mediassa ja tutkimuksessa usein siitä syystä, että kehitetyt sovellukset eivät kohtaa käyttäjien tarpeita tai tosielämän käyttötilanteita.

Tämän tutkielman tavoitteena on perehtyä tutkimuskirjallisuuden avulla viittomakielen konekääntämiseen ja -tulkkaukseen. Tutkielmassa pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen: millaisia haasteita viittomakielen konekääntämisen kehityksessä on havaittu.

Tutkielma on jäsennetty seuraavasti. Luvussa 2 käsittelen tutkielman tutkimusmenetelmiä. Luvussa 3 kuvaan viittomakielen koneellisen kääntämisen teknologiaan liittyviä haasteita, josta etenen järjestelmien suunnitteluun ja käyttäjätutkimuksessa esiintyneisiin haasteisiin luvussa 4. Luvussa 5 on pohdintaa tutkielman keskeisimmistä havainnoista ja yhteenveto.

2. TUTKIMUSMENETELMÄ

Tämä kandidaatintutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena. Aineiston keräämiseen käytettyjä tietokantoja ovat ACM Digital Library, Andor, ja Scopus. Etsin sopivia aineistoja sekä tekemällä hakuja mainittuihin tietokantoihin että hyödyntämällä helmenkalastusmenetelmää muiden vastaavien artikkeleiden löytämiseen jo löydettyjen materiaalien lähteistä. Käytin tietokannoissa hakulauseina esimerkiksi seuraavia:

- "sign language" AND "machine translation"
- "sign language" AND "machine translation" AND usability
- "sign language" AND "machine translation" AND "user experience"
- "sign language" AND "machine translation" AND ("human-centered design" OR "human-centric design" OR HCI OR HTI)

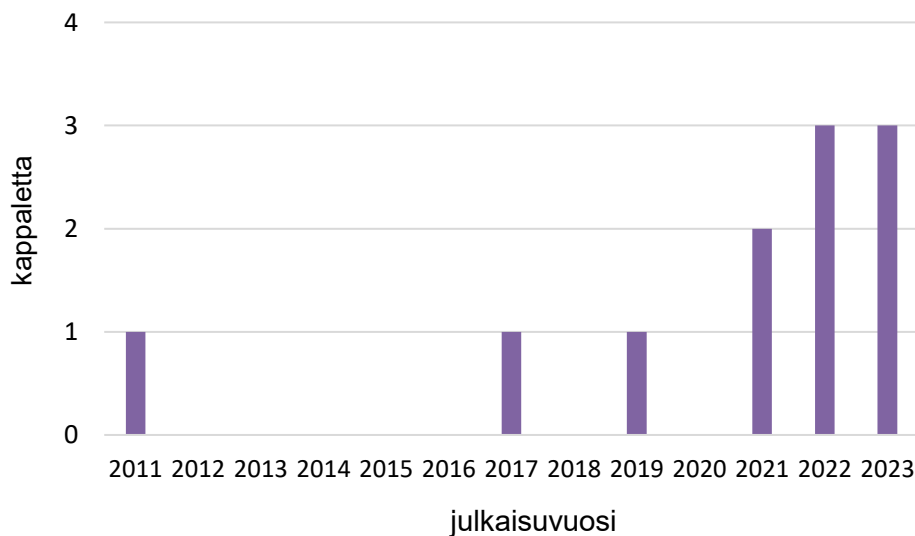
Valitsin kyseiset hakusanat, jotta löytäisin sopivia aineistoja sekä teknologian haasteiden että käyttäjätutkimuksessa löytyneiden haasteiden tunnistamiseen. Käyttämäni hakusanat tuottivat hakupalveluissa keskimäärin noin 70 tulosta, kun tulokset oli rajattu koskemaan viimeisen viiden vuoden aikana julkaistuja tutkimuksia.

Tutkielmassa käytetyt tärkeimmät lähteet löytyvät taulukosta 1. Valitsin taulukkoon ne lähteet, joiden pohjalta vastaan tutkielman tutkimuskysymykseen ja joiden tuloksia tutkielmassa pääasiassa käsitellään. Käytettyjen aineistojen aiheet kuuluvat pääasiassa konekääntämisen sekä ihmisen ja teknologian vuorovaikutuksen alueille, mutta osa lähteistä käsittelee viittomakielen konekäännösjärjestelmiä sosiolingvistiikan tai kuurojen yhteisön, kulttuurin tai viittomakielisyyden tutkimuksen (engl. *Deaf studies*) näkökulmasta. Tekijän lisäksi taulukosta 1 löytyy aineistojen tyyppi ja niiden käsittelemä näkökulma. Taulukossa käytetään lyhennettä HCI (engl. *human-computer interaction*) viittaamaan käsitteeseen ihmisen ja teknologian vuorovaikutus.

Taulukko 1. Tutkielman tärkeimmät lähteet.

| Tekijät | Tyyppi | Näkökulma |
|----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Attar et al., 2023 | systemaattinen kirjallisuuskatsaus | teknologia |
| Bragg et al., 2019 | tutkimusartikkeli | monitieteellinen |
| de Meulder, 2021 | konferenssijulkaisu | Deaf studies, sosiolingvistiikka |
| Imashev et al., 2022 | tutkimusartikkeli | HCI |
| Kacorri et al., 2017 | tutkimusartikkeli | HCI, saavutettavuus |
| Kipp et al., 2011 | tutkimusartikkeli | kuuro käyttäjä |
| Liang et al., 2023 | tutkimusartikkeli | teknologia |
| Nolte et al., 2023 | tutkimusartikkeli | saavutettavuus |
| Prietch et al., 2022 | systemaattinen kirjallisuuskatsaus | HCI, saavutettavuus |
| Quandt et al., 2022 | tutkimusartikkeli | HCI |
| Wolfe, 2021 | konferenssijulkaisu | teknologia |

Tutkielman tärkeimpinä lähteinä toimivien aineistojen julkaisuvuosien jakautuminen on visualisoitu kuvassa 1. Pysin valikoimaan käyttämäni aineistot viimeisen viiden vuoden aikana julkaistujen vertaisarvioitujen tutkimusten joukosta, koska viittomakielinen teknologia kehittyy nopeasti. Poikkeuksena on jo 2011 julkaistu kuurojen käyttäjien näkökulmaa tutkiva artikkeli (Kipp et al., 2011).



