

Jaakko Karhunen

**Dynaaminen vaikeustason säätö ja pelien käyttäjäkokemus:
systemaattinen kirjallisuuskartoitus**

Tietotekniikan pro gradu -tutkielma

15. toukokuuta 2024

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Jaakko Karhunen

Yhteystiedot: -

Ohjaajat: Jukka Varsaluoma ja Antti-Jussi Lakanen

Työn nimi: Dynaaminen vaikeustason säätö ja pelien käyttäjäkokemus: systemaattinen kirjallisuuskartoitus

Title in English: Dynamic difficulty adjustment and game user experience: a systematic literature review

Työ: Pro gradu -tutkielma

Opintosuunta: Ohjelmisto- ja tietoliikennetekniikka

Sivumäärä: 43+9

Tiivistelmä: Videopelien koetulla vaikeustasolla on suuri vaikutus pelaajien pelikokemukseen. Liian helppo tai vaikea peli voi pilata pelin nautinnon. Sama peli voi olla samalla vaikeustasolla liian helppo yhdelle pelaajalle ja liian vaikea toiselle riippuen pelaajien taidoista. Dynaaminen vaikeustason säätö (Dynamic Difficulty Adjustment, DDA) pyrkii mukauttamaan vaikeustasoa pelin aikana, jotta vaikeustaso sopeutuisi pelaajan taitoihin. Tässä tutkielmassa perehdytään dynaamiseen vaikeustason säätöön toteuttamalla siitä systemaattinen kirjallisuuskartoitus. Kirjallisuuskartoituksen tavoitteena on selvittää millaisia tapoja toteuttaa DDA on tutkittu ja miten DDA:n on havaittu vaikuttavan pelaajien pelikokemukseen. Tutkituimmat peligenret ovat tappelu-, puzzle-, tasohyppely- ja ammunta- ja pelit. Tutkituissa lähteissä käytetyt DDA:n toteutustavat jaettiin kolmeen kategoriaan, joista yleisin on muokata pelin tekoälyä. Tutkittujen artikkelien pohjalta DDA vaikuttaa auttavan pelien vaikeuden saamisessa pelaajille sopivaksi ja tekevän pelikokemuksesta miellyttävämpää. DDA:n vaikutusta kokemukseen ei mitattu kolmasosassa artikkeleista. Neljässä artikkelissa havaittiin myös DDA:n käytöstä johtuvia haittoja, joita tutkielmassa tarkastellaan myös.

Avainsanat: dynaaminen vaikeustason säätö, DDA, pelikokemus, pelisuunnittelu, tekoäly, videopelit

Abstract: The perceived difficulty level of video games has a great impact on the players' gaming experience. A game that is too easy or difficult can spoil the enjoyment of the game. The same game can be too easy for one player and too difficult for another at the same time, depending on the players' skills. Dynamic Difficulty Adjustment (DDA) aims to adjust the difficulty level during the game so that the difficulty level adapts to the player's skills. This thesis examines dynamic difficulty adjustment by carrying out a systematic literature review. The aim of the literature review is to find out what ways to implement DDA have been studied and how DDA has been found to affect the players' gaming experience. The most studied game genres are fighting, puzzle, platforming and shooting games. The DDA implementation methods used in the studied sources were divided into three categories, the most common of which is to modify the game's artificial intelligence. Based on the researched articles, DDA seems to help in making the difficulty of the games suitable for the players and makes the gaming experience more pleasant. The effect of DDA on the experience was not measured in a third of the articles. In four articles, disadvantages due to the use of DDA were also observed, which are also examined in the thesis.

Keywords: dynamic difficulty adjustment, DDA, game experience, game design, artificial intelligence, video games

Kuviot

Kuvio 1. Flow-tila ja kuinka se rinnastetaan pelin vaikeustasoon ja DDA:n.	5
Kuvio 2. Artikkelien julkaisuajat.	11
Kuvio 3. Eri artikkelityyppien määrät.	12
Kuvio 4. Kuvio DDA:n toteutustavoista.	14
Kuvio 5. Kuvio artikkeleista, joissa tutkittiin DDA:n vaikutusta kokemukseen ja tuloksista.	20

Taulukot

Taulukko 1. Hakuprosessin ja tutkielman eteneminen.	9
Taulukko 2. Lähteissä tutkitut peligenret ja tutkimusten määrä.	13

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	DYNAAMINEN VAIKEUSTASON SÄÄTÖ	3
	2.1 Määritelmä.....	3
	2.2 Flow-tila	5
3	KIRJALLISUUSKARTOITUKSEN TOTEUTUS	7
	3.1 Tutkimusmenetelmä	7
	3.2 Kirjallisuuskartoituksen protokolla.....	7
	3.3 Aineiston hakuprosessi.....	9
4	TULOKSET.....	11
	4.1 Julkaisuaajat	11
	4.2 Artikkelien tyypit.....	12
	4.3 Tutkitut pelit ja peligenret	13
	4.4 DDA:n toteutustapoja	14
	4.5 Tekoälyn DDA.....	16
	4.6 DDA pelin ominaisuuksia muuttamalla	17
	4.7 DDA kenttien generoinnissa	18
	4.8 DDA käyttäjäkokemukseen arvioiminen	18
	4.9 DDA:n vaikutus käyttäjäkokemukseen.....	20
	4.10 DDA:n käytön varjopuolia	22
5	POHDINTA	24
6	YHTEENVETO.....	28
	LÄHTEET	30
	LIITTEET.....	39
	A Pilottihaku	39
	B Valitut artikkelit	40

1 Johdanto

Videopelien suunnittelussa yksi tärkeimmistä huomioon otettavista asioista on, kuinka miellyttävä peli on pelata. Pelien koetulla vaikeudella on suuri vaikutus käyttäjän kokemukseen ja pelikokemuksen nautintoon. Kuitenkin pelin koettu vaikeus on usein monesta eri tekijästä riippuva ja siksi vaikeus on haastava asettaa oikein, vaikka se on kriittinen tekijä tietokonepeleissä (Xue ym. 2017). Hunicke (2005) toteaa, että liian helpot pelit ovat tylsiä ja liian vaikeat turhauttavia. Koettu vaikeus ei kuitenkaan ole aina kaikille sama, vaan se voi riippua käyttäjän kokemuksesta ja taidoista. Sama vaikeusaste voi olla samaan aikaan liian vaikea ja turhauttava yhdelle käyttäjälle ja liian helppo ja tylsä toiselle.

Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) mukaan videopelit tuottivat jo vuonna 2015 enemmän tuloja kuin musiikki ja elokuvat, ja Stein ym. (2018) mukaan lähes kaikki yhdysvaltalaiset lapset ja nuoret pelaavat videopelejä päivittäin. Videopeliala on vain jatkanut kasvuaan vuodesta 2015, mutta alalla on myös kova kilpailu, joten peleistä on tärkeää tehdä mahdollisimman miellyttäviä pelata, jotta pelaajat jatkavat niiden pelaamista. Demediuk ym. (2017) mukaan pelin haasteen on oltava sopiva suhteessa pelaajan taitotasoon kyseisessä pelissä, jotta pelaajat pysyisivät uppoutuneina tiettyyn videopeliin, koska jos haastetaso on sopiva yksittäiselle pelaajalle, hän on sitoutuneempi pelaamaan peliä.

Pelaajalle todella miellyttävää tilaa, jossa haaste on sopiva, voidaan pitää "flow-tilana", jossa pelaaja on täysin uppoutunut peliin (Csikszentmihalyi 1990). Pelien dynaaminen vaikeuden säätö voi lisätä eri tasoisten pelaajien pelistä saamaa nautintoa ja siten pitää peli sopivan haastavana pidemmän aikaa. Dynaamiselle vaikeustason säädölle on useita eri tapoja, jotka vaikuttavat peliin eri tavoilla ja joiden tarkoituksena on saada pelistä miellyttävä pelaajille.

Tutkielmassa tutkitaan dynaamisen vaikeusasteen säätöä (engl. dynamic difficulty adjustment, DDA), kuinka sen voi toteuttaa käytännössä ja kuinka se vaikuttaa käyttäjän kokemukseen pelistä. Tutkielma toteutetaan systemaattisena kirjallisuuskartoituksena videopelien dynaamisesta vaikeusasteen säädöstä ja sen vaikutuksesta käyttäjän kokemukseen. Pelien vaikeus on tärkeä osa sitä, miten käyttäjät kokevat pelin, ja dynaamisesti käyttäjän taitoihin mukautuva vaikeustaso voi tehdä pelaamisesta mukavampaa useammille pelaajille.

Tutkimuskysymys on, miten dynaaminen vaikeustason säätö voidaan toteuttaa erilaisissa videopeleissä ja miten dynaaminen vaikeustason säätö vaikuttaa pelaajan pelikokemukseen. Tutkimuskysymykseen vastataan perehtymällä DDA:sta tehtyyn tutkimukseen, ja tutkitaan millä tavalla DDA:ta on tutkittu ja millaisia DDA-toteutuksia peleistä löytyy. Kirjallisuuskartoitus rajataan koskemaan vain digitaalisia videopelejä, joiden päätarkoitus on olla viihdyttäviä. Kartoitukseen ei oteta mukaan esimerkiksi artikkeleja, joissa tutkitaan opetuspelejä, koska opetuspeleissä käytettävällä DDA:lla on tarkoituksena tehostaa oppimista tai tehdä opiskelusta miellyttävämpää ja siten niillä on erilaiset vaatimukset ja toteutus kuin DDA:lla, jonka on tarkoitus tehdä itse pelaamisesta miellyttävämpää.

Dynaamisen vaikeustason säädön tutkiminen tarjoaa pelin kehittäjille näkökulman ymmärtää pelaajapsykologiaa ja käyttäytymistä. Sutoyo ym. (2015) mukaan, jos pelin vaikeustaso ei ole pelaajalle sopiva, pelaajilla on tapana lopettaa pelin pelaaminen. Dynaamista vaikeustason säätöä hyödyntämällä peleistä voidaan saada saavutettavampia laajemmalle joukolle pelaajia, mikä voi johtaa suurempaan pelaajien pysyvyyteen ja tyytyväisyyteen ja realisoitua taloudellisiksi eduiksi.

Tutkielma jakautuu johdanto mukaan luettuna kuuteen lukuun. Tutkielman aluksi käydään läpi tutkimuksen aihe ja motivaatio tutkimukselle. Luvussa 2 kerrotaan DDA:n määritelmä ja sen ominaisuuksista, vaatimuksista ja eri toteutustavoista. Luvussa 3 käydään läpi tutkimusmenetelmän toteutuksen kuvaus ja kirjallisuuskartoitusprosessin kriteerit sekä toteutuksen kuvaus ja kartoituksen toteutuksen eri vaiheet ja niistä saadut tulokset. Luvussa 4 käydään läpi katsauksen varsinaiset tulokset siitä, millaista tieteellistä kirjallisuutta aiheesta on aiemmin tehty. Aineistoista muodostetaan kokonaiskuva aiheesta tehdystä tutkimuksesta. Tutkielmassa tutkitaan, milloin aiheesta on julkaistu tutkimuksia ja perehdytään artikkeleissa esitettyihin DDA:n toteutustapoihin sekä tarkastellaan, miltä kannalta DDA:ta on tutkittu. DDA:n toteutusten tehokkuutta tarkastellaan artikkelien esittämien tulosten perusteella. Tutkielman lopussa luvussa 5 pohditaan tuloksia ja käsitellään jatkotutkimuskohteita, joita lähteissä on esitetty aiheesta. Lopuksi luku 6 on yhteenveto tutkielmasta.

2 Dynaaminen vaikeustason säätö

2.1 Määritelmä

Dynaaminen vaikeustason säätö (engl. dynamic difficulty adjustment, myöhemmin lyh. DDA) tarkoittaa pelin ominaisuuksien muokkaamista siten, että eri taitotasoilla olevat pelaajat saavat pelistä taidoilleen sopivan haasteen ja pystyvät nauttimaan pelistä (Hunicke 2005). Dynaaminen vaikeustason säätö on tekniikka, joka automaattisesti muokkaa pelin muuttujia, käytöstä tai skenaariota pelin aikana. DDA ennustaa pelin tulevan tilan nykyisen vaikeuden perusteella ja puuttuu asiaan muokkaamalla peliä, jos tila ei ole toivottava (Xue ym. 2017). Tämän päätarkoitus on pitää pelin haaste pelaajalle sopivana, jolloin pelaaminen pysyy hauskana ja mielekkäänä, eikä ole liian helppoa ja tylsää tai liian vaikeaa ja turhauttavaa (Zohaib ym. 2018). DDA on vaihtoehto perinteiselle staattisiin vaikeustasoihin perustuvalla pelitasapainotukselle pelisuunnittelussa, ja eroaa siitä siten, että DDA tehdään suorituksen aikana seuraamalla pelaajan suorituskykyä ja säätämällä peliä sen perusteella (Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz 2016). Pelaajan taitojen kehittyessä pelaamisen aikana pelin vaikeuden tulisi mukautua vastaamaan pelaajan kehitystä, jotta peli pysyy mukavana. Moninpeleissä eri pelaajien taitoeroja voidaan tasapainottaa DDA:lla, jonka tavoitteena on lisätä pelaajien tasavertaisuutta ja lisätä pelistä saatavaa nautintoa.

Baldwin ym. (2013), Silva, V. d. N. Silva ja Chaimowicz (2017) sekä Rosa ym. (2021) mukaan DDA:n toiminnalla on kolme perusvaatimusta. Ensinnäkin pelin tulee havaita pelaajan taidot ja pystyä mukautumaan niihin sopivaksi mahdollisimman nopeasti. Toiseksi pelin pitää pystyä seuraamaan pelaajan kehitystä tai taantumaa, tallentaa muutokset pelaajan suorituskyvyssä ja pysyä pelaajan taitoja vastaavana, kun taidot muuttuvat pelin aikana. Kolmanneksi pelin mukautumisen pitää olla hienovaraista. Pelin käyttäytyminen vaikeuden mukautumisen aikana pitäisi pysyä uskottavana ja huomaamattomana, jotta pelaajat eivät koe sitä pelikokemusta häiritseväksi. Esimerkkinä DDA:n käytöstä on Half-Life-pelin Hamlet-tekoälyjärjestelmä, joka muokkaa peliä esimerkiksi antamalla vaikeuksissa olevalle pelaajalle enemmän parannusesineitä ja ammuksia (Hunicke 2005).

