

Jani Sarja

**DATAVISUALISOINTIEN  
SAAVUTETTAVUUS  
RUUDUNLUKUOHJELMIEN  
KÄYTTÄJILLE**

Kandidaatintyö  
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta  
Kesäkuu 2024

# TIIVISTELMÄ

Jani Sarja : Datavisualisointien saavutettavuus ruudunlukuohjelmien käyttäjille  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tieto- ja sähkötekniikan kandidaatintutkinto  
Kesäkuu 2024

---

Verkkosivuilla esitetään monenlaista mediaa, mukaan lukien erilaisia datavisualisointeja. Näkörajoitteinen ruudunlukuohjelman käyttäjä ei hyödy visualisoinnin tuomista eduista informaation viestimisessä ja analysoinnissa, minkä vuoksi tarvitaan vaihtoehtoisia tapoja esittää dataa ei-visuaalisesti. Yleinen tapa lisätä datavisualisointeihin vaihtoehtoiset tekstivastineet ei tue käyttäjän kykyä hahmottaa visualisoinnin sisältöä ja hakea etsimäänsä tietoa riittävän hyvin. Tämän vuoksi näkörajoitteinen käyttäjä on eriarvoisessa asemassa näkevään verrattuna. Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, mitä eri keinoja on esitetty visuaalisesti esitetyn datan esittämiseksi ruudunlukuohjelmille luettavaan muotoon, millaisia tuloksia niistä on saatu käyttäjätestauksen perusteella ja miten eri keinot vertautuvat toisiinsa eri tilanteissa.

Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Aineistoksi valittiin kuusi datavisualisointien saavutettavuutta ruudunlukuohjelmien käyttäjille käsittelevää tutkimusta. Työssä löydettiin viisi ehdotettua keinoa datavisualisointien saavutettavuuden parantamiseksi, jotka käsittelevät eri tapoja navigoida ja esittää tietoa tekstimuotoisesti visualisoinnista ja sen esittämästä datasta, sekä generoida tekstimuotoisia selityksiä automaattisesti. Näistä keinoista on kehitetty työkaluja demonstroimaan niiden tuomia mahdollisuuksia, ja näillä työkaluilla on toteutettu käyttäjätestausta.

Tulokset osoittavat, että kehityskeinoilla on potentiaalia edistää näkövammaisten ihmisten mahdollisuutta tulkita datavisualisointeja ja vähentää data-aineiston hahmottamiseen vaadittua kognitiivista kuormaa joissain tilanteissa, mutta niiden käyttöönotto ei ole yksinkertaista. Vaikka esitetyt ratkaisut ovat hyödyllisiä, on jo käytössä olevilla keinoilla kuten tekstivastineilla ja taulukkomuotoisen datan tarjoamisella myös paikkansa. Saavutettavuuden parantamiseksi tärkeintä on, että saavutettavuus otetaan huomioon jo visualisointien suunnittelussa ja toteutuksessa.

Avainsanat: Ruudunlukuohjelma, saavutettavuus, datavisualisointi, www-selaimet, näkövammaiset

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. RUUDUNLUKUOHJELMAT JA SAAVUTETTAVUUSSUOSITUKSET .....	2
3. SAAVUTETTAVUUDEN PARANNUSKEINOT .....	4
3.1 Navigoitavat hierarkkiset rakenteet .....	4
3.2 Tekstivastineiden kustomoitavuus .....	6
3.3 QA-systeemit .....	7
3.4 Automaattisesti luotavat tekstivastineet .....	8
3.5 Sonifikaatio ja audiodatanarratiivit .....	9
3.6 VoxLens .....	10
4. TULOKSET .....	11
5. YHTEENVETO .....	15
LÄHTEET .....	16

# 1. JOHDANTO

Datavisualisoinnit (esimerkiksi kaaviot, kuvaajat ja graafit) ovat hyödyllinen tapa esittää isoja määriä dataa helposti ymmärrettävässä ja tulkittavassa muodossa. Niillä voidaan havainnollistaa yksittäisten datapisteiden lisäksi laajempia trendejä, ja niistä voidaan saada visuaalista informaatiota esimerkiksi aineiston jakaumasta, jonka perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä. Datavisualisointeja käytetään laajasti esittämään erityyppistä informaatiota. Keskityn työssä ensisijaisesti visualisointeihin verkkosivuilla.

Vaikka nämä visualisoinnit ovat näkökykyisille erittäin hyödyllisiä, näkörajoitteisille ihmisille niiden hyöty jää usein vähäiseksi, jolloin niiden tulkinta ja trendien tunnistaminen on vaikeaa. Kokonaan sokealle käyttäjälle visualisoinnin tulkinta on mahdotonta, ja vaikka raakadata olisi tarjottu käyttäjälle, sen tulkitseminen ruudunlukuohjelmaa käyttäen on hyvin työlästä, eikä se ole tehokas tapa saada laajempaa käsitystä datasta. Myös eritasoiset värinäön heikentymät voivat vaikeuttaa kuvaajien tulkitsemista joissain tapauksissa, mutta tässä työssä keskitytään ruudunlukijaohjelmien käyttäjiin.

Työn tarkoituksena on pyrkiä selvittämään, mitä erilaisia parannuskeinoja on esitetty saavutettavuuden parantamiseksi, ja mitä tuloksia niiden hyödyllisyydestä on saatu käyttäjätestauksen perusteella. Työ toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja tiedonhaku tehtiin Andor-tietokannasta. Hakulausekkeena käytettiin: "screen reader\*" AND accessib\* AND data AND visuali\*. Tuloksista valittiin aiheeseen liittyviä tieteellisiä artikkeleita ja konferenssijulkaisuja, jotka esittivät keinoja datavisualisointien saavutettavuuden parantamiseksi ruudunlukuohjelmien käyttäjille, ja joissa näillä keinoilla oli toteutettu käyttäjätestausta.