Kuva 1. Tärkeimpien lähteiden julkaisuvuodet.

Etsin lisäksi aihetta koskevia uutisia, tiedonantoja ja muuta materiaalia Google-hakukoneella. Valitsin mukaan tutkielmaan Kuurojen Maailmanliiton (engl. World Federation of the Deaf, lyh. WFD) vuosina 2018 (WFD, 2018) ja 2019 (WFD, 2019) julkaisemat lausunnot, jotka käsittelevät kuuroyhteisön näkökantaa viittoviin avattariin ja viittomakieliseen teknologiaan.

3. HAASTEET TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISESSÄ

Tässä luvussa esittelen viittomakielen konekääntämiseen liittyvän teknologian kehittämisessä esiin nousseita haasteita. Viittomakielen käsittely osana kaksisuuntaista käännösprosessia voidaan jakaa Braggia ja muita (2019) mukaillen kolmeen osa-alueeseen:

1. viittomakielen tunnistamiseen,
2. kääntämiseen ja
3. tuottamiseen.

Tässä luvussa käsitellään näitä kolmea osa-aluetta vuorollaan.

3.1 Viittomakielen tunnistaminen

Viittomakielen tunnistamisen tavoitteena on tulkita tunnistuksen kohteena oleva viitottu materiaali sellaisessa muodossa olevaksi syötteenä, jota voi käsitellä tietokoneen avulla (Liang et al., 2023). Viittomakielen tunnistaminen voidaan toteuttaa esimerkiksi konenäön tai erilaisten puettavien sensorien avulla. Teknologian on tunnistettava sekä viittojen käsien liikkeet että hienovaraisetkin eleet kasvoissa, katseessa ja kehossa. (Bragg et al., 2019) Tunnistuksen tarkkuudesta tekee ensiarvoisen tärkeää se, että tunnistusvirheet viittoman yhdessäkin osassa voivat vaikuttaa merkittävästi välittyvään viestiin (Wolfe, 2021).

Viittomakielet ovat keskenään erilaisia, mutta niistä voidaan havaita tiettyjä yhteisiä rakennepiirteitä aivan kuten puhutuistakin kielistä. Viittomakielet koostuvat manuaalisista ja ei-manuaalisista osista. Manuaalisia osia ovat käsien, kämmenten ja sormien muoto, paikka, liike ja liikkeen suunta. Ei-manuaaliset piirteet ovat muita kehon liikkeitä ja eleitä, kuten kasvojen ilmeet, suun, pään ja vartalon liikkeet. (Kotus, 2023) Viittomakielet eivät seuraa puhuttujen kielten kielioppia tai sanajärjestystä, vaan ne ovat alueidensa puhutuista kielistä erillisiä, itsenäisiä luonnollisia kieliä (Liang et al., 2023).

Konenäön avulla tapahtuva tunnistaminen mahdollistaa viittomien kaappauksen kokonaisuudessaan minimaalisella haitalla viittojalle, eli mahdollisimman vähäisellä invasiivisuudella. Viimeaikainen kehitys etenkin syväoppimisen ja konvoluutioneuroverkkojen osalla on parantanut konenäön mahdollisuuksia viittomakielen tunnistuksessa. (Bragg et al., 2019)

Puettavat sensorit kuten sormikkaat ovat konenäön kehityksen jälkeen menettäneet suosiotaan viittomien manuaalisten osien kaappaamisessa viittojalta muun muassa siitä syystä, että ne eivät tunnista viittomien ei-manuaalisia osia. Lisäksi ne aiheuttavat viittojalle ylimääräistä haittaa. (Bragg et al., 2019)

Haasteita viittomakielen tunnistamiselle aiheuttavat esimerkiksi viittojakohtaiset variaatiot ja erilaiset teknologian rajoitteet. Tekniikan haasteisiin lukeutuvat muun muassa viittojan tunnistaminen taustasta, jota vasten hän on, ja viittoman eri osien peittyminen tai poistuminen näkyvistä (Wolfe, 2021). Myös viittomien kolmiulotteisuus aiheuttaa haasteita tunnistuksessa. Viittojakohtaisia eroja viittomiin luovat esimerkiksi viittojan ikä, sukupuoli, viittomakielen taso, käytetyt murteet ja kuulon status. (Bragg et al., 2019) Lisäksi viittojien fyysiset erot kuten kehon mittasuhteet (Wolfe, 2021) ja viittojan käisyys tekevät eroja viittomiin (Crasborn, 2012, s.14). Erilaisten viittomien, viittojien ja tilanteiden onnistunut tunnistaminen vaatii vastaavaa monipuolisuutta tunnistustehtävää suorittavan järjestelmän koulutukseen käytetyltä datalta (Bragg et al., 2019).

Edellä mainitun lisäksi merkittävänä viittomakielen tunnistamiseen liittyvänä haasteena nähdään jatkuvan viittomisen tunnistaminen. Verrattuna yksittäisiin viittomiin, kokonaisten lauseiden ja muiden useammista viittomista koostuvien kokonaisuuksien tunnistamista hankaloittavat esimerkiksi peräkkäisten viittomien mukautuminen toisiinsa ja ominaisuuksien lisääminen viittomiin tai niiden välille. (Bragg et al., 2019) Jatkuva viittominen aiheuttaa haasteita myös viittomakielen tuottamisessa, jota käsitellään alaluvussa 3.3.

3.2 Viittomakielen käsittely ja kääntäminen

Automatisoidut konekäännökset hyödyntävät tyypillisesti kummankin käännökseen osallistuvan kielen kirjoitettua muotoa (Wolfe, 2021). Viittomakielen käsitteleminen kääntämistä varten on täten haasteellista, koska viittomakielillä ei ole standardoitua kirjoitusasua. Myöskään viittomakielen annotointiin, eli materiaalin kuvailuun, luokitteluun ja jäsentelyyn, ei ole olemassa standardoitua tekniikkaa (Bragg et al., 2019).

