

Patrik Lippojoki

**Proseduraalisen sisällöntuotannon käytön vaikutus
pelikokemukseen**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

28. huhtikuuta 2023

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Patrik Lippojoki

Yhteystiedot: patrik.m.lippojoki@jyu.fi

Ohjaaja: Tuomo Rossi

Työn nimi: Proseduraalisen sisällöntuotannon käytön vaikutus pelikokemukseen

Title in English: The effects of the use of procedural content generation on game experience

Työ: Kandidaatintutkielma

Opintosuunta: Tietotekniikka

Sivumäärä: 23+0

Tiivistelmä: Proseduraalisen sisällöntuotannon avulla peleihin kyetään luomaan sisältöä joko täysin tai osittain tietokoneen avulla ja sille keksitään koko ajan uusia käyttötapoja peliteollisuudessa. Proseduraalista sisällöntuotantoa käsittelevässä tutkimuksessa on ammottava aukko pelikokemuksen näkökulmasta tehdyssä tutkimuksessa. Tässä tutkielmassa tätä aukkoa pyritään tukkimaan pohtimalla proseduraalisen sisällöntuotannon vaikutuksia pelikokemukseen. Tutkielman tavoitteena on löytää proseduraalisen sisällöntuotannon käyttökohteet pelituotannossa sekä sen edut ja haitat pelikokemuksen kannalta.

Avainsanat: proseduraalinen sisällöntuotanto, pelit, pelikokemus, pelikehitys

Abstract: Procedural content generation allows fully or partially automated game content development and new methods to utilize it in the gaming industry are invented all the time. There's a huge gap in the research of procedural content generation from the perspective of game experience. This study tries to fill that gap by exploring the effects of the use of procedural content generation on game experience. The aim of this study is to find out what procedural content generation is used for in the gaming industry and what are its benefits and drawbacks on game experience.

Keywords: procedural content generation, games, game experience, game development

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	PROSEDURAALINEN SISÄLLÖNTUOTANTO OSANA PELINKEHITYSTÄ...	2
2.1	Proseduraalinen sisällöntuotanto	2
2.2	Pelisisältö	3
2.3	Proseduraalisen sisällöntuotannon tunnetuimpia sovelluksia	5
3	PELIKOKEMUS	7
3.1	Pelikokemuksen osa-alueet	7
3.1.1	Vuorovaikutus pelaajan näkökulmasta	7
3.1.2	Vuorovaikutus pelin näkökulmasta	8
3.2	Pelikokemuksen mittaaminen.....	10
4	PROSEDURAALINEN SISÄLLÖNTUOTANTO PELIKOKEMUKSEN LUO- MISESSA	11
4.1	Proseduraalisen sisällöntuotannon vahvuudet pelikokemuksen luomisessa	11
4.2	Proseduraalisen sisällöntuotannon heikkoudet pelikokemuksen luomisessa ...	13
5	YHTEENVETO.....	15
	LÄHTEET	17

1 Johdanto

Pelien koko ja niiden sisältämän sisällön määrä kasvaa vuosi vuodelta. Pelit sisältävät jo niin paljon sisältöä, ettei sitä enää kyetä luomaan pelkästään ihmisvoimin riittävän tehokkaasti. Tämä on aiheuttanut sen, että pelisisältöä pyritään tuottamaan jatkuvasti monipuolisemmin tietokoneen avulla.

Tällaista tietokoneavusteista sisällöntuotantoa kutsutaan proseduraaliseksi sisällöntuotannoksi. Suurin osa proseduraalisen sisällöntuotannon tutkimuksesta keskittyy sen metodien tutkimukseen, ja viime aikoina etenkin tekoälyä hyödyntäviä metodeja kohtaan on ollut paljon kiinnostusta. Vaikka proseduraalisen sisällöntuotannon suosio kasvaa jatkuvasti, pelisisällön luomisessa tietokoneavusteisesti on kuitenkin omat haasteensa.

Tässä tutkielmassa jatkuvasti kehittyvää proseduraalista sisällöntuotantoa tutkitaan pelikokemuksen näkökulmasta. Pelikokemus muodostuu pelaajan ja pelin vuorovaikutuksesta (Caroux ym. 2015). Tutkielman tavoitteena on tutkia proseduraalisesti tuotetun pelisisällön vaikutusta tähän vuorovaikutukseen ja löytää sekä vahvuuksia että heikkouksia tietokoneavusteisesta pelisisällöntuotannosta pelikokemuksen luomisessa. Onko proseduraalisen sisällöntuotannon käyttö vain keino pitää pelinkehitys budjetissa vai voidaanko sitä hyödyntämällä viedä pelikokemus pidemmälle kuin ihminen yksin kykenee?

Tutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Tutkielman toisessa luvussa perehdytään tarkemmin proseduraaliseen sisällöntuotantoon, siihen millaisen pelisisällön luomiseen se soveltuu ja esitellään sen konkreettisia käyttökohteita tunnetuissa peleissä. Luvussa kolme esitellään pelikokemuksen osa-alueet pelaajan ja pelin näkökulmista. Lisäksi luvussa esitellään pelikokemusta pelisisällön näkökulmasta mittaava pelikokemuksen inventaario (engl. *player experience inventory*) (Abeele ym. 2020). Neljännessä luvussa käsitellään löydökset proseduraalisen sisällöntuotannon käytön vaikutuksista pelikokemukseen ja viidennessä luvussa tehdään yhteenveto tutkimuksen havainnoista sekä pohditaan jatkotutkimustarpeita.

2 Proseduraalinen sisällöntuotanto osana pelinkehitystä

Proseduraalisen sisällöntuotannon avulla voidaan vastata kahteen peliteollisuuden haasteeseen: kuinka luoda realistinen ja uskottava ympäristö pelimaailmaan riittävän pienessä ajassa, ja kuinka kyetään pitämään projekti budjetissa pelien vaatiessa enemmän ja enemmän sisältöä (Freiknecht ja Effelsberg 2017). Tietokoneen avulla peleihin kyetään luomaan suuri määrä sisältöä lyhyessä ajassa, mikä auttaa pelinkehittäjiä säästämään aikaa ja resursseja.

2.1 Proseduraalinen sisällöntuotanto

Proseduraalinen sisällöntuotanto on digitaalisen sisällön luomista algoritmien avulla. Sitä voitaisiin yksinkertaisimmillaan verrata esimerkiksi kahden muuttujan yhtälöön. Kun yhtälölle annetaan eri $x:n$ ja $y:n$ arvoja, saadaan vaihteleva tulos. Proseduraalinen sisällöntuotanto toimii samalla tavoin. Sisällöntuotantoa varten luodulle algoritmilta annetaan joitakin parametreja, joiden avulla voidaan tuottaa loputon määrä erilaista sisältöä. Tietokoneen kyky luoda suuri määrä sisältöä helposti aiheuttaa kuitenkin myös ongelmia. Proseduraalisen sisällöntuotannon avulla luodun sisällön täytyy olla sekä laadukasta että monimuotoista, ja useat sisällöntuotannon metodit joutuvat tekemään uhrauksia jommankumman suhteen (Gravina ym. 2019).