Pelin sopivan vaikeuden suunnittelu on osa pelisuunnittelua, joka joudutaan tekemään joka

kerta, kun halutaan tehdä uusi peli. Siksi toimiva tapa saada pelin vaikeudesta sopiva on hyödyllinen pelin kehityksessä, varsinkin jos aikaan saatua tekniikkaa voidaan käyttää tulevien pelien suunnittelussa vähällä muokkaamisella (Liu ym. 2009). Hyvin toimivan dynaamisen vaikeustason säädön ymmärtäminen ja toteuttaminen voi helpottaa pelien kehittämistä. Pelisuunnittelijat pyrkivät luomaan pelejä, joissa pelaajan kohtaamien esteiden vaikeus on sopiva pelaajan taitoihin. Kun pelaajan taidot paranevat pelin aikana, hyvin suunniteltu peli mukauttaa haastetta sopivaksi, jotta pelaaja ei koskaan kyllästy liian helppoon peliin tai turhaudu liian vaikean pelin takia (Jennings-Teats, Smith ja Wardrip-Fruin 2010). Liu ym. mukaan staattiset vaikeustasot eivät myös ole riittäviä välttämään pelaajien tylsistymistä tai turhautumista, koska pelaajat eivät todennäköisesti pysty mukauttamaan vaikeutta tarkasti itselleen sopivaksi. Toistuvat pyynnöt pelin vaikeuden valitsemiseen ovat pelaajia ärsyttävää (Liu ym. 2009).

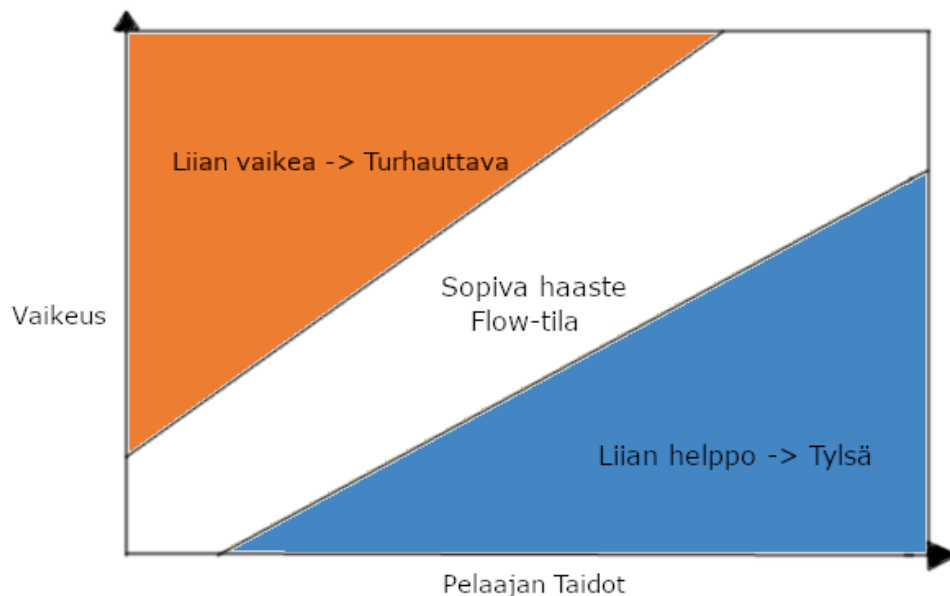
Dynaamista vaikeustason säätöä on olemassa myös ei-digitaalisissa peleissä, kuten esimerkiksi tasoitus golfissa tai tasoituskivet go-pelissä. Siitä huolimatta, että perinteisissä peleissä on käytetty tasoitusta jo pidempään, dynaamisen vaikeustason säädön toteutusta videopeleissä on kuitenkin alettu tutkia vasta melko hiljattain (Missura ja Gärtner 2011). Tutkittujen artikkelien perusteella dynaamista vaikeustason säätöä on alettu käyttää enemmän vasta viimeisten noin 15 vuoden aikana.

DDA:lla on myös muita käyttökohteita, esimerkiksi lääketieteellisessä tutkimuksessa liikuntavammaisten kuntoutuksessa, jossa alustavat testit näyttivät sen auttavan kuntoutuksessa ja tekevän kuntoutuksesta mukavampaa potilaille (Pezzerä ja Borghese 2020). Esimerkkinä opetuskäytöstä Supianto, Hafis ja Tolle (2019) toteuttivat DDA:ta käyttävän pelin auttamaan kemian opetuksessa. Opetuspelin päätavoitteena oli tehostaa kemian opetusta ja samalla tehdä opiskelusta mukavampaa, joten tavoite on osittain sama kuin kaupallisilla peleillä, joiden päätavoite on viihdyttää pelaajaa. Opetuspelit, jotka ovat miellyttäviä pelata, ovat myös tehokkaampia opettamaan pelaajaa, ja opettamaan tarkoitetun pelin tulee pystyä yhdistämään sekä opetus että pelin hauskuus (Avi Shena, Sitohang ja Rukmono 2019).

2.2 Flow-tila

Tilaa, jossa pelaaminen on todella miellyttävää, rinnastetaan useissa lähteissä, kuten Baldwin ym. (2013) ja Zohaib ym. (2018) artikkelissa Csikszentmihalyi (1990) kuvaukseen flow-tilasta, missä ihminen on niin uppoutunut siihen mitä tekee, että millään muulla ei ole sillä hetkellä väliä. Tällainen tila voi olla videopelejä pelatessa tila, jossa haaste on sopiva, ei liian helppo ja tylsä eikä liian vaikea ja turhauttava (Csikszentmihalyi 1990). Useat artikkelit kuten Zohaib ym. (2018) ja Silva, V. d. N. Silva ja Chaimowicz (2017) nimeävät tällaisen flow-tilan kaltaisen miellyttävän tilan saavuttamisen yhdeksi tavoitteeksi pelien suunnittelussa.

Csikszentmihalyi (1990) määrittelemään flow-tilaan viitataan yhteensä 28 artikkelissa eli yli puolessa tutkimistani lähteistä. Flow-tilaa käytetään artikkeleissa havainnollistamaan tavoiteltua tilaa, jollainen halutaan saavuttaa dynaamisella vaikeustason säädöllä. Demediuk ym. (2017) mukaan flow-tilan käsitettä on käytetty havainnollistamaan sitä, kuinka pelaaja on uppoutunut peliin ja haluaa jatkaa pelin pelaamista. He ym. (2010) mukaan, jotta pelikokemus saa aikaan flow-tilan, sen haasteen tulee olla sopiva suhteessa pelaajan taitoihin.



Kuvio 1. Flow-tila ja kuinka se rinnastetaan pelin vaikeustasoon ja DDA:n.

Kuvio 1 havainnollistaa sitä, millainen flown kaltainen tila DDA:lla halutaan peliin saavuttaa. Dynaamisen vaikeustason säädön tavoitteena ei ole välttämättä kirjaimellisesti saavuttaa

flow-tilaa, jossa pelaaja keskittyy kokonaan peliin, koska se on niin mukaansatempaava ja miellyttävä pelata. Käyttämällä flow-tilaa ja sitä kuvaava kaaviota esimerkkinä artikkeleiden tarkoituksena on lähinnä havainnollistaa DDA:lla tavoiteltavaa sopivaa vaikeustasoa, jossa peli ei ole liian tylsä eikä turhauttava. Vaikka itse flow-tila ja sen tavoittelu ei ole tutkielmien tavoitteena, flow-tila ja kuvio 1 kaltainen kuvaus siitä on niin useassa artikkelissa, että se on mielekästä sisällyttää tutkielmaan ainakin mainintana.

3 Kirjallisuuskartoituksen toteutus

3.1 Tutkimusmenetelmä

Tämän tutkimuksen tutkimusmenetelmä on systemaattinen kirjallisuuskartoitus. Ensin valituista aiheista eli dynaamisesta vaikeusasteen säädöstä ja vaikeusasteen vaikutuksesta pelaajan kokemukseen kerätään lähdeaineisto. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskartoituksena noudattaen Petersen, Feldt ja Mujtaba (2008) ja Salminen (2011) ohjeistusta mukauttaen aiheeseen sopivaksi. Tässä tutkielmassa pyritään saamaan aikaan laaja kuva toteutetusta tutkimuksesta viimeisten kahdenkymmenen vuoden ajalta.

3.2 Kirjallisuuskartoituksen protokolla

Tutkielman aineiston hakutietokannoiksi valitsin

- Google Scholar
- Scopus
- JYKDOK
- IEEE Xplore

Kaikista tietokannoista haettiin hakutermillä "Dynamic Difficulty Adjustment". Hakutuloksista tutkimukseen otetaan mukaan ensimmäiset 30 tietokannan relevanteimmaksi luokittelemaa artikkelia jokaisesta tietokannasta, tai jos tuloksia tietokannasta on vähemmän kuin 30, kaikki tulokset. Lähteet rajattiin vuoden 2003 jälkeen julkaistuihin lähteisiin.

Tutkimukseen valittavien artikkelien tulee täyttää seuraavat kriteerit;

- Aihe liittyy videopelien dynaamiseen vaikeustason säätöön
- Artikkelin liittyy pääasiassa viihdyttävien videopelien suunnittelemiseen tai toteutukseen
- Julkaistu vuonna 2003 tai siitä eteenpäin
- Julkaisukanavalla on vähintään julkaisufoorumin taso 1

Lisäksi valittavien artikkelien tulee vastata vähintään yhteen näistä kysymyksistä dynaami-

sesta vaikeustason säädöstä.

- Mitä dynaaminen vaikeustason säätö (DDA) on?
- Miten DDA toteutetaan videopeliin?
- Miten DDA vaikuttaa videopelin pelaajien kokemukseen?
- Mitä hyötyä tai haittaa DDA:n käytöstä on videopelien kehityksessä?

Artikkelien hylkäyskriteerejä ovat

- käsittelee muita aiheita
- artikkeli ei ole saatavana tarkasteltavaksi englanniksi tai suomeksi
- artikkelin koko teksti ei ole saatavana tarkasteltavaksi ilmaiseksi Jyväskylän yliopiston lukuoikeuksilla
- artikkeli ei ole primääritutkimus
- artikkeli on yli 20 sivua pitkä

Valittujen lähteiden pitäisi jollain tavalla liittyä pääasiassa viihdyttävien videopelien suunnitteluun tai toteutukseen. Artikkelin ei tarvitse olla empiirinen, jos se liittyy DDA:ta hyödyntävän, viihdyttävän videopelin suunnitteluun tai DDA:n toteutukseen. Esimerkiksi joissain lähteissä dynaamista vaikeustason säätöä käytetään lääketieteelliseen kuntoutukseen tai opetuspeleissä. Näissä käyttökohteissa DDA:lla on eri päätarkoitus kuin lisätä pelaajan pelistä nauttimista, ja niitä ei siksi oteta mukaan tähän tutkimukseen.

3.3 Aineiston hakuprosessi

Vaihe	Vaiheen tulos
1. Aiheen valinta	Dynaaminen vaikeustason säätö
2. Tutkimusmenetelmän valinta	Systemaattinen kirjallisuuskartoitus
3. Tutkimuskysymyksen valinta	Tutkimuskysymys
4. Tutkittavien tietokantojen valinta	4 tietokantaa
5. Hakutermin valinta	"Dynamic Difficulty Adjustment"
6. Pilottihaku	Hakutermi ja tietokannat hyväksytään
7. Alustava lähteiden haku, 30 joka tietokannasta	Alustavat 120 artikkelia
8. Toistuvien artikkelien karsinta	93 uniikkia artikkelia
9. Nimen, avainsanojen ja kielen perusteella karsinta	73 artikkelia
10. Tiivistelmän perusteella karsinta	61 artikkelia
11. Karsinta artikkelin lukemisen jälkeen	Kartoitukseen valitut 53 artikkelia
12. Valittujen lähteiden analysointi	Tutkielman tulos systemaattinen kartta

Taulukko 1. Hakuprosessin ja tutkielman eteneminen.

Aineiston hakuprosessin kulkua kuvaa taulukko 1. Haku aloitettiin pilottihaualla, joka toteutettiin 20.5.2023, ja josta on tarkempi kuvaus liitteenä. Pilottihauasta saatujen valintakriteereihin sopivien tulosten jälkeen päätettiin, että hakukoneita ja hakulausekkeita ei tarvitse muuttaa. Hakutuloksista päätettiin ottaa mukaan ensimmäiset 30 tutkimuksen aluksi suunnitellun 50 sijaan, koska tälläkin määrällä saadaan tarpeeksi lähteitä tutkimukseen. Ajan säästämiseksi päätettiin rajoittaa tulokset vain lyhyehköihin alle 20 sivun artikkeleihin, joita lähes kaikki olivatkin.

Lähteet koottiin 10.6.2023 neljästä tietokannasta, joista saatiin 120 artikkelia. Artikkelit valittiin sen mukaan, mitä tietokannat luokittelivat relevanteimmiksi tai osuvimmiksi. Google Scholar ei anna kuvausta siitä, millä perusteella sen haku lajittelee artikkelit relevanteimmiksi. IEEE tietokanta antaa kuvauksena "lajiteltu sen mukaan, kuinka hyvin tulos vastaa IEEE Xplore määrittämää hakukyselyä" ("IEEE relevance Description", n.d.). JYKDOK sanoo vain, että se "näyttää ylimpänä tulokset, jotka ovat sopivat hakuun parhaiten (täsmävyys, relevanssi)" ("JYKDOK relevance Description", n.d.). Scopuksesta löytyy tarkin kuvaus siitä, miten se määrittää relevanteimmat artikkelit. Scopuksesta hakuun vaikuttaa osumien määrä,

kuinka merkittäviä hakusanat ovat, missä osassa dokumenttia hakusana on, kuinka aikaisin se esiintyy tekstissä, kuinka lähekkäin haun eri termit ovat, ja kuinka monta sanaa useista hakusanoista on dokumentissa (“Scopus relevance Description”, n.d.).

Kaikkiaan 27 artikkelia oli useissa tietokannoissa ainakin kerran toistuvia. Nimen ja artikkelin avainsanojen perusteella 17 artikkelia tutkii dynaamista vaikeusasteen säätöä muusta näkökulmasta kuin videopeleissä, tai niillä oli erilainen tavoite kuin pelin nautittavuuden lisääminen, joten niitä ei otettu mukaan tutkimukseen. Lisäksi kaksi JYKDOKissa olevaa lähdetä eivät olleet englanniksi tai muulla ymmärtämälläni kielellä. Kun edellä mainitut jätettiin pois, saatiin 73 eri lähdetä, jotka vaikuttivat tutkielmaan sopivilta nimen ja avainsanojen perusteella ja täyttivät valintakriteerit.

Tämän jälkeen näiden 73 artikkelin tiivistelmät luettiin ja niiden perusteella katsottiin, jätetäänkö ne pois tutkimuksesta. Tiivistelmien perusteella aiemmin karsittujen lisäksi karsittiin 12 artikkelia, joiden näkökulma ei vaikuttanut tutkimukseen sopivalta. Nämä liittyivät yleensä DDA:n käyttöön joko opetuksessa tai lääketieteessä ja ne karsittiin tässä vaiheessa.