Viittomakielisen materiaalin annotointia varten on kehitetty muutamia erilaisia menetelmiä, joita hyödynnetään viittomakielen konekääntämisessä. Niihin lukeutuvat esimerkiksi HamNoSys (Hanke, 2004) ja glossit, joita käytetään viittomakielen tunnistuksessa ja käsittelyssä esittämään viittomia kirjallisessa muodossa (Liang et al., 2023; Bragg et al., 2019). Järjestelmät voivat käyttää kielten kirjalliseen esittämiseen myös koneoppimisen avulla itse kehittämänsä tapaa (Bragg et al., 2019) Glossit ovat viittomien nimikointeja puhutulle kielelle, ja niitä hyödynnetään erityisesti

viittomakielisissä korpuksissa ihmisten tuottamana translitterointina. Tutkimuksessa käytetään yhdenmukaistettua id-glossausta, jossa viittomat saavat uniikin glossin puhutun kielen suuraakkosin ja mahdollisia tarkenteita. (Lappalainen & Mäntylä, 2016) Viittomakielen konemallinnusta varten kehitettyihin annotointimenetelmiin kuuluva HamNoSys kerää yksityiskohtaista tietoa kehon liikkeistä, ja sitä voidaan muuntaa merkintäkielelle esimerkiksi SiGML-kielen avulla (Bragg et al., 2019).

Viittomakielen annotointiin liittyy monenlaisia haasteita. Haasteellisuutta viittomakielen kirjalliseen esittämiseen jo perustasolla tuo viittomakielen ilmaisullinen rikkaus ja rakenteellisten osien mahdollinen yhtäaikaisuus, jota ei esiinny puhutuissa kielissä (Wolfe, 2021). Yhtäaikaisuus voi ilmetä viittoessa esimerkiksi substantiivin ja sen kuvauksen toteuttamisena yhtä aikaa. Useat konekäännöksen ja luonnollisten kielten käsittelyn olemassa olevat järjestelmät olettavat sanojen esiintyvän yksi kerrallaan, minkä vuoksi niitä ei voida suoraan käyttää viittomakielten tapauksessa. (Bragg et al., 2019)

Standardoitujen annotointijärjestelmien puute estää tutkijoita yhdistämästä eri projekteja varten tehtyä työtä. Annotointi vaatii sitä tekevältä riittävää kulttuurin ja lingvistiikan ymmärrystä, jolloin henkilöiden kouluttaminen sitä varten tekee viittomakielen annotoinnista aikavievää ja kallista. Syväoppimisen kehittyminen on mahdollistanut koneavusteisten viittomakielten annotointiohjelmistojen kehitystä helpottamaan työtä. (Bragg et al., 2019)

Annotoinnin tärkeys konekääntämisessä liittyy järjestelmien opettamista varten kerättävien tietoaineistojen kokoamiseen. Järjestelmän oppiminen tasolle, jossa se kykenee yleistämään ennalta tuntemattomiin tilanteisiin ja viittojiin, vaatii suuria, monipuolisia tietoaineistoja eli korpuksia. Nykyaikana esimerkiksi puhuttujen kielten annotoitujen korpusten tyypillinen koko voi olla jopa miljardi sanaa, kun taas viitottujen kielten korpusten koot jäävät vain tuhansiin. (Bragg et al., 2019; Wolfe, 2019)

Viittomakielen konekääntämisessä hyödynnetään pääasiassa sääntö- ja datapohjaisia malleja sekä niiden hybrideitä (Attar et al., 2023). Sääntöpohjaiset konekääntimet rakentavat käännöksen hyödyntämällä tietoa kielen ominaisuuksista sekä kieli- ja lauseopista. Tilastopohjainen kääntäminen ja esimerkkipohjainen kääntäminen oppivat hyödyntämällä käännökseen osallistuvista kielistä koottuja kaksikielisiä korpuksia. (Sharma et al., 2023).

Viittomakielen kohdalla sekä data- että sääntöpohjaiset mallit kohtaavat haasteita. Datapohjaiset mallit kärsivät erityisesti korpusten pienestä koosta, ja monista viittomakielistä puuttuu sääntöpohjaisten järjestelmien vaatima kieliopin standardointi

(Attar et al., 2023). Tietoaineistojen kokoon liittyviä ongelmia on koettu ratkaista erilaisin koneoppimisen menetelmin (Liang et al., 2023).

3.3 Viittomakielen tuottaminen

Viittomakielen näköön ja eleisiin pohjautuvan modaliteetin takia, sekä erillisen kirjoitusasun puuttumisen vuoksi, viittomakielisen konekäännöksen tuottaminen vaatii animoidun ihmishahmon eli avattaren (Wolfe et al., 2022). Avattarien lisäksi myös videopätkiä, kuvia ja GIF-tiedostoja on käytetty käännöksen tuottamiseen (Attar et al., 2023), mutta niiden riittävydestä käännöksen roolissa on noussut kritiikkiä (Bragg, 2019; Wolfe, 2021). Attarin ja muiden (2023) tutkimuksen mukaan avatar-pohjaisten ratkaisuiden osuus aiheen tutkimusprojekteissa välillä 1998–2020 oli 58 prosenttia.

Yhtenä syynä sille, miksi viittomakielinen konekäännös on jäänyt kehitykseltään merkittävästi puhuttujen kielten konekäännöksestä jälkeen, on viittomakielen koneellisen tuottamisen haastavuus (Imashev et al., 2022). Sujuva ja ymmärrettävä automatisoitu viittova avatar vaatii kehittyntä tietokonegrafiikkaa ja isoa määrää dataa.