Proseduraaliseen sisällöntuotantoon liittyy yleensä kaksi vaihetta: itse sisällön luominen, ja luodun sisällön arvioiminen (Lai, Leymarie ja Latham 2022). Molemmat vaiheet voivat itsessään sisältää useita vaiheita, eikä yleispätevää metodia ole. Jokaista käyttötarkoitusta varten suunnitellaan omat sisällöntuotantoalgoritmit ja -metodit, toki olemassa olevia tekniikoita hyödyntäen. Sisällöntuotantoprosessi voidaan useissa metodeissa pitää täysin automaattisena tekemällä myös sisällön arvioiminen algoritmien avulla (hakuperustaiset metodit, engl. *search-based procedural content generation*) tai hyödyntämällä koneoppimista (engl. *machine learning*) tai vahvistusoppimista (engl. *reinforcement learning*) (Nam, Hsueh ja Ikeda 2022). Proseduraalinen sisällöntuotanto voi olla myös vain osittain automaattista, jolloin ihminen on mukana joko luomassa sisältöä tai arvioimassa sitä. Proseduraalisen sisällöntuotannon metodeihin ei ole tämän tutkielman kannalta olennaista perehtyä tarkemmin. Meto-

deja kokoavaa tutkimusta ovat tehneet esimerkiksi Zhang, Zhang ja Huang (2022) sekä Gao, Zhang ja Mi (2022).

2.2 Pelisisältö

Pelien koko ja niiden sisältö on kasvanut vuosi vuodelta. Sitä mukaa kun peleihin luodaan uudenlaista sisältöä, kehitetään myös tapoja, joilla uutta sisältöä voidaan luoda tietokoneavusteisesti. Tässä aluvuossa esitellään pelisisältö, jota voidaan luoda proseduraalisesti Hendrikin ym. (2013) kirjallisuuskatsauksen avulla. Hendrikx ym. (2013) jakavat pelisisällön kuuteen luokkaan. Sisältöluokkien rakenne on sellainen, että ylemmillä tasoilla oleva sisältö voidaan rakentaa alemmilla tasoilla olevien luokkien sisällöistä.

Perusyksiköt

Pelisisällön perusyksiköt ovat sisältöä, jonka kanssa pelaaja ei ole suoraan vuorovaikutuksessa. Perusyksiköiden päätyyppiä on Hendrikin ym. (2013) mukaan kuusi: tekstuurit, äänet, kasvillisuus, rakennukset, luonnon elementit ja pelin eri osien käyttäytyminen. Perusyksiköt ovat alimman tason sisältöä, ja niiden avulla rakennetaan ylemmän tason sisältöä, kuten esimerkiksi pelimaailmana toimiva saari. Sitä varten tarvitaan mm. vesi-, hiekka- ja kivitekstuurit, saaren sisältämä kasvillisuus, taivaan pilvet ja koko ympäristön äänet, jotka kaikki kuuluvat perusyksiköihin. Pelin perusyksiköiden laatu vaikuttaa huomattavasti sen realismiin, monimutkaisuuteen ja pelin sisäiseen tunnelmaan: näyttääkö sisältö uskottavalta, hajoavatko pelin palaset lyömällä ja kuulostaako peli aidolta?

Pelitila

Pelitila tarkoittaa koko ympäristöä, jossa pelataan. Se koostuu osittain perusyksiköistä, jotka voivat olla yksi-, kaksi- tai kolmiulotteisia. Pelitiloihin kuuluvat pelien sisältämät ulko- ja sisätilojen kartat, sekä vesistöt. Sisätilojen kartat ovat yleensä luolastoja tai kuvauksia huoneista, niitä yhdistävistä käytävistä ja esineiden sijainneista. Ulkotilojen kartat kuvaavat maaston rakenteet ja korkeudet. Koska pelit renderöivät sisä- ja ulkotilat eri tavoin, niiden välillä siirtyminen ei usein ole sulavaa, vaan niiden välille tarvitaan erillinen siirtymäalue tai portaali. Nitschen mukaan pelitilalla on tärkeä rooli dramaattisten kokemusten luomisessa

pelaajille (Nitsche 2008).

Pelijärjestelmät

Pelijärjestelmillä tarkoitetaan pelin osien luomista tai simuloimista käyttäen monimutkaista systeemiteoriaa tai mallinnusta. Pelijärjestelmiä ovat ekosysteemit, tieverkostot, kaupunkiympäristöt ja pelin hahmojen, kuten NPC:iden (*non-playable character*) käyttäytymismallit. Pelijärjestelmien käyttö peleissä luo niihin uskottavuutta ja tekee niistä siten kiinnostavampia. Pelikokemuksesta saadaan immersioivampi ja realistisempi, kun pelihahmot reagoivat pelaajan liikkeisiin.

Peliskenaariot

Peliskenaariot määräävät pelin tapahtumien kulun. Peliskenaariotyyppejä ovat pulmat, tarinat ja tasot. Tasojen luominen onkin yksi suosituimmista proseduraalisen sisällöntuotannon käyttötavoista peleissä, sillä lähes jokainen peli koostuu jonkinlaista tasoista. Sen sijaan suurin osa pelien sisältämisestä pulmista on ihmisen luomia. Suurin haaste niiden automaattiselle luomiselle on saada niistä tehtyä riittävän kiinnostavia suurelle joukolle. Pelin tarina on tärkeässä roolissa pelikokemuksen luomisessa ja proseduraalinen sisällöntuotanto mahdollistaa tarinan personoinnin pelaajan valintojen perusteella. Hyvän pelikokemuksen aikaansaaminen personoidun sisällön avulla vaatii monimutkaisen tekoälyn lisäämistä proseduraaliseen sisällöntuotantoon. Aiemmin mainittujen peliskenaariotyyppien lisäksi voidaan luoda myös kuvakäsikirjoituksia, joita tehdään yleensä auttamaan pelisuunnittelijaa, ja vain harvoin pelaajaa varten. Kuvakäsikirjoitukset ovat yleensä tapahtumia kuvaavia sarjakuvia.