Näin saatuja 61 artikkelia arvioitiin tarkemmin, kun ne oli luettu kokonaan, ja niistä valittiin tutkielman lopulliset lähteet. Kun jäljellä olevat artikkelit oli luettu, niistä jätettiin pois viisi artikkelia, jotka vaikuttivat tarkastelevan DDA:ta muilta kannoilta kuin mihin tutkimuksessani keskitytään. Lisäksi kolme kirjallisuuskatsausta jätettiin pois. Näin lopulta jäljelle jäi 53 artikkelia, jotka muodostivat kartoitukseen valittujen artikkeleiden joukon. Nämä antavan kattavan kuvan DDA:sta tehdystä tutkimuksesta ja DDA:n toiminnasta ja toteutustavoista. Artikkelit oli julkaistu vuosien 2005 ja 2022 välillä. Kootut artikkelit on julkaistu luotettavaksi arvioituissa lähteissä, joilla on vähintään taso 1 JUFO julkaisufoorumissa. Tutkielman aineistoksi valitut artikkelit löytyvät liitteenä.

4 Tulokset

4.1 Julkaisuaajat



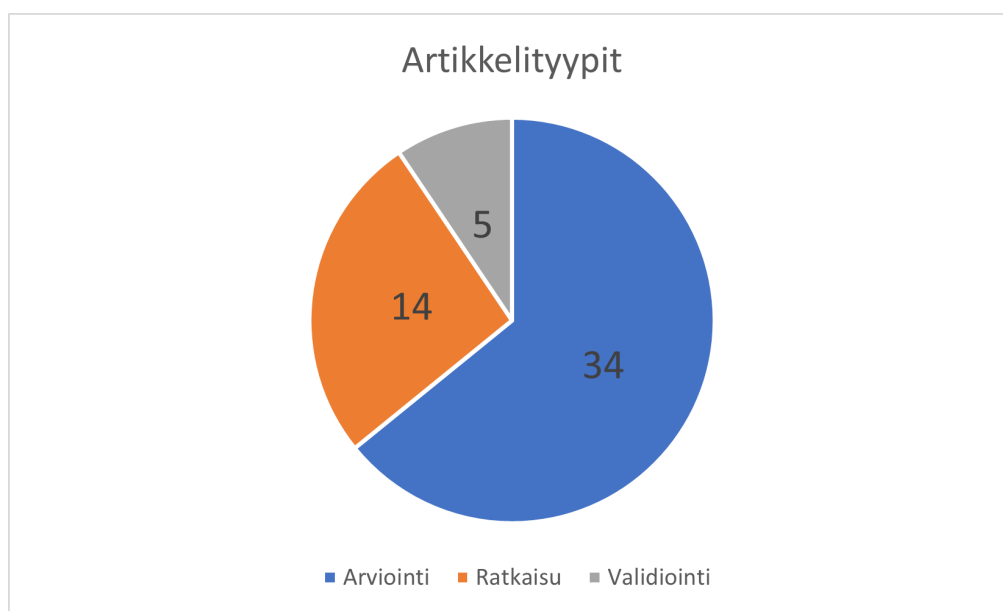
Kuvio 2. Artikkelien julkaisuaajat.

Kuten kuvio 2 nähdään tutkielmaan otetut artikkelit ovat kaikki yhtä lukuun ottamatta julkaistu vuoden 2009 jälkeen, ja 2009 lähtien joka vuonna on julkaistu ainakin yksi artikkeli aiheesta. Ainoastaan yksi artikkeli, Hunicke (2005) on julkaistu selvästi tätä ennen, vuonna 2005. Tämä artikkeli esittää dynaamisen vaikeustason säädön periaatteen ja toteutuksen käytännössä sekä sen hyödyt. Siihen ovat viitanneet melkein kaikki muut lähteet, ja se vaikuttaa olevan yksi ensimmäisistä tutkimuksista videopelien DDA:sta.

Suurimmat piikit artikkelien julkaisuissa sijoittuvat vuosille 2010 ja 2019. Artikkelien julkaisuissa on ensimmäinen piikki vuonna 2010, jolloin julkaistiin 6 artikkelia. Sen jälkeen artikkeleita julkaistiin vähemmän, vain yksi tai kaksi vuoteen 2014 asti. Tämän jälkeen vuosittain julkaistujen artikkelien määrässä on havaittavissa kasvu vuoteen 2019 asti, jolloin niitä julkaistiin 8, mikä on eniten yhtenä vuonna julkaistuja tutkimuksia. Tämän jälkeen julkaisujen määrä väheni selvästi seuraavina vuosina, mikä voi johtua COVID-19 pandemian aiheuttamasta häiriöstä tutkimuksissa. Esimerkiksi Nery ym. (2022) mainitsivat, että

COVID-19 pandemia aiheutti häiriötä tutkimuksen toteutukselle. Vuonna 2022 julkaistujen artikkelien määrä vaikuttaa taas lähteneen kasvuun, mikä voi viitata koronapandemian tutkimukselle aiheuttaman häiriön loppuneen. Artikkelien määrässä on, koronapandemian aiheuttamaa häiriötä lukuun ottamatta, havaittavissa vuodesta 2009 alkaen kasvava trendi, joka viittaa lisääntyneeseen akateemiseen kiinnostukseen DDA:ta kohtaan.

4.2 Artikkelien tyypit



Kuvio 3. Eri artikkelityyppien määrät.

Tutkitut artikkelit jaettiin Petersen, Feldt ja Mujtaba (2008) esittämiin eri artikkelityyppeihin kuten kuvio 3 näkyy. Kaikki tutkitut artikkelit ovat tyypiltään joko arviointi (engl. evaluation), ratkaisu (engl. solution) tai validointi (engl. validation) artikkeleita. Tutkimukseen otetuista 53 artikkelista 34 oli arviointi, 14 ratkaisu ja 5 validointi artikkeleita.

Yleisin artikkelityyppi on arviointi, joissa arvioidaan jonkin DDA menetelmän toteutusta ja vaikutusta peliin ja käyttäjän kokemukseen. Menetelmän toimintaa testataan käytännön kokeella, kuten testaamalla DDA-tekniikkaa käyttävää peliä koeryhmällä. Esimerkiksi Stein ym. (2018) tutkivat aivosähkökäyrien mittaamista EEG-sensoreilla ja siitä saadun palautteen käyttämistä DDA:n toteutuksessa.

Validointi-artikkeleita oli vähiten. Niissä esitellään jokin uusi tekniikka, jota ei ole ennen toteutettu käytännössä ja jonka toimivuutta voidaan testata kokeella. Tällainen on esimerkiksi Hunicke (2005) artikkeli, jossa tutkitaan Half-Life-peliin kehitettyä Hamlet DDA-järjestelmää ja esitellään sen toiminta.

Ratkaisuartikkeleissa esitetään ratkaisu johonkin ongelmaan, joka on joko kokonaan uusi tekniikka tai uusi sovellus aiemmasta. Esimerkiksi Moon ja Seo (2020) artikkelissa tutkittiin LSTM-FC neuroverkon käyttöä DDA:n toteutuksessa.

4.3 Tutkitut pelit ja peligenret

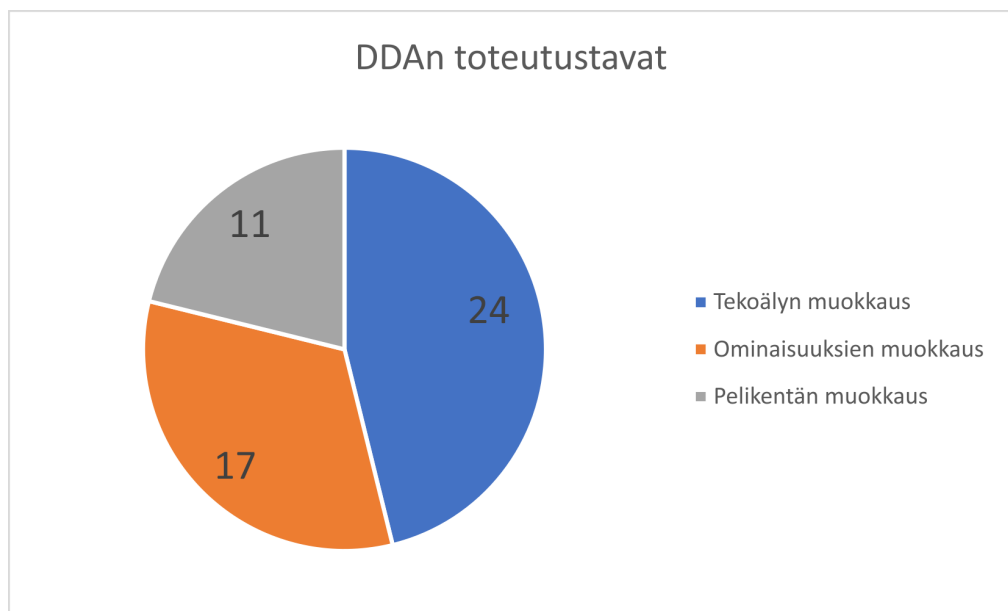
Taulukko 2. Lähteissä tutkitut peligenret ja tutkimusten määrä

Tutkittu peligenre	Artikkelien määrä
Tappelu	8
Puzzle	7
Tasohyppely	6
Ammunta	5
Sokkelo	4
Strategia	3
Roolipeli	3
Taisteluareena	3
Urheilu	2
Shoot 'em up	2
Musiikki	1
Kauhu	1
Massiivimoninpeli	1
Tornipuolustus	1
Hiekkalaatikko	1

Kuten taulukosta 2 näkyy, artikkeleissa tutkittiin muun muassa tappelupelejä, joka oli kaikista eniten tutkittu genre, erilaisia puzzle-pelejä kuten Tetris, FPS-ammuntapelejä, tasohyppelyitä ja strategiapelejä ja MOBA-pelejä. Tutkituin yksittäinen peli on FightingICE-

tappelupeli, jota tutkittiin seitsemässä artikkelissa. Kahdessa artikkelissa toteutettiin tutkimus Super Mario -tasohyppelypelillä tai Super Mario -kloonilla ja lisäksi neljässä artikkelissa tutkimuksessa käytettiin muita tasohyppelypelejä. Lisäksi Tetristä tutkittiin viidessä, Pac-Mania neljässä ja DotA tai DotA2 pelejä kolmessa artikkelissa.

4.4 DDA:n toteutustapoja



Kuvio 4. Kuvio DDA:n toteutustavoista.

Dynaamiseen vaikeustason säätöön on tutkittujen lähteiden mukaan useita mahdollisia toteutustapoja, jotka olen jakanut laajasti kolmeen pääasialliseen tapaan kuten kuviossa 4 näkyy. Nämä perustuvat omiin havaintoihini läpikäymistäni artikkeleista, eivätkä eri tavat aina ole selvästi toisistaan erotettavia. Joissain tutkimissani artikkeleissa DDA:n toteutukseen käytettiin useampaa kuin vain selkeästi yhtä tapaa. Kaikissa artikkeleissa ei ole mitään käytännön tapaa toteuttaa vaikeustason säätöä. Esimerkiksi Missura ja Gärtner (2011) artikkelissa esiteltiin uusi tapa mitata pelaajan kokemaa vaikeustaso, mutta ei toteutettu sen perusteella toimivaa vaikeustason säätöä, eikä tätä artikkelia ole otettu mukaan kuvioon 4, vaikka se on mukana tutkimuksessa.

Ensimmäinen ja yleisin DDA:n toteutustapa on muuttaa pelin vastustajien toimintaa vaikeammaksi tai helpommaksi sen mukaan, kuinka hyvin pelaaja pärjää pelissä (Silva, V. d. N.

Silva ja Chaimowicz 2017) ja (Pratama, Nugroho ja Yuniarno 2016). Kuten taulukosta 2 nähdään, useimmiten tutkittu peligenre oli tappelupelit, joissa yleensä tutkittiin tekoälyn muokkausta. Seitsemässä tutkimuksessa käytettiin FightingICE-peliä, joka on Demediuk ym. (2017) mukaan kehitetty nimenomaan tekoälyn tutkimista varten. Se on kaikista tutkituin yksittäinen peli, minkä voi olettaa johtuvan siitä, että FightingICE on suunniteltu tutkimuskäyttöön, se on helposti muokattava ja siitä saa vaivattomasti kerättyä dataa (Demediuk ym. 2017).

Toinen toteutustapa on muuttaa pelaajan hahmon tai muiden pelissä olevien hahmojen ominaisuuksia jotenkin, kuten vähentää vastustajien terveyttä tai muuten heikentää niitä, jota tutkivat esimerkiksi Hunicke (2005) ja Baldwin ym. (2013). Kolmas tapa on tehdä pelin kentistä helpompia tai vaikeampia. Tämä onnistuu peleissä, joissa kentät joko generoidaan satunnaisesti pelin aikana, tai jossa seuraava kenttä valitaan joukosta valmiita kenttiä, joille on asetettu vaikeusasteet (Pfau, Malaka ja Smeddinck 2019) ja (Jennings-Teats, Smith ja Wardrip-Fruin 2010).

Jokaiselle toteutustavalle on erilaisia tarkempia tapoja, joilla sen voi käytännössä toteuttaa ja eri peleihin sopivat paremmin erilaiset tavat. Kahdessa artikkelissa dynaamisen vaikeustason säädön toteutukseen käytettiin kahta eri tapaa. Nämä artikkelit ovat Yang ja Sun (2020) ja Rosa ym. (2021) tutkimukset, joissa molemmissa käytettiin pelikentän ja pelin ominaisuuksien muokkausta vaikeustason säätöön.

Eri DDA:n toteutustapojen tutkimus näyttää keskittyvän tiettyjen genrejen peleihin, joihin tämä toteutustapa vaikuttaa sopivan hyvin. Esimerkiksi jokaisessa kolmesta MOBA-genren DotA- tai DotA2-peleissä toteutetussa tutkimuksessa, kuten Silva, V. d. N. Silva ja Chaimowicz (2017), testattiin pelaajahahmoa ohjaavaa tekoälybottia. Myös tappelupeleissä pelin vaikeus tulee lähinnä vastustajan taidosta, joten jokaisessa tappelupelejä tutkivassa artikkelissa DDA toteutettiin tekoälyä muokkaamalla. Tasohyppelypeleissä vaikeus johtuu yleensä pelin kenttien haastavuudesta, joten näissä peleissä tutkittiin yleensä DDA:n toteutusta pelikenttien generoinnin muokkaamisella. Pac-Man-peliä tutkittiin neljässä artikkelissa, joissa kaikissa tutkittiin pelin vastustajien tekoälyn reitinhakua.