Avattarien opetukseen käytettävät korpuksat voidaan koota esimerkiksi videokuvan tai liikkeenkaappauksen avulla. Aineiston kerääminen voidaan toteuttaa sekä internetissä saatavilla olevaa materiaalia hyödyntämällä että palkkaamalla osallistujia viittomaan juuri halutunlaista sisältöä. Olemassa olevissa korpuksissa niiden pienen koon lisäksi haasteena on ollut puute riittävän monimuotoisesta sisällöstä. Tosielämän käyttötilanteisiin hyödyllisten korpusten tulisi sisältää yksittäisten viittomien lisäksi myös luonnollisia keskusteluita ja materiaalia erilaisilta viittojilta, erityisesti syntyperäisiltä viittojilta. Tämänhetkisen korpuksat tukeutuvat liikaa tulkkituottoiseen materiaaliin ja internetistä kerätyissä materiaaleissa viittomisen taso voi olla tuntematon. (Bragg et al., 2019)

Useat viittomakielen sovellukset toimivat vain yksisuuntaiseen käännöstyöhön, pääasiassa viittomakielestä puhuttuun kieleen (Attar et al., 2023; Bragg et al., 2019; WFD, 2018). Tätä selittää viittomakielen synteessin selkeästi sen tunnistusta hitaampi kehitys (Liang et al., 2023) ja alan tutkimuksen keskittyminen viittomakielen tunnistukseen (Attar et al., 2023). Eron vaikuttaa myös epätietoisuus viittomakielisten kohtaamasta kielimuurista (Bragg et al., 2019). Nolten ja muiden (2023) kuuroille tehdyssä tutkimuksessa 90 prosenttia osallistuneista ilmaisi tarvitsevansa käännöksiä alueen puhutulta kieleltä viittomakielelle vähintään pidempien tekstipätkien tai monimutkaisten aihealueiden kohdalla.

Viittomakielen tuottamisen tärkeimpiä jatkossa ratkaistavia haasteita ovat viittomien ei-manuaalisten osien esittäminen (Attar et al., 2023), sekä avattarien visuaalisen ilmeen ja sujuvuuden säätäminen tasolle, jossa niiden olemus koetaan luonnolliseksi (Bragg et al., 2019). Animaatioiden laatu erityisesti kasvonilmeiden ja liikkeen sujuvuuden osalta on noussut esiin myös esimerkiksi Kacorrin ja muiden (2017) sekä Kippin ja muiden (2011) kyselytutkimuksissa tekijänä, jolla on ratkaiseva merkitys järjestelmän käytettävyydelle ja käyttäjäkokemukselle. Jatkuvan viittomisen kohdalla tuotetun materiaalin sujuvuuteen vaikuttaa myös viittomien välillä siirtyminen, eli käsien asentojen vaihtuminen edellisen viittoman lopusta seuraavan viittoman alkuun (Bragg et al., 2019).

4. JÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU JA ARVIOINTI

Tässä luvussa tarkastelen viittomakielen konekääntämistä hyödyntävien järjestelmien suunnitteluun ja arviointiin liittyviä haasteita. Järjestelmien laatua voidaan mitata sekä teknisen suorituksen että käyttäjäkokemuksen näkökulmasta, mutta kehityksessä on otettava huomioon myös hienovaraisempia seikkoja käyttäjäyhteisöön liittyen käytettävien, hyödyllisten ja käyttäjien omaksumien järjestelmien tuottamiseksi.

4.1 Kuuroyhteisö osana suunnitteluprosessia

Viittomakieleen liittyviä järjestelmiä suunnitellessa on otettava huomioon kuuroyhteisön omistusoikeus omaan kieleen. On ymmärrettävä kulttuuria, jossa kieltä ja kehitettäviä järjestelmiä käytetään, sekä yhteisöä, jota varten sovelluksia kehitetään. Aiheen kehitysprojekteissa on usein mukana vain vähän tai ei ollenkaan kuuroyhteisöön kuuluvia henkilöitä, minkä mahdollisena seurauksena voidaan tunnistaa ongelmia esimerkiksi projektien taustaideoissa, käytetyssä datassa ja sovellusten käyttötarkoituksessa (de Meulder, 2021). Useat aihetta käsittelevät julkaisut nostavatkin esiin kuuroyhteisön osallisuuden tärkeyden osana suunnittelua monista erilaisista syistä (Wolfe et al., 2022; Bragg et al., 2019; Kipp et al., 2011).

Viittomakielen koneellinen käsittely on herkkä aihe, sillä kuuroyhteisöön on historian aikana kohdistettu sortoa, joka on osalta kohdistunut kuurojen henkilöiden oikeuteen käyttää ja oppia viittomakieltä. Tämän seurauksena viittomakielisten keskuudessa esiintyy luottamuksen puutetta viittomakielistä teknologiaa kohtaan. (Bragg et al., 2019)

Viittomakielisiä järjestelmiä suunnitellessa on myös huomioitava teknologian vaikutus kulttuuriin ja kielen kehitykseen ja ymmärrettävä sen synnyttämä vastuu. Braggin ja muiden (2019) mukaan puhujien mukautuminen teknologian rajoitteisiin voi aiheuttaa esimerkiksi sanaston yksinkertaistumista, viittomien liikeradan supistumista ja sellaisten viittomakielen ominaisuuksien poisjättämistä, joita teknologia tai käytetyt annotointimenetelmät eivät pysty käsitellä. Sellaiset viittomakielen ominaisuudet, joiden esiintyvyys puhutuissa kielissä on pientä, voivat jäädä järjestelmien ulkopuolelle teknologian rajoitteiden lisäksi myös siitä syystä, että järjestelmiä kehittävässä työryhmissä ei ole mukana sellaisia henkilöitä, joilta löytyy riittävää ymmärrystä kuurojen kulttuurista ja viittomakielen lingvistiikasta. Järjestelmiä kehittäessä on myös tehtävä päätöksiä edustettujen kielten ja murteiden suhteen, mikä voi asettaa joitain ryhmiä

aikaisempaa huonompaan asemaan. Myös Preece ja muut (2002) mainitsevat yleisemmällä tasolla, että erityisesti uuden lähes päivittäiseen käyttöön tarkoitetun tuotteen esittely ihmisten elämään vaatii kulttuurista muutosta.