Pelisuunnittelu

Pelisuunnitelma koostuu pelin sääntöjen, tavoitteiden ja esteettisten palojen luomisesta, ja siinä voidaan suunnitella millaista tahansa tässä alaluvussa esiteltyä sisältöä. Pelisuunnittelu on jaettu kahteen osaan. Ensimmäisellä osalla, pelin järjestelmän suunnittelulla, tarkoitetaan pelin ja sen sääntöjen sisältämien matemaattisten mallien suunnittelua. Esimerkiksi shakin kaltaisia symmetrisiä pelejä tehtäessä on haasteeksi osoittautunut saada proseduraalisesti luoduista säännöistä kaikille pelaajille tasapuoliset. Toinen osa, pelimaailman suunnittelu, tarkoittaa pelin ympäristön, tarinan ja teeman suunnittelua.

Johdettu sisältö

Hendrikx ym. (2013) määrittelevät johdetun sisällön sellaiseksi sisällöksi, joka syntyy luodun pelimaailman sivutuotteena. Tällaista sisältöä ovat esimerkiksi tulostaulukot, uutiset ja lähetykset televisiossa tai suoratoistopalvelussa. Johdettu sisältö syventää pelaajien immersiota pelimaailmaan, heidän päästessään kertomaan pelikokemuksistaan pelin sisällä tai ulkopuolella.

2.3 Proseduraalisen sisällöntuotannon tunnetuimpia sovelluksia

Ensimmäiset proseduraalista sisällöntuotantoa hyödyntäneet pelit käyttivät sitä ohittaakseen laitteiston aiheuttamia rajoituksia, kuten *Elite* (Acornsoft 1984), jossa 8 galaksia sisältävä pelimaailma luodaan proseduraalisesti jokaisen galaksin koostuessa 256 erilaisesta planeetasta (Thompson ja Watling 2015). Tuon aikaiset tietokoneet mahdollistivat 256 erilaisen ykkösten ja nollien yhdistelmän tallentamisen 8 bittiin. Nykyään laitteiston kehittymisen ansiosta esimerkiksi *Minecraft* (Mojang Studios 2011) -pelissä, jossa pelimaailman luomiseen käytettävät siemenet (engl. *world-seed*) tallennetaan 64 bittiin, on 18,4 kvintiljoonaa mahdollista erilaista pelimaailmaa (Rabii ja Cook 2023).

Rogue (Epyx 1980), jonka pohjalta syntyi *roguelike*-peligenre, perustuu proseduraaliseen tuottamiseen, ja jokaisella pelikerralla luodaan uusi pelimaailman kartta. Tämän ansiosta uudestaan pelaamiseen pohjautuvan genren pelit eivät käy tylsiksi ensimmäisen pelikerran jälkeen, vaan jokaisella tulevalla pelikerralla on edessä enemmän tai vähemmän uusi ja tuntematon peli. Esimerkiksi *Spelunky* (Mossmouth 2008) -pelissä jokaisella pelikerralla luodaan proseduraalisesti uudet tasot, jotka sisältävät uudet tavarat ja viholliset (Hendrikx ym. 2013).

Aiemmissä kappaleissa esitelty proseduraalinen sisällöntuottaminen on offline-tyyppistä, jossa algoritmi tuottaa sisällön ennen pelin pelaamisen aloittamista. Myöhemmin peleissä alettiin hyödyntämään myös pelaamisen aikaista, online-tyyppistä, proseduraalista tuottamista. Sen avulla *Left 4 Dead* (Valve 2008) -peliin luotiin "*AI Director*"-niminen systeemi ohjaamaan pelinaikaista sisällöntuotantoa. Sen avulla pystyttiin synnyttämään viholliset ja luomaan pelaajien ansaitsemat sotasaaliit näennäisesti sattumanvaraisesti pelaamisen aikana, sekä vaihtelevaan pelin tahtiin muokkaamalla syntyvien vihollisten määrää, jolloin jokaisel-

la pelikerralla pelikokemus on erilainen (Zhang, Zhang ja Huang 2022). Myös esimerkiksi Borderlands (Gearbox Software 2009) -pelisarjan peleissä käytetään proseduraalista sisällöntuotantoa luomaan jokaiselle viholliselta putoavalle tavaralle erilaiset ominaisuudet, antaen pelaajalle mahdollisuuden löytää suosikkinsa loputtomien mahdollisten tavarayhdistelmien joukosta (Thompson ja Watling 2015).

Proseduraalista sisällöntuotantoa hyödynnetään myös tunnetuissa RPG (role-playing game) -genren peleissä. Sen avulla peleihin, kuten The Witcher 3: Wild Hunt (CD Projekt RED 2015), Assassin's Creed Valhalla (Ubisoft 2020), sekä Cyberpunk 2077 (CD Projekt RED 2020), luodaan haarautuvia tarinoita, joiden avulla kyetään luomaan pelaajalle mahdollisuus vaikuttaa tehtävän tai tarinan kulkuun (de Lima, Feijó ja Furtado 2022). Myös esimerkiksi The Elder Scrolls V: Skyrim (Bethesda Softworks 2011) pelissä luodaan proseduraalisesti peliskenaarioita pelissä vallitsevien olosuhteiden pohjalta (Hendrikx ym. 2013). Proseduraalisen sisällöntuotannon avulla myös NPC-hahmoja voidaan luoda erilaisilla ominaisuuksilla, kuten Middle Earth: Shadow of Mordor (Warner Bros. Interactive Entertainment 2014) -pelissä, jossa vihollisista saadaan uniikkeja antamalla niille erilaisia luonteenpiirteitä (Pereira, Viana ja Toledo 2021).

3 Pelikokemus

Useissa hyvin menestyneissä peleissä pelikokemus painottuu johonkin tiettyyn pelikokemuksen osa-alueeseen. Esimerkiksi Dark Souls (Bandai Namco Entertainment 2011) -sarjan pelit on tarkoituksella luotu haastaviksi, ja pelin sisältämä tarina on tarkoituksella jätetty pienempään rooliin. Eri peligenreissä hyvä pelikokemus pyritään luomaan eri tavoin. Tämä huomataan myös Boylen ym. kirjallisuuskatsauksessa, jonka luvussa 3.7 käydään läpi syitä pelien pelaamiseen (Boyle ym. 2012). Luvussa esimerkiksi huomataan urheilutietämyksen innostavan pelaamaan urheilupelejä, ja todetaan ettei väkivallalla ole yhteyttä pelaamisen motivaatioon lukuisista väkivaltaa sisältävistä peleistä huolimatta.

Suuri osa varhaisesta pelitutkimuksesta keskittyy digitaalisten pelien negatiivisiin vaikutteisiin, mutta viimeaikoina on ollut myös kiinnostusta pelien tuomiin positiivisiin vaikutteisiin (Boyle ym. 2012). Pelialan kasvaessa on alettu tehdä tutkimusta myös pelikehityksen näkökulmasta. Sen sijaan, että tutkittaisiin millaisia vaikutuksia peleillä on pelaajiinsa, tutkitaankin sitä, millaisia keinoja peleissä käytetään pelaajaan vaikuttamiseksi; pelikokemusta.