Työssä käsitellään ensin ruudunlukuohjelmia ja tämän hetken saavutettavuussuosituksia luvussa 2. Luvussa 3 esitetään löydettyjä saavutettavuuden parannuskeinoja. Luvussa 4 käsitellään parannuskeinojen pohjalta toteutetuista demoista ja työkaluista saatuja tuloksia ja pohditaan, miten eri keinot vertautuvat toisiinsa ja tämän hetken suositeluihin saavutettavuuskäytäntöihin. Luku 5 on yhteenveto työstä.

## 2. RUUDUNLUKUOHJELMAT JA SAAVUTETTAVUUSSUOSITUKSET

Ruudunlukuohjelma on näkörajoitteisille ihmisille suunnattu tietokoneohjelma, joka muuttaa tietokoneen näytöllä olevan sisällön synteettiseksi puheeksi tai pistekirjoitukseksi pistekirjoitusnäppäimistölle. Lisäksi ruudunlukuohjelmissa voi olla näytönsuurennustominto auttamaan heikosti näkeviä käyttäjiä. Käyttäjä navigoi ruudunlukuohjelman tarjoamien näppäimistökomentojen avulla näytöllä olevia komponentteja, joiden tekstisisällön ruudunlukija muuntaa haluttuun muotoon. Verkkosivujen sisältö välitetään selaimelle HTML-muodossa (*Hypertext Markup Language*). Verkkosivulla ruudunlukija lukee HTML-elementtien tekstisisällön ja tunnistaa rakenteiset osat kuten otsikkotasot, linkit ja painikkeet.

Visuaalista informaatiota esitetään usein verkossa, ja se voi tarkoittaa mm. erilaisia kuvia, graafeja, diagrammeja ja karttoja. WCAG-ohjeiden mukaan ei-tekstuaaliselle sisällölle tulee tarjota tekstuaalinen vastine (W3Ca, 2019). HTML mahdollistaa tekstimuotoisen vaihtoehdoisen selityksen antamisen kuvalle. Tätä kutsutaan vaihtoehdoiseksi tekstiksi, tekstivastineeksi tai alt-tekstiksi (*alternative text*) (Celia 2024). Kuvassa 1 on määritelty kuvaelementti, jolle on annettu alt-attribuutti.

```
1  <!DOCTYPE html>
2  <html>
3  |   <body>
4  |   |   
5  |   </body>
6  </html>
```

**Kuva 1.** Verkkosivun sisältöä tuottaessa kuviin tulee lisätä tekstimuotoinen kuvaus sen sisällöstä alt-attribuutin avulla.

Alt-teksti esitetään sivulla, mikäli kuvaa ei jostain syystä pystytä lataamaan, mutta siitä on hyötyä myös ruudunlukuohjelmille, jotka voivat kuvan kohdalle tullessa lukea käyttäjälle alt-tekstin sisällön. Koska ruudunlukija lukee myös sivulla näkyvän tekstisisällön, ei alt-tekstissä kannata kertoa asioita, jotka käyvät jo muualta ilmi. Alt-tekstin suositeltu pituus on yleensä noin 1–2 virkettä, ja sitä kirjoittaessa tulee ottaa kuvan konteksti huomioon. (Celia, 2024)

Vaihtoehdoisen tekstin tulisi aina olla määriteltynä, mutta sen voi myös jättää tyhjäksi, mikäli kuva on koristeellinen, tai sen sisältö on selitetty kattavasti verkkosivulla esitetyssä näkyvässä tekstissä tai kuvatekstissä (Celia, 2024). Datavisualisoineista on kuitenkin

usein tarpeen antaa lisää tietoa, koska ne yleensä sisältävät enemmän informaatiota kuin niistä mainitaan tekstissä.

W3C WAI (*World Wide Web Consortium Web Accessibility Initiative*) suosittelee käyttämään datavisualisointien yhteydessä kahta kuvausta: lyhyttä korkean tason kuvausta visualisoinnista alt-tekstinä ja pitkää kuvausta, joka antaa yksityiskohtaisempaa tietoa visualisoinnin esittämästä datasta. Pitkä kuvaus voi olla itse sivulla, tai voidaan tarjota linkki erilliselle sivulle, joka sisältää kuvauksen. Tämä voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla. (W3Cb, 2022) Kuvassa 2 on esimerkki, jossa linkki pitkään kuvaukseen annetaan sekä kuvan longdesc-attribuutin avulla että erillisenä linkkielementtinä kuvan alla.

```
1   
5 <a href="2014-first-qtr.html">Long Description</a>
```

**Kuva 2.** Pitkään kuvaukseen annetaan linkki longdesc-attribuutin avulla ja erillisenä linkkielementtinä. (W3Cb, 2022)

Eri selainohjelmat tulkitsevat longdesc-attribuutit eri tavoin. Niitä ei tueta mobiiliselaimissa. Erillinen linkki tuo pitkän kuvaustekstin saatavaksi kaikille. (W3Cb, 2022)

Toinen suositeltu tapa on antaa visualisoinnin yhteydessä linkki visualisoinnin esittämään dataan taulukkomuodossa, jolloin käyttäjä voi navigoida ja hakea yksityiskohtaista tietoa datasta (Zong et al., 2022). Näin käyttäjä pääsee halutessaan käsiksi raakadataan, jota ei voida kokonaan viestiä vaihtoehdoisessa tekstissä.

## 3. SAAVUTETTAVUUDEN PARANNUSKEINOT

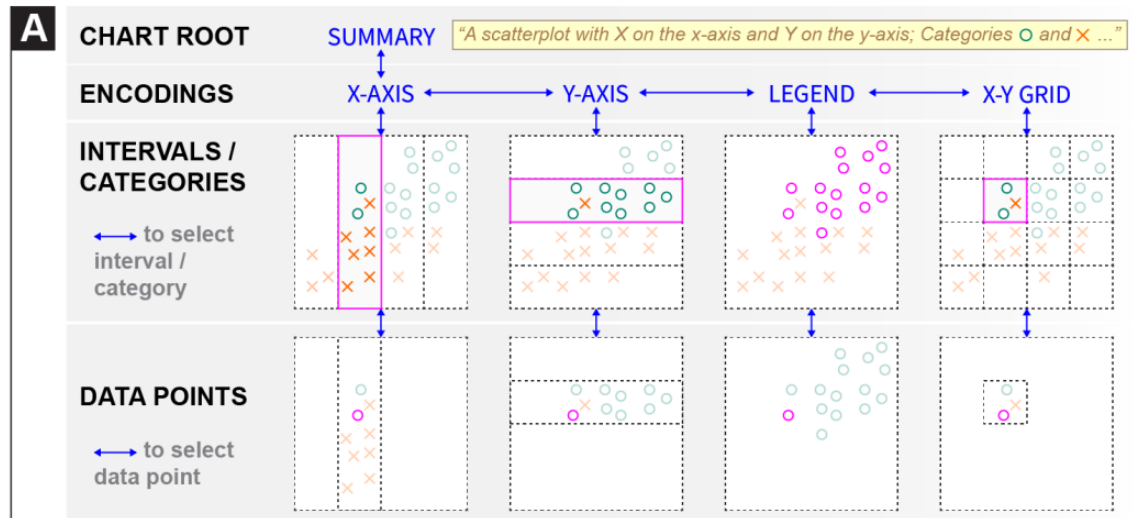
Vaihtoehtoiset tekstit ovat usein liian suppeita antamaan täydellistä ja selkeää kuvaa koko visualisoinnista. Datan navigoiminen taulukkomuotoisena on hyvin työlästä ja kognitiivisesti haastavaa, eikä trendien tunnistaminen ja tulkintojen tekeminen ole aina mahdollista. Siksi datavisualisointien saavutettavuuden parantamiseen on ehdotettu erilaisia keinoja.

Tässä luvussa kuvataan viisi keinoa datavisualisointien saavutettavuuden parantamiseksi ruudunlukuohjelmien käyttäjille: tekstivastineiden navigoitava hierarkkinen rakenne, tekstiselitteiden kustomoitavuus, ruudunlukuohjelmien käyttäjille suunnatut QA-systeemit, alt-tekstien automaattinen generointi konenäön avulla sekä sonifikaatio ja datanarratiivit. Lisäksi nostetaan esimerkkinä parannuskeinoja toteuttavasta työkalusta ruudunlukijan avulla saavutettavien visualisointien luomiseen kehitetty avoimen lähdekoodin VoxLens JavaScript-kirjasto. VoxLens sisältää kolme moodia: QA-moodi, yhteenvetomoodi ja sonifikaatiomoodi.

### 3.1 Navigoitavat hierarkkiset rakenteet

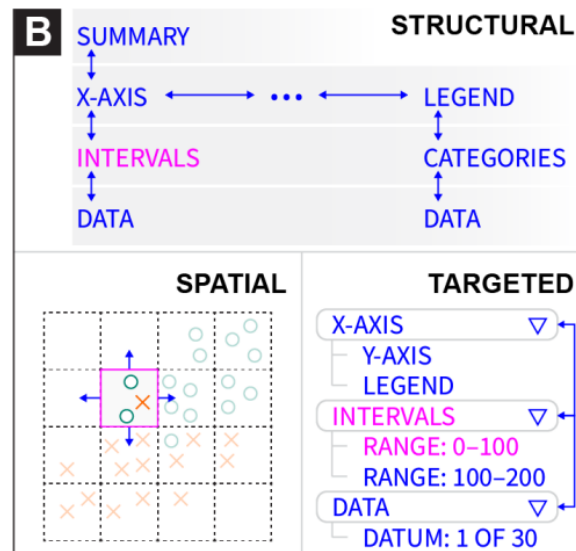
Zong ja muut (2022) esittävät hierarkkisen ja navigoitavan vaihtoehtoisten tekstiselitteiden rakenteen ratkaisuna datavisualisointien saavutettavuuteen ja määrittelevät ohjeita niiden luontiin. Ruudunlukuohjelma tekee näytöllä olevan sisällön selaamisesta interaktiivista. Tavanomaiset alt-tekstit pakottavat käyttäjän etenemään lineaarisesti. Järjestämällä tekstiselite hierarkkisesti useisiin osiin voidaan mahdollistaa tiedon navigoiminen käyttäjän haluamalla tavalla. (Zong et al., 2022)

Zong ja muut (2022) jakavat saavutettavien datavisualisointien suunnittelun kolmeen dimensioon: *rakenteeseen* (eng. structure), *navigaatioon* (eng. navigation) ja *kuvaukseen* (eng. description). *Rakenteella* tarkoitetaan tiedon esittämistä ruudunlukijoille luettavalla tavalla eri osiin jaoteltuna. Järjestämällä kaavion metadata hierarkkiseen rakenteeseen voidaan mahdollistaa sen eri komponenttien lukeminen eri tasoilla, enemmän tai vähemmän yksityiskohtaisesti. Kuvassa 3 on esitetty, miten visualisoinnin osat on jaoteltu hierarkkisesti erillisiin tekstiselitteisiin.



**Kuva 3.** Visualisoinnin osien jako hierarkkisesti tekstiselitteisiin. (Zong et al., 2022)

*Navigaatio* viittaa siihen, miten käyttäjä liikkuu rakenteessa tekstiselitteiden välillä. Tämä voi tapahtua rakenteellisesti (*eng. structural*), jolloin käyttäjä navigoi visualisoinnin eri elementtien, kuten akselit, selitteet ja data, välillä. Tilallinen (*eng. spatial*) navigointi tarkoittaa siirtymistä kaavion kuvaamassa avaruudessa intervalleittain. Tällöin tarkastelu voidaan rajata tiettyjen ääriarvojen välisiin arvoihin. Kohdistettu (*eng. targeted*) navigointi tarkoittaa siirtymistä suoraan haluttuun tietoon, siinä missä rakenteellisesti navigoitaisiin eri hierarkiatasojen läpi. (Zong et al., 2022) Kuvassa 4 on esitetty kaavioiden informaation navigointia näillä tavoilla.



**Kuva 4.** Rakenteellinen, tilallinen ja kohdistettu navigointi. (Zong et al., 2022)

*Kuvaus* on teksti ruudunlukuohjelmalle, joka selittää kaavion rakenteessa navigoituun osaan liittyvää tietoa. Kuvauksessa on otettava huomioon välitettävä tieto, sen jäsenyys, pituus ja konteksti. (Zong et al., 2022)

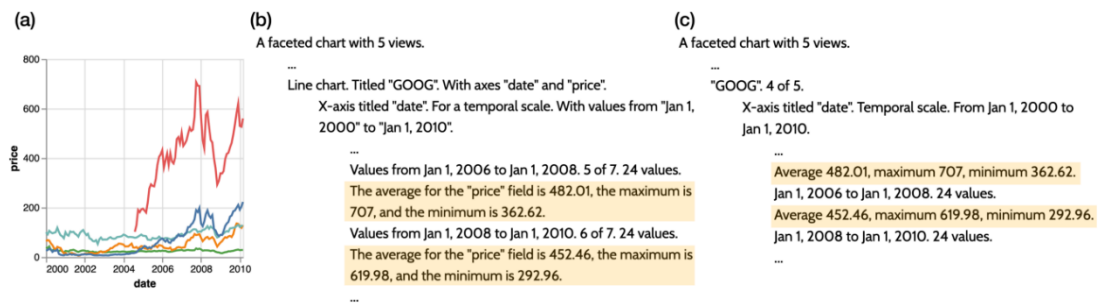


Navigoitava rakenne tuo käyttäjälle vapautta etsiä haluamaansa tietoa, kun taas perinteinen alt-teksti pakottaa ruudunlukijan lukemaan sen lineaarisesti. Hierarkkisesti jäsenely metatieto visualisoinnista mahdollistaa myös sen tarkastelun enemmän tai vähemmän yksityiskohtaisella tasolla. Hierarkkinen rakenne antaa myös visualisoinnin luojalle mahdollisuuden välittää enemmän tietoa järkevästi jäseneltyinä kuin tavallisen alt-tekstin avulla.

### 3.2 Tekstivastineiden kustomoitavuus

Jones ja muut (2023) perustavat tutkimuksensa Zongin ja muiden (2022) esittämään konseptiin hierarkkisista ja navigoitavista tekstiselitteiden rakenteista, ja pyrkivät rakentamaan sitä pidemmälle mahdollistamalla hierarkkisen rakenteen sisällä yksittäisten tekstikuvausten kustomoinnin käyttäjän toimesta. Yleensä ruudunlukijaohjelma saa visualisointiin tai johonkin sen osaan liittyvän tekstimuotoisen kuvauksen sellaisena kuin kaavion tekijä on sen kirjoittanut. Usein eri tarkoituksissa voidaan kuitenkin kaivata erilaista kuvausta riippuen siitä, mitä tai kuinka tarkkaa tietoa käyttäjä haluaa saada. Tällöin oletusarvoinen kuvaus ei välttämättä tarjoa käyttäjän hakemaa informaatiota. Tekemällä kuvauksista käyttäjän tarpeiden mukaan räätälöitäviä voidaan helpottaa halutun informaation löytämistä. (Jones et al., 2023)

Kustomoitavilla selitteillä voidaan myös huomioida käyttäjän kokeneisuutta. Käyttäjä, joka on tottunut lukemaan ja analysoimaan dataa ruudunlukijan avulla, voi kaivata tiiviitä selityksiä voidakseen tehokkaasti navigoida informaatiota, kun taas vähemmän kokenut käyttäjä tarvitsee perusteellisemmat selitykset (Jones et al., 2023). Kuvassa 5 on esitetty datavisualisointi (kuva 5a), josta on tehty kahdelle käyttäjälle kustomoidut tekstiselitteet. Ensimmäinen käyttäjä (kuva 5b) on vähemmän kokenut datan tulkintaan ruudunlukuohjelman avustuksella, ja toinen käyttäjä (kuva 5c) on kokeneempi, ja pärjää siten tiiviimillä selitteillä, jotka viestivät saman oleellisen informaation.



**Kuva 5.** Aloittelijalle (b) ja kokeneelle käyttäjälle (c) kustomoidut tekstiselitteet visualisoinnista (a). (Jones et al., 2023)

Jones ja muut (2023) määrittelevät hierarkkisille tekstiselitteille neljä kustomoitavaa ominaisuutta: selityksen kuvaama sisältö, selityksen pituus, selityksen sisällön järjestys ja kustomoinnin kesto. Kustomoinnin kestolla tarkoitetaan, että se voi joko olla käytössä kaikissa tekstiselitteissä niin kauan kunnes käyttäjä päättää poistaa sen käytöstä, tai se voidaan ottaa käyttöön vain yhteen tekstiselitteeseen. Tällöin sen vaikutus päättyy, kun käyttäjä navigoi muualle hierarkiassa. (Jones et al., 2023)

### 3.3 QA-systeemit

QA-systeemit (*question answering*) mahdollistavat käyttäjälle kyselyiden tekemisen ohjelmalle, joka vastaa niihin tarkasteltavan aineiston perusteella. Nämä kyselyt tehdään luonnollisella kielellä, poistaen tarpeen käyttöliittymäelementtien käyttämiseen. QA-systeemeitä käytetään erilaisiin tarkoituksiin eri aloilla, esimerkiksi lääketieteellisessä diagnosoinnissa. (Kim et al., 2023)

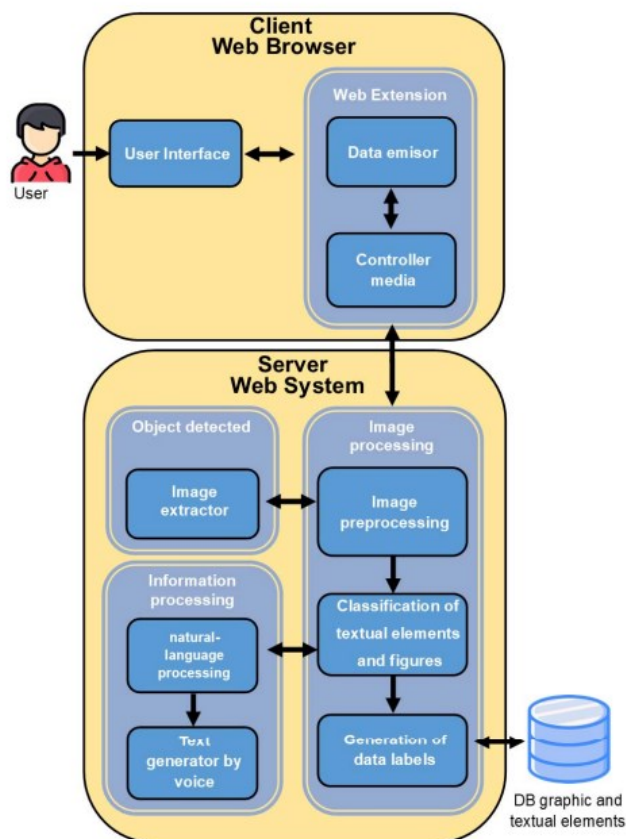
QA-systeemejä on kehitetty myös datavisualisointien tulkintaan, mutta useimmissa ei ole keskitytty näkörajoitteisiin kohderyhmänä (Kim et al., 2023). QA-systeemeillä on kuitenkin paljon potentiaalia tarjota ruudunlukijaohjelmien käyttäjille mahdollisuus saada tietoa visualisoinneista ilman tarvetta suuren informaatiomäärän navigoimiseen. Ne voivat myös antaa käyttäjälle enemmän vapautta kuin navigoitavat tekstikuvaukset.

VoxLensin QA-moodi on toteutettu siten, että käyttäjä voi esittää kysymyksiä ääneen hyödyntäen tietokoneen mikrofonia. QA-moodi tukee maksimi- ja minimiarvojen, akselien selitteiden ja vaihteluvälien, yksittäisten datapisteiden arvojen, ja tilastollisten tunnuslukujen kysymistä. (Sharif et al., 2022)

### 3.4 Automaattisesti luotavat tekstivastineet

Vaikka pelkät alt-tekstit eivät tee datavisualisoinneista täysin saavutettavia ruudunluokohjelmien käyttäjille, niiden puuttuminen kokonaan on kuitenkin hyvin yleistä, ja siten suurin ongelma saavutettavuuden kannalta. Yhtenä ratkaisuna tähän voi olla konenäkö. Datavisualisoinnin sisältämä informaatio voidaan kuvantunnistusteknologian avulla ottaa talteen ja käsitellä saavutettavuussuosituksen mukaisiksi tekstiselitteiksi (Figuroa-Gutiérrez et al., 2021).

Figuroa-Gutiérrez ja muut (2021) toteuttivat työkalun, joka tunnistaa konenäön avulla pylväsdiagrammista sen akselit ja pylväät, ja niihin liittyvät selitteet ja data-arvot. Selainlaajennus lähettää kuvan palvelimelle analysoitavaksi, josta lähetetään takaisin tekstiselitteet. Kuvassa 6 on kuvattu ohjelman funktionaalinen arkkitehtuuri, jossa on eroteltu käyttäjän selaimella ja palvelimella tehtävät prosessit. Kuvan prosessointi ja tekstivastineen tuottaminen tapahtuu kokonaan palvelimella.



**Kuva 6.** *Konenäköä hyödyntävän, automaattisen tekstivastineen luovan ohjelman funktionaalinen arkkitehtuuri. (Figuroa-Gutiérrez et al., 2021)*

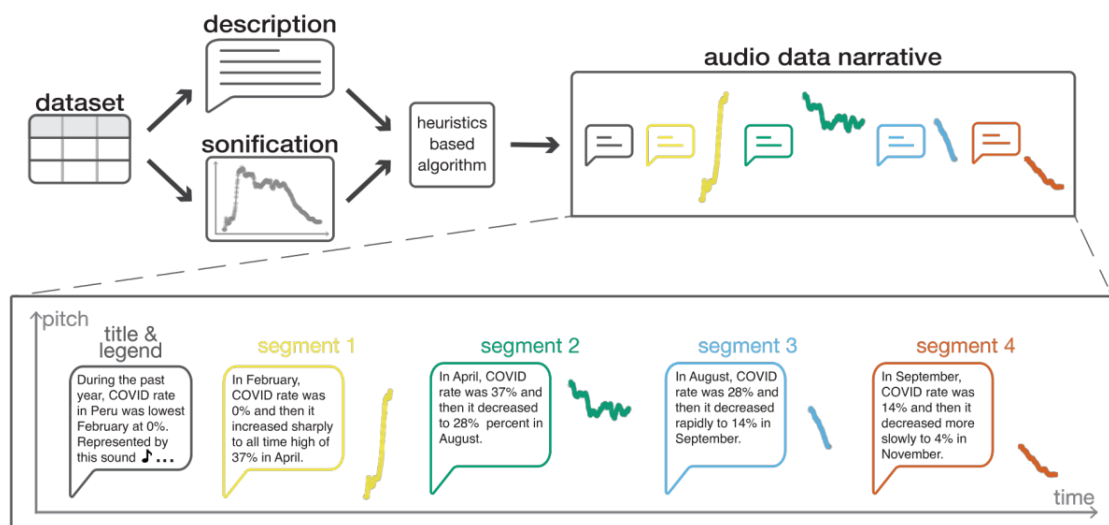
Datavisualisointien automaattista tulkitsemista voidaan viedä myös yksinkertaista kuvantunnistusta pidemmälle koneoppimisalgoritmeja hyödyntämällä. Nykyään niitä käytetään

jo visualisointien luomiseen suurista datamääristä ja tulevaisuudessa niitä voidaan käyttää myös datan lukemiseen visualisoinneista. Syväoppimisen avulla voidaan tunnistaa visualisoinnin tyyppi, sen sisältämät tekstimuotoiset ja graafiset osat, ja tunnistaa niiden väliset yhteydet. Edistynyt tekoälyteknologia tarjoaa myös lisää mahdollisuuksia QA-systeemien toteutuksessa. (Shahira & Lijiya, 2021)

### 3.5 Sonifikaatio ja audiodatanarratiivit

Sonifikaatio tarkoittaa datavisualisoinnissa esiintyvien suhteiden esittämistä äänellisesti (Siu et al., 2022). Tämä voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että y-akselin arvon muutosta x-akselilla liikuttaessa havainnollistetaan muuttuvalla äänenkorkeudella, antaen likimääräisen käsityksen käyrän kulusta.

Siu ja muut (2022) tutkivat sonifikaation ja tekstiselitteiden yhdistämistä, luoden narratiivin, jonka tarkoituksena on havainnollistaa kehitystä ja trendejä. Kuvassa 7 on esimerkki audiodatanarratiivista, jossa yhdistellään tekstiselitteitä ja sonifikoituja segmenttejä kuvaajasta. Sonifikoitua pätkää kuvaajasta edeltää tekstiselite, joka antaa sanallisen selityksen sitä seuraavasta pätkästä, kertoen esimerkiksi sen alku- ja loppupisteen ja segmentin aikana tapahtuvan muutoksen suuruuden ja suunnan.



**Kuva 7.** Audiodatanarratiivin luominen. (Siu et al. 2022)

VoxLensin sonifikaatiomoodi toimii itsenäisesti erillään tekstimuotoisista selitteistä. Sharif ja muut (2022) huomasivat testauksessaan käyttäjien suosivan sonifikaatiomoodia alustavaan trendien tunnistamiseen ennen dataan syventymistä.

### 3.6 VoxLens

Avoimen lähdekoodin VoxLens JavaScript-kirjasto lähestyy saavutettavuusongelmaa yhdistämällä eri lähestymistapoja yhden työkalun alle (Sharfi et al., 2022). VoxLens on kehitetty osana Washingtonin yliopiston jatkuvaa tutkimusta. Se toimii Chrome-se-laimella ja on yhteensopiva datavisualisointien luomiseen käytettyjen D3, Google Charts ja ChartJS -kirjastojen kanssa. (Github) VoxLensin lähdekoodi on saatavilla osoitteessa <https://github.com/athersharif/voxLens>.

VoxLensin avulla datavisualisointia tulkittaessa käyttäjä voi vapaasti vaihtaa sen eri moodien välillä (QA, yhteenveto, sonifikaatio). Sen käyttöönotto vaatii vain yhden rivin koodia visualisoinnin tekijältä. Ruudunlukuohjelman käyttäjältä ei vaadita erillistä käyttöönottoa näppäimistökomentojen oppimisen lisäksi. VoxLens toimii luomalla ylimääräisen, vain ruudunlukijalle näkyvän div-elementin, jonka attribuuttien avulla informaatio välitetään ruudunlukuohjelman kautta käyttäjälle. (Sharfi et al., 2022)

## 4. TULOKSET JA POHDINTA

Tässä tutkielmassa esitetyissä tutkimuksissa on parannuskeinoideiden pohjalta toteutettu työkaluja käyttäjätestausta varten. Tässä luvussa esitetään saavutettavuuden parannuskeinoista saatuja käyttäjätestauksen tuloksia, ja pohditaan tulosten perusteella eri keinojen hyödyllisyyttä eri tilanteissa ja niiden potentiaalia todellisessa käytössä. Taulukossa 1 on esitetty aineistoon valitut tutkimukset, ja mille parannuskeinoille niissä on toteutettu käyttäjätestausta.

Taulukko 1. *Tutkimuksissa testatut saavutettavuuden parannuskeinot*

	Hierarkkinen rakenne	Selitysten kustomoitavuus	QA-systeemit	Automaattiset alt-tekstit	Sonifikaatio
Zong et al. 2022	X				
Jones et al. 2023		X			
Kim et al. 2023			X		
Sharif et al. 2022 (Vox-Lens)			X		X
Balaji et al. 2018 (Chart-Text)				X	
Figuerroa-Gutierrez et al. 2021				X	
Siu et al. 2022					X

Ruudunlukuohjelman avulla datan navigoiminen vaatii käyttäjältä mallin muodostamista mielessään, mikä on usein hidas ja iteroiva prosessi. Navigoitavat hierarkkiset rakenteet tuovat käyttäjälle vapautta ja voivat auttaa hahmottamaan dataa visualisoinnin tapaan. Mahdollisuus navigoida suoraan haluttuihin pisteisiin auttaa testaamaan hypoteeseja, joita käyttäjä luo jatkuvasti luodessaan mielikuvaa datasta. Tekstiselitteiden hierarkkisuus auttaa myös kommunikoimaan käyttäjälle korkean tason tulkintoja datasta paremmin kuin taulukkomuodossa oleva data. (Zong et al., 2022)

Vaikka Zong ja muut (2022) huomasivat tutkimuksessaan, että navigoitavia tekstiselitteiden rakenteita oli käyttäjien mielestä nautinnollisempaa navigoida, kuin taulukossa esitettyä raakadataa, on taulukoilla myös käyttönsä. Taulukoiden käyttö todettiin vaativaksi, mutta ne ovat useimmille käyttäjille tuttuja ja niiden navigoiminen toimii samalla tavalla kaikilla alustoilla ja työkaluilla. Hierarkkisten rakenteiden navigoinnissa huomattiin myös

eksymisen riski. Käyttäjän tulee pitää mielessään, missä kohtaa visualisointia hän on ja millä hierarkiatasolla. (Zong et al., 2022)

Jones ja muut (2023) saivat enimmäkseen positiivisia tuloksia tekstiselitteiden kustomoitavuuden hyödyistä osana navigoitavia tekstiseliterakenteita. Eroja huomattiin kuitenkin käyttäjien motivaatioista ja kokemuksesta johtuen. Käyttäjät, joilla oli vähemmän kokemusta datan lukemisesta ja tulkitsemisesta, olivat vähemmän taipuvaisia ottamaan käyttöön kustomointeja ja luottivat enemmän oletusasetuksiin. Myös käyttäjien kiinnostus datavisualisoinnin aihetta kohtaan vaikutti haluun tehdä kustomointeja.

Siinä missä Zong ja muut (2022) vertasivat navigoitavia rakenteita taulukkomuotoiseen dataan, Kim ja muut (2023) tutkivat QA-systeemiä lisänä tekstiselitteeseen ja taulukkoon. Tutkimuksen tavoitteena oli pyrkiä tunnistamaan minkälaisia kyselyitä näkörajoitteiset käyttäjät tekevät datavisualisoinneista, ja miten QA-systeemeitä tulisi suunnitella näkörajoitteisille ihmisille. He huomasivat, että 27 % tehdyistä kyselyistä koskivat asioita, jotka näkevä käyttäjä voisi selvittää suoraan katsomalla visualisointia, kuten esimerkiksi yksittäisen arvon lukeminen. Tutkimuksessa havaittiin myös käyttäjien kiinnostus trendejä kohtaan. Trendejä on hyvin vaikea hahmottaa suoraan raakadatasta.

Kimin ja muiden (2023) tutkimuksessa havaittiin myös suuri määrä väärinymmärryksiä näkökyvyn puutteen vuoksi. Väärinymmärrykset johtivat kyselyihin, joissa pyrittiin saamaan tietoa, jota ei visualisoinnin perusteella ollut mahdollista antaa. Osallistujat tekivät myös kyselyitä liittyen itse visualisointiin, esim. akseleiden ja värien merkityksiin, sekä visualisointityyppeihin, esim. mitä jokin kuvaajatyyppi tarkoittaa. Tämä osoittaa, että näkörajoitteisilla ihmisillä on erilaisia tarpeita QA-systeemeiltä, jotka tulee ottaa huomioon suunnittelussa. (Kim et al., 2023)

Käyttäjätestauksessa käyttäjät kokivat QA-moodin yhdeksi VoxLensin tärkeimmistä ominaisuuksista ja kokivat sen vähentävän merkittävästi vaadittua kognitiivista panosta. (Sharif et al., 2022) Myös Kimin ja muiden (2023) tutkimuksessa osallistujat pitivät QA-systeemiä parempana vaihtoehtona manuaaliseen tiedon hakemiseen taulukkomuotoisesta datasta.

Balaji ja muut (2018) tutkivat alt-tekstien automaattista generointia konenäköä käyttäen. Heidän kehittämänsä Chart-Text systeemi pystyy tunnistamaan PNG-kuvasta piirakka-kaaviot sekä normaalit ja pinotut horisontaaliset ja vertikaaliset pylväskaaviot 99,72 %:n tarkkuudella. Systeemi kykenee tulkitsemaan datan ja luomaan kuvaa vastaavan alt-tekstin 78,9 %:n tarkkuudella. Kuvan resoluutio on tärkeä tekijä siinä, voidaanko kuvaa jaa tulkita konenäön avulla (Figueroa-Gutierrez et al., 2021).

Vaihtoehtoiset tekstivastineet puuttuvat visuaalisesta sisällöstä hyvin usein. Visualisointien automaattinen tulkitseminen voisi olla ratkaisu vaihtoehtoisen tekstin tuottamiseksi, kun visualisoinnin luoja ei ole sitä laatinut. Konenäön avulla kuvasta tunnistetaan eri osat, joten sitä voitaisiin potentiaalisesti myös yhdistää tekstivastineiden hierarkkisten rakenteiden kanssa.

Nykyään tekoäly on kehittynyt pitkälle. Syväoppimisalgoritmien avulla voidaan tekstivastineita tuottaa automaattisesti yhä tarkemmin ja tuottaa niistä paljon enemmän tietoa (Shahira & Lijjya, 2021). Automaatio vaatii kuitenkin kuvantunnistuksen tapahtuvan palvelimella, mikä voi vaikeuttaa tällaisen systeemin laajempaa käyttöönottoa.

Audiodatanarratiivit, joissa tekstiselitteitä ja sonifikaatiota yhdistetään antamaan kokonaisemman käsityksen kuvaajan etenemisestä, auttavat oikein toteutettuna käyttäjää saamaan selkoa monimutkaisesta datasta. Niiden on kuitenkin havaittu käyttäjätestauksessa kasvattavan kognitiivista kuormaa. Jatkotutkimusta vaadittaisiin selvittämään, mikäli tämä helpottuisi kokemuksen myötä. (Siu et al., 2022)

Audiodatanarratiivit eivät kuitenkaan ole ainoa tapa hyödyntää sonifikaatiota. Esimerkiksi VoxLensin sonifikaatiomoodi soittaa käyttäjälle sonifioidun ääniversion koko kuvajasta yhtenä pätkänä, mikä sai käyttäjiltä positiivista palautetta tapana tutustua dataan ja sen trendeihin alustavasti (Sharif et al., 2022).

Edellä mainituissa tutkimuksissa tehdyt käyttäjätestaukset osoittavat, että eri saavutettavuuden parannuskeinot tarjoavat erilaisia etuja eri käyttäjille eri tilanteissa. Kokeneelle käyttäjälle, joka on motivoitunut tutkimaan dataa ja jolle datan lukeminen ruudunlukijalla esimerkiksi taulukkomuotoisena, kustomoitavat navigoitavassa rakenteessa olevat tekstiselitteet voivat tarjota vapautta ja mukavuutta tiedon etsimiseen. Toisaalta käyttäjä, joka normaalisti ohittaa visualisoinnit tai lukee vain alt-tekstin, mikäli se on tarjottu, ei välttämättä ole valmis käyttämään aikaa visualisoinnin navigoimiseen tai sen kustomoimiseen.

Näkörajoitteisille käyttäjillä suunniteltu QA-systeemi taas voi tarjota myös vähemmän kokeneelle käyttäjälle helpon tavan löytää tietoa datasta. Käytännössä QA-systeemin toimiminen vaatii sen, että se osaa vastata käyttäjän tekemiin kysymyksiin. Systeemissä tulee ottaa huomioon, että näkörajoitteiset ihmiset voivat esittää hyvin erilaisia kysymyksiä kuin näkevät.

Käyttäjälle on kuitenkin vaikeaa, jos jokaisessa kohtaamassaan visualisoinnissa on käytetty erilaisia saavutettavuusominaisuuksia tai niiden hyödyntäminen vaatii käyttäjältä esimerkiksi selainlaajennuksen asentamisen. Siksi myös standardien kehittyminen vastaamaan uusia mahdollisuuksia saavutettavuuden kehittämisessä on tärkeää. Käyttäjän



kannalta on helpompaa voida hyödyntää saavutettavuusominaisuuksia tutulla tavalla, ja valiten omien preferenssien mukaan, mitä niistä käyttää.

VoxLens on hyvä esimerkki, miten yllä mainittuja keinoja on yhdistetty yhteen työkaluun. Käyttäjätestauksessa sen todettiin parantavan informaation löytämisen tarkkuutta 122 % ja vähentävän informaation hakemiseen tarvittavaa aikaa 36 % (Sharif et al., 2022). VoxLens ei kuitenkaan sisällä esimerkiksi hierarkkisten ja kustomoitavien tekstiseliterakenteiden tarjoamia etuja, mutta sen käyttöönoton helppous visualisointien tekijöiden kannalta on tärkeä tekijä. Mitä helpompaa saavutettavuuden lisääminen on, sitä todennäköisemmin visualisoinnin tekijä ottaa sen huomioon.

## 5. YHTEENVETO

Työssä löydettiin tutkimuskirjallisuudessa ehdotettuja parannuskeinoja datavisualisointien saavutettavuudelle. Näistä erityisesti ruudunlukuohjelmien käyttäjille suunnitellut datavisualisoinneille kehitetyt QA-systeemit osoittautuivat lupaavaksi keinoksi vähentää visualisointien tulkinnan kognitiivista kuormaa. Myös tekstiselitteiden automaattisesta generoimisesta visualisoinneista konenäön avulla on saatu hyviä tuloksia.

Merkittävä este yleisesti ottaen saavutettavuuden toteutumiselle on panostuksen puute kehityksessä. Työkaluissa on otettava huomioon myös visualisointien tekijältä vaadittu vaiva saavutettavuuden takaamiseksi. Toisaalta on myös tärkeää huomioida käyttäjien tottumukset ja uusien toimintatapojen käyttöönottamisen vaatima vaiva. Vaikka visualisoinneista saataisiin teoriassa kuinka saavutettavia, ei siitä ole hyötyä, jos niiden toteuttaminen on liian työlästä, tai jos niiden lukeminen on käyttäjälle vierasta ja liian työlästä opetella. Koneoppimisalgoritmien hyödyntäminen vaikuttaa lupaavalta, sillä se voisi potentiaalisesti mahdollistaa datavisualisointien tulkinnan ilman visualisoinnin laatijan panostusta saavutettavuuteen.

Apuvälineistä huolimatta visuaalisen datan tulkinta ilman kykyä nähdä sitä, on aina kognitiivisesti vaativampaa. Tässä tutkielmassa löydettyjen tekniikoiden käyttäjältä vaatimaa kognitiivista kuormaa tai siihen mahdollisesti aikaan saatua helpotusta voitaisiin tutkia vielä pidemmälle. Myös niiden etuja eri tilanteissa voitaisiin tutkia pidemmälle ja vertailla niitä keskenään. Kohderyhmän osallistaminen sekä työkalujen kehitysprosessissa että testauksessa on tärkeää.

Työssä esitetyt saavutettavuuden parannuskeinot ovat konsepteja. Niiden toteuttaminen ja käyttöönotto vaatii varmasti lisätutkimusta ja -kehitystä, sekä ARIA-tukea. VoxLens on kuitenkin lupaava esimerkki useita ratkaisuja yhdistävästä työkalusta, joka mahdollistaa saavutettavien datavisualisointien luomisen vaivattomasti.

## LÄHTEET

- Balaji, A., Ramanathan, T., & Sonathi, V. (2018). Chart-Text: A Fully Automated Chart Image Descriptor. *arXiv.Org*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.1812.10636>
- Celia (2024). Kuvien vaihtoehtoiset tekstit. Saavutettavuuskirjasto Celia. Saatavilla (luettu 23.5.2024) <https://www.saavutettavasti.fi/kuva-ja-aani/kuvat/>
- Figueroa-Gutierrez, S., Montane-Jimenez, L. G., Carlos Perez-Arriaga, J., Rojano-Caceres, J. R., & Toledo-Toledo, G. (2021). Towards Automatic Interpretation Of Statistical Graphs For The Visually Impaired. *2021 9th International Conference in Software Engineering Research and Innovation (CONISOFT)*, 180–188. <https://doi.org/10.1109/CONISOFT52520.2021.00033>
- GitHub. VoxLens. (viitattu 14.6.2024) <https://github.com/athersharif/voxlens>
- Jones, S., Pineros, I., Hajas, D., Zong, J., & Satyanarayan, A. (2023). “Customization is Key”: Four Characteristics of Textual Affordances for Accessible Data Visualization. *arXiv.Org*. <https://doi.org/10.48550/arxiv.2307.08773>
- Kim, J., Srinivasan, A., Kim, N. W., & Kim, Y. S. (2023). Exploring Chart Question Answering for Blind and Low Vision Users. *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Article Number 828*. <https://doi.org/10.1145/3544548.3581532>
- Shahira, K. C. & Lijiya, A. (2021) Towards Assisting the Visually Impaired: A Review on Techniques for Decoding the Visual Data From Chart Images. *IEEE Access*, vol. 9, pp. 52926-52943. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3069205>
- Sharif, A., Wang, O. H., Muongchan, A. T., Reinecke, K., & Wobbrock, J. O. (2022). VoxLens: Making Online Data Visualizations Accessible with an Interactive JavaScript Plug-In. *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Article Number 478*. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517431>
- Siu, A., Kim, G. S-H., O’Modhrain, S., & Follmer, S. (2022). Supporting Accessible Data Visualization Through Audio Data Narratives. *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Article Number 476*. <https://doi.org/10.1145/3491102.3517678>
- W3Ca. (22.11.2019). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. <https://www.w3.org/Translations/WCAG21-fi/#text-alternatives>
- W3Cb. (päivitetty 17.1.2022). Complex Images WAI Images Tutorial. (viitattu 22.4.2024) <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/>

Zong, J., Lee, C., Lundgard, A., Jang, J., Hajas, D., & Satyanarayan, A. (2022). Rich Screen Reader Experiences for Accessible Data Visualization. *Computer Graphics Forum*, 41(3), 15–27. <https://doi.org/10.1111/cgf.14519>