Tutkimus- ja kehitystyötä, jolla on suurta merkitystä kuuroyhteisöön ja viittomakieleen, pitäisikin tehdä kuurojohteisesti ja osallistaa yhteisöä ja käyttäjiä projektien jokaisessa vaiheessa (WFD, 2019; WFD, 2018). Täysin kuulevat työryhmät jäävät vaille kuurojen elettyä kokemusta, eivätkä he tunne sovellusten todellisia käyttötapauksia, -kontekstia tai viittomakielen toimintaa (Bragg et al., 2019). Kuuroyhteisön osallisuus kehityksen eri osa-alueilla edistää myös yhteisön hyväksyntää kehitettävää teknologiaa kohtaan, kun tietämys teknologiaa kohtaan lisääntyy ja mahdolliset positiiviset kokemukset projekteihin osallistumisesta kulkevat yhteisön sisällä (Kipp et al., 2011).

4.2 Käännöksen, käytettävyyden ja käyttäjäkokemuksen arviointi

Viittomakielen konekääntämistä hyödyntävän järjestelmän arvioinnissa on otettava huomioon esimerkiksi käännöksen laatu sekä tuotteen käytettävyys ja käyttäjäkokemus. Pelkän käännöksen laadun tarkastelu ei tee järjestelmästä käytettävää. Braggin ja muiden (2019) mukaan alue vaatii perustavanlaatuisia tutkimusta käyttäjien vuorovaikutuksesta viittomakielisen teknologian kanssa myös yleistasolla yksittäisten sovellusten lisäksi.

Järjestelmän tuottaman käännöksen laatua voidaan yleisesti mitata erilaisilla luonnollisen kielen käsittelyn metriikoilla. Tähän tarkoitukseen on kehitetty useita eri menetelmiä ja usein ne vertailevat eri tavoin koneen tuottamaa käännöstä tai tunnistustyötä joko ammattilaisen tuottamaa käännöstä tai muuta viitemateriaalia vastaan. Yleisiä käännöksen laadun arvioinnin metrikoita ovat esimerkiksi WER (word error rate), SER (sign error rate), BLEU (bilingual evaluation understudy) ja METEOR. (Liang et al., 2023)

Attarin ja muiden (2023) mukaan käännöksen tarkkuuden raportoiminen viittomakielisen konekäännöksen projekteissa on vielä vähäistä. Raportoinnin perusteella olisi mahdollista tehdä päätelmiä siitä, kuinka laadukasta käännöksen on oltava käyttöönoton kynnyksenä käyttäjille erilaisissa käyttötapauksissa (Bragg et al., 2019).

Prietchin ja muiden (2022) analysoimien viittomakielisten järjestelmien käyttäjäkokemusta ja käytettävyyttä raportoivien tutkimusten (N=37) yleisimmät tavoitteet välillä 2015–2020 olivat viittomakielisen animaation laadun arviointi, käytettävyys, teknologian hyväksyminen ja käyttäjäkokemus. Sen sijaan vain parissa

tutkimuksessa käyttäjätutkimuksella pyrittiin tunnistamaan käyttäjätarpeita, selvittämään konekääntäjän vaikutusta kommunikoinnin laatuun tai tunnistamaan teknologian onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä, kuten sen koettua hyödyllisyyttä. Selkeästi suosituin (33/37) kehityskaaren ajankohta käyttäjien osallistamiselle olikin jonkinlaisen lopputuotteen, kuten prototyypin, evaluointi. Sen sijaan käyttäjien osallisuus projektien alkuvaiheessa, kuten käyttäjätarpeiden ja vaatimusten kartoittamiseen näkyi vain kolmessa tutkimuksessa. Tätä tulosta tukee muusta aineistosta, esimerkiksi de Meulderin (2021) artikkelista välittynyt ristiriita kehitettyjen järjestelmien ja käyttäjien haluamien ja tarvitsemien tuotteiden välillä. Toisin sanoen puutteellinen käyttäjätarpeiden selvittäminen on johtanut siihen, että joillain kehitettävillä järjestelmillä ei ole realistista käyttötarvetta.

Nolten ja muiden (2023) mukaan käyttäjätutkimus viittomakielisen konekääntämisen saralla keskittyy liialti yksittäisten avatar-pohjaisten kääntäjien yleiseen viittomasuoritukseen, eikä siihen ympäristöön missä ne toimivat. Tämän vuoksi itse käyttöliittymän mukautuvuus erilaisiin käyttötilanteisiin jää usein tutkimusten ulkopuolelle. De Meulder (2021) huomauttaa myös käyttötilanteen vaikutuksesta arvioitavaan järjestelmään. Järjestelmien arviointi rauhallisessa tilanteessa ei vastaa tilannetta, johon liittyy esimerkiksi ympäristöllisiä, ajallisia tai emotionaalisia paineita.

Viittoviin avattariin liittyvää käyttäjäkokemusta on tutkittu enemmän viime aikoina, koska ne ovat tämän hetken suosituin viittomakielen koneellisen tuottamisen keino (Attar et al., 2023). Quandtin ja muiden (2022) mukaan avattariin liittyvään käyttäjäkokemukseen vaikuttavat sekä niiden luomiseen käytetyt tekniikat että käyttäjien ikä, kuulon status ja viittomakielen oppimisikä.

Käyttäjätutkimuksen avulla voidaan myös paremmin ymmärtää millaiset tekijät vaikuttavat järjestelmien hyväksyntään käyttäjien keskuudessa. Tutkimuksen mukaan avatar-pohjaiset ratkaisut kohtaavat eniten hyväksyntää sellaisissa käyttötilanteissa, joissa ei jaeta henkilökohtaista informaatiota ja joihin ei liity kasvotusten tapahtuvaa keskustelua. Henkilöt, jotka ovat oppineet viittomakielen aikaisessa vaiheessa ja käyttävät sitä pääasiallisena kielenä, suhtautuvat muita ryhmiä todennäköisemmin negatiivisesti avattariin, erityisesti tilanteissa, joissa ne korvaisivat viittomakielen tulkin. (Imashev et al., 2022; Quandt et al., 2022)

5. TULOSTEN KOONTI JA YHTEENVETO

Tämän tutkielman tavoitteena oli perehtyä viittomakielen konekääntämiseen ja tunnistaa millaisia haasteita sen kehityksessä on havaittu. Käytetystä aineistosta tunnistettiin ajankohtaisia haasteita järjestelmille toteutetuista käyttäjätutkimuksista ja viittomakielen koneellisen käsittelyn eri osa-alueilla: tunnistamisessa, kääntämisessä ja tuottamisessa. Tässä luvussa tuodaan yhteen tutkielman keskeiset tulokset ja pohditaan tunnistettujen haasteiden muodostamaa kokonaisuutta. Sen jälkeen käsitellään tunnistettuja lisätutkimustarpeita viittomakielen konekäännösjärjestelmien kehityksen saralla.