3.1 Pelikokemuksen osa-alueet

Pelikokemus muodostuu pelaajan ja videopelin välisestä vuorovaikutuksesta (engl. *player-video game interaction*) (Caroux ym. 2015). Löytämästäni tähän vuorovaikutukseen keskittyvästä tutkimuksesta viimeisimmässä ja kattavimmassa Caroux ym. (2015) esittelevät pelaajan ja pelin välisen vuorovaikutuksen käsitteitä kirjallisuuskatsauksen muodossa. He tutkivat tämän vuorovaikutuksen osa-alueita sekä pelaajan että pelin näkökulmista.

3.1.1 Vuorovaikutus pelaajan näkökulmasta

Pelaajan näkökulmasta pelikokemus koostuu pelaajan sitoutuneisuudesta peliin ja pelin tuottamasta nautinnosta pelaajalle. Pelaajan sitoutuneisuudella peliin viitataan pelaajan osoittamaan motivaation tasoon pelin pelaamista kohtaan. Siihen vaikuttavia tekijöitä ovat immersio, pelaajan läsnäolo ja realismin havaitseminen pelissä (Caroux ym. 2015). Immersiolla tarkoitetaan psykologista tilaa, jolle on tyypillistä itsensä havaitseminen ympäröidyksi, sisäl-

lytetyksi ja vuorovaikutuksessa olevaksi ympäristön kanssa, ja joka tuottaa jatkuvan ärsykeiden ja kokemusten virran (Stanney ja Salvendy 1998). Pelaajan läsnäolo viittaa subjektiiviseen kokemukseen olla paikassa tai ympäristössä, vaikka on samanaikaisesti fyysisesti toisaalla (Stanney ja Salvendy 1998). Caroux ym. (2015) kertovat läsnäolon saaneen eniten huomiota pelitutkimuksessa. Realismin havaitsemisella tarkoitetaan pelaajan tuntemaa subjektiivista todellisuutta virtuaalimaailmaa kohtaan (Malliet 2006).

Pelikokemukseen liittyy usein nautintoa, joka aiheutuu pelisession aikana koetuista positiivisista reaktioista. Pelatessa koettuun nautintoon liittyy flow-tilaan pääsy ja pelatessa koetut tuntemukset (Caroux ym. 2015). Kirjallisuuskatsauksessa siteerataan tutkimusta flow-tilasta, jossa sitä kuvaillaan seuraavalla tavalla: flow-tila on euforinen keskittymisen ja tekemisen tila, jonka sanotaan olevan yksi miellyttävimmistä ja arvokkaimmista kokemuksista (Csikszentmihalyi ja Bose 1990). Muussa kuin pelaamisen kontekstissa tehdyt flow-tilan tutkimusmenetelmät todetaan sopimattomiksi pelikokemuksen aikaisen flow-tilan mittaamiseksi. Pelikokemusta tutkiva pelitutkimus on kehittänyt uudet menetöt sitä varten (Caroux ym. 2015).

3.1.2 Vuorovaikutus pelin näkökulmasta

Pelin näkökulmasta pelikokemukseen vaikuttavien tekijöiden kerrotaan olevan pelaajan syöte, pelin syöte pelaajalle, pelisisältö sekä muiden pelaajien kanssa tapahtuva vuorovaikutus (Caroux ym. 2015). Konkreettisenä esimerkkinä pelaajien todetaan kokevan flow-tilan voimakkaammin silloin, kun näytöllä on vähemmän informaatiota, sekä silloin, kun usean pelin toiminnon tekemiseksi käytetään vain muutamaa näppäintä.

Caroux ym. (2015) tutkimuksessa todetaan pelin sisältämien nähtävien ja kuultavien ärsykeiden vaikuttavan pelikokemukseen. Pelin näyttämän informaation, informaation järjestelytavan ja peliin valittujen värien lisäksi myös laitteiston, jolla pelataan, kerrotaan vaikuttavan pelikokemukseen. Suuremmalla näytöllä, nopeammalla ruudun päivityksellä ja paremmalla kuvan laadulla kerrotaan myös olevan positiivisia vaikutuksia pelaajien kokemaan pelikokemukseen. Äänien vaikutuksesta pelikokemukseen Caroux ym. (2015) löytävät vain vähän tutkimusta. He kuitenkin toteavat pelin sisältämien äänien olevan tärkeämpiä pelikokemuk-

sen kannalta kuin pelin sisältämä musiikki.

Pelikokemukseen vaikuttaa myös pelaajan tapa antaa peliin syötteitä (Caroux ym. 2015). Klassisimpana esimerkkinä annetaan nappeja ja ohjaussauvoja sisältävät peliohjaimet. Pelaajan tavalla pelin kontrolloimiseksi kerrotaan olevan vaikutusta pelaajan suorituskykyyn, sitoutuneisuuteen, läsnäoloon, havaittuun todellisuuteen ja nautintoon. Esimerkiksi kaikenlaisen liikepohjaisen pelin ohjaamisen todetaan vaikuttavan positiivisesti sitoutuneisuuteen pelissä (Bianchi-Berthouze 2013).

Pelikokemukseen vaikuttavan pelisisällön Caroux ym. (2015) jakavat kahteen kategoriaan: pelin luoma haaste ja pelin vaikeustaso, sekä pelin sisältämä tarina ja pelin toiminta (engl. *gameplay*). Haasteen kerrotaan olevan pelaajan ja videopelin välisen vuorovaikutuksen tärkein osa. Haasteen tasoon voidaan vaikuttaa muuttamalla pelin tehtävien vaikeustasoa tai muokkaamalla pelin reiluutta esimerkiksi muuttamalla pelissä vallitsevia sääntöjä. Löytämällä sopiva haasteen taso, voidaan ylläpitää pelaajan kokemaa motivaatiota pelaamiseen.

Caroux ym. (2015) toteavat aihetta käsittelevän tutkimuksen perusteella pelien sisältämän tarinan vaikuttavan pelaamisen aikana koettuun immersion ja läsnäolon tasoon. Tutkimuksissa huomataan esimerkiksi peleissä usein läsnäolevan fantasian (Choi ym. 2013), sekä monipuolisten mahdollisuuksien tutkia pelimaailmaa vaikuttavan pelikokemukseen positiivisesti (Balakrishnan ja Sundar 2011).

Moninpeleissä tapahtuvalla pelaajien välisellä vuorovaikutuksella on myös omat vaikutuksensa pelikokemukseen, ja Caroux ym. (2015) tutkivat paikallisesti ja verkossa tapahtuvaa moninpelaamista. He huomaavat pelikokemuksen paranevan, kun pelaaminen tapahtuu toisen tai toisten ihmisten ohjaamien pelihahmojen kanssa verrattuna tietokoneen ohjaamiin pelihahmoihin. Moninpeleissä tapahtuvaan pelikokemukseen huomataan myös vaikuttavan pelissä vallitsevat säännöt, esimerkiksi se, pelataanko pelissä yhdessä toisten kanssa, vai toisia vastaan.