Ammuntapeleissä DDA toteutettiin yleensä pelin ominaisuuksia, kuten pelaajien terveyttä

tai tekemää vahinkoa muuttamalla (Hunicke 2005) ja (Baldwin, Johnson ja Wyeth 2014). Strategiapeleissä, joita tutkivat Supriyadi, Nugroho ja Hariadi (2019), ja areenamoinpeleissä, joita tutkivat esimerkiksi Silva, V. d. N. Silva ja Chaimowicz (2017), tutkittiin tekoälyä toteuttamalla peliin hahmoa ohjaava botti, joka pelasi ihmisvastustajia vastaan mukauttaen vaikeuttaan vastaamaan pelaajan taitoja.

4.5 Tekoälyn DDA

DDA:n toteutusta muokkaamalla pelin tekoälyä käytettiin 24 tutkimuksessa, mikä on lähes puolet artikkeleista, joissa toteutettiin jonkinlainen vaikeustason dynaaminen säätö. Pelin tekoälyä muokkaamalla pelin vastustajista voidaan tehdä joko vaikeampia tai helpompia, jotta vastustajien tarjoama haaste vastaisi paremmin pelaajan taitotasoa. Hunicke (2005) mukaan adaptiivisen tekoälyn tulisi täyttää monia vaatimuksia, kuten olla nopea, koska sen tulee oppia pelin aikana ja olla tehokas mukautumisen aikana. Tekoälyn mukautumisen aluksi pelaaja pelaa mukautuvaa tekoälyä vastaan. Sitten pelaajan tasoa verrataan ennalta määriteltyihin eri kiintopisteisiin ja sen mukaan muutetaan tekoälyn taitoja.

Tekoälyn DDA voidaan toteuttaa muuttamalla tekoälyn päätöksentekoa erilaisilla tavoilla. Nämä riippuvat siitä millaista tekoälyalgoritmia pelin tekoälyssä käytetään. Tekoälyn muokkaukseen käytetään tutkimistani artikkeleissa esimerkiksi He ym. (2010) tutkimuksessa. Siinä Pac-Man-pelin haamuvastustajien reitinhakua, ja siten pelin haastetta, säädettiin Monte Carlo -puuhakua käyttäen joko tehokkaammaksi tai heikommaksi. Myös Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) artikkelissa DotA2 (Defence of the Ancients 2) -pelin tekoälyvastustajien vaikeutta säädettiin muuttamalla tekoälyn käyttämän pelihahmon kykyjä. Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) tutkimuksessa toteutettu dynaaminen tekoäly ei mukautunut tarpeeksi nopeasti parhaimpien pelaajien taitoihin, jolloin pelistä saattoi tulla liian helppo.

Monessa artikkelissa käytettiin Monte Carlo Search Tree -algoritmia (myöhemmin lyh. MCST). MCST on heuristinen etsintäalgoritmi, jolla etsitään vaihtoehtopuusta paras vaihtoehto. MCST ei täysin tutki alapuuta, missä voi mennä äärettömän paljon aikaa, vaan se ottaa alipuista näytteitä ja käyttää niiden keskiarvoa arviona koko alapuun arvosta (Demediuk ym. 2017).

MCST-algoritmia käytetään tekoälyn päätöksenteossa. Algoritmin parametrejä muutamalla voidaan muuttaa tekoälyn taitoja ja siten myös perin vaikeustasoa. Yhdeksän tarkasteltua artikkelia kuten Demediuk ym. (2017) tutkivat Monte Carlo -algoritmin käyttöä DDA:n toteutuksessa FightingICE-tappelupeliin. He tekivät siihen kolme erilaista DDA:ta käyttävää vastustajaa, jotka tekivät MCSTtä käyttävästä tekoälyvastustajasta miellyttävämmän.

Myös neuroverkkojen käyttöä DDA:n toteutuksessa on tutkittu useissa artikkeleissa. Tämä tutkimus vaikuttaa lähteiden mukaan olevan lupaava ala tulevaisuudessa. Esimerkiksi Moon ja Seo (2020) tutkittiin LSTM-FC-neuroverkon käyttöä auttamaan DDA:n mukautumista pelaajalle sopivaksi ja todettiin, että se oli ainakin yhtä tehokas kuin vertailu DDA, joka ei käyttänyt neuroverkkoja.

4.6 DDA pelin ominaisuuksia muuttamalla

Toinen yleinen tapa toteuttaa DDA on muuttaa pelin hahmojen tai esteiden ominaisuuksia dynaamisesti. Sitä käytettiin 18 tutkimistani artikkeleista. Tämä tapa tarkoittaa yleensä joko pelaajan hahmon tai tekoälyvastustajien joidenkin numeeristen ominaisuuksien lisäämistä tai vähennystä. Esimerkkinä ampumapelistä voidaan tehdä vaikeampi vähentämällä pelaajan aseensa tekemää vahinkoa, lisäämällä tekoälyvihollisten ammusten tarkkuutta tai pelissä olevien vihollisten nopeutta. Tällaista tapaa toteuttaa DDA käytettiin esimerkiksi Hunicke (2005) Half-Life-pelissä tehdyssä tutkimuksessa.

Ominaisuuksien muuttaminen on tapa, jolla DDA voidaan toteuttaa useimpiin erilaisiin peleihin. Lähes kaikissa peleissä on jotain numeerisia ominaisuuksia, joita voidaan muokata pelin aikana, jotta pelistä saadaan tarpeen mukaan haastavampi tai helpompi. Esimerkiksi pelaajan terveysten määrän muuttaminen on yksinkertainen tapa, joka voi toimia monissa eri peligenreissä. Tätä tapaa käytettiin artikkelissa Baldwin, Johnson ja Wyeth (2014), jossa tutkittiin DDA:n toteutusta Unreal Tournament III -ammunta-moninpelissä. Ominaisuuksien muuttamista käytettiin lisäksi muun muassa erilaisissa puzzle-peleissä, kuten Tetrixissä, muuttamaan palikoiden liikkumisnopeutta, jota tutkittiin Ang ja Mitchell (2017) artikkelissa.

4.7 DDA kenttien generoinnissa

Vähemmän käytetty tapa toteuttaa DDA on muuttaa pelin kenttiä vaikeammiksi tai helpommiksi. Yleensä lähteiden mukaan tämä tapahtuu peleissä, joissa kentät generoidaan proseduraalisesti muokkaamalla kenttien luomisessa käytettyjä parametrejä. Kenttien muokkausta käytettiin 11 tutkimassani artikkelissa, joten se oli kolmesta DDA-tavasta vähiten käytetty.

Pelikenttien generoinnin muokkausta DDA:n toteutukseen käytettiin useimmiten tasohyppelepeleissä ja joskus myös puzzle-peleissä. Esimerkiksi Zafar (2013) artikkelissa tutkitussa Super Mario -tasohyppelepelissä kenttien vaikeuteen vaikutetaan kasvattamalla rotkoja ja lisäämällä esteitä tai vihollisia, joita pelaajan tulee välttää. Toinen esimerkki artikkelista, jonka lasken pelikentän muokkausta tutkivaksi, on Xue ym. (2017), joka tutkii Bejeweled-peliä. Siinä tutkittiin, miten DDA:n käyttö vaikuttaa siihen, kuinka haastava kenttä generoidaan.

4.8 DDA käyttäjäkokemukseen arvioiminen

Dynaamisen vaikeustason säädön onnistuneen toteutuksen kannalta DDA:n vaikutusta pelaajan pelikokemukseen on tärkeää mitata, vaikkakin se on usein haastavaa. Eri tutkimuksissa tätä pyritään arvioimaan useilla erilaisilla tavoilla.

Joissain tutkimuksissa pelaajien ruumiista mitataan sykettä tai aivojen toimintoja, joiden perusteella haastetta arvioidaan. Muutamassa artikkelissa tutkitaan aivosähkökäyriä (elektroenkefalografia engl. electroencephalography, myöhemmin lyh. EEG) mittaamaan testipelaajien aivoaaltoja pelattaessa DDA:ta käyttävää peliä, ja tuloksia verrattiin peleihin ilman DDA:ta. Stein ym. (2018) tutkivat EEG:n käyttöä DDA:n toteutukseen toteuttamalla tutkimuksen Boot Camp -ammuntapelillä. Tutkimuksessa koehenkilöiden aivojen toimintaa mitattiin EEG-sensoreilla. Pelin vaikeutta muokattiin muuttamalla hahmojen ominaisuuksia, kun pelaajien aivojen tarkkailun perusteella havaittiin turhautumista.

Monissa tutkimuksissa pelaajat pelaavat peliä ilman DDA:ta ja DDA:lla. Tämän jälkeen heiltä haastattelussa kysytään, mitä he pitivät eri versioista. Esimerkki näistä on Ang ja Mitchell (2017) tutkimus, jossa koehenkilöt pelaavat kolmea eri versiota Tetris-pelistä. Yhdessä ei ole käytetty DDA:ta, ja kaksi muuta käyttävät erilaisia DDA:n toteutustapoja. Pelien pelaami-

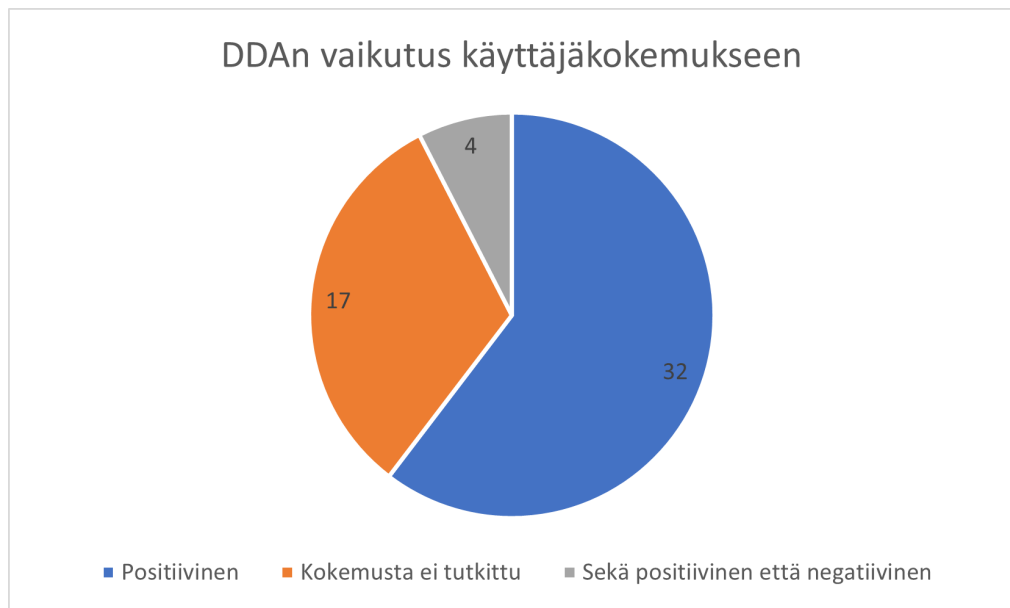
sen jälkeen koehenkilöt täyttivät kyselylomakkeet siitä, millainen heidän pelikokemuksensa oli. Kyselyä käyttivät itse DDA:n toteutuksessa Frommel ym. (2018). Tutkimuksessa pelaajan tunteisiin perustuva DDA sääti pelin vaikeutta pelaajien kyselyssä ilmoittamien tunteiden perusteella.

DDA:n toimivuutta arvioitaessa on myös käytetty pelaajien pelistä saamien tulosten mittausta. Tällaista tapaa käytettiin Supriyadi, Nugroho ja Hariadi (2019) tutkimuksessa, jossa koehenkilöt pelasivat Starcraft 2 -reaaliaikastrategiapeliä eri vaikeustasoisia tekoälyvastustajia vastaan, ja DDA:n toimintaa arvioitiin pelaajien saamien pisteiden perusteella. Kuitenkaan varsinaista pelaajien kokemaa mielihyvää ei tutkimuksessa arvioitu.

Kaikissa artikkeleissa ei mitata pelaajien kokemusta millään tavalla. Tällaisissa artikkeleissa esimerkiksi esitellään uusi tapa toteuttaa DDA, kuten Missura ja Gärtner (2011) ja Dziedzic ja Włodarczyk (2018) artikkeleissa, joissa esitellään uudenlaiset algoritmit koetun vaikeustason mittaamiseen, mutta niitä ei testata käytännössä. Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) tutkimuksessa toteutetun DDA:n toimivuutta testattiin pelaamalla sillä eri vaikeustasoisia staattisia tekoälypelaajia vastaan. Joissain tutkimuksissa kuten Lingdao ym. (2010) toteutetaan DDA ja sen toimintaa arvioidaan teknisestä näkökulmasta, mutta sen vaikutusta pelaajan kokemukseen ei testata kokeellisesti.

Rosa ym. (2021) tutkivat DDA:n käyttöä pelaajien saamiseen flow-tilaan. Tutkimuksessa pelaajat pelasivat peliä, jossa oli DDA, ja toista versiota ilman DDA:ta. Koehenkilöiden flow-tilan tunnetta mitattiin kyselemällä heiltä testin jälkeen kysymyksiä, kuten olitko täysin keskittynyt peliin, tai menetitkö ajan tajun pelin aikana (Rosa ym. 2021).

4.9 DDA:n vaikutus käyttäjäkokemukseen



Kuvio 5. Kuvio artikkeleista, joissa tutkittiin DDA:n vaikutusta kokemukseen ja tuloksista.

Useimpien tutkimusten mukaan DDA lisää pelaajien pelistä saamaa mielihyvää. Tutkituista artikkeleista 32:ssa todettiin, että DDA:n käyttö vaikuttaa pelaajien kokemukseen enimmäkseen positiivisesti, kuten kuviosta 5 näkyy. Useimmat tutkimukset, kuten Hunicke (2005) ja Stein ym. (2018), toteavat, että toimiva DDA pystyy mukauttamaan peliä niin, että eritasoiset pelaajat saavat siitä taidoilleen sopivan vastuksen. Se, että useimmat tutkimukset saivat lähinnä positiivisia tuloksia, ei ole yllättävää, koska melko harvoin julkaistaan tutkimuksia, joiden tulokset eivät vastaa ollenkaan tutkimuksen tavoitetta. Neljässä artikkelissa DDA:lla todettiin olevan sekä hyviä että huonoja puolia, kuten Ang ja Mitchell (2017) jotka toteavat, että vaikka molemmat testatut DDA-toteutukset parantavat pelikokemusta, liian vahva DDA vaikuttaa kokemukseen negatiivisesti, koska pelaajat kokevat menettävänsä kontrollia. Lopuissa artikkeleissa ei tutkittu DDA:n vaikutusta käyttäjäkokemukseen.