5.1 Tutkielman keskeiset tulokset

Viittomakieltä käsittelevien järjestelmien kehityksen haasteet näkyvät kaikissa kehityskaaren vaiheissa. Lukemieni aineistojen perusteella näkisin kehityksen merkittävimpanä haasteena viittomakielen tuottamisen vaativuuden rinnalla käyttäjäkunnan ymmärtämisen puutteen. Useat lähdeaineistona käytetyt tutkimukset ja julkaisut nostivat esiin huolta kuurojen käyttäjien ja tutkijoiden vähäisestä osuudesta kehitysprojekteissa. Tämä puute vaikuttaa jo kehityksen lähtökohtiin: esimerkiksi siihen ketä varten tuotetta kehitetään ja kehitetäänkö sitä realistista käyttötarkoitusta varten.

Kuuroyhteisön sekä kuurojen käyttäjien ja tutkijoiden vähäinen osuus aiheen tutkimus- ja kehitysprojekteissa on tekijä, jonka vaikutus kantautuu moniin muihin haasteisiin. Se on osaltaan tuotteiden laatuun vaikuttava asia, mutta sillä on vaikutusta myös projektien vastaanottoon luottamuksen näkökulmasta. Yleiseen käyttöön päätyvällä teknologialla voi olla vaikutusta kielen ja kulttuurin tulevaisuuteen, joten sen kehittämisessä on otettava huomioon sen vastuullisuus ja eettisyys.

Tutkielman keskeiset tulokset on koottu taulukkoon 2. Taulukkoon on nimetty tunnistettujen haasteiden ohien esimerkkejä sellaisista osaamisaloista tai ihmisryhmistä, joiden erityisosaamista kyseisten haasteiden ratkaisemiseen tarvitaan. Taulukko on järjestetty aakkosiin haasteiden mukaan. Haasteiden tarkempi ryhmittely kategorioihin oli vaikeaa, sillä monilla haasteilla on vaikutusta useisiin tutkielmassa käsiteltyihin osa-alueisiin, kuten teknologian kehittämiseen, järjestelmien suunnitteluun ja käyttäjäkokemukseen.

Taulukko 2. Tutkimuksessa esiin nousseita haasteita.

| Haaste | Lähde | Esimerkki osaamisalasta |
|--|---|--|
| Ei-manuaalisten piirteiden esittäminen (erityisesti kasvopiirteet) | Attar et al., 2023; Kacorri et al., 2017; Kipp et al., 2011 | Tietokonegrafiikka, luonnollisen kielen käsittely ja konekääntäminen |
| Jatkuvan viittomisen tunnistaminen | Bragg et al., 2019 | Konenäkö |
| Korpusten koko ja sisältö | Attar et al., 2023; Liang et al., 2023; Bragg et al., 2019 | Deaf studies, kielitieteet, luonnollisen kielen käsittely ja konekääntäminen |
| Kuuroyhteisön osallisuuden vähyyks projektissa | Prietch et al., 2022; de Meulder, 2021; Bragg et al., 2019; WFD, 2018 & 2019 | Kuurot tutkijat ja käyttäjät |
| Käyttäjätarpeiden kartoittaminen | Prietch et al., 2022 | Ihmisen ja teknologian vuorovaikutus |
| Käännöksen yksisuuntaisuus | Attar et al., 2023; Bragg et al., 2019 | Tietokonegrafiikka |
| Luottamuksen puute | Bragg et al., 2019 | Ihmisen ja teknologian vuorovaikutus, kuurot tutkijat ja käyttäjät, deaf studies |
| Resurssien vähyyks | de Meulder, 2021; Wolfe, 2021 | - |
| Tutkimuksen rajoittuminen tiettyihin kieliin | Attar et al., 2023 | Luonnollisen kielen käsittely ja konekääntäminen |
| Variaatiot viittojissa ja viittomissa | Wolfe, 2021; Bragg et al., 2019 | Kielitieteet, luonnollisen kielen käsittely ja konekääntäminen |
| Viittomakielen koneellisen tuottamisen vaativuus | Imashev et al., 2022 | Tietokonegrafiikka, luonnollisen kielen käsittely ja konekääntäminen |

Kun haasteita tarkastellaan kokonaisuutena, voidaan huomata, että niiden ratkaiseminen vaatii osaamista monilta erilaisilta osaamisaloilta. Taulukon 2 avulla voidaan nähdä, että esimerkiksi viittomakielen mallintamisen haasteissa on ymmärrettävä kieleen liittyviä tekijöitä sekä kielitieteellisestä että luonnollisen kielen käsittelyn näkökulmasta, tuottamisessa vaaditaan edistyneen tietokonegrafiikan osaamista, tunnistamisessa konenäön osaamista ja käyttäjätarpeiden huomioidussa erityisesti ihmisten ja teknologian vuorovaikutuksen ja kuurojentutkimuksen alojen tietämystä. Kehitys on tähän asti tapahtunut eristäytyneesti näiden alojen sisällä, minkä seurauksena projektien tuotoksilla on vain rajallista hyötyä tosielämän käyttötilanteissa (Bragg et al., 2019). Näin ollen viittomakielen koneellista käsittelyä hyödyntävien järjestelmien kehitys tarvitsee monitieteellisiä työryhmiä, joissa myös kuuroyhteisöllä on merkittävä rooli sekä tutkijoina että osallistujina käyttäjätutkimukseen.