3.2 Pelikokemuksen mittaaminen

Pelitutkimusta tehdään monista näkökulmista, ja siksi vuosien saatossa on kehitetty useita erilaisia pelien tutkimustapoja. *Games User Research* (GUR), vapaasti suomennettuna pelien käyttäjätutkimus, yhdistää ihmisen ja tietokoneen välisen vuorovaikutuksen (engl. *Human-Computer Interaction*, HCI) tutkimuksen ja pelikehityksen (Abeele ym. 2020). Siinä keskitytään pelikokemuksen tarkkailuun ja ymmärrykseen, ja sen tavoitteena on pyrkiä auttamaan pelikehityksessä, jotta pelit vastaisivat pelaajien odotuksia. Lisäksi peliyhtiöitä pyritään auttamaan tutkimuksen tuottamien oivallusten avulla.

Abeele ym. (2020) ovat yhdessä 64:n pelien käyttäjätutkimuksen ammattilaisen kanssa kehittäneet mitta-asteikon pelikokemuksen mittaamiseksi. He kutsuvat sitä pelikokemuksen inventaarioksi (engl. *player experience inventory*, PXI), ja sen avulla mitataan pelikokemusta tutkimalla toiminnallisia ja psykososiaalisia seurauksia. PXI:n avulla kyetään pelaajia haastattelemaan tutkimaan sitä, miten pelisuunnittelun aikaiset päätökset vaikuttavat pelikokemukseen.

PXI:ssä yhdistetään ammattilaisten tuomat näkemykset ja keinot-päämäärä -teoria (engl. *Means-End Theory*), jossa keskitytään seuraussuhteiden tutkimiseen. PXI:n mallissa tutkittavia seuraussuhteita ovat pelin ominaisuuksista syntyvät toiminnalliset ja psykososiaaliset seuraukset. PXI:ssä pelin toiminnallisia seurauksia tutkitaan arvioimalla pelin ohjaamisen helppoutta, pelin antamaa palautetta pelissä edistymisestä, audiovisuaalista viehätystä, tavoitteiden ja sääntöjen ymmärrystä ja haastetta. Psykososiaalisia seurauksia sen sijaan tutkitaan arvioimalla merkityksellisyyttä pelissä, immersiota, pelaamisen osaamista, kiinnostusta peliä kohtaan ja pelaamisen vapautta.

Luvussa 3.1 löydettyihin pelikokemuksen osa-alueisiin peilattaessa huomataan, ettei PXI:ssä mitata niistä suurta osaa. Tämä johtuu siitä, että Caroux ym. (2015) käsittelevät pelikokemusta kokonaisvaltaisesta näkökulmasta, kun taas Abeele ym. (2020) valitsivat mitattavat osa-alueet siten, että saadut tulokset olisivat mahdollisimman hyödyllisiä pelien kehittäjille. Toinen syy tutkittavien pelikokemuksen osa-alueiden puutteille on se, että PXI pyrkii olemaan mahdollisimman laajasti yleistettävä. Tällöin sen avulla pystytään mittaamaan pelikokemusta kaikenlaisissa peleissä.

4 Proseduraalinen sisällöntuotanto pelikokemuksen luomisessa

Proseduraalista sisällöntuotantoa opitaan jatkuvasti hyödyntämään uusin tavoin pelituotannossa. Osassa peleistä sitä käytetään helpottamaan pelin kehittäjien työmäärää esimerkiksi luomalla proseduraalisesti osa pelimaailmasta. Osassa peleistä sen sijaan koko pelikokemus nojaa proseduraalisen sisällöntuotannon mahdollistamaan sattumanvaraisuuteen ja uudelleenpelattavuuteen. Proseduraalista sisällöntuotantoa käsittelevässä tutkimuksessa siitä löydetään kuitenkin myös ongelmia ja puutteita. Haasteita ilmenee esimerkiksi proseduraalisen sisällöntuotannon metodeissa ja pelikokemuksen huomataan kärsivän heikosti toteutetun proseduraalisen sisällöntuotannon johdosta.

4.1 Proseduraalisen sisällöntuotannon vahvuudet pelikokemuksen luomisessa

Proseduraalisen sisällöntuotannon parhaat puolet tulevat esille *roguelike*-genren peleissä. Koko *roguelike*-genre on syntynyt ensimmäisen proseduraalista sisällöntuotantoa hyödyntävän pelin, Roguen (Epyx 1980), pohjalta. *Roguelike*-pelit keskittyvät monimutkaiseen pelisisältöön ja uudelleenpelattavuuteen (Wu, Mao ja Li 2021).

Roguelike-peleissä on tyypillistä, että pelissä kuollessa tai pelin hävitessä, se joudutaan aloittamaan kokonaan tai ainakin osittain alusta. Tarkoituksena siis on, että peliä pelataan alusta uudestaan ja uudestaan. Satunnaisuus on tärkeä osa uudelleenpelattavuutta, ja sen avulla *roguelike*-peleissä luodaan uniikki pelikokemus jokaiselle pelikerralle (Wu, Mao ja Li 2021). Pelin haastavuuden kerrotaan useissa tutkimuksissa olevan yksi tärkeimmistä pelikokemuksen vaikuttavista tekijöistä (Caroux ym. 2015; Boyle ym. 2012), ja *roguelike*-peleille onkin ominaista korkea haastavuuden taso. Proseduraalisen sisällöntuotannon mahdollistamia ominaisuuksia, satunnaisuutta ja korkeaa vaikeustasoa, hyödynnetään myös *battle royale*-peleissä, joista hyvä esimerkki on vuonna 2018 videopelien tulosestämisen tehnyt Fortnite (Epic Games 2017) (Wilson 2020).

Yleensä kuoleminen on peleissä vain lievä hidaste ja pelaajalle hiukan ärsytystä aiheuttava tapahtuma. Wilson (2020) kertoo artikkelissaan uusien pelien alkaneen hyödyntää *roguelike*-genren ominaisuuksia myös muissa peligenreissä. Hänen artikkelissaan tutkitaan sitä, miten *roguelike*-pelien usein sisältämä ja proseduraalisen sisällöntuotannon mahdollistama pysyvä kuolema vaikuttaa pelikokemukseen. Artikkelissa todetaan, että pysyvä kuolema lisää jännitystä jopa arkipäiväiseksi koetuissa pelitilanteissa, mutta sen myös huomattiin aiheuttavan uupumusta pelaajassa. Pysyvä kuolema auttaa siis pitämään pelaamisen mielenkiintoisena silloinkin, kun monipuolisinkin proseduraalisesti luotu pelimaailma alkaa käymään pelaajalle tylsäksi.