Stein ym. (2018) tutkimuksessa EEG:n käytöstä DDA:n toteutuksessa Boot Camp -ammuntapeliin havaittiin, että aivoaaltoja käyttäen voidaan mukauttaa pelin vaikeutta pelaajille miellyttäväksi, ja pelaajien havaittiin olevan innostuneempia pelistä EEG:tä käytettäessä. Pelaajia myös haastateltiin testin jälkeen ja kolme neljäsosaa koehenkilöistä nimesi pelin, jossa käytettiin EEG:n avulla toteutettua DDA:ta jännittävimmäksi. Myös Burak Arslan ja Filiz (2022)

tutkivat EEG:n käyttöä pelaajien kokemuksen mittaamisessa Guitar Hero -pelissä, ja toteutettu DDA onnistui mukauttamaan pelin vaikeutta miellyttävämmäksi EEG:llä toteutetun analyysin perusteella.

Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) tutkimuksessa, jossa tutkittiin Defence of the Ancients -peliä, 73 prosenttia tutkimukseen osallistuneista pelaajista piti dynaamista tekoälyä vastaan pelaamisesta ja 64 prosenttia pelasi peliä uudelleen. Näin siitä huolimatta, että vain 27 prosenttia sanoi pelin vaikeustason olevan sopiva heille, ja 73 prosenttia pelaajista oli täysin eri mieltä siitä, että olisivat halunneet lopettaa pelin kesken (Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz 2016).

Kuviossa 5 sekä positiivisia että negatiivisia tuloksia sisältävät artikkelit tarkoittavat lähteitä, joissa DDA:n todetaan vaikuttavan positiivisesti käyttäjien kokemukseen, mutta mainitaan myös havaittuja käyttäjien kokemusta haittaavia seikkoja. Tällaisista esimerkkinä on Nery ym. (2022), jotka tutkivat DDA:n toteutusta klassiseen Asteroids Shoot'em up -peliin. Tutkimuksessa käytettiin kahta DDA-toteutusta, Data Subset Analysis (DSA) ja Real-Time Arousal Set (RTA). Sen tarkoitus oli verrata näitä kahta toisiinsa sekä kontrollivaikeustasoa käyttävään peliin. Tutkimuksen tuloksena havaittiin, että koehenkilöt kokivat DSA:ta käyttävän DDA:n miellyttävämmäksi ja sen vaikeustaso koettiin sopivammaksi. RTA DDA taas koettiin liian vaikeaksi ja pelaajat kokivat sen kanssa pelaamisen vähemmän miellyttäväksi kuin ilman DDA:ta pelaamisen.

Demediuk ym. (2017) tutkimuksessa tutkittiin neljän eri DDA-tekoälyvastustajan vaikutusta pelaajien kokemukseen FightingICE -tappelupelissä. Kaikki tekoälyvastustajat käyttivät Monte-Carlo -puuhakua, ja niistä kolme oli toteutettu tutkimusta varten. Kukin tekoälyvastustaja käytti erilaista DDA:ta, ja niitä verrattiin neljänteen kontrollivastustajaan, joka ei muokautunut pelaajien taitoihin. Koehenkilöt pelasivat kaikkia vastustajia vastaan, ja he kokivat kaikista vaikeimmaksi vastustajan, joka ei käyttänyt DDA:ta. Tätä vastustajaa vastaan pelaaminen myös koettiin vähiten mukavaksi, mikä Demediuk ym. (2017) mukaan todistaa, että todella vaikea peli ei ole pelaajista miellyttävä. Muut DDA:ta käyttävät kolme tekoälyä koettiin kaikki mukavammiksi vastustajiksi. Kaikista miellyttävimpänä pidetty tekoäly koettiin myös realistisimmaksi. Sen voittoprosentti oli 46, ja pelaajat kokivat sen vaikeusasteen sopivimmaksi. Tuloksista pääteltiin, että vastustaja, jolla on vähän alle 50 voittoprosentti,

eli hyvän vastuksen tarjoava, mutta todennäköisimmin häviävä, on miellyttävämpi kuin vastustaja, joka piti voittoprosentin lähimpänä 50:tä tai liian tehokkaasti toimiva todella vaikea vastustaja.

Artikkelissaan Rosa ym. (2021) tutkivat DDA:n käyttöä eri vaikeusasteisten kenttien generoimiseen tasohyppelypeliin. DDA muokkasi sekä pelin kenttiä että pelaajahahmon hyppyjä, ja sen todettiin voivan sopeuttaa pelin vaikeustaso riittävästi vastaamaan pelaajien taitoja. Tutkimuksessa myös tutkittiin saako DDA:ta käyttämällä parannettua pelaajien flow-tilan tunnetta pelin aikana. Tutkimuksen tulokset olivat positiivisia etenkin pelaajille, jotka suosivat helpompia vaikeustasoja, ja Rosa ym. (2021) totesivat, että DDA:ta voidaan parantaa muokkaamaan peliä pelaajien arvioidun profiilin mukaan. Kuitenkaan koehenkilöillä ei havaittu lisääntyntä flow-tilan tunnetta verrattuna peliin ilman DDA:ta.

4.10 DDA:n käytön varjopuolia

DDA:n lisäämisellä peliin on myös haittapuolia, jotka tulee ottaa huomioon pelejä kehitettäessä. Toimivan DDA:n toteutus vaatii aina aikaa ja resursseja, ja on Jennings-Teats, Smith ja Wardrip-Fruin (2010) mukaan aina paljon vaivaa vaativa haaste. Hunicke (2005) mukaan DDA-järjestelmät ottavat pelin vaikeuden vallinnan pois kehittäjiltä ja antavat sen automaattiselle järjestelmälle.

Jotkin tutkimukset nostavat esiin DDA:sta johtuvia ongelmia ja tutkimuksissa havaittuja puutteita. DDA:n toteutuksen haasteita ovat, miten arvioida pelaajan taitoja tarkasti sekä miten mukauttaa pelin vaikeustaso taitoihin sopivaksi. Jotta DDA toimii, pitää pelaajan taitoja pystyä mittaamaan tarkasti ja sitten DDA:n pitää pystyä mukauttamaan pelin haasteen sopivaksi mitattuihin pelaajan taitoihin. Jotta tämä onnistuu, täytyy pelin kehityksessä käyttää resursseja sekä pelaajan taitojen mittaamiseen että sopivasti peliä muokkaavan DDA:n suunnitteluun.

Esimerkiksi Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) totesivat, että vaikka toteutettu DDA saa aikaan tekoälyvastustajan, jota vastaan useimpien pelaajien on miellyttävä pelata, se ei pysy parhaimpien pelaajien taitojen mukana ja pelikokemuksesta tuli liian helppo taitavimmille pelaajille. Toisaalta Arulraj (2010) havaitsi tutkimuksessaan, että jos heikot aloitustai-

dot omaava pelaaja kehittyy nopeasti taitavammaksi, DDA:n on vaikea pysyä nopeasti muuttuvien taitojen mukana, eikä se onnistunut säätämään pelin vaikeutta sopivaksi pelaajalle.

Pelihahmon ominaisuuksien muokkaamiseen perustuvaa DDA:ta käytettäessä on myös mahdollista, että pelaajat voivat kokea heitä rangaistavan menestyksestä, jos pelaajan hahmo muuttuu heikommaksi DDA:n mukauttaessa peliä haastavammaksi sen sijaan, että pelaaja palkittaisiin hyvästä menestyksestä sillä, että hahmo kehittyy vahvemaksi pelin aikana. Tämän takia DDA ei saisi olla niin vahva, että se saa pelaajan tuntemaan itsensä heikommaksi, kun peli etenee. Samalla sen tulisi antaa pelaajan kokea etenevänsä ja kehittyvänsä, mutta silti pystyä pitämään pelin haaste pelaajalle sopivana. Ang ja Mitchell (2017) mukaan DDA:n käyttö yleensä parantaa pelikokemusta, mutta liian vahva ja huomattava DDA vaikuttaa kokemukseen negatiivisesti, koska pelaajat kokevat menettävänsä kontrollia, jos DDA:n vaikutus pelin vaikeuteen on liian suuri. DDA:n pitäisi olla myös sopivan lievä, että se ei häiritse pelaajaa, mutta kuitenkin vaikuttaa positiivisesti kokemukseen.

5 Pohdinta

Kirjallisuuskartoituksen lopputulos on, että DDA on lähteiden mukaan enimmäkseen hyödyllinen. Useimmat tutkimukset toteavat, että tutkittu DDA pystyy mukauttamaan peliä tarjoamaan eritasoisten pelaajien taidoille sopivan vastuksen ja parantamaan pelaajan pelikokemusta. Tutkitun tieteellisen kirjallisuuden mukaan DDA:n toteutukseen on yleisesti kolme erilaista tapaa: tekoälyn, pelin ominaisuuksien tai pelikentän muokkaaminen. Tekoälyn muokkaaminen on useimmiten hyvä ja hienovarainen tapa toteuttaa DDA. Pelaajan on usein vaikea huomata sitä, eikä se siksi haittaa pelikokemusta. Jotta tätä DDA-tapaa voidaan käyttää pelissä, täytyy siinä olla jonkinlainen tekoälyvastustaja, jonka päätöksentekoa tai toimintaa voidaan muokata.

Luvussa 4.4 esitelty DDA:n toteutustekniikoiden lajitteleminen kolmeen tapaan, joita ovat pelin ominaisuuksien, tekoälyn ja pelikentän säätäminen, on oma lajitteluni, jonka tein tarkastelemieni artikkelien pohjalta. Tutkiessani lähteitani huomasin niissä esitellyissä DDA:n toteutustavoissa yhtäläisyyksiä siinä, miten pelin vaikeustasoa säädettiin, ja useissa saman genren peleissä vaikeustasoa säädettiin muokkaamalla peliä samalla tavalla. Kuitenkin aina käytetyt DDA:n toteutustavat eivät sopineet selvästi vain yhteen kategoriaan, esimerkiksi yllä mainittu Rosa ym. (2021). Lajittelua kolmeen toteutustapaan voisi kehittää eteenpäin ja laatia tarkemmat kriteerit eri kategorioille. Tulevaisuudessa eri artikkeleissa esiteltyjä vaikeustason säätötapoja voisi myös vertailla teknisemmästä ja laajemmasta näkökulmasta.

Useimmissa artikkeleissa DDA:n toteutukseen käytetään vain yhtä tapaa, kuten tekoälyn muokkausta tai pelihahmojen ominaisuuksien säätämistä. DDA:n toteutusta useampaa eri tapaa käyttäen, kuten Rosa ym. (2021) jossa muokattiin sekä pelihahmon ominaisuuksia että pelikenttää, voitaisiin lisätä. Muokkaamalla peliä useampia tapoja käyttäen voisi olla mahdollista löytää tehokkaampia tapoja hienosäätää pelin vaikeutta pelaajille sopivammaksi, ja mahdollisesti saada vaikeus mukautettua tarkemmin jokaiselle pelaajalle.

Eri DDA:n toteutustavoilla on omia vaatimuksia ja rajoitteita, ja käytetty muokkaustapa tulee valita sen mukaan, mikä sopii kyseessä olevalle pelille. Esimerkiksi pelikenttien muokkausta ei voida käyttää peleissä, joissa kentät ovat aina samanlaisia ilman variaatioita, vaan se toimii

parhaiten, kun kentät generoidaan satunnaisesti. Tällöin DDA-algoritmi voi arvioida pelaajan taitoja pelattujen kenttien perusteella ja vaikuttaa generoitavien kenttien vaikeuteen arvionsa perusteella. Kentät voidaan myös valita valmiista kentistä niiden haastavuuden perusteella, jos kenttiä ei generoida pelin aikana. Tämä tapa toteuttaa DDA sopii esimerkiksi tasohypelypeleihin, kuten Zafar (2013) tutkimuksessa Super-Mario-pelistä. Tekoälyä muokkaavaa DDA:ta taas voidaan käyttää vain, jos pelissä on jonkinlainen tekoäly, jota muokata. Tämä tapa sopii hyvin peleihin, joissa tekoälyvastustaja toimii kuin ihmisvastustajan korvikkeena, kuten esimerkiksi ammunta-, tappelu- ja reaaliaikastrategia-peleissä.

Tutkielmassa kartoitettiin uusia asioita verrattuna aiempiin DDA:sta tehtyihin kirjallisuuskartoituksiin, joita löydettiin aineistoa haettaessa kolme, kuten Zohaib ym. (2018) ja Sepulveda, Besoain ja Barriga (2019). Näissä ei ole tutkittu, mihin Petersen, Feldt ja Mujtaba (2008) esittämiin artikkelityyppeihin DDA:sta julkaistut artikkelit kuuluvat. Aiemmistä kartoituksista ei löytynyt kartoitusta siitä, mihin peleihin ja peligenreihin DDA:n tutkimuksessa on keskitytty, mistä tässä tutkielmassa kertoo taulukko 2. Sepulveda, Besoain ja Barriga (2019) kirjallisuuskartoituksessa DDA:n toteutustavat lajiteltiin kolmeen kategoriaan, jotka ovat lähes vastaavia tässä tutkielmassa esitellylle lajittelulle. Nämä kategoriat ovat ominaisuuksien muokkaus, käyttäytymisen muokkaus, joka vastaa tekoälyn muokkausta, ja tapahtumien muokkaus, joka ei aivan täysin vastaa pelikentän muokkausta.

DDA:n käytöllä havaittiin myös olevan negatiivisia vaikutuksia. Silva, V. D. N. Silva ja Chaimowicz (2016) totesivat, että heidän tutkimansa DDA:n oli vaikea pysyä parhaiden pelaajien taitojen mukana, ja toisaalta Arulraj (2010) mukaan hänen tutkimansa DDA:n toteutustavan oli vaikea mukautua nopeasti pelaajien paranevien taitojen muutoksiin. Jos DDA ei saa mukauduttua pelaajan taitoihin sopivaksi, pelin vaikeudesta tulee pelaajalle epäsopeva, ja koko pelistä voi tulla epämiellyttävä. Nery ym. (2022) tutkimuksen tulokset osoittavat, että hyvin toteutettu DDA parantaa pelistä saatavaa kokemusta, mutta huonosti toimiva DDA voi tehdä pelistä vähemmän nautittavan kuin jos siinä ei olisi DDA:ta ollenkaan. Tämä osoittaa, kuinka tärkeää on suunnitella ja testata DDA:n vaikutuksia ennen kuin sitä käytetään pelin teossa.

Tutkimuksia, joissa havaittiin DDA:n käytölle sekä positiivisia että negatiivisia vaikutuksia, voitaisiin jatkaa tutkimalla, mistä saadut tulokset johtuvat. Esimerkiksi Demediuk ym. (2017)

artikkelia MTCS-DDA:n vaikutuksista pelaajatytyväisyyteen voitaisiin jatkaa tarkemmalla tutkimuksella siitä, mistä johtuu, että juuri miellyttävimmäksi koettu DDA oli miellyttävin. Nery ym. (2022) vertailututkimusta voitaisiin jatkaa tutkimalla, miksi RTA DDA koettiin vähemmän miellyttäväksi kuin peli ilman DDA:ta tai DSA DDA, ja voitaisiinko käytettyä RTA DDA:ta muokata, jotta sillä saataisiin parempia tuloksia. Myös voitaisiin miettiä, soveltuuko huonosti pelikokemukseen vaikuttanut DDA-tapa huonosti vain juuri tämän kaltaisiin peleihin, ja voidaanko sillä mahdollisesti saada parempia tuloksia testaamalla sitä erilaisessa pelissä.

Useissa lähteissä tutkitaan vanhempia pelejä, kuten Tetris Ang ja Mitchell (2017), Pac-Man He ym. (2010) ja Super Mario Zafar (2013). Nämä pelit ovat hyvin tunnettuja ja yleensä helppoja oppia, joten niitä on helppo testata koehenkilöillä. Niitä koskeva tutkimus voi myös olla kiinnostavampaa kuin tutkimus pelistä, joka on tuntemattomampi. Nämä pelit ovat myös yleensä melko yksinkertaisia, eikä niissä ole monimutkaista tekoälyä, joten niihin on yksinkertaisempi toteuttaa haluttu DDA, kuten tekoälyartefakti, jolla DDA:ta voidaan tutkia halutulla tavalla, tai kenttien muokkausta hallitseva DDA järjestelmä.

Tutkimuksiin, joissa on tutkittu DDA:n toteutusta jollekin tietylle pelille, mahdollisia jatko-tutkimuskohteita olisi selvittää, kuinka heidän tutkimustensa tuloksia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää DDA:n toteutukseen muissa peleissä. Tällainen on esimerkiksi Stein ym. (2018), jotka toteavat suunnittelevansa kuinka heidän tuloksensa EEG-sensorien käytöstä DDA:n toteutuksessa voitaisiin tulevaisuudessa laajentaa muihin peligenreihin, joista he mainitsevat vuoropohjaiset strategiapelit ja yhteistyöpelit. Myös Frommel ym. (2018) toteavat, että heidän kehittämäänsä tasohyppelypelissä testattua tunteisiin perustuvaa DDA:ta voidaan tulevaisuudessa soveltaa muihin peligenreihin ja sitä voidaan verrata muihin DDA-toteutuksiin.

Tutkielmassa tarkastellut artikkelit rajattiin vain vuoden 2003 jälkeen julkaistuihin artikkeleihin. Tämä ei luultavasti ole suuri rajoite, koska DDA:ta ei vaikuta olevan tutkittu kovinkaan paljon tätä ennen. Tutkielman artikkelit ovat kaikki tehty vuonna 2022 tai aiemmin, joten aivan uusinta tutkimusta ei ole tullut mukaan kartoitukseen. Tällä hetkellä tietotekniikassa tapahtuu nopeaa edistystä neuroverkkojen kehityksessä ja tekoälyn käytössä sisällön tuotannossa. Neuroverkkoja tutkittiin joissain lähteissä, kuten Moon ja Seo (2020), mutta

generoivan tekoälyn mahdollista käyttöä ei tutkittu tarkastelluissa artikkeleista. Molemmilla aloilla voitaisiin toteuttaa tutkimusta niiden mahdollisesta käytöstä DDA:n toteutuksessa.

Zohaib ym. (2018) tutkivat, kuinka monta artikkelia eri vuosina välillä 2009-2017 DDA:sta oli julkaistu. Tulokset vastaavat tässä tutkimuksessa tehtyjä yhdellä poikkeuksella. Zohaib ym. (2018) artikkelissa näkyy sama kasvu tutkimusten määrässä vuonna 2010 kuin kuviossa 2, jota seuraa melko tasainen julkaisujen määrä vuoteen 2017 asti, jolloin julkaistujen artikkelien määrä kasvaa. Suurin poikkeama on vuonna 2012. Tässä tutkimuksessa löydettiin vain yksi 2012 julkaistu artikkeli, mutta Zohaib ym. (2018) kartoituksessa 2012 oli toiseksi eniten julkaistuja artikkeleita. Tämä ero voi selittyä haun eri kriteereillä, tai eri tietokannoista toteutetulla haulla.

DDA:ta voidaan käyttää myös muunlaisissa peleissä kuin pääasiassa viihdyttävissä peleissä, joita tässä tutkielmassa on tutkittu, kuten opetus-, liikunta- ja kuntoutuspeleissä (Supianto, Hafis ja Tolle 2019) (Pezzera ja Borghese 2020). Koska näiden tarkoituksena ei ole lisätä pelaajan pelistä saamaa mielihyvää, niillä on usein eri vaatimukset ja toteutus. Niitä ei siksi tutkittu tässä systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa, koska tarkasteltavien artikkeleiden määrää haluttiin rajoittaa. Kaupallisten ja toisaalta opetus- ja kuntoutuspelien vaikeustason vaatimuksissa on kuitenkin yhtenäisyyksiä, ja niiden kehitykseen voidaan soveltaa samoja DDA-tekniikoita, joita lähteissäni on esitetty. Tutkielmaan valituissa tutkimuksissa kehitetyistä DDA:n toteutustavoista, joiden päätarkoitus on lisätä käyttäjien pelistä saamaa mielihyvää, voitaisiin jatkossa tutkia niiden soveltumista erilaisiin käyttötarkoituksiin tehtyihin peleihin. Tutkielmasta karsitut artikkelit voitaisiin ottaa mukaan tulevaan kirjallisuuskatsaukseen, jolloin saataisiin vielä laajempi näkökulma aiheeseen. Näistä artikkeleista voitaisiin tutkia ovatko niissä käytetyt DDA-tekniikat samanlaisia kuin tässä tutkielmassa tarkastellut.

6 Yhteenveto

Videopelien suunnittelussa eräs tärkeä huomioon otettava tekijä on, kuinka miellyttävä peli on pelata. Tässä yhteydessä koetulla vaikeudella on suuri vaikutus käyttäjän pelikokemukseen. Pelien tulee olla pelaajalle miellyttäviä, jotta he jatkavat pelin pelaamista. Vaikeustaso, joka ei sovi pelaajalle, voi pilata muuten miellyttävän pelikokemuksen. Dynaaminen vaikeustason säätö on tapa mukauttaa videopelejä pelaajille miellyttävämmäksi pelaamisen aikana säätämällä pelien vaikeustasoa. Tutkielmassa tutkittiin, miten dynaaminen vaikeustason säätö voidaan toteuttaa erilaisissa videopeleissä, ja miten dynaaminen vaikeustason säätö vaikuttaa pelaajan pelikokemukseen.

Kuten luvussa 3 kerrottiin, tutkielman tutkimusmenetelmä on systemaattinen kirjallisuuskartoitus, jolla pyrittiin saamaan aikaan laaja kuva toteutetusta tutkimuksesta viimeisten kahdenkymmenen vuoden ajalta. Tutkielman aineisto kerättiin neljästä tietokannasta, Google Scholar, Scopus, JYKDOK ja IEEE. Lopulliseksi aineistoksi tutkielmaan otettiin 53 artikkelia, jotka täyttivät valitut kriteerit. Tutkimuksen tavoitteena on aiheesta tehtyjä lähteitä tarkastellen selvittää, mistä näkökulmista aiheesta on aiemmin tutkittu ja tutkia, miten DDA toteutetaan ja mitä tuloksia sen käytöstä on havaittu. Videopelien dynaaminen vaikeustason säätö on melko tuore tutkimuksen ala, ja kaikki tutkimuksessa tutkitut artikkelit on julkaistu viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana.

Kaiken kaikkiaan DDA:sta on lähteiden mukaan enimmäkseen hyötyä pelaajan pelikokemuksen parantamisessa. DDA:ta käyttämällä saadaan peli mukautumaan eritasoisille pelaajille sopivan vaikeaksi, jos DDA on toteutettu onnistuneesti. Luvussa 4 tutkittujen artikkelien pohjalta DDA:n toteutukseen on useita eri tapoja, jotka jaetaan pelin hahmojen ominaisuuksien muokkaamiseen, tekoälyn muokkaamiseen ja pelikentän muokkaamiseen. Näistä tekoälyn muokkaus on lähteiden perusteella yleisin. Dynaamisen vaikeustason toteutuksessa on tärkeää, että käytetty DDA:n toteutustapa sopii peliin ja saa aikaa halutun positiivisen vaikutuksen pelikokemukseen. DDA:n eri toteutustavat vaikuttavat sopivan parhaiten erilaisiin peleihin, kuten tekoälyn muokkauksen käyttö tappelupeleissä ja pelikentän muokkaus tasohyppelypeleissä. Useimmissa tutkimuksissa, joissa mitattiin DDA:n vaikutusta pelikokemukseen, havaittiin että pelaajat saivat paremman vastuksen peleistä, joissa DDA:ta käy-

tettiin. Joissain artikkeleissa havaittiin myös DDA:n käytöstä koituvia haittoja. Jos DDA on toteutettu huonosti tai ei sovi peliin, sen toteuttaminen on vähintään turhaa työtä, ja huonoimmillaan voi saada aikaan sen, että pelaaja ei halua pelata turhauttavaksi kokemaansa peliä. Kuitenkin useimmiten DDA:lla saadaan aikaan käyttäjälle miellyttävämpi pelikokemus

Lähteet

Ang, Dennis. 2017a. “Difficulty in video games: Understanding the effects of dynamic difficulty adjustment in video games on player experience”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450344036. <https://doi.org/10.1145/3059454.3078706>.

———. 2017b. “Difficulty in video games: Understanding the effects of dynamic difficulty adjustment in video games on player experience”. *Proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition*, <https://doi.org/10.1145/3059454.3078706>.

Ang, Dennis ja Alex Mitchell. 2017. “Comparing effects of dynamic difficulty adjustment systems on video game experience”. Teoksessa *proceedings of the annual symposium on computer-human interaction in play*, 317–327. ISBN: 9781450348980. <https://doi.org/10.1145/3116595.3116623>.

Ariza, Diana Sofiáa Lora. 2019. “Dynamic difficulty adjustment in video games”, 2567:165–169. Viitattu 10. toukokuuta 2024. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082300187&partnerID=40&md5=f657f8073d9950fc6309d81f1e37964d>.

Arulraj, Joy James Prabhu. 2010. “Adaptive agent generation using machine learning for dynamic difficulty adjustment”, 746–751. <https://doi.org/10.1109/ICCCT.2010.5640378>.

Avi Shena, Bias Sekar, Benhard Sitohang ja Satrio Adi Rukmono. 2019. “Application of Dynamic Difficulty Adjustment on Evidence-centered Design Framework for Game Based Learning”. Teoksessa *2019 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICoDSE48700.2019.9092725>.

Baldwin, Alexander, Daniel Johnson ja Peta Wyeth. 2014. “The effect of multiplayer dynamic difficulty adjustment on the player experience of video games”. Teoksessa *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1489–1494. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450324748. <https://doi.org/10.1145/2559206.2581285>.

Baldwin, Alexander, Daniel Johnson ja Peta Wyeth. 2016. “Crowd-pleaser: Player perspectives of Multiplayer Dynamic Difficulty Adjustment in video games”. Teoksessa *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 326–337. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450344562. <https://doi.org/10.1145/2967934.2968100>.

Baldwin, Alexander, Daniel Johnson, Peta Wyeth ja Penny Sweetser. 2013. “A framework of dynamic difficulty adjustment in competitive multiplayer video games”. Teoksessa *2013 IEEE International Games Innovation Conference (IGIC)*, 16–19. <https://doi.org/10.1109/IGIC.2013.6659150>.

Burak Arslan, Reis ja Elifsu Filiz. 2022. “Enhancement of Player Experience in Video Games Using EEG Based Dynamic Difficulty Adjustment”. Teoksessa *2022 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/INISTA55318.2022.9894125>.

Chanel, Guillaume ja Phil Lopes. 2020. “User evaluation of affective dynamic difficulty adjustment based on physiological deep learning”. Teoksessa *International Conference on Human-Computer Interaction*, 3–23. Springer International Publishing Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50353-6_1.

Constant, Thomas ja Guillaume Levieux. 2019. “Dynamic difficulty adjustment impact on players’ confidence”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450359702. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300693>.

Csikszentmihalyi, Mihaly. 1990. “Flow: The Psychology of Optimal Experience”. Tammi-kuu.

Demediuk, Simon, Marco Tamassia, Xiaodong Li ja William L. Raffe. 2019. “Challenging AI: Evaluating the Effect of MCTS-Driven Dynamic Difficulty Adjustment on Player Enjoyment”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450366038. <https://doi.org/10.1145/3290688.3290748>.

Demediuk, Simon, Marco Tamassia, William L Raffe, Fabio Zambetta, Xiaodong Li ja Florian Mueller. 2017. “Monte Carlo tree search based algorithms for dynamic difficulty adjustment”. Teoksessa *2017 IEEE conference on computational intelligence and games (CIG)*, 53–59. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CIG.2017.8080415>.

Dziedzic, Dagmara ja Wojciech Włodarczyk. 2018. “Approaches to Measuring the Difficulty of Games in Dynamic Difficulty Adjustment Systems”. *International journal of human-computer interaction*, <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1461764>.

Ebrahimi, Adeleh ja Mohammad-R. Akbarzadeh-T. 2014. “Dynamic difficulty adjustment in games by using an interactive self-organizing architecture”. Teoksessa *2014 Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IranianCIS.2014.6802557>.

Frommel, Julian, Fabian Fischbach, Katja Rogers ja Michael Weber. 2018. “Emotion-based dynamic difficulty adjustment using parameterized difficulty and self-reports of emotion”. Teoksessa *Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 163–171. <https://doi.org/10.1145/3242671.3242682>.

He, Suoju, Junping Wang, Xiao Liu, Wan Huang ym. 2010. “Dynamic difficulty adjustment of game AI by MCTS for the game Pac-Man”. Teoksessa *2010 sixth international conference on natural computation*, 8:3918–3922. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584761>.

Huang, Wan, Suoju He, Delin Chang ja Yanan Hao. 2010. “Dynamic difficulty adjustment realization based on adaptive neuro-controlled game opponent”. Teoksessa *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 66–71. <https://doi.org/10.1109/IWACI.2010.5585209>.

Hunicke, Robin. 2005. “The case for dynamic difficulty adjustment in games”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 1595931104. <https://doi.org/10.1145/1178477.1178573>.

“IEEE relevance Description”. n.d. Viitattu 5. huhtikuuta 2024. <https://ieeexplore.ieee.org/Xplorehelp/searching-ieee-xplore/search-results-page>.

- Ishihara, Makoto, Suguru Ito, Ryota Ishii, Tomohiro Harada ja Ruck Thawonmas. 2018. “Monte-Carlo Tree Search for Implementation of Dynamic Difficulty Adjustment Fighting Game AIs Having Believable Behaviors”, nide 2018-August, 1–8. <https://doi.org/10.1109/CIG.2018.8490376>.
- Jennings-Teats, Martin, Gillian Smith ja Noah Wardrip-Fruin. 2010. “Polymorph: dynamic difficulty adjustment through level generation”. Teoksessa *Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/1814256.1814267>.
- “JYKDOK relevance Description”. n.d. Viitattu 5. huhtikuuta 2024. <https://jyu.finna.fi/Content/help-basic>.
- Kitchenham, Barbara ja Stuart Charters. 2007. “Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering”. 2 (tammikuu).
- Kusano, Takahiro, Yunshi Liu, Pujana Paliyawan, Ruck Thawonmas ja Tomohiro Harada. 2019. “Motion Gaming AI using Time Series Forecasting and Dynamic Difficulty Adjustment”. Teoksessa *2019 IEEE Conference on Games (CoG)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8847991>.
- Lach, Ewa. 2015. “A Quick Method for Dynamic Difficulty Adjustment of a Computer Player in Computer Games”. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)* 9120 (kesäkuu): 669–678. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19369-4-59>.
- . 2017. “Dynamic difficulty adjustment for serious game using modified evolutionary algorithm” (toukokuu): 370–379. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59063-9_33.
- Li, Xiaoxu, Marcel Wira ja Ruck Thawonmas. 2022. “Toward Dynamic Difficulty Adjustment with Audio Cues by Gaussian Process Regression in a First-Person Shooter”. (Bremen, Germany), 154–161. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20212-4_12.

Lingdao, Sha, He Souju, Wang Junping, Yang Jiajian, Yuan Gao, Zhang Yidan ja Yu Xinrui. 2010. “Creating appropriate challenge level game opponent by the use of dynamic difficulty adjustment”. Teoksessa *2010 Sixth International Conference on Natural Computation*, 8:3897–3901. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584744>.

Liu, Changchun, Pramila Agrawal, Nilanjan Sarkar ja Shuo Chen. 2009. “Dynamic difficulty adjustment in computer games through real-time anxiety-based affective feedback”. *International Journal of Human-Computer Interaction* 25 (6): 506–529. <https://doi.org/doi=/10.1080/10447310902963944>.

Lora, Diana, Antonio A Sánchez-Ruiz, Pedro A González-Calero ja Marco A Gómez-Martin. 2016. “Dynamic difficulty adjustment in tetris”. Teoksessa *The Twenty-Ninth International Flairs Conference*. Viitattu 10. toukokuuta 2024. https://www.researchgate.net/publication/314776478_Dynamic_Difficulty_Adjustment_in_Tetris.

Missura, Olana ja Thomas Gärtner. 2011. “Predicting dynamic difficulty”. *Advances in neural information processing systems* 24. Viitattu 10. toukokuuta 2024. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2011/file/7c9d0b1f96aebd7b5eca8c3edaa19ebb-Paper.pdf.

Moon, Hee-Seung ja Jiwon Seo. 2020. “Dynamic Difficulty Adjustment via Fast User Adaptation”. Teoksessa *Adjunct Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 13–15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450375153. <https://doi.org/10.1145/3379350.3418578>.

Moon, JaeYoung, YouJin Choi, TaeHwa Park, JunDoo Choi, Jin-Hyuk Hong ja Kyung-Joong Kim. 2022. “Diversifying dynamic difficulty adjustment agent by integrating player state models into Monte-Carlo tree search”. *Expert Systems with Applications* 205:117677. ISSN: 0957-4174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117677>.

Moschovitis, Paraschos ja Alena Denisova. 2022. “Keep Calm and Aim for the Head: Biofeedback-Controlled Dynamic Difficulty Adjustment in a Horror Game”. 15 (3): 368–377. <https://doi.org/10.1109/TG.2022.3179842>.

Nery, Bandeira I., V.F. Dullens, T.V. Machado, R.R.A. Oliveira, C.D. Castanho, T.B.P. e Silva ja M.M. Sarmet. 2022. “Dynamic Difficulty Adjustment in Digital Games: Comparative Study Between Two Algorithms Using Electrodermal Activity Data” (kesäkuu): 69–83. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05637-6_5.

Paliyawan, Pujana, Kingkarn Sookhanaphibarn, Worawat Choensawat ja Ruck Thawonmas. 2020. “Towards Social Facilitation in Audience Participation Games: Fighting Game AIs whose Strength Depends on Audience Responses”. Teoksessa *2020 IEEE Conference on Games (CoG)*, 686–689. <https://doi.org/10.1109/CoG47356.2020.9231633>.

Petersen, Kai, Robert Feldt ja Shahid Mujtaba. 2008. “Systematic Mapping Studies in Software Engineering”. *12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, <https://doi.org/doi=10.14236/ewic/EASE2008.8>.

Pezzera, Manuel ja N. Alberto Borghese. 2020. “Dynamic difficulty adjustment in exergames for rehabilitation: a mixed approach”. Teoksessa *2020 IEEE 8th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/SeGAH49190.2020.9201871>.

Pfau, Johannes, Rainer Malaka ja Jan David Smeddinck. 2019. “Deep player behavior models: Evaluating a novel take on dynamic difficulty adjustment”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450359719. <https://doi.org/10.1145/3290607.3312899>.

Pfau, Johannes, Jan David Smeddinck ja Rainer Malaka. 2020. “Enemy Within: Long-term Motivation Effects of Deep Player Behavior Models for Dynamic Difficulty Adjustment”. Teoksessa *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–10. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450367080. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376423>.

Pratama, Nino Prasetyo Hamal, Supeno Mardi Susiki Nugroho ja Eko Mulyanto Yuniarno. 2016. “Fuzzy controller based AI for dynamic difficulty adjustment for defense of the Ancient 2 (DotA2)”. Teoksessa *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 95–100. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2016.7828640>.

Rosa, M. P. C., E. A. dos Santos, I. L. R. de Moraes, T. B. P. e Silva, M. M. Sarmet, C. D. Castanho ja R. P. Jacobi. 2021. “Dynamic Difficulty Adjustment Using Performance and Affective Data in a Platform Game”. (Cham), https://doi.org/10.1007/978-3-030-90238-4_26.

Salminen, Ari. 2011. “Mikä kirjallisuuskatsaus? : johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin”. *Vaasan yliopisto*.

Sarkar, Anurag ja Seth Cooper. 2021. “An Online System for Player-vs-Level Matchmaking in Human Computation Games”. Teoksessa *2021 IEEE Conference on Games (CoG)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CoG52621.2021.9619085>.

“Scopus relevance Description”. n.d. Viitattu 5. huhtikuuta 2024. https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/14182/supporthub/scopus.

Sepulveda, Gabriel K, Felipe Besoain ja Nicolas A Barriga. 2019. “Exploring dynamic difficulty adjustment in videogames”. Teoksessa *2019 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON)*, 1–6. IEEE. <https://doi.org/10.1145/3242671.3242682>.

Shakhova, Mariia ja Aleksandr Zagarskikh. 2019. “Dynamic Difficulty Adjustment with a simplification ability using neuroevolution”. 8th International Young Scientists Conference on Computational Science, YSC2019, 24-28 June 2019, Heraklion, Greece, *Procedia Computer Science* 156:395–403. ISSN: 1877-0509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.219>.

Shi, Peizhi ja Ke Chen. 2018. “Learning Constructive Primitives for Real-Time Dynamic Difficulty Adjustment in Super Mario Bros”. *IEEE Transactions on Games* 10 (2): 155–169. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2017.2740210>.

Silva, Mirna Paula, Victor Do Nascimento Silva ja Luiz Chaimowicz. 2016. “Dynamic difficulty adjustment through an adaptive AI”, 0:173–182. <https://doi.org/10.1109/SBGames.2015.16>.

- Silva, Mirna Paula, Victor do Nascimento Silva ja Luiz Chaimowicz. 2017. “Dynamic difficulty adjustment on MOBA games”. *Entertainment Computing* 18:103–123. ISSN: 1875-9521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2016.10.002>.
- Stein, Adi, Yair Yotam, Rami Puzis, Guy Shani ja Meirav Taieb-Maimon. 2018. “EEG-triggered dynamic difficulty adjustment for multiplayer games”. *Entertainment computing* 25:14–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.11.003>.
- Suaza, Juan, Edwin Gamboa ja Maria Trujillo. 2019. “A Health Point-Based Dynamic Difficulty Adjustment Strategy for Video Games” (marraskuu): 436–440. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34644-7_42.
- Supianto, Ahmad Afif, Muhammad Hafis ja Herman Tolle. 2019. “Significance of Dynamic Difficulty Adjustment in Delivering Instructional Scaffolding on Educational Game for High School Chemistry Subject”. Teoksessa *Proceedings of the 3rd International Conference on Education and Multimedia Technology*, 384–388. Nagoya, Japan: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450372107. <https://doi.org/10.1145/3345120.3345168>.
- Supriyadi, Muhammad Daryl Bey Sandy, Supeno Mardi Susiki Nugroho ja Mochamad Hariadi. 2019. “Fuzzy Coordinator based AI for Dynamic Difficulty Adjustment in Starcraft 2”. Teoksessa *2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIT)*, 322–326. <https://doi.org/10.1109/ICAIT.2019.8834540>.
- Sutoyo, Rhio, Davies Winata, Katherine Oliviani ja Dedy Martadinata Supriyadi. 2015. “Dynamic difficulty adjustment in tower defence”. *Procedia Computer Science* 59:435–444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.563>.
- Wang, Jung-Ying ja Yen-Rui Tseng. 2013. “Dynamic difficulty adjustment by fuzzy rules using in a neural network controlled game”. Teoksessa *2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC)*, 277–281. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2013.6817985>.
- Wu, Bin, DingDing Chen, Suoju He, Qijin Sun, Zhengjun Li ja Minxi Zhao. 2011. “Dynamic difficulty adjustment based on an improved algorithm of UCT for the Pac-Man Game”. Teoksessa *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 4255–4259. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066649>.

Xue, Su, Meng Wu, John Kolen, Navid Aghdaie ja Kazi A Zaman. 2017. “Dynamic difficulty adjustment for maximized engagement in digital games”. Teoksessa *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*, 465–471. International World Wide Web Conferences Steering Committee. ISBN: 9781450349147. <https://doi.org/10.1145/3041021.3054170>.

Yang, Zichu ja Bowen Sun. 2020. “Hyper-Casual Endless Game Based Dynamic Difficulty Adjustment System For Players Replay Ability”. Teoksessa *2020 IEEE Intl Conf on Parallel Distributed Processing with Applications, Big Data Cloud Computing, Sustainable Computing Communications, Social Computing Networking (ISPA/BDCloud/SocialCom/SustainCom)*, 860–866. <https://doi.org/10.1109/ISPA-BDCloud-SocialCom-SustainCom51426.2020.00133>.

Yu, Xinrui, Suoju He, Yuan Gao, Jiajian Yang, Lingdao Sha, Yidan Zhang ja Zhaobo Ai. 2010. “Dynamic difficulty adjustment of game AI for video game Dead-End”. Teoksessa *The 3rd International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences*, 583–587. <https://doi.org/10.1109/ICICIS.2010.5534761>.

Zafar, Adeel. 2013. “An experiment in automatic content generation for platform games”. Teoksessa *2013 IEEE 9th International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICET.2013.6743486>.

Zeng, Zheyin ja Penny Sweetser. 2022. “Dynamic Difficulty Adjustment in a Multiplayer Minecraft Server”, 319–324. <https://doi.org/10.1145/3572921.3572946>.

Zohaib, Mohammad ym. 2018. “Dynamic difficulty adjustment (DDA) in computer games: A review”. *Advances in Human-Computer Interaction 2018*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2018/5681652>.

Zook, Alexander ja Mark Riedl. 2012. “A temporal data-driven player model for dynamic difficulty adjustment”. Teoksessa *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 8:93–98. 1. <https://doi.org/10.1609/aiide.v8i1.12504>.

Liitteet

A Pilottihaku

Tutkielman varsinaista aineistohakua edeltävä pilotointihaku toteutettiin 20.5.2023. Siinä jokaisesta neljästä hakutietokannasta haettiin hakutermillä "Dynamic Difficulty Adjustment". Hakutermit kirjoitettiin lainausmerkkeihin, jotta hakukoneet ymmärtäisivät, että haettiin useammasta sanasta koostuvaa hakutermiä. Ilman lainausmerkkejä tehdyssä haussa saatuja tuloksia oli paljon enemmän, ja osa tuloksista oli täysin muista aiheista. Kaikista tietokannoista saatiin enemmän tuloksia kuin tutkimuksessa päätettiin käydä läpi, Google Scholarista 2490, IEEEstä 63, Scopuksesta 245 ja JYKDOKista 587. Kymmenen ensimmäistä tulosta valittiin tarkasteltavaksi pilotointihaussa, jotta saatiin selvitettyä, löytyykö tällä hakutermillä tietokannoista relevantteja tuloksia. Pilotoinnin tuloksena saaduista 40 artikkelista 33 olivat otsikoiden lukemisen perusteella sellaisia, että ne voitaisiin ottaa mukaan varsinaiseen tutkimukseen.

Loput seitsemän olivat joko DDA:n käytöstä opetuksessa tai terveydenhuollossa tai liikunnassa sellaisilla tavoilla, jotka vain sivuavat videopelejä. Ne eivät vaikuttaneet liittyvän tarpeeksi videopeleihin eivätkä vastaavan tutkimuskysymyksiin. Scopuksesta saatiin eniten tuloksia, jotka eivät vastaa valintakriteerejä, neljä. Kuitenkin katsottiin, että lopullisen haun kaikista tietokannoista samalla hakutermillä "Dynamic Difficulty Adjustment" toteuttamalla voitiin saada tarpeeksi valintakriteerit täyttäviä tuloksia. Sopivien tulosten perusteella päätettiin, että hakusanaa ja tietokantoja ei ole tarvetta muuttaa, ja jokaisesta tietokannasta valittiin tarkasteltavaksi ensimmäiset 30 relevantteinta artikkelia suunniteltujen 50 sijaan.

B Valitut artikkelit

Ang, Dennis. 2017a. "Difficulty in video games: Understanding the effects of dynamic difficulty adjustment in video games on player experience". New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450344036. <https://doi.org/10.1145/3059454.3078706>.

———. 2017b. "Difficulty in video games: Understanding the effects of dynamic difficulty adjustment in video games on player experience". *Proceedings of the 2017 ACM SIGCHI Conference on Creativity and Cognition*, <https://doi.org/10.1145/3059454.3078706>.

Ang, Dennis ja Alex Mitchell. 2017. "Comparing effects of dynamic difficulty adjustment systems on video game experience". Teoksessa *proceedings of the annual symposium on computer-human interaction in play*, 317–327. ISBN: 9781450348980. <https://doi.org/10.1145/3116595.3116623>.

Ariza, Diana Sofiáa Lora. 2019. "Dynamic difficulty adjustment in video games", 2567:165–169. Viitattu 10. toukokuuta 2024. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082300187&partnerID=40&md5=f657f8073d9950fc6309d81f1e37964d>.

Arulraj, Joy James Prabhu. 2010. "Adaptive agent generation using machine learning for dynamic difficulty adjustment", 746–751. <https://doi.org/10.1109/ICCCT.2010.5640378>.

Baldwin, Alexander, Daniel Johnson ja Peta Wyeth. 2014. "The effect of multiplayer dynamic difficulty adjustment on the player experience of video games". Teoksessa *CHI '14 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, 1489–1494. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450324748. <https://doi.org/10.1145/2559206.2581285>.

———. 2016. "Crowd-pleaser: Player perspectives of Multiplayer Dynamic Difficulty Adjustment in video games". Teoksessa *Proceedings of the 2016 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 326–337. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450344562. <https://doi.org/10.1145/2967934.2968100>.

- Burak Arslan, Reis ja Elifsu Filiz. 2022. “Enhancement of Player Experience in Video Games Using EEG Based Dynamic Difficulty Adjustment”. Teoksessa *2022 International Conference on INnovations in Intelligent SysTems and Applications (INISTA)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/INISTA55318.2022.9894125>.
- Chanel, Guillaume ja Phil Lopes. 2020. “User evaluation of affective dynamic difficulty adjustment based on physiological deep learning”. Teoksessa *International Conference on Human-Computer Interaction*, 3–23. Springer International Publishing Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-50353-6_1.
- Constant, Thomas ja Guillaume Levieux. 2019. “Dynamic difficulty adjustment impact on players’ confidence”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450359702. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300693>.
- Demediuk, Simon, Marco Tamassia, Xiaodong Li ja William L. Raffe. 2019. “Challenging AI: Evaluating the Effect of MCTS-Driven Dynamic Difficulty Adjustment on Player Enjoyment”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450366038. <https://doi.org/10.1145/3290688.3290748>.
- Demediuk, Simon, Marco Tamassia, William L Raffe, Fabio Zambetta, Xiaodong Li ja Florian Mueller. 2017. “Monte Carlo tree search based algorithms for dynamic difficulty adjustment”. Teoksessa *2017 IEEE conference on computational intelligence and games (CIG)*, 53–59. IEEE. <https://doi.org/10.1109/CIG.2017.8080415>.
- Dziedzic, Dagmara ja Wojciech Włodarczyk. 2018. “Approaches to Measuring the Difficulty of Games in Dynamic Difficulty Adjustment Systems”. *International journal of human-computer interaction*, <https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1461764>.
- Ebrahimi, Adeleh ja Mohammad-R. Akbarzadeh-T. 2014. “Dynamic difficulty adjustment in games by using an interactive self-organizing architecture”. Teoksessa *2014 Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IranianCIS.2014.6802557>.
- Frommel, Julian, Fabian Fischbach, Katja Rogers ja Michael Weber. 2018. “Emotion-based dynamic difficulty adjustment using parameterized difficulty and self-reports of emotion”. Teoksessa *Proceedings of the 2018 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play*, 163–171. <https://doi.org/10.1145/3242671.3242682>.

- He, Suoju, Junping Wang, Xiao Liu, Wan Huang ym. 2010. “Dynamic difficulty adjustment of game AI by MCTS for the game Pac-Man”. Teoksessa *2010 sixth international conference on natural computation*, 8:3918–3922. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584761>.
- Huang, Wan, Suoju He, Delin Chang ja Yanan Hao. 2010. “Dynamic difficulty adjustment realization based on adaptive neuro-controlled game opponent”. Teoksessa *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 66–71. <https://doi.org/10.1109/IWACI.2010.5585209>.
- Hunicke, Robin. 2005. “The case for dynamic difficulty adjustment in games”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 1595931104. <https://doi.org/10.1145/1178477.1178573>.
- Ishihara, Makoto, Suguru Ito, Ryota Ishii, Tomohiro Harada ja Ruck Thawonmas. 2018. “Monte-Carlo Tree Search for Implementation of Dynamic Difficulty Adjustment Fighting Game AIs Having Believable Behaviors”, nide 2018-August, 1–8. <https://doi.org/10.1109/CIG.2018.8490376>.
- Jennings-Teats, Martin, Gillian Smith ja Noah Wardrip-Fruin. 2010. “Polymorph: dynamic difficulty adjustment through level generation”. Teoksessa *Proceedings of the 2010 Workshop on Procedural Content Generation in Games*, 1–4. <https://doi.org/10.1145/1814256.1814267>.
- Kusano, Takahiro, Yunshi Liu, Pujana Paliyawan, Ruck Thawonmas ja Tomohiro Harada. 2019. “Motion Gaming AI using Time Series Forecasting and Dynamic Difficulty Adjustment”. Teoksessa *2019 IEEE Conference on Games (CoG)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/CIG.2019.8847991>.
- Lach, Ewa. 2015. “A Quick Method for Dynamic Difficulty Adjustment of a Computer Player in Computer Games”. *Lecture Notes in Artificial Intelligence (Subseries of Lecture Notes in Computer Science)* 9120 (kesäkuu): 669–678. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-19369-4-59>.
- . 2017. “Dynamic difficulty adjustment for serious game using modified evolutionary algorithm” (toukokuu): 370–379. https://doi.org/10.1007/978-3-319-59063-9_33.

- Li, Xiaoxu, Marcel Wira ja Ruck Thawonmas. 2022. “Toward Dynamic Difficulty Adjustment with Audio Cues by Gaussian Process Regression in a First-Person Shooter”. (Bremen, Germany), 154–161. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20212-4_12.
- Lingdao, Sha, He Souju, Wang Junping, Yang Jiajian, Yuan Gao, Zhang Yidan ja Yu Xinrui. 2010. “Creating appropriate challenge level game opponent by the use of dynamic difficulty adjustment”. Teoksessa *2010 Sixth International Conference on Natural Computation*, 8:3897–3901. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2010.5584744>.
- Liu, Changchun, Pramila Agrawal, Nilanjan Sarkar ja Shuo Chen. 2009. “Dynamic difficulty adjustment in computer games through real-time anxiety-based affective feedback”. *International Journal of Human-Computer Interaction* 25 (6): 506–529. <https://doi.org/doi=/10.1080/10447310902963944>.
- Lora, Diana, Antonio A Sánchez-Ruiz, Pedro A González-Calero ja Marco A Gómez-Martín. 2016. “Dynamic difficulty adjustment in tetris”. Teoksessa *The Twenty-Ninth International Flairs Conference*. Viitattu 10. toukokuuta 2024. https://www.researchgate.net/publication/314776478_Dynamic_Difficulty_Adjustment_in_Tetris.
- Missura, Olana ja Thomas Gärtner. 2011. “Predicting dynamic difficulty”. *Advances in neural information processing systems* 24. Viitattu 10. toukokuuta 2024. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2011/file/7c9d0b1f96aebd7b5eca8c3edaa19ebb-Paper.pdf.
- Moon, Hee-Seung ja Jiwon Seo. 2020. “Dynamic Difficulty Adjustment via Fast User Adaptation”. Teoksessa *Adjunct Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 13–15. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450375153. <https://doi.org/10.1145/3379350.3418578>.
- Moon, JaeYoung, YouJin Choi, TaeHwa Park, JunDoo Choi, Jin-Hyuk Hong ja Kyung-Joong Kim. 2022. “Diversifying dynamic difficulty adjustment agent by integrating player state models into Monte-Carlo tree search”. *Expert Systems with Applications* 205:117677. ISSN: 0957-4174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117677>.
- Moschovitis, Paraschos ja Alena Denisova. 2022. “Keep Calm and Aim for the Head: Biofeedback-Controlled Dynamic Difficulty Adjustment in a Horror Game”. 15 (3): 368–377. <https://doi.org/10.1109/TG.2022.3179842>.

Nery, Bandeira I., V.F. Dullens, T.V. Machado, R.R.A. Oliveira, C.D. Castanho, T.B.P. e Silva ja M.M. Sarmet. 2022. “Dynamic Difficulty Adjustment in Digital Games: Comparative Study Between Two Algorithms Using Electrodermal Activity Data” (kesäkuu): 69–83. https://doi.org/10.1007/978-3-031-05637-6_5.

Paliyawan, Pujana, Kingkarn Sookhanaphibarn, Worawat Choensawat ja Ruck Thawonmas. 2020. “Towards Social Facilitation in Audience Participation Games: Fighting Game AIs whose Strength Depends on Audience Responses”. Teoksessa *2020 IEEE Conference on Games (CoG)*, 686–689. <https://doi.org/10.1109/CoG47356.2020.9231633>.

Pfau, Johannes, Rainer Malaka ja Jan David Smeddinck. 2019. “Deep player behavior models: Evaluating a novel take on dynamic difficulty adjustment”. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450359719. <https://doi.org/10.1145/3290607.3312899>.

Pfau, Johannes, Jan David Smeddinck ja Rainer Malaka. 2020. “Enemy Within: Long-term Motivation Effects of Deep Player Behavior Models for Dynamic Difficulty Adjustment”. Teoksessa *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–10. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450367080. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376423>.

Pratama, Nino Prasetyo Hamal, Supeno Mardi Susiki Nugroho ja Eko Mulyanto Yuniarno. 2016. “Fuzzy controller based AI for dynamic difficulty adjustment for defense of the Ancient 2 (DotA2)”. Teoksessa *2016 International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA)*, 95–100. <https://doi.org/10.1109/ISITIA.2016.7828640>.

Rosa, M. P. C., E. A. dos Santos, I. L. R. de Moraes, T. B. P. e Silva, M. M. Sarmet, C. D. Castanho ja R. P. Jacobi. 2021. “Dynamic Difficulty Adjustment Using Performance and Affective Data in a Platform Game”. (Cham), https://doi.org/10.1007/978-3-030-90238-4_26.

Sarkar, Anurag ja Seth Cooper. 2021. “An Online System for Player-vs-Level Matchmaking in Human Computation Games”. Teoksessa *2021 IEEE Conference on Games (CoG)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/CoG52621.2021.9619085>.

- Shakhova, Mariia ja Aleksandr Zagarskikh. 2019. “Dynamic Difficulty Adjustment with a simplification ability using neuroevolution”. 8th International Young Scientists Conference on Computational Science, YSC2019, 24-28 June 2019, Heraklion, Greece, *Procedia Computer Science* 156:395–403. ISSN: 1877-0509. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.219>.
- Shi, Peizhi ja Ke Chen. 2018. “Learning Constructive Primitives for Real-Time Dynamic Difficulty Adjustment in Super Mario Bros”. *IEEE Transactions on Games* 10 (2): 155–169. <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2017.2740210>.
- Silva, Mirna Paula, Victor Do Nascimento Silva ja Luiz Chaimowicz. 2016. “Dynamic difficulty adjustment through an adaptive AI”, 0:173–182. <https://doi.org/10.1109/SBGames.2015.16>.
- Silva, Mirna Paula, Victor do Nascimento Silva ja Luiz Chaimowicz. 2017. “Dynamic difficulty adjustment on MOBA games”. *Entertainment Computing* 18:103–123. ISSN: 1875-9521. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2016.10.002>.
- Stein, Adi, Yair Yotam, Rami Puzis, Guy Shani ja Meirav Taieb-Maimon. 2018. “EEG-triggered dynamic difficulty adjustment for multiplayer games”. *Entertainment computing* 25:14–25. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.11.003>.
- Suaza, Juan, Edwin Gamboa ja Maria Trujillo. 2019. “A Health Point-Based Dynamic Difficulty Adjustment Strategy for Video Games” (marraskuu): 436–440. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34644-7_42.
- Supriyadi, Muhammad Daryl Bey Sandy, Supeno Mardi Susiki Nugroho ja Mochamad Hariadi. 2019. “Fuzzy Coordinator based AI for Dynamic Difficulty Adjustment in Starcraft 2”. *Teoksessa 2019 International Conference of Artificial Intelligence and Information Technology (ICAIIIT)*, 322–326. <https://doi.org/10.1109/ICAIIIT.2019.8834540>.
- Sutoyo, Rhio, Davies Winata, Katherine Oliviani ja Dedy Martadinata Supriyadi. 2015. “Dynamic difficulty adjustment in tower defence”. *Procedia Computer Science* 59:435–444. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.563>.

- Wang, Jung-Ying ja Yen-Rui Tseng. 2013. “Dynamic difficulty adjustment by fuzzy rules using in a neural network controlled game”. Teoksessa *2013 Ninth International Conference on Natural Computation (ICNC)*, 277–281. <https://doi.org/10.1109/ICNC.2013.6817985>.
- Wu, Bin, DingDing Chen, Suoju He, Qijin Sun, Zhengjun Li ja Minxi Zhao. 2011. “Dynamic difficulty adjustment based on an improved algorithm of UCT for the Pac-Man Game”. Teoksessa *2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC)*, 4255–4259. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066649>.
- Xue, Su, Meng Wu, John Kolen, Navid Aghdaie ja Kazi A Zaman. 2017. “Dynamic difficulty adjustment for maximized engagement in digital games”. Teoksessa *Proceedings of the 26th International Conference on World Wide Web Companion*, 465–471. International World Wide Web Conferences Steering Committee. ISBN: 9781450349147. <https://doi.org/10.1145/3041021.3054170>.
- Yang, Zichu ja Bowen Sun. 2020. “Hyper-Casual Endless Game Based Dynamic Difficulty Adjustment System For Players Replay Ability”. Teoksessa *2020 IEEE Intl Conf on Parallel Distributed Processing with Applications, Big Data Cloud Computing, Sustainable Computing Communications, Social Computing Networking (ISPA/BDCLOUD/SocialCom/SustainCom)*, 860–866. <https://doi.org/10.1109/ISPA-BDCLOUD-SocialCom-SustainCom51426.2020.00133>.
- Yu, Xinrui, Suoju He, Yuan Gao, Jiajian Yang, Lingdao Sha, Yidan Zhang ja Zhaobo Ai. 2010. “Dynamic difficulty adjustment of game AI for video game Dead-End”. Teoksessa *The 3rd International Conference on Information Sciences and Interaction Sciences*, 583–587. <https://doi.org/10.1109/ICICIS.2010.5534761>.
- Zafar, Adeel. 2013. “An experiment in automatic content generation for platform games”. Teoksessa *2013 IEEE 9th International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICET.2013.6743486>.
- Zeng, Zheyin ja Penny Sweetser. 2022. “Dynamic Difficulty Adjustment in a Multiplayer Minecraft Server”, 319–324. <https://doi.org/10.1145/3572921.3572946>.

Zook, Alexander ja Mark Riedl. 2012. "A temporal data-driven player model for dynamic difficulty adjustment". Teoksessa *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment*, 8:93–98. 1. <https://doi.org/10.1609/aiide.v8i1.12504>.