Tietyissä tilanteissa teknologian kehitys ja kuuroyhteisön näkökanta ajautuvat jopa vastakkain. Esimerkkinä tästä voidaan käyttää sovellusten kehittämistä vaarallisiksi koetuille toimialoille, kuten sairaanhoitoon, missä informaatio on kriittistä, tai edistämällä kieleen liittyviä standardointitoimia vasten kuuroyhteisön toiveita (de Meulder, 2021; Bragg et al., 2019; WFD, 2018). Tämä ristiriita ilmenee myös tutkielmassa käytettyjen aineistojen välillä: esimerkiksi Attarin ja muiden tutkimus (2023) kannustaa viittomakielten kieliopillisten sääntöjen standardointia, mutta Kuurojen Maailmanliitto ei lausunnossaan (WFD, 2018) tue viittomakieliin liittyviä standardointitoimia.

Järjestelmien kehitykseen saatavilla olevat resurssit ovat vähäisiä ja järjestelmien kehitykseen liittyvä tutkimus keskittyy enimmäkseen isompiin kieliin, kuten amerikkalaiseen, intialaiseen ja brittiläisen viittomakieleen (Attar et al., 2023). Usean viitotun kielen käyttäjämäärät ovat pieniä ja ne ovat huonommassa asemassa teknologian kehityksessä. Esimerkiksi suomenruotsalaista viittomakieltä käyttää vain noin sata kuuroa henkilöä (Kotus, 2023), eikä se ole tähän mennessä ollut mukana viittomakielen konekäännösjärjestelmien kehityksessä ollenkaan. Rajattujen resurssien hyödyntämiseksi onkin tärkeä keskittyä sellaisiin käyttötapauksiin, joiden käyttäjilleen tuoma hyöty on todellinen ja menestymisen mahdollisuus on todennäköistä.

5.2 Tunnistettuja lisätutkimustarpeita

Tulevaisuudessa työn edistämiseksi ja tarvittavien resurssien määrän minimoimiseksi olisi hyvä koota erilaisia standardeja järjestelmien suunnittelun, kehityksen ja arvioinnin tueksi. Niiden avulla tehtyä työtä olisi mahdollista yhtenäistää ja kehitettävien tuotteiden laatu voitaisiin varmistaa.

Tutkimuksen pohjalta voidaan kehittää standardeja esimerkiksi viittomakielisten käyttöliittymien ja viittovia avattaria hyödyntävien järjestelmien suunnitteluun. Joitain standardeja ja ohjeistuksia onkin jo kehitetty viime vuosien aikana. Esimerkiksi Wienin yliopiston hankkeena toteutettu *Best practice protocol on the use of sign language avatars* (Krausneker & Schügerl, 2021) pyrkii ohjeistamaan viittovien avattarien kehitystä siten, että niistä olisi etua kuuroille viittomakielisille. Sen sijaan Huenerfauthin ja Kacorrin (2015) *Best practices for conducting evaluations of sign language animation* antaa ohjeita viittovia avattaria hyödyntävien järjestelmien arvioinnin suorittamiseen.

Järjestelmien kouluttamista varten kerättyjen korpusten annotointityö helpottuisi huomattavasti, jos standardoimalla annotointikäytäntöjä yksittäisiäkin projekteja varten tehty työ olisi yhdistettävissä ja käytettävissä myös myöhemmissä projekteissa. Tätä edistäisi myös vapaasti käytettävien korpusten ja viitotuista videoista koostuvien

videopankkien kerääminen (Bragg et al., 2019). Korpuksilla ja niiden laadulla on konekääntämisessä merkittävä rooli ja nykyiset korpuksset ovatkin hidaste teknologian kehitykselle erityisesti käännöksen tarkkuuden ja sovellettavuuden kohdalla. Korpusten kokoamiseen liittyy kuitenkin myös eettinen vastuu, koska ne vaikuttavat siihen millaisia viittoja ja viittomia järjestelmät ymmärtävät. Suuremmilla ja monimuotoisilla korpuksilla voitaisiin edustaa yhteisöä tavalla, johon nykyiset, tulkkivoittoiset ja vain tiettyjä demografioita edustavat korpuksset eivät kykene.

5.3 Lopuksi

Kaiken kaikkiaan koen, että saavutin tälle tutkielmalle asettamani tavoitteet ja sain monipuolisen käsityksen viittomakielen konekäännösjärjestelmien kehityksen haasteista, niiden syistä ja mahdollisista ratkaisukeinoista. Tutkielmassa tunnistettujen haasteiden pohjalta koen tämän tutkielman tärkeimmiksi johtopäätöksiksi sen, että viittomakielen konekäännösjärjestelmien kehityksessä olisi jatkossa pyrittävä esimerkiksi käyttäjätutkimusta ja aiempaa tutkimusta hyödyntämällä tunnistamaan paremmin järjestelmien käyttäjät ja heidän tarpeensa sekä arvioimaan sovellusten todellista hyötyä ja vaikutusta. Kehityksessä on huomioitava viitottujen kielten ja niiden käyttäjien moninaisuus keräämällä järjestelmiä varten dataa eri viittomakielillä, niiden murteilla ja erilaisilta käyttäjiltä. Viittomakieleen liittyvällä teknologialla voi olla vaikutusta viittomakieleen ja niitä ympäröivään kulttuuriin, joten teknologiaa on kehitettävä vastuullisesti ja yhdessä kuurojen tutkijoiden ja käyttäjien kanssa.

LÄHTEET

- Attar, R., Goyal, V., & Goyal, L. (2023). State of the art of automation in sign language: A systematic review. *ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing*, 22, 4, Article 94, 1–80. <https://doi.org/10.1145/3564769>
- Bragg, D., Koller, O., Bellard, M., Berke, L., Boudreault, P., Braffort, A., Caselli, N., Huenerfauth, M., Kacorri, H., Verhoef, T., Vogler, C., & Morris, M. R. (2019). Sign language recognition, generation, and translation: An interdisciplinary perspective. *ASSETS 2019 - 21st International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, 16–31. <https://doi.org/10.1145/3308561.3353774>
- Bragg, D., Morris, M., Vogler, C., Kushalnagar, R., Huenerfauth, M., & Kacorri, H. (2020). Sign language interfaces: Discussing the field's biggest challenges. *In Extended Abstracts of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '20)*. <https://doi.org/10.1145/3334480.3381053>
- Crasborn, O. (2012). Phonetics. Teoksessa R. Pfau, M. Steinbach & B. Woll (toim.) *Sign Language: An International Handbook*. De Gruyter, Germany. s. 4–20. <https://doi.org/10.1515/9783110261325>
- De Meulder, M. (2021). Is “good enough” good enough? Ethical and responsible development of sign language technologies. *1st International Workshop on Automatic Translation for Signed and Spoken Languages. In Proceedings of the 18th Biennial Machine Translation Summit*. <https://aclanthology.org/2021.mtsummit-at4ssl.2.pdf>
- European centre for modern languages. (2023). Tietoa viittomakielestä. (Haettu 9.6.2023). <https://edl.ecml.at/Facts/FAQsonsignlanguage/tabid/2741/language/fi-FI/Default.aspx>
- Hanke, T. (2004). HamNoSys—Representing sign language data in language resources and language processing contexts. *In Workshop Proceedings: Representation and Processing of Sign Languages (LREC'04)*, 1–6. https://www.sign-lang.uni-hamburg.de/dgs-korpus/files/inhalt_pdf/HankeLRECSLP2004_05.pdf
- Huenerfauth, M., & Kacorri, H. (2015). Best practices for conducting evaluations of sign language animation. *Journal on Technology & Persons with Disabilities*, 3, 20–32. <https://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2799&context=article>
- Imashev, A., Oralbayeva, N., Kimmelman, V., & Sandygulova, A. (2022). A user-centered evaluation of the data-driven sign language avatar system: A pilot study. *In Proceedings of the 10th International Conference on Human-Agent Interaction (HAI '22)*. 194–202. <https://doi.org/10.1145/3527188.3561923>
- Kacorri, H., Huenerfauth, M., Ebling, S., Patel, K., Menzies, K., & Willard, M. (2017). Regression analysis of demographic and technology-experience factors influencing acceptance of sign language animation. *ACM Transactions on Accessible Computing* 10, 1, Article 3, 1–33. <https://doi.org/10.1145/3046787>

- Kipp, M., Nguyen, Q., Heloir, A., & Matthes, S. (2011). Assessing the deaf user perspective on sign language avatars. *In The Proceedings of the 13th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility (ASSETS '11)*. 107–114. <https://doi.org/10.1145/2049536.2049557>
- Kotus. (2023). Suomen viittomakielet. *Kotimaisten kielten keskus*. (Haettu 9.6.2023). https://www.kotus.fi/kielitieto/kielet/suomen_viittomakielet
- Krausneker, V., & Schügerl, S. (2021). Best Practice protocol on the use of sign language avatars. *University of Vienna*. <https://avatar-bestpractice.univie.ac.at/wp-content/uploads/2021/11/Best-Practice-Protocol-on-the-Use-of-Sign-Language-Avatars-2021.pdf>
- Lappalainen, N., & Mäntylä, P. (2016). Kurkistus korpuksiin ja kiertoilmauksiin. Tutustumispaketti korpusten hyödyntämiseen viittomakieli äidinkielenä -opetuksessa. *Kuurojen Liitto ry*. https://viittomakielinenkirjasto.fi/wp-content/uploads/sites/2/2019/11/Kurkistus_korpuksiin_ja_kiertoilmauksiin_v100223.pdf
- Liang, Z., Li, H., & Chai, J. (2023). Sign language translation: A survey of approaches and techniques. *Electronics*, 12(12), 2678. <http://doi.org/10.3390/electronics12122678>
- Nolte, A., Gleiß, B., Heckmann, J., Wallach, D., & Jochems, N. (2023). "I want to be able to change the speed and size of the avatar": assessing user requirements for animated sign language translation interfaces. *In Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23)*. Article 167, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3544549.3585675>
- Preece, J., Rogers, Y., & Sharp, H. (2002). Interaction design: Beyond human-computer interaction. *John Wiley & Sons, New York*.
- Prietch, S., Sánchez, J. A., & Guerrero, J. (2022). A Systematic review of user studies as a basis for the design of systems for automatic sign language processing. *ACM Transactions on Accessible Computing*, 15(4), 1–33. <https://doi.org/10.1145/3563395>
- Quandt, L., Willis, A., Schwenk, M., Weeks, K., & Ferster, R. (2022). Attitudes toward signing avatars vary depending on hearing status, age of signed language acquisition, and avatar type. *Frontiers in Psychology 2022 Volume 13*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.730917>
- Sharma, S., Diwakar, M., Singh, P., Singh, V., Kadry, S., & Kim, J. (2023). Machine translation systems based on classical-statistical-deep-learning approaches. *Electronics* 12(7), 1716. <https://doi.org/10.3390/electronics12071716>
- Wolfe, R. (2021). Special issue: Sign language translation and avatar technology. *Machine Translation* 35, 301–304. <https://doi.org/10.1007/s10590-021-09270-4>
- Wolfe, R., McDonald, J. C., Hanke, T., Ebling, S., Van Landuyt, D., Picron, F., Krausneker, V., Efthimiou, E., Fotinea, E., & Braffort, A. (2022). Sign language avatars: A question of representation. *Information*, 13(4), 206. <http://doi.org/10.3390/info13040206>

- WFD. (2018). WFD and WASLI statement on use of signing avatars. (Haettu 9.6.2023). <http://wfdeaf.org/news/resources/wfd-wasli-statement-use-signing-avatars/>
- WFD. (2019). WFD position paper on accessibility: Sign Language Interpreting and translation and technological development. (Haettu 9.6.2023). <https://wfdeaf.org/wp-content/uploads/2019/07/WFD-Position-Paper-on-Accessibility-12-Feb-2019-Updated.pdf>