Lisäksi Wilsonin artikkelissa havaitaan, että pelaajien osatessa odottaa häviötä ja kuolemaa peleissä, niiden kokeminen turhauttaa pelaajia vähemmän (Wilson 2020). Pelaajien huomataan myös kokevan pelaaminen hauskemerkiksi pelin sisältäessä pysyvän kuoleman elementin edistymisen säilymisen sijaan. Tutkimuksessa tehdään mielenkiintoinen havainto, jonka perusteella pysyvän kuoleman sisältävää peliä ei koeta kuitenkaan vaikeammaksi kuin edistymistä tallentava peli. Tämä johtuu mielestäni siitä, että *roguelike*-genren tapaisissa pysyvän kuoleman sisältävissä peleissä pelaajat osaavat odottaa suuren kuolemien määrän lisäksi normaalia korkeampaa vaikeustasoa. Tästä seuraa, että pelaajat arvioivat odotustensa pohjalta korkeamman vaikeustason helpommaksi.

Thompson ja Watling (2015) toteaa tutkimuksessaan pelisisällön vaatimusten kasvun johtaneen tekoälyn hyödyntämiseen älykkäiden sisällöntuotantomenetelmien luomiseksi. Tutkimuksessa vertaillaan ihmisen luomaa pelisisältöä tekoälyn avulla tuotettuun siten, että pelaajien on tarkoitus tunnistaa, kumman tekemiä pelatut tasot olivat. Tutkimuksen tulokset osoittavat, että jopa vähäistä luovuutta sisältävän menetelmän avulla tietokoneen tekemää sisältöä ei osattu erottaa ihmisen tekemästä. Tutkimuksessa kuitenkin huomautetaan, että ihmisen tekemät tasot osattiin erottaa melko hyvin ihmisen tekemiksi. Ihmisen ja tietokoneen luomaa sisältöä vertailevaa tutkimusta on melko vähän, ja Thompson ja Watling (2015) ehdottavatkin tehtäväksi jatkotutkimusta, jossa vertailtaisiin useaa älykästä sisällöntuotantomenetelmää sekä toisiinsa, että ihmiseen.

Tekoälyä hyödyntävät sisällöntuotantomenetelmät mahdollistavat pelisisällön räätälöimisen tietyille pelaajalle mieleisemmäksi. Paraschos ja Koulouriotis (2023) toteavat aihetta tutkivas-

sa kirjallisuuskatsauksessa, että personoidun pelikokemuksen avulla kyetään parantamaan pelaajan kokemaa sitoutuneisuuden ja nautinnon tasoa. Pelisisältö muokataan pelaajalle mieleiseksi arvioimalla pelaajan suorituskykyä pelissä, sekä muokkaamalla pelisisältöä hallitsevaa systeemiä tutkimalla pelaajien kokemuksia ja tunteita pelaamisen aikana.

4.2 Proseduraalisen sisällöntuotannon heikkoudet pelikokemuksen luomisessa

Kuten jo aiemmin mainittiin, proseduraalista sisällöntuotantoa on alettu hyödyntämään laajasti kaikenlaisissa peleissä, eikä proseduraalisesti luodulla sisällöllä ole aina yhtä suurta roolia kuin *roguelike*-peleissä. Monet pelit käyttävät proseduraalista sisällöntuotantoa esimerkiksi realistisen näköisten puiden tekemiseen säästyen vaivalta tehdä ne itse (*Speedtree* 2023). Vaikka proseduraalisen sisällöntuotannon käytön pääasiallinen syy olisi kustannustehokas suuren sisältömäärän tuottaminen, tuotetun sisällön laadulla on edelleen vaikutus pelikokemukseen. Pelisisällön tulee aina olla riittävän hyvälaatuista, ettei se vaikuta pelikokemukseen negatiivisesti. Proseduraalisen sisällöntuotannon huolimaton käyttö johtaa pelikokemuksen heikkenemiseen. Proseduraalisen sisällöntuotannon metodeja käsittelevässä tutkimuksessa löydettyjä ongelmia ovat esimerkiksi pelien pitäminen haastavana loppuun asti (Nam, Hsueh ja Ikeda 2022), proseduraalisesti tuotettujen pelimaailmojen epäaidolta näyttäminen ja tuntuminen (Latif ym. 2022) sekä pahimmillaan jopa voittamattomien pelien luominen (Gravina ym. 2019).

Tait ja Nelson (2022) käsittelevät kirjoittamassaan artikkelissa yhtä tunnetuimmista proseduraalisen sisällöntuotannon epäonnistumisista, pelimaailman luontia *No Man's Sky* (Hello Games 2016) -pelissä. *No Man's Sky* (Hello Games 2016) pyrkii luomaan jättimäisen universumin, jossa jokainen taivaalla näkyvä tähti on uniikki planeetta, jota pelaaja pääsee tutkimaan. Pelimaailmojen surkea proseduraalinen luominen johtaa kuitenkin epäonnistumiseen kiinnostavan pelikokemuksen luomisessa.

Tait ja Nelson (2022) kertovat artikkelissaan peliä testanneiden olleen peliin pettyneitä, koska pelinkehittäjien lupaama ennennäkemättömien ja uniikkien aurinkokuntien tutkiminen osoittautuikin samojen kasvien ja eläimien löytämiseksi jokaiselta planeetalta, ainoana erona uu-

det nimet. Pelaajat totesivat kaikkien planeettojen olevan samanlaisia, vaikka niissä olisikin ollut eroavaisuuksia. Pelaajien kerrotaan myös jääneen kaipaamaan yksittäisten planeettojen alueiden sekä planeettojen sisältämien värien vaihtelevuutta.

Tait ja Nelson (2022) löytävät muitakin syitä huonolle pelikokemukselle. Pelin kehittäjät luulivat parantavansa pelaajien kiinnostusta pelimaailman tutkimiseen jättämällä pelin tarinan vähäiseksi. Näin ei kuitenkaan käynyt, vaan pelaajat kokivat olevansa kykenemättömiä vaikuttamaan peliin merkittävästi. Tait ja Nelson (2022) toteavat pelimaailman luomisen epäonnistumisen johtuneen aurinkokuntien äärimmäisestä skaalautuvuudesta, joissa pelaaja tuntee itsensä mitättömäksi. Lisäksi pelikokemuksen huomattiin kärsineen pelimaailman epärealistisuudesta: proseduraalisesti luotuihin pelimaailman kappaleisiin ei ollut liitetty painovoimaa.

Testivaiheessa olleen No Man's Sky:n (Hello Games 2016) proseduraalinen sisällöntuottaminen on esimerkki siitä, mitä voi tapahtua, kun tietokoneen avulla luodun sisällön taso ei ole riittävällä tasolla. Pelikokemuksen luomisessa epäonnistutaan tekemällä liian paljon liian samankaltaista pelisisältöä pelaajan tutkittavaksi, jota ei lopulta ole kiinnostavaa tutkia. Pelaajan löytäessä itsensä suuresta pelimaailmasta ilman tarinaa tai mielenkiintoista ja haastavaa tekemistä pelissä, pelaamisen motivaatio loppuu nopeasti eikä pelaajalle synny hauskanpidon tunnetta. Tait ja Nelson (2022) kertovat No Man's Sky:n (Hello Games 2016) kehittäjien reagoineen palautteeseen, ja onnistuneen pelikokemuksen parantamisessa päivitysten avulla. Tärkeimpien muutosten pelikokemuksen parantamiseksi kerrotaan olleen luotujen pelimaailmojen kehittäminen monimuotoisemmiksi, pelifysiikoiden parantaminen, monipelimahdollisuuden lisääminen ja mielenkiintoisen tekemisen, kuten oman tukikohdan rakentamisen, lisääminen.

5 Yhteenveto

Pelaajan kokemaan pelikokemukseen liittyy useita osa-alueita niin pelaajan, kuin pelin näkökulmasta. Pelikokemuksen kannalta tärkeimmät pelisisällön osat ovat pelin luoma haaste, sen vaikeustaso, tarina ja *gameplay*. Proseduraalisesti tuotettua pelisisältöä käytetään peleissä jo niin laajasti, että tuotettu sisältö vaikuttaa pelikokemukseen erittäin monipuolisesti.

Proseduraalista sisällöntuotantoa hyödynnetään eritasoisen pelisisällön luomisessa, aina pienempien pelin palojen kuten tasojen luomisesta monimutkaisten pelin aikana peliä ohjaavien systeemien luomiseen. Proseduraalisesti tuotetun sisällön ollessa pelikokemuksen kannalta pienessä roolissa riittää, että tuotettu sisältö on tasoltaan sellaista, ettei se vaikuta pelikokemukseen negatiivisesti. Esimerkiksi pelimaailmaan luodut puut eivät saa tukkia reittejä, ja niiden tulee olla riittävän realistisia.

Osassa peleistä proseduraalisen sisällöntuotannon tuomia ominaisuuksia sen sijaan käytetään uusien ja innovatiivisten pelikokemusten luomiseen. Kiinnostava pelikokemus saadaan aikaan yhdistämällä proseduraalisen sisällöntuotannon mahdollistama sattumanvaraisuus ja uudelleenpelattavuus sopiviin peliominaisuuksiin. Esimerkiksi *roguelike*-peleissä tällaisia peliominaisuuksia ovat korkea vaikeustaso ja pysyvä kuolema.

Aloittaessani proseduraalisen sisällöntuotannon tutkimisen, etsin ihmisen ja tietokoneen luomaa sisältöä vertailevaa tutkimusta. Tällaista tutkimusta löytyi kuitenkin todella vähän, ja sen sijaan proseduraalisen sisällöntuotannon tutkimus keskittyi tutkimaan sisällöntuotantoa varten kehitettyjä metodeja. Huomasin, että sen sijaan, että proseduraalisen sisällöntuotannon haluttaisiin osoittaa yltävän ihmisen tasolle tai jopa parempaan, haluttiinkin osoittaa, että proseduraalinen sisällöntuotanto on hyödyllinen ja toimiva pelikehityksen työkalu, ja että sen avulla kyetään luomaan erilaista, uutta ja korkeatasoista sisältöä. Paikoitellen tutkimukset vaikuttivat jopa olevan enemmän mainostusta omalle menetelmälle kuin tutkimusta.

Proseduraalisen sisällöntuotannon metodeja käsittelevässä tutkimuksessa jätetään kuitenkin pelikokemuksen tutkiminen huomiotta. Tutkimukset yleensä keskittyvät arvioimaan sisällöntuotantometodia ja sen tuottaman sisällön laatua. Löydetty proseduraalisen sisällöntuotannon tutkimus on useimmiten tehty ilman ulkopuolisia pelitestaajia, joiden kokeman pe-

likokemuksen perusteella sisältöä arvioitaisiin. Ulkopuolisten tekemää pelikokemuksen näkökulmasta tehtyä tutkimusta kaivattaisiin ehdottomasti lisää, jotta proseduraalisen sisällön tuotannon metodeja kyettäisiin arvioimaan puolueettomasti ja todelliseen pelikokemukseen perustuen sen sijaan, että metodien luojat arvioivat niitä itse. Mielestäni tutkimusta ei voida pitää puolueettomana silloin, kun tutkimuksen tekijät arvioivat itse luomuksiansa kyvykkyyttä ja toteavat omat luomuksensa kilpailijoita paremmiksi.

Proseduraalisesti tuotettua pelisisältöä tulisi tutkia pelikokemuksen näkökulmasta esimerkiksi soveltamalla luvussa 3 esiteltyä PXI:tä. PXI:tä voitaisiin laajentaa suunnittelemalla siihen proseduraalisesti luodun sisällön vaikutusta pelikokemukseen mittaava osio. PXI:hin liittävätkä kysymykset voisivat käsitellä esimerkiksi pelisisällön realistisuutta, pelin sisältämän satunnaisuuden reiluutta ja uudelleenpelattavuuden tasoa. Tällaisen lisäyksen avulla kyettäisiin parantamaan ja arvioimaan pelisisällön luomaa pelikokemusta esimerkiksi *roguelike*- ja *battle royale*-peleissä.

Lähteet

Abeele, Vero Vanden, Katta Spiel, Lennart Nacke, Daniel Johnson ja Kathrin Gerling. 2020. “Development and validation of the player experience inventory: A scale to measure player experiences at the level of functional and psychosocial consequences”. *International Journal of Human-Computer Studies* 135:102370. ISSN: 1071-5819. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2019.102370>.

Acornsoft. 1984. *Elite*.

Balakrishnan, B, ja S Sundar. 2011. “Where am I? How can I get there? Impact of navigability and narrative transportation on spatial presence”. *Human-Computer Interaction* 26:161–204. https://www.researchgate.net/publication/254304101_Where_Am_I_How_Can_I_Get_There_Impact_of_Navigability_and_Narrative_Transportation_on_Spatial_Presence.

Bandai Namco Entertainment. 2011. *Dark Souls*.

Bethesda Softworks. 2011. *The Elder Scrolls V: Skyrim*.

Bianchi-Berthouze, Nadia. 2013. “Understanding the Role of Body Movement in Player Engagement”. *Human-Computer Interaction* 28 (1): 40–75. <https://doi.org/10.1080/07370024.2012.688468>.

