

Janina Pärnänen

**PELILLINEN OPPIMINEN: TARJOTUN TUEN
ESITYSTAVAN JA OPPILAIDEN
LÄHTÖTASON YHTEYS MURTOLUKUJEN
OPPIMISEEN**

Kasvatustieteiden ja kulttuurin tiedekunta
Pro gradu -tutkielma
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Janina Pärnänen: Pelillinen oppiminen: Tarjotun tuen esitystavan ja oppilaiden lähtötason yhteys murtolukujen oppimiseen
Pro gradu -tutkielma
Tampereen yliopisto
Kasvatuksen ja yhteiskunnan tutkimuksen maisteriohjelma
Huhtikuu 2022

Murtolukujen oppiminen peruskoulussa on oppilaille yksi eniten haasteita tuottavista asioista. Niiden oppimista onkin tarkasteltu melko laajalti pelillisen oppimisen näkökulmasta. Sen sijaan erilaisten palautteen tai tarjotun tuen muotojen vaikutusta oppilaiden oppimiseen, saati murtolukujen oppimiseen ei ole tarkasteltu yhtä laajalti. Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää, kuinka Number Trace -peli vaikuttaa oppilaiden murtolukujen oppimiseen ja, onko tarjotun tuen määrällä yhteyttä oppilaiden oppimistuloksiin. Lisäksi tutkimuksessa selvitetään, onko tarjotun tuen esitystavalla, oppilaiden lähtötasolla tai oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrällä yhteyttä 4. ja 5. vuosiluokan oppilaiden murtolukujen oppimiseen. Aihetta tarkastellaan palauteinterventiotieteen, kognitiivisen multimediaoppimisen teorian ja pelillisen oppimisen mallin näkökulmista.

Tutkimukseen osallistujat (N = 76) pelasivat digitaalista oppimispeliä, jossa he harjoittelivat murtolukuja lukualueella 0–3. Tutkittavat jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen ryhmä sai pelissä symbolisen vihjeen ja toinen ryhmä kuvitetun vihjeen virheen tehtyään. Pelaajat saivat tarjottua tukea adaptiivisesti. Tutkimus toteutettiin koeasetelmana ja osallistujat vastasivat alku- ja lopputesteihin, joiden avulla mitattiin pelin tuottamia oppimisvaikutuksia. Lisäksi oppilaiden kiinnostusta matematiikan oppimista kohtaan selvitettiin Likert-asteikollisilla kysymyksillä.

Wilcoxonin merkkiteesti osoitti, että oppimispelin oppimisvaikutus oli merkittävä. Tämä tuki asetettua hypoteesia. Riippumattomien otosten t-testillä ja Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella havaittiin tarjotun tuen määrällä olevan negatiivinen yhteys oppilaiden oppimistuloksiin. Tarjotun tuen määrä selitti 18 % oppilaiden oppimistulosten vaihtelusta. Tarjotun tuen muotojen, eli symbolisen ja kuvitetun vihjeen, oppilaan lähtötason ja oppimistulosten välillä ei havaittu olevan yhteyttä kaksisuuntaista varianssianalyysiä käyttämällä. Hypoteesi, jonka mukaan heikomman lähtötason oppilaat olisivat hyötäneet oppimispelistä enemmän, hylättiin. Lisäksi oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrä ei ollut yhteydessä oppimistuloksiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa käyttämällä.

Tutkimus osoittaa, että oppimispelit edistävät peruskoululaisten murtolukujen oppimista merkittävästi. Kuitenkin oppimistuloksiin vaikuttavien elementtien, kuten tarjotun tuen eri muotojen jatkoselvitys on tärkeätä, jotta suosiotaan kasvattaneista oppimispeleistä voidaan muotoilla mahdollisimman hyödyllisiä eri tasoisille ja ikäisille oppilaille.

Avainsanat: Palaute, Digitaalinen pelipohjainen oppiminen, Tarjottu tuki, Murtolukujen oppiminen, Oppimispeli, Oppimisvaikutus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	TEOREETTINEN TAUSTA	8
2.1	Palautteinterventioteoria	8
2.2	Oppimispelit – teoreettiset mallit	12
2.2.1	<i>Kognitiivinen teoria multimediaoppimisesta</i>	12
2.2.2	<i>Pelillisen oppimisen malli</i>	15
2.3	Murtolukujen oppiminen ja oppimispelit matematiikassa.....	16
2.3.1	<i>Oppimispelit matematiikassa</i>	17
2.3.2	<i>Lähtötason vaikutus</i>	19
2.3.3	<i>Kiinnostus matematiikkaa kohtaan</i>	19
3	PALAUTEMUODOT OPPIMISESSÄ	21
3.1	Palautteen ajoitus	22
3.2	Tieto vastauksen oikeellisuudesta	23
3.3	Tarjottu tuki	23
3.4	Vihje	25
4	TUTKIMUSKYSYMYKSET	26
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	28
5.1	Tutkittavat.....	28
5.2	Tutkimusasetelma	28
5.3	Pelin kuvaus.....	30
5.4	Mittarit	32
5.5	Aineistonkeruu ja käsittely	35
5.6	Tilastolliset analyysit	35
5.7	Eettiset kysymykset	38
6	TULOKSET	40
6.1	Pelin oppimisvaikutus ja annetun tuen määrän yhteys oppimistuloksiin	42
6.2	Palautetyypin ja lähtötason yhteys oppimistuloksiin	44
6.3	Kiinnostus matematiikkaa kohtaan	45
7	POHDINTA	46
	LÄHTEET	51
	TAULUKOT	
	TAULUKKO 1. ALKU- JA LOPPUTESTIEN TEHTÄVÄT	34
	TAULUKKO 2. KUVAILEVAT TILASTOT JA SUMMAMUUTTUJAT	41
	TAULUKKO 3. OPPIