

Sipi Ylä-Nojonen

NÄKÖVAMMAISILLE SUUNNATTUJEN ÄÄNIAVUSTEIDEN TOTEUTTAMINEN DIGITAALISIIN PELEIHIN

Kandidaatintyö
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastaja: Jari Varsaluoma
Joulukuu 2021

TIIVISTELMÄ

Sipi Ylä-Nojonen: Näkövammaisille suunnattujen ääniavusteiden toteuttaminen digitaalisiin peleihin
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tieto- ja sähkötekniikan TkK tutkinto-ohjelma, Tietotekniikka
Joulukuu 2021

Digitaaliset pelit ovat kahden viime vuosikymmenen aikana nousseet yhdeksi merkittävimmistä viihdealan sisällöistä. Saavutettavuuden huomioon ottaminen pelien kehityksessä on kuitenkin edelleen harvinaista, vaikka maailmassa on miljoonia ihmisiä, joille digitaalisten sisältöjen käyttäminen vaatii erillisjärjestelyjä. Tämän tutkielman tarkoituksena oli kartoittaa, millä tavoin digitaalisten pelien saavutettavuutta on tutkittu näkövammaisten osalta ja millaisia avustemenetelmiä pelien käyttämiseen kuullun äänen avulla on kehitetty. Sen lisäksi tarkoituksena oli selvittää millaisia ongelmia näiden menetelmien peleihin integroimiseen ja niiden käyttämiseen tilannekohtaisesti liittyy.

Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena, ja se jakautuu kolmeen osaan, joista ensimmäinen määrittelee saavutettavuuden merkitystä digitaalisten pelien ja näkövammaisuuden kontekstissa sekä vertaa tätä muihin digitaalisiin järjestelmiin. Tämän jälkeen toinen osa erittelee löydettyjä menetelmiä ääniavusteiden toteutuksille ja luokittelee niitä toteutuksen ja niiden käyttäjälle viestimän informaation ominaispiirteiden mukaan. Viimeinen osuus käsittelee toisessa osassa määriteltujen kategorioiden pohjalta eri toteutuksiin liittyviä ongelmia, joihin pohditaan ratkaisumahdollisuuksia tutkielman keskusteluosuudessa.

Tutkielman tulokset osoittavat, että tutkimusta pelien saavutettavuudesta on tehty etenkin viime vuosikymmenen aikana, mutta suurin osa tarkastelluista avustetoteutuksista on tutkimuksia varten tehtyjä prototyyppisiä. Tarkastelu osoittaa, että avustejärjestelmiä voidaan toteuttaa sekä osana pelejä että niistä erillään ja käyttäjälle voidaan viestiä pelin tilaa monimuotoisesti käyttäen puhetta ja sonifikaatiota yhdessä tiläänen kanssa. Ongelmistaan huolimatta tarkastellut toteutukset osoittautuivat lähdekirjallisuuden pohjalta toimiviksi myös käytännössä. Todellisuudessa niiden hyödyntäminen peleissä on selvityksen perusteella kuitenkin vielä vähäistä, eikä toimivaa standardointia pelien saavutettavuudesta ole yrityksistä huolimatta vielä muodostettu samalla tavoin, kuin esimerkiksi websisältöjen kohdalla.

Avainsanat: saavutettavuus, näkövammaisuus, sonifikaatio, digitaaliset pelit

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkistettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|----|
| 1 JOHDANTO | 1 |
| 2 TERMIEN SELITYKSIÄ | 3 |
| 3 TUTKIMUSMENETELMÄ | 5 |
| 4 SAAVUTETTAVUUS..... | 6 |
| 4.1 Saavutettavuuden määritelmä..... | 6 |
| 4.2 Saavutettavuus näkövammaisille | 6 |
| 5 ÄÄNIAVUSTEET PELIEN SAAVUTETTAVUUDESSA..... | 8 |
| 5.1 Toteutuksien jaottelu | 8 |
| 5.1.1 Jaottelu peliin integroititavan mukaan | 8 |
| 5.1.2 Jaottelu ääni-informaatiotyypin mukaan | 9 |
| 5.2 Toteutuksien ongelmat..... | 11 |
| 6 KESKUSTELU | 14 |
| 7 YHTEENVETO..... | 17 |
| LÄHTEET | 18 |

1 JOHDANTO

Digitaaliset pelit ovat kasvattaneet osuuttaan viihdealasta viime vuosikymmenten aikana ja Newzoon mukaan pelialan yhteenlaskettu liikevaihto oli vuonna 2019 145,7 miljardia Yhdysvaltain dollaria [10]; yli kolminkertainen elokuva-alan vastaavaan verrattuna [9]. Digitaalisten pelien pelaaminen perustuu pitkälti graafiseen käyttöliittymään [11]. Tällaisten pelien käyttö ei kuitenkaan ole mahdollista kaikille käyttäjille, sillä pelkästään vähintään keskivaikeasti (*moderately*) näkövammaisia oli vuonna 2015 maailmanlaajuisesti 253 miljoonaa [3]. Tämän lisäksi monet muut rajoitteet saattavat vaikeuttaa digitaalisten järjestelmien käyttöä. Pelien saavutettavuuden suunnittelua ovat kuitenkin pitkälti ohjanneet muille digitaalisille järjestelmille luodut ohjenuorat. [11]

Tämän tutkielman tarkoituksena on tutkia, **miten näkövammaisille tarkoitettuja ääniavusteita voidaan integroida digitaalisiin peleihin ja mitä ongelmia tähän liittyy.**

Tutkielmantekijänä tämä aihepiiri on kiinnostava, sillä vaikka aiheesta on tehty tutkimusta ja hiljalleen saavutettavuutta on alettu ottaa pelien suunnittelussa huomioon, näyttää saavutettavuusasetusten löytyminen peleistä yhä olevan poikkeuksellista. Sikäli on mielenkiintoista perehtyä myös siihen millaiset ongelmat ovat ehkä hidastaneet tätä kehitystä ja millä tavoin peleistä voitaisiin vastaisuudessa tehdä saavutettavampia suuremmalle määrälle ihmisiä.

Tutkielman toisessa luvussa on määritelty aihepiirille olennaisia käsitteitä ja selvitetty niiden käyttöä tutkielmassa. Tätä seuraavaan lukuun on kirjattu tutkielmassa käytettyjä tutkimusmenetelmiä ja käyty läpi tutkimuksen etenemistä.

Tämän jälkeen saavutettavuutta käsittelevässä luvussa 4 läpikäydään tarkemmin tutkimuksen taustaa ja saavutettavuuden merkitystä digitaalisten pelien kontekstissa. Sen lisäksi luku käsittelee tarkemmin aiheen rajausta pelkästään näkövammaisiin, jotka eivät kykene lainkaan käyttämään graafisia käyttöliittymiä, ja toisaalta grafiikan korvaamiseen nimenomaan ääntä käyttävien menetelmien avulla. Luvussa myös tarkastellaan muita tutkielman laajuuden luomia rajoitteita esimerkiksi lähteiden määrässä.

Varsinaisia tutkimustuloksia käsitellään viidennessä luvussa, jossa eritellään tutkimuksessa löydettyjä toteutuksia ääniavusteille kategorioittain sen mukaan, miten ne on integroitu peleihin tai millaista informaatiota niillä voidaan äänen avulla välittää. Luvun toi-

sessä alaluvussa tarkastellaan puolestaan sitä, millaisia ongelmia näiden ääniavusteiden toteuttamiseen tai peliin integroimiseen liittyy mukailleen luvun alkupuolella määritellyjä kategorioita.

Lopuksi keskustelu luvussa on pohdittu tutkimuksen tuloksia ja pohdittu mahdollisia näkymiä pelien saavutettavuuden kehitykselle tulevaisuudessa. Yhteenvetoon on koottu tärkeimmät tutkielman teossa tehdyt havainnot.

2 TERMIEN SELITYKSIÄ

Tässä luvussa käydään läpi aihepiirille keskeisiä käsitteitä, joita on käytetty muualla tutkielman sisällössä. **Saavutettavuus** ja sen merkitys tutkielman ja näkövammaisuuden kontekstissa on määritelty tarkemmin neljännessä luvussa.

Näkövammaisuus (*visual impairment*) tarkoittaa osittaista näön heikkenemistä, väri-sokeutta tai täyttä sokeutta. [11] Joskus englanniksi käytetään myös akronyymiä VIP, *people with visual impairments* tai *visually impaired* [1, 11].

Ympäristöäännet, (*audio cue*), Yuan et al. määrittelevät tämän todellisen maailman ääniä vastaaviksi ympäristöääniksi, kuten "tuuli tai pelaajan askeleet" [11]. Nämä ovat ääniä, jollaisilla viestitään pelaajalle myös tavanomaisissa visuaalisissa peleissä. Joskus audio cue määritellään miksi tahansa äänivasteeksi, joka liittyy tiettyyn peliobjektiin ja on pelaajan tunnistettavissa. [4]

Ympäristöäänneen liittyy aina myös ääni-ikonille tyypillinen sidonnaisuus tietyn tyyppiin tapahtumaan pelissä ja päällimmäisenä erona on, että ympäristöäänille löytyy verrannaiskohta myös todellisesta maailmasta. Tässä työssä audio cuella tai ympäristöäänillä pyritään kuitenkin viittaamaan juuri ensimmäiseen määritelmään. Chain et al. määrittelemän tapauksen yhteydessä tässä tutkielmassa käytetään termiä ääni-ikoni (*auditory icon*) tai puhe, kulloisenkin tilanteen mukaan.

Ääni-ikoni (*auditory icon*) on lyhyt ääniefekti, joka liittyy tiettyyn peliobjektiin tai toimintaan ja on pelaajan tunnistettavissa [11, s. 91]. Toiminnaltaan samankaltainen edellä kuvattujen ympäristöäänien kanssa, mutta erona on, ettei ääni-ikonin ja sen pelissä kuvaaman ilmiön välille ole välttämättä vastinetta todellisessa maailmassa.

Aistinkorvaustyökalu (*SSD, sensory substitution device*) on järjestelmä, jonka avulla käyttäjän onnistuu käyttää sisältöä suoraan siirrettynä aistilta toiselle [7, s. 4, 8]. Esimerkiksi tutkielmassa käsitellyn EyeMusicin tapauksessa tämä tarkoittaa kuvan muuttamista musiikkisovituksiksi, jossa kunkin väristä pikseliä vastaa sitä vastaava ääni äänenkorkeus- ja aika-avaruudessa [7].

Ruudunlukuohjelma (*screen reader*) on tietokoneohjelma, joka muuttaa tekstisisältöä puhutuksi ääneksi tai pistekirjoitukseksi [15]. Tässä tutkielmassa keskitytään kuitenkin ainoastaan puhuttuun ääneen. Ruudunlukuohjelma toimii yleensä samassa ympäristössä tulkitsemansa sisällön kanssa.

Tilaääni (*sonar*) tarkoittaa käyttäjälle välitettyä ääntä, jossa relevantti informaatio on äänen suunta ja sen voimakkuus, joilla välitetään pelaajalle informaatiota peliympäristön elementtien paikasta ja suunnasta [11].

Sonifikaatio (*sonification*) merkitsee ääniavusteiden yhteydessä informaation esittämistä käyttäjälle muun kuin puhutun äänen avulla [11], kuten ääni-ikoneilla tai ympäristöääninä (ks. audio cue). Erilaisia tarkastelluissa toteutuksissa käytettyjä sonifikaatiomenetelmiä eritellään tarkemmin viidennessä luvussa.

Ääniavuste termillä viitataan tässä työssä yleisesti menetelmiin (*accessibility strategy* [11]) tai osajärjestelmiin, joilla visuaalinen informaatio voidaan joko sonifikoida tai muuttaa puhutuksi. Tämä kattaa useita erilaisia toteutuksia, joita on eritelty myöhemmin niitä käsittelevässä luvussa 5.

3 TUTKIMUSMENETELMÄ

Tämä tutkielma on tietojenkäsittelyn ja tietotekniikan kandiohjelman mukaisesti ensisijaisesti kirjallisuuskatsaus. Tutkielman tekoon käytettyä aineistoa on haettu Tampereen yliopiston Andor –kirjastopalvelun tietokannan kautta sekä tekniikan alan tietokannoista kuten IEEE Electronic Librarysta ja monialaisemmasta tietokannasta SpringerLinkin julkaisujen tietokannasta. Alla on esitelty hakuihin ensisijaisesti käytetyt hakulausekkeet.

(games OR "video games") AND accessibility AND (audio OR "audio design") AND sonification

(games OR "video games") AND accessibility AND (audio OR "audio design") AND sonification AND "visual impairment" AND "game accessibility"

Tämän lisäksi hakutuloksia rajattiin tuloksiin, jotka ovat saatavilla verkossa ja toisaalta open access -julkaisuina.

Näillä hakulausekkeilla tulokset tietokannoista rajautuivat noin 30:een tulokseen, joista tutkielmaan on valittu osuvimmat lähteiden tiivistelmien ja yhteenvetojen pohjalta.

Myöhemmässä vaiheessa tutkimusta lähteet täydentyivät myös aiemmin löytyneiden lähteiden lähdeluetteloa tarkastelemalla ja näin löytyi joitakin aiempia pohjatutkimuksia aihepiiristä. Aihepiirin rajauksen keskittyessä näkövammaisuuteen liittyvään saavutettavuuteen oli kuitenkin monilta kohdin mielekkäämpää valita uudempia tutkimuksia, sillä niiden pohjana olevat vanhemmat tutkimukset käsittelivät pelien saavutettavuutta laajemmin.

Varsinaista rajaamista julkaisujen julkaisuajan perusteella ei ollut mielekasta tehdä, sillä pelien saavutettavuus on hyvin uusi aihe eikä siihen liittyvää tutkimusta juurikaan löydy ennen 2000-luvun alkua. Toisaalta tutkimuksia viime vuosikymmenen ajalta löytyi kiitettävästi, eikä aihepiirin rajaukselle uudestaan sen puitteissa tullut tarvetta.

Kaikkiaan tutkielmaan valikoitui 15 lähdejulkaisua. Näistä 8 on vertaisarvioituja konferenssijulkaisuja. Tieteellisten julkaisujen lisäksi lähteeksi valikoitui tilastojen tarkistamista ja esimerkkejä varten joitakin artikkeleja myös pelialaan keskittyivistä julkaistuista, kuten esimerkkitapaus saavutettavasta pelistä peli- ja pelikonsolivalmistaja Sony:n kotisivuilta [13]. Tämän lisäksi mukana on tilastoja esimerkiksi konsultaatiota ja asiakastutkimusta tekevältä Newzoolta [10]. Internetsisältöihin vertaamista varten käytettiin myös niitä varten luotuja standardeja ja suosituksia [14, 15].

4 SAAVUTETTAVUUS

Tässä luvussa on tarkasteltu saavutettavuuden käsitettä sikäli, miten se yleisesti on määritelty digitaalisten sisältöjen kannalta. Lisäksi tässä luvussa on selvitetty käsitellyn aihepiirin rajauksia ja tehdyn tutkimuksen rajoitteita kandidaatintyölle asetetun työmäärän ja aikataulun puitteissa.

4.1 Saavutettavuuden määritelmä

Laajemmin **saavutettavuus** (*accessibility*) termillä ohjelmistojen ja etenkin verkkosisältöjen kehityksessä tarkoitetaan sekä ohjelmistojen että niiden sisältöjen käytön mahdollistamista käyttäjille, joilla jokin vamma (*disability*) haittaa käyttöä. Toisaalta saavutettavuus tarkoittaa myös mahdollisuuksia operoida laitteita, joilla ohjelmistoja käytetään. Mainittuihin vammoihin lukeutuvat aisteihin liittyvä vammautuminen, kuten näön heikkeneminen tai sokeus, kuulonalenema ja täysi kuurous. Toisaalta kyse voi olla esimerkiksi neurologisista vammoista tai oppimisvaikeuksista. [15] Tässä tutkielmassa keskitytään näkökykyyn ja sen puuttumiseen liittyvään saavutettavuuteen.

Saavutettavuuden kannalta onkin olennaista luoda työkaluja, joilla voidaan vastata eri ryhmien erityistarpeisiin ja mahdollistaa digitaalisten järjestelmien käyttö näistä tarpeista huolimatta. Tämän lisäksi olennaista on sisällyttää saavutettavuuden tarkastelu itse järjestelmien kehitysprosessiin, jotta käyttöä avustavien työkalujen integrointi olisi mahdollisimman helppoa ja tarve erillisille työkaluille mahdollisimman vähäinen. [1]

4.2 Saavutettavuus näkövammaisille

Yuan et al. [11] määrittelee järjestelmien käyttöön ja siihen liittyvien ongelmien muodostumiseen kolme vaihetta: järjestelmän tilasta syntyy vaste käyttäjälle, joka sitten valitsee vasteeseen sopivan toiminnan ja syöttää sen järjestelmälle. Tämä muuttaa järjestelmän tilaa ja aloittaa syklin alusta. Näkövammaisten (*visually impaired*) ongelmat järjestelmien käytössä liittyvät yleensä kahteen ensimmäiseen, joissa toisen syynä on ensimmäinen: Näkövammaisen käyttäjä ei kykene tulkitsemaan graafiseen toteutukseen perustuvaa käyttöliittymää eikä siten kykene valitsemaan vasteeseen sopivaa seuraavaa toimintoa. [11] Näkökyvyn puute saattaa aiheuttaa ongelmia toisessa vaiheessa myös siksi, että käyttäjällä on hankaluuksia käyttää tietyn tyyppisiä syöttölaitteita, kuten mobiililaitteita [2]. Tämän tutkielman puitteissa perehdytään kuitenkin ainoastaan syklin ensimmäiseen vaiheeseen.

Ratkaisuna järjestelmän vasteeseen liittyvään ongelmaan on toteuttaa vaihtoehtoisia käyttöliittymiä tai aistinkorvaustyökaluja, joiden avulla käyttö onnistuu ilman näköaistia. Tällöin tarvitaan keino korvata graafisesti esitetty data toisille aisteille sopivilla keinoilla, yleensä äänellä, tuntoaistimuksille soveltuvalla värinällä tai näiden yhdistelmällä [11].

Tämä kandidaatintyö tutkii ainoastaan näkövammaisten avuksi kehitettyjä työkaluja ja näistä vain niitä, joiden toiminta perustuu näköaistimuksen korvaamiseen äänellä eikä esimerkiksi motorisilla värähtelyillä. Toisaalta tutkielmassa ei perehdytä tilanteisiin, joissa käyttäjän näkövamma on niin lievä, että hän kykenee käyttämään graafista käyttöliittymää esimerkiksi suurempien tekstifonttien, mukautetun kontrastin tai värisokeutta auttavien värinsiirrosten avulla. [11]

Ohjelmistoista tarkastelu keskittyy ainoastaan peleihin ja käsittelee muita digitaalisia järjestelmiä vain niiltä osin, kuin niiden saavutettavuusstandardeja, kuten WCAG [15] on hyödynnetty pelien suunnittelussa tai avusteiden toteutuksessa. Toisaalta mahdollisuuksia esimerkiksi puhutun selitteen lokalisoimista eri kieliä puhuville pelaajille ei ole tarkasteltu tässä tutkielmassa. [6]

5 ÄÄNIAVUSTEET PELIEN SAAVUTETTAVUUDESSA

Tässä luvussa on eritelty erinäisiä toteutuksia, joiden avulla peleistä voidaan tehdä saavutettavampia näkövammaisille käyttäjille. Nämä toteutukset on luokiteltu kolmeen kategoriaan niiden toteutukseen liittyvien ominaisuuksien mukaan sekä viiteen kategoriaan sen perusteella millaista informaatiota ne pelistä tarjoavat käyttäjälle.

Tämän jälkeen toisessa alaluvussa käydään läpi ongelmia, joita eri toteutuksiin ja niiden sisällyttämiseen liittyy. Myös tässä on edetty ensimmäisessä alaluvussa määriteltyjen kategorioiden mukaan ja tarkasteltu eroja eri toteutuksiin liittyvien ongelmien välillä.

5.1 Toteutuksien jaottelu

Näkövammaisten pelaamisen avuksi löytyviä järjestelmiä, joita tässä tutkielmassa tarkastellaan, voidaan jaotella peliin integroimiseen käytetyn toteutuksen mukaan. Kukaan tapaan liittyy tiettyjä sille ominaisia ongelmia [4, 7, 1], joita tarkastellaan myöhemmin toisessa alaluvussa. Tässä alaluvussa tarkastellaan avusteiden toiminnan rajapintojen sekä niiden käyttäjälle välittämän informaation eroja.

5.1.1 Jaottelu peliin integroitavan mukaan

Merkittävästi eroavia menetelmiä peliin integroimisessa on työssä tarkasteltujen ääniavusteiden toteutusten välillä kolme. Tässä alaluvussa tarkastellaan näiden menetelmien eroja. Esimerkkijärjestelmä kustakin integraatiomenetelmästä yhdessä lyhyen kuvauksen kanssa on esitetty taulukossa 1. Taulukon menetelmät on numeroitu ja niihin on viitattu tässä alaluvussa tätä numerointia käyttäen.

Avusteiden toteutus voidaan sisällyttää suoraan peliin ja luoda osajärjestelmänä itse peliin sen kehityksen yhteydessä kuten taulukon 1 tavassa 1.1. Näin on tehty esimerkiksi Agarwalin et al. tutkimukseen toteutetussa *Responsive Spatial Audio Cloud* -ohjelmistossa (*ReSac*) [1] sekä Hungry Cat -opetuspelissä [4]. *ReSac*-järjestelmä toimii rinnakkaisena renderöintinä pelin graafisen renderöinnin rinnalla, jolloin ääniavuste tuottaa informaatiota suoraan graafisiin elementteihin liitetystä metadatatista. Näin ääni voidaan muodostaa pelaajan katsellessa elementtejä. Agarwal et al. tutkimus osoittaa tämän toimivaksi ympäristön ja avaruudellisen (*spatial*) datan tulkinnassa. [1] Tähän kategoriaan kuuluvat Hungry Catin lisäksi myös muut niin kutsutut *audio-based*- ja *audio-only*-pelit,

joissa käyttöliittymä on rakennettu lähtökohtaisesti käytettäväksi kuuloaistin avulla. *Audio-based*-peleissä kuten Hungry Catissa on kuitenkin usein myös graafisesti toteutettu käyttöliittymä. [5]

Tapa 1.2 on toteuttaa pelille erillinen ääniavusteohjelma jotakin järjestelmän sisäistä rajapintaa käyttäen. Näin avusteohjelma kykenee tulkitsemaan pelin sisäisiä tapahtumia ja muuttamaan niitä ääni-ikoneiksi tai puhutuksi selitteeksi ilman suoraa integraatiota itse peliin. Tästä esimerkkinä on SoniFight [6], jonka toiminnan perustana on lukea dataa ajon aikana pelin käyttämästä muistista ja toistaa ääni-ikoneita määritettyjen arvojen, kuten pelaajan terveysten, muuttuessa. Toisaalta myös pelin tekstejä tulkitsevien näytönlukijoiden voidaan katsoa kuuluvan tällä tavoin toteutettuihin avusteisiin [15].

Taulukossa 1 esitetty vaihtoehto 1.3 on kokonaan pelistä erillinen, erillisellä laitteella toimiva ohjelmisto, kuten EyeMusic, joka muuttaa pelin graafisen näkymän kamerakuvan avulla suoraan äänisignaalksi. EyeMusicin tapauksessa ohjelmistoa voidaan käyttää esimerkiksi Android- tai iOS-käyttöjärjestelmää käyttävällä mobiililaitteella. [7]

Taulukko 1: Ääniavusteiden toteutukset integraatiotavan mukaan

| Ääniavusteiden integraatiotapa | Esimerkki tarkastellusta toteutuksesta |
|-----------------------------------|--|
| 1.1 Pelin osajärjestelmä | ReSac |
| 1.2 Rajapinta | SoniFight, näytönlukuohjelmat |
| 1.3 Erillinen laite ja ohjelmisto | EyeMusic |

5.1.2 Jaottelu ääni-informaatiotyypin mukaan

Toteutuksia voidaan jaotella eri näkökulmasta niiden käyttäjälleen välittämän äänidatan mukaan [11, s. 91]. Tässä alaluvussa on jaoteltu tarkasteltuja ääniavusteita välitetyn informaation tyyppin mukaan. Nämä informaatiotyypit on koottu esimerkkitoteutuksien kanssa taulukkoon 2. Taulukossa esitettyihin tyypeihin on viitattu niiden numerolla, kuten edellisessä alaluvussa.

Taulukossa 2 esitetty tapa 2.1 esittää ääni-informaatiota on muuttaa käyttäjälle välitettävä tieto puheeksi. Tämä onnistuu suoraviivaisesti esimerkiksi tekstisisällön kanssa, muiden digitaalisten sisältöjen kuten internetsivujen tapaan. [15] Puhuttua ääniavustetta voidaan käyttää myös muuten, vaikkapa ReSacin [1] kaltaisten järjestelmien kanssa, jolloin puhuttu kerronta vastaa pelaajan ympäristöä ja siinä esiintyviä elementtejä. Olenaisista kuitenkin on, että myös sen toiminta vastaa osittain ruudunlukuohjelmaa, sillä ReSacin pelimaailman elementtejä vastaava metadata sisältää myös tekstimuotoisia selityksiä objekteista, jotka muutetaan samaan tapaan käyttäjän kuultavaksi. [1] ReSac-renderöinti kuitenkin ottaa huomioon myös pelaajan etäisyyden kuvailtavasta kohteesta ja välittää tietoa yksityiskohtaisemmin sen mukaan, mitä lähempänä pelaaja kohteesta on grafiikan renderöinnissä käytettävän *Level of Detail* -menettelyn tapaan [1, s. 465].

Käyttäjälle toistettavan puheen ongelmana on kuitenkin se, että tekstien lukemiselle ja äänen toistamiselle on varattava aikaa, eikä niitä voida toistaa useaa kerralla. [5, 2] Tällöin myös käyttäjälle on jätettävä aikaa reagoida vasteeseen. [5] Tätä ongelmaa voidaan korjata käyttämällä niin sanottuja ääni-ikoneja, jotka vastaavat yksittäisiä objekteja tai tapahtumia pelissä ja ovat tarpeeksi toisistaan poikkeavia, jotta pelaaja tunnistaa eroavaisuudet ja osaa yhdistää äänet oikeisiin objekteihin. [6, 11] Tämä on taulukossa 2 tyyppinä 2.2. Tämän tavan ongelmana on kuitenkin se, että pelaajan on opeteltava tunnistamaan, mikä ääni on kullekin toiminnolle ominainen. Tätä voidaan auttaa sisällyttämällä peliin harjoitustila, jossa pelaaja pääsee tutustumaan eri ääni-ikoneihin vapaasti ja mahdollisesti sanallisen selitteen kanssa. [5]

Ääni-ikonien käyttämisen etuna on niiden reaaliaikaisuus ja pelaajan mahdollisuus oppimisen jälkeen reagoida niihin äkisti. Tätä voidaan hyödyntää esimerkiksi pelaaja vastaan pelaaja -tyyppisissä peleissä, joissa ei ole mahdollisuutta jättää riittävästi aikaa puhutun selitteen kuuntelemiselle ennen vastustajan seuraavaa toimintoa. [6]

Kolmas taulukkoon 2 kerätystä tyypeistä on ympäristöään 2.3. Sitä käytetään myös graafiseen käyttöliittymään nojaavissa peleissä viestimään pelaajalle ympäristön elementtien tilasta ja luomaan syvyyttä pelikokemukseen. Tämä saattaa auttaa esimerkiksi moninpelinä pelattavissa räiskintäpeleissä saavuttamaan kilpailuedun vastustajaan. [11]

Ääni-informaation tyyppi 2.4 on tilääni (*sonar*) [11], jota hyödynnetään myös muuten graafiseen käyttöliittymään nojaavissa peleissä välittämään avaruudellista informaatiota. Tiläänen avulla käyttäjä saa kuuloaistiaan käyttäen kuvan kolmiulotteisesta tilasta, kuten todellisessa maailmassa. Stereokuulokkeilla käyttäjä kuulee äänet kovempaa vasemmasta tai oikeasta kuulokkeesta sen mukaan, kummalla puolella äänen lähde peliympäristössä on. Vastaavasti ääni kuuluu voimakkaampana tai hiljaisempana sen mukaan, kuinka kaukana käyttäjä on äänilähteestä. [4]

Pohjimmiltaan tiläänen käyttäminen pohjaa samalla ääni-ikonien ja ympäristöäänien käyttöön. Tämän lisäksi myös puhutun selitteen yhdistäminen tilääneen on mahdollista saavutettavuuden parantamiseksi. [4, 1] Tällöin ääni-ikoneita toistetaan kutakin objektia vastaavasti, kuten muissa tapauksissa [6], mutta niiden toistamiseen lisätään suunnan ja etäisyyden vaikutus edellä mainitusti [4]. Avaruudellisissa peleissä ympäristöäännet toistetaan usein tiläänenä myös graafisten pelien kohdalla [11], jos järjestelmäedellytykset tämän sallivat [2, 4].

EyeMusicin tapauksessa järjestelmä on taulukossa 2 kuvatuksi eriytetty omaksi tyyppiin 2.5, koska tällainen kamerakuvaan pohjautuva järjestelmä välittää muista merkittävästi poikkeavaa informaatiota. Siinä, missä muihin rajapintoihin toteutetut avusteet [4,

7, 1] perustuvat – näytönlukijaa lukuun ottamatta – pelidatan abstraktioiden tai pelin sisäisten rakenteiden muuttamiseen käyttäjälle sopivaksi, aistinkorvaustyökalut (SSD) pyrkivät korvaamaan aistimuksen suoraan toisella [7, 8]. EyeMusic luo resoluutioltaan pienemmäksi skaalattun kuvan pikseleistä musiikkisovituksen, jossa nuottien sävelkorkeudet ja soittimet vastaavat eri värejä ja paikkoja kuvassa. Nuotin äänenvoimakkuus taas kuvastaa pikselin kirkkautta. [7]

Taulukko 2: Ääniavusteiden toteutukset välitetyn informaation tyypin mukaan

| Välitetyn Ääni-informaation tyyppi | Tyyppiä hyödyntäviä ääniavusteita |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 2.1 Puhe | SoniFight, Hungry Cat, ReSac |
| 2.2 Ääni-ikoni | SoniFight, Hungry Cat, ReSac |
| 2.3 Ympäristöääni | Hungry Cat |
| 2.4 Tilaääni | Hungry Cat, ReSac |
| 2.5 Musiikkisovitus | EyeMusic |

EyeMusicin kaltainen toteutus on viestintänsä näkökulmasta poikkeava ja hyvin sidonnainen toteutukseensa muihin taulukkoon kerättyihin kategorioihin nähden, mutta tämän tutkielman puitteissa on mielekkäintä luokitella se omaksi kategoriakseen.

5.2 Toteutuksien ongelmat

Tässä alaluvussa käsitellään luvussa 5.1 tarkasteltuihin avustetoteutuksiin ja niiden peleihin integroimiseen liittyviä ongelmia. Eri toteutustapoja käsittelevässä alaluvussa 5.1.1 tarkastelluista taulukossa 1 esitetyistä luokista kahden ensimmäisen – 1.1 suoraan peliin rakennetun ja 1.2 ohjelmistorajapintoihin perustuvan avusteen ongelmana on itse integraatio.

Suoran toteutuksen 1.1 kohdalla avuste on toteutettava osana itse ohjelmaa, mikä voi vaatia erillisten osajärjestelmien suunnittelua ja toteuttamista, kuten ReSacin kanssa on tehty [1]. Myös pelistä erillisenä toteutetulle ohjelmalle 1.2, joka lukee tietonsa suoraan pelistä, voi olla tarve toteuttaa verkkoselainten suunnittelussa käytetyn [14] kaltainen rajapinta, joka mahdollistaa puheen tai ääni-ikoneiden toistamisen. Tämä vaatii työtä pelikehittäjältä, jolloin asian huomioiminen riippuu myös pelin rahoituksesta ja tuotannon suunnittelulinjoista [11, s. 97].

Toisaalta pelinkehityksestä irrallaan toteutettu rajapinta, kuten SoniFight [6], joka antaa käyttäjille mahdollisuuksia luoda konfiguraatiot eri peleille, voi olla muuten ongelmallinen. Varsinkin pelaaja vastaan pelaaja –tyylisten pelien kohdalla pelinkehittäjä voi katsoa pelin käyttämää muistia lukevan – ja mahdollisesti muokkaavan – ohjelman huijausohjelmistoksi, joka rikkoo pelin loppukäyttäjäsopimusta [6, 12].

Myös ohjelman ajoympäristöjen rajoitteet voivat tulla ongelmaksi toteutukselle, joka tarvitsee muistinlukuun tarkoitettua rajapintaa. Tällainen ohjelma tarvitsee tunnetun keinon lukea muistiosoitteita, mikä on mahdollista vain tietyille järjestelmille [6]. Esimerkiksi SoniFightin tapauksessa on käytetty Cheat Engine -ohjelmaa [6], jolla käyttäjä kykenee tarkastelemaan järjestelmän muistiosoitteita [12]. Näistä voidaan tutkimalla etsiä kullekin pelille ominaiset osoitteet tiettyjen arvojen tallettamiseen, minkä avulla voidaan luoda konfiguraatioprofiili, jolla avusteohjelma ajonsa aikana osaa etsiä tarkkailtavia arvoja oikeista paikoista [6].

Erillisellä laitteella toimivan avusteen 1.3 ongelmat ovat osittain samankaltaisia kuin rajapintatoteutuksella 1.2. Myös mobiililaitteen kameraa käyttävä ohjelmisto vaatii omalaisensa rajapinnan, joka EyeMusicin kohdalla on pelin graafinen renderöinti. EyeMusic tekee kustakin kuvasta skaalauksen pienempään resoluutioon, josta se tekee musiikki-sovituksen edellisessä alaluvussa kuvatulla tavalla [6]. Täten esimerkiksi ylimääräiset käyttöliittymä- tai tekstielementit saattavat haitata skaalausta, jos tarkoituksena on kuvata esimerkiksi pelissä näkyvää tilaa.

Erilaisten informaatiotyyppien kohdalla ongelmat kohdistuvat esimerkiksi niiden aikasidonnaisuuteen [5, 2]. Kuten aiemmin alaluvussa 5.1.2 todettiin, on käyttäjälle jätettävä aikaa kuunnella puhuttu selite ja reagoida siihen. Garcia et al. kokoama ohjeistus suosittelee välttämään myös tilanteita, joissa ääni-ikoneita toistettaisiin useita yhtä aikaa. Toisaalta toisin kuin koko ajan näkyvillä oleva grafiikka, ääni on myös voitava erikseen toistaa uudelleen tarvittaessa, jos käyttäjä ei esimerkiksi kuule sitä kunnolla. [5] Puhutun selitteen tilalla voidaan kuitenkin käyttää ääni-ikoneita tilanteissa, jotka vaativat reaaliaikaisuutta. Tässä ikonille on kuitenkin määriteltävä tunnistettava valmis toiminto tai objekti, jota se edustaa, eikä sillä voida kuvata sisältöä yhtä laajasti kuin puhutulla selitteellä. Toisaalta pelaaja vastaan pelaaja -tilanteissa esimerkiksi vastapelaajan toimintoja kuvastavien äänien uudelleen toistaminen taistelupeleissä ei välttämättä ole mielekästä tilanteen muuttuessa nopeasti. [6]

Kuten edellä on mainittu, ääni-ikonit puolestaan tarvitsevat tavan selittää kunkin merkityksen, että pelaajan on mahdollista tunnistaa kukin vastaisuudessa [5, 11]. Tämän lisäksi on kutakin ikonia vastaava objekti tai toiminto myös määriteltävä erikseen, eikä sillä voi kuvata informaatiota yhtä laaja-alaisesti kuin puhutulla selitteellä.

Ympäristöäänien käytölle varsinaisia ongelmia ei ole, sillä niiden toistaminen on usein sisällytetty jo alkuperäiseen peliin, jos sille on edellytyksiä [11]. Toisaalta pelin omia ympäristöääniiä toistavan järjestelmän käyttö ylimääräisille ympäristöäänille on mahdollista

vain, jos myös avustejärjestelmä on toteutettu osana peliä. Ylimääräisten ympäristöäänien käyttö ääni-ikonien tapaan pelin lisänä on kuitenkin mahdollista ulkoisten avustejärjestelmien kautta [6], mutta ei välttämättä tarpeellista, jos olennaiset äänet ovat jo osana alkuperäistä peliä.

Tilaaänen käytön ongelmana on tarve laitteistolle, jolla voidaan toistaa stereoääntä. [4] Stereoäänien käyttäminen ei myöskään ole mielekästä peleissä, joissa pelaaja ei kykene kääntymään tai liikkumaan ympäristössä. Sen etuna kuitenkin on, että sitä voidaan käyttää yhdessä muiden informaatiotyyppien kanssa [1]. Toisaalta, kuten ympäristöääniä, myös tilaaäntä varten toteutus on valmiina peleissä, joissa sen käytölle on edellytyksiä, sillä tällöin sitä käytetään yleensä myös alkuperäisten äänien toistamiseen. Alkuperäisen toteutuksen hyödyntäminen vaatii kuitenkin, että myös ääniavuste on toteutettu osana peliä.

Myös kuvasyötettä lukevilla ohjelmilla on ongelmansa. Esimerkiksi yksityiskohtaisten käyttöliittymäelementtien tai pienen tekstin kuvaaminen suoraan EyeMusicilla ei ole mielekästä, sillä sen sonifikoima kuva on kooltaan vain 24 kertaa 40 pikseliä. Toinen huomioitava seikka on ohjelman käyttö muun äänivasteen kanssa. Jatkuva kuvan sonifikoiminen esimerkiksi EyeMusicin avulla kerran kahdessa tai kolmessa sekunnissa ei jätä aikaa toistaa muita pelin ääniä tästä erillään. [7] Tätä olisi kuitenkin mahdollista kiertää tauottamalla kuvan sonifikoiminen, kun muita ääniä toistetaan.

6 KESKUSTELU

Näkövammaisille tarkoitettuja työkaluja pelaamisen avuksi löytyi tutkielmaa varten useita. Tekijänä olin omat pelaamiskokemukseni huomioiden yllätynyt siitä, että saavutettavuutta on tutkittu myös pelien näkökulmasta laajasti ja sen pohjustus on alkanut jo 2000-luvun alkupuolella [11]. Omakohtaiset kokemukset vajaan kahden vuosikymmenen ajalta rajaisivat pelien saavutettavuustoteutukset lähinnä ruudunlukijoihin ja värISOkeille toteutettuihin värisiirtymiin käyttöliittymissä. Sinällään tämän tutkielman teko selitti myös näitä kokemuksia käytännön toteutuksien puutteesta.

Kandidaatintyön laajuuden puitteissa lopullinen tutkielmaan käsiteltyjen lähteiden määrä on rajallinen ja tarkastelun näkökulma tarkkaan rajattu. Tämän takia monia seikkoja ja näkökulmia aiheeseen jää tässä käsittelemättä, kuten tutkielman neljännessä luvussa todettiin. Siten myös tutkielman tulokset jäävät väjäämättä puutteellisiksi.

Kaikki tutkielmassa tarkastellut rajapintoihin pohjautuvat tai peliin itseensä toteutetut ääniavusteet ovat *proof-of-concept*-tyylinen toteutuksia [4, 7, 1], jotka on tehty niitä käsitteleviä tutkimuksia varten. Ainoa erillinen ohjelma EyeMusic puolestaan on alun perin tarkoitettu fyysisen ympäristön tarkasteluun, vaikka Maidenbaum et al. tutkimus osoittaa sen käytön myös avaruudellisten pelien tulkinnessa toimivaksi [7].

Toisaalta esimerkiksi Hungry Cat on itsessään enemmän audio-based-peli, joka on tehty ääniavusteita varten, eikä niinkään itse ääniavuste pelin osana. Sitä on kuitenkin tarkasteltu tässä tutkielmassa, sillä sen ääniavuste tarjoaa tarkastelukohteen ympäristöään hyödyntämisestä. [4] Joidenkin tarkasteltujen ääniavusteiden kohdalla ympäristöäänien käyttö on luultavasti sivuutettu, koska se toteutetaan usein osaksi graafisia pelejä myös ilman saavutettavuuden tavoittelua [11].

Eri toteutuksilla on omat vahvuutensa ja omat ongelmansa, jotka vaikuttavat niiden käyttömahdollisuuksiin pelien kehityksessä. Toisaalta erityyppisten ääni-informaatioiden yhdisteleminen mahdollistaa eri lähestymistapoja riippuen siitä, miten informaatiota halutaan tai joudutaan käyttäjälle viestimään esimerkiksi reaaliaikaisuuden [6] tai pelin maailman sallimien ulottuvuuksien [6, 4, 7] puitteissa. Myös erillisten avustetoteutusten yhdisteleminen on mahdollista. Esimerkiksi EyeMusicin tapainen kuvan sonifikaatioväline voidaan yhdistää luvun 5.1.1 taulukossa 1 esitetyn osajärjestelmän 1.1 tai rajapinnan 1.2 toteutusta käyttävään avusteeseen, kunhan luvussa 5.2 esitetyt ongelmat otetaan huomioon.

Pohja pelien saavutettavuuden suunnitteluun on käsiteltyjen lähteiden perusteella olemassa. Niin löytyy myös pyrkimyksiä luoda yleispätevä ohjeistus pelien saavutettavuuden tarkasteluun, kuten Yuan et al., Garcia et al. ja Araújo et al. tutkimukset osoittavat [5, 2, 11]. Mainitut ohjeistukset kuitenkin perustuvat pitkälti suoraan muiden digitaalisten sisältöjen ohjeisiin, kuten internetsisältöjen WCAG-standardiin [15] ja niiden käsitykseen saavutettavuudesta [11, s. 82]. Lisäksi tarkastellut tutkimukset ovat kaikki viimeisen kymmenen vuoden sisältä, ja vaikka niiden lähdeluettelosta löytyy aiempia tutkimuksia, ovat myös ne vasta 2000-luvun alkupuolelta. Pelien saavutettavuus vaikuttaa silti olevan edelleen uusi käsite verrattuna esimerkiksi internetsisältöihin, jotka on kenties nähty puhtaasti viihdekäyttöön suunnattuja pelejä tarpeellisempina. Toisaalta verkkosisältöjen pohja on ehkä muuttunut käyttötavoiltaan vähemmän kuin pelit, jotka ovat kehittyneet nykyiseen muotoonsa vasta myöhemmin. Tästä kielii myös WCAG, jonka standardointi alkoi jo vuonna 1999 [15] ja vaikka yrityksiä luoda vastaava standardointi peleille on ollut, olisi niiden noudattaminen käytännössä hyvin tilannekohtaista [11 s. 82].

Saavutettavuusasetuksien sisällyttämisestä AAA-peleihin on kuitenkin viime vuosilta esimerkkejä, jotka toivoakseni merkitsevät saavutettavuuden saavan vastaisuudessa huomiota myös pelien suunnittelussa. Esimerkkinä tästä on Sonyn Playstation-konsolille vuonna 2020 julkaisema *The Last of Us Part II* -peli, jossa on peliin sisäänrakennetusti hyödynnetty tässä käsitellyistä informaationvälitysmenetelmistä niin tekstistä puheeksi -toimintoja kuin ääni-ikoneita ja tilaääntä. Tämän lisäksi peli sisältää kaikkiaan yli 60 saavutettavuusasetusta, joita voidaan säätää yksittäin [13]. Usein laajaan saavutettavuuden pyrkiminen voi kuitenkin hidastaa pelin tuotantoa ja viedä aikaa muulta kehitykseltä. Tämä puolestaan saattaa heikentää pelin kilpailuasemaa markkinoilla huolimatta saavutettavuuden tuomista lisäkäyttäjistä. [11, s. 97]

Yhtenä kehityssuuntana laajempaan saavutettavuuden huomioimiseen olisi myös SoniFightin toteutuksen kaltaisten rajapintojen [6] yleistyminen ja sitä kautta harrasteryhmien syntyminen rajapintojen ympärille. Tällöin käyttäjät ja pelien muokkausta harrastavat voisivat luoda ääniavustepaketteja tai -konfiguraatioita pelejä varten. Harrastelijoiden hoitaessa tämän pelinkehittäjien projektikohtaiset suunnittelulinjat eivät vaikuttaisi avusteiden toteuttamiseen samalla tavalla. Hintana tällä on kuitenkin työ, jota tarvitaan erillisten konfiguraatioiden tekemiseen jokaista peliä varten, mikä sinällään ei kuitenkaan ole varsinainen ongelma tällaisten työkalujen kehitykselle ja yleistymiselle [6].

Hankalampi ongelma käyttäjälähtöiselle avusteisuudelle ovat luvussa 5.2 käsitellyt lopukäyttäjäsopimuksen rajoitteet, joiden puitteissa käyttäjien voi olla laitonta käyttää Cheat Enginen tai SoniFightin kaltaisia ohjelmia apunaan [6, 12]. Tämä nousee ongelmaksi etenkin verkkopelien kohdalla, joiden huijauksenesto-ohjelmat saattavat antaa

käyttäjälle automaattisen porttikiellon peliin havaitessaan ohjelman, jonka ne tulkitsevat uhaksi.

Yksi ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla jonkinlainen yhdistelmä luvussa 5.1.1 taulukossa 1 esitettyjen integraatiomenetelmien 1.1 ja 1.2 välillä, jossa pelinkehittäjä toteuttaa rajapinnan, jota käyttäjät voisivat hyödyntää. Tällöin kehittäjä kykenisi määrittelemään tarkemmin, mitä käyttäjä kykenee rajapinnan puitteissa tekemään. Ongelmana kuitenkin on, että rajapintaa olisi edelleen mahdollista käyttää myös tarkoituksiin, jotka luovat pelissä epäreilun kilpailuedun, nyt vain ilman käyttöehtosopimuksen rikkomista. Tällaisen rajapinnan toteuttaminen ei välttämättä myöskään olisi kehittäjälle vähätöisempi kuin valmiin osajärjestelmän kehittäminen ääniavusteita varten.

7 YHTEENVETO

Tämän kirjallisuuskatsauksena toteutetun tutkielman tarkoituksena oli selvittää, **miten näkövammaisille tarkoitettuja ääniavusteita voidaan integroida digitaalisiin peleihin ja mitä ongelmia tähän liittyy.**

Tutkielmaan käsitellystä kirjallisuudesta löytyi useita esimerkkejä ääniavusteratkaisuista, joilla voidaan muuttaa joko kuvaa suoraan ääneksi [7] tai korvata muuten graafisen sisällön informaatio äänellä [6, 1]. Tutkielmaa tehdessä osoittautui kuitenkin, että suuri osa näistä toteutuksista on ennemminkin kutakin tutkimusta varten toteutettuja prototyyppejä kuin aktiivisesti käytössä olevia työkaluja. Kandidaatintutkielman rajoitteista johtuen tarkasteltua kirjallisuutta on jouduttu karsimaan ja tutkielmaan käytetty aika rajallinen, joten tutkielman tulokset jäävät väjäämättä vajavaisiksi.

Lisäksi ilmeni, että vaikka peleille on koottu ohjeistuksia saavutettavuuden [5, 2, 11] tavoittelemiseen, eivät nämä ohjeet ole vakiintuneet alalla internetsisältöjen standardien [5] tapaan. Myös tämä vaikuttaa ääniavusteiden sisällyttämiseen peleihin käytännössä. Viidennessä luvussa esitettyjen ääniavusteiden peleihin integroimiseen käytetyillä menetelmillä on kullakin ongelmansa. Tarkastelu kuitenkin osoitti, että yhdistelemällä eri menetelmiä peleihin integroimiseen ja informaation välittämiseen on mahdollista ratkaista joitakin näistä ongelmista.

Osin käytännön sisällyttämistä peleihin hankaloittanee myös pelituotantojen budjetointi, etenkin, kun saavutettavuuden parantamiseen vaadittava työmäärä voi olla vaikeasti arvioitavissa. Toisaalta haasteena on puute standardoidusta ohjeistuksesta ja se, että pelit ovat esimerkiksi internetsisältöihin verrattuna huomattavasti monimuotoisempia ja spesifimpiä [11]. Ehkä lisätutkimukselle olisikin sijaa siinä, miten jo toteutettuja menetelmiä voitaisiin hyödyntää mahdollisimman kustannustehokkaasti.

LÄHTEET

- [1] S. Agarwal, M. Swaminathan, S. Pareddy, T. Sawant, Video Gaming for the Vision Impaired, Proceedings of the 20th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, 2018, pp. 465–467. Saatavissa: <https://doi.org/10.1145/3234695.3241025>
- [2] M. C. C. Araújo, A. R. Façanha, T. G. R. Darin, J. Sánchez, R. M. C. Andrade, W. Viana, Mobile Audio Games Accessibility Evaluation for Users Who Are Blind, Universal Access in Human–Computer Interaction. Designing Novel Interactions, vol.10278, 2017, pp. 242–259, Springer International Publishing. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-3-319-58703-5_18
- [3] R. R. A. Bourne, S. R. Flaxman, T. Braithwaite et al. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis, The Lancet vol.5(9), 2017, Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30293-0)
- [4] C. Chai, B. T. Lau, Z. Pan, Hungry cat—A serious game for conveying spatial information to the visually impaired, Multimodal Technologies and Interaction, vol.3(1), 2019, pp. 12–. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/mti3010012>
- [5] F. E. Garcia, V. P. de Almeida Neris, Design Guidelines for Audio Games, Human-Computer Interaction. Applications and Services, vol.8005, Issue 2, 2013, pp. 229–238, Springer Berlin Heidelberg. Saatavissa: https://doi.org/10.1007/978-3-642-39262-7_26
- [6] A. Lansley, P. Vamplew, C. Foale, P. Smith, SoniFight: Software to Provide Additional Sonification Cues to Video Games for Visually Impaired Players, The Computer Games Journal, vol.7(2), 2018, pp. 115–130. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s40869-018-0059-6>
- [7] S. Maidenbaum, G. Buchs, S. Abboud, O. Lavi-Rotbain, A. Amedi, Perception of graphical virtual environments by blind users via sensory substitution, PloS One, vol.11(2), 2016, p.e0147501–e0147501. Saatavissa: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147501>
- [8] M. J. Proulx, D. J. Brown, A. Pasqualotto, P. Meijer, Multisensory perceptual learning and sensory substitution, Neuroscience and biobehavioral reviews 41, pp. 16–25, 2014, Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2012.11.017>
- [9] N. Ripley, “Comscore Reports Highest Ever Worldwide Box Office”, Comscore, 2017, Viitattu 17.12.2021, Saatavissa: <https://www.comscore.com/Insights/Press-Releases/2020/1/Comscore-Reports-Highest-Ever-Worldwide-Box-Office>
- [10] T. Wijman, “The World’s 2.7 Billion Gamers Will Spend \$159.3 Billion on Games in 2020; The Market Will Surpass \$200 Billion by 2023”, Newzoo, 2020, Viitattu 17.12.2021, Saatavissa: <https://newzoo.com/insights/articles/newzoo-games-market-numbers-revenues-and-audience-2020-2023/>

- [11] B. Yuan, E. Folmer, F. C. Harris Jr, Game accessibility: a survey, *Universal Access in the Information Society*, vol.10(1), 2011, pp. 81–100. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10209-010-0189-5>
- [12] Cheat Engine, memory scanner, 2021, Viitattu 17.12.2021, Saatavissa: <https://www.cheatengine.org/>
- [13] The Last of Us Part II -pelin esteettömyystoiminnot, Playstation, Viitattu 17.12.2021, Saatavissa: <https://www.playstation.com/fi-fi/games/the-last-of-us-part-ii/accessibility/>
- [14] Web Audio API, MDN Mozilla Developer Network, Viitattu 17.12.2021, Saatavissa: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/Web_Audio_API
- [15] Web Content Accessibility Guidelines 2.0, W3C World Wide Web Consortium Recommendation 11 December 2008, Viitattu 17.12.2021, Saatavissa: <http://www.w3.org/TR/2008/REC-WCAG20-20081211/>, Viimeisin versio: <http://www.w3.org/TR/WCAG20/>