Boyle, Elizabeth A., Thomas M. Connolly, Thomas Hainey ja James M. Boyle. 2012. “Engagement in digital entertainment games: A systematic review”. *Computers in Human Behavior* 28 (3): 771–780. ISSN: 0747-5632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2011.11.020>.

Caroux, Loïc, Katherine Isbister, Ludovic Le Bigot ja Nicolas Vibert. 2015. “Player–video game interaction: A systematic review of current concepts”. *Computers in Human Behavior* 48:366–381. ISSN: 0747-5632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.066>.

CD Projekt RED. 2015. *The Witcher 3: Wild Hunt*.

———. 2020. *Cyberpunk 2077*.

- Choi, Beomkyu, Jie Huang, Annie Jeffrey ja Youngkyun Baek. 2013. “Development of a scale for fantasy state in digital games”. *Computers in Human Behavior* 29 (5): 1980–1986. ISSN: 0747-5632. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.04.007>.
- Csikszentmihalyi, Mihalyi, ja Dev Kumar Bose. 1990. *Flow: e Psychology of Optimal Experience*.
- de Lima, Edirlei Soares, Bruno Feijó ja Antonio L. Furtado. 2022. “Procedural generation of branching quests for games”. *Entertainment Computing* 43:100491. ISSN: 1875-9521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2022.100491>.
- Epic Games. 2017. *Fortnite*.
- Epyx. 1980. *Rogue*.
- Freiknecht, Jonas, ja Wolfgang Effelsberg. 2017. “A Survey on the Procedural Generation of Virtual Worlds”. *Multimodal Technologies and Interaction* 1 (4). ISSN: 2414-4088. <https://doi.org/10.3390/mti1040027>.
- Gao, Tianhan, Jin Zhang ja Qingwei Mi. 2022. “Procedural Generation of Game Levels and Maps: A Review”, 50–55. <https://doi.org/10.1109/ICAIIIC54071.2022.9722624>.
- Gearbox Software. 2009. *Borderlands*.
- Gravina, Daniele, Ahmed Khalifa, Antonios Liapis, Julian Togelius ja Georgios N. Yannakakis. 2019. “Procedural Content Generation through Quality Diversity”. Teoksessa *2019 IEEE Conference on Games (CoG)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8848053>.
- Hello Games. 2016. *No Man’s Sky*.
- Hendrikx, Mark, Sebastiaan Meijer, Joeri Velden ja Alexandru Iosup. 2013. “Procedural Content Generation for Games: A Survey”. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications (TOMCCAP)* 9 (helmikuu). <https://doi.org/10.1145/2422956.2422957>.
- Lai, Gorm, Frederic Fol Leymarie ja William Latham. 2022. “On Mixed-Initiative Content Creation for Video Games”. *IEEE Transactions on Games* 14 (4): 543–557. <https://doi.org/10.1109/TG.2022.3176215>.

- Latif, Abdul, Megat F. Zuhairi, Fazal Qudus Khan, Princy Randhawa ja Akshet Patel. 2022. “A Critical Evaluation of Procedural Content Generation Approaches for Digital Twins”. *Journal of Sensors*, <https://doi.org/10.1155/2022/5629645>.
- Malliet, Steven. 2006. “An exploration of adolescents’ perceptions of videogame realism”. *Learning, Media and Technology* 31 (4): 377–394. <https://doi.org/10.1080/17439880601021983>.
- Mojang Studios. 2011. *Minecraft*.
- Mossmouth, LLC. 2008. *Spelunky*.
- Nam, Sang-Gyu, Chu-Hsuan Hsueh ja Kokolo Ikeda. 2022. “Generation of Game Stages With Quality and Diversity by Reinforcement Learning in Turn-Based RPG”. *IEEE Transactions on Games* 14 (3): 488–501. <https://doi.org/10.1109/TG.2021.3113313>.
- Nitsche, Michael. 2008. *Video Game Spaces: Image, Play, and Structure in 3D Worlds*. The MIT Press, joulukuu. <https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262141017.001.0001>.
- Paraschos, Panagiotis D., ja Dimitrios E. Koulouriotis. 2023. “Game Difficulty Adaptation and Experience Personalization: A Literature Review”. *International Journal of Human-Computer Interaction* 39 (1): 1–22. <https://doi.org/10.1080/10447318.2021.2020008>.
- Pereira, Leonardo T., Breno M. F. Viana ja Claudio F. M. Toledo. 2021. “Procedural Enemy Generation through Parallel Evolutionary Algorithm”, nide 2021-October, 126–135. <https://doi.org/10.1109/SBGames54170.2021.00024>.
- Rabii, Younès, ja Michael Cook. 2023. “Why Oatmeal is Cheap: Kolmogorov Complexity and Procedural Generation”. Teoksessa *Proceedings of the 18th International Conference on the Foundations of Digital Games*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3582437.3582484>.
- Speedtree*. 2023. Viitattu 19. huhtikuuta 2023. <http://www.speedtree.com/>.
- Stanney, Kay, ja Gavriel Salvendy. 1998. “Aftereffects and Sense of Presence in Virtual Environments: Formulation of a Research and Development Agenda”. *International Journal of Human-Computer Interaction* 10 (2): 135–187. https://doi.org/10.1207/s15327590ijhc1002_3.

Tait, Emma R, ja Ingrid L Nelson. 2022. “Nonscalability and generating digital outer space natures in No Man’s Sky”. *Environment and Planning E: Nature and Space* 5 (2): 694–718. <https://doi.org/10.1177/25148486211000746>.

Thompson, Tommy, ja Rob Watling. 2015. “Discerning Human and Procedurally Crafted Content for Video Games”. Huhtikuu. https://www.researchgate.net/publication/280943746_Discerning_Human_and_Procedurally_Crafted_Content_for_Video_Games.

Ubisoft. 2020. *Assassin’s Creed Valhalla*.

Valve. 2008. *Left 4 Dead*.

Warner Bros. Interactive Entertainment. 2014. *Middle Earth: Shadow of Mordor*.

Wilson, James Bowie. 2020. “Playing with Permadeath”. <https://doi.org/10.1109/GMAX49668.2020.9256829>.

Wu, Zhixuan, Yuwei Mao ja Qiyu Li. 2021. “Procedural Game Map Generation using Multi-leveled Cellular Automata by Machine learning”, 168–172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1145/3500931.3500962>.

Zhang, Yuzhong, Guixuan Zhang ja Xinyuan Huang. 2022. “A Survey of Procedural Content Generation for Games”. *Teoksessa 2022 International Conference on Culture-Oriented Science and Technology (CoST)*, 186–190. <https://doi.org/10.1109/CoST57098.2022.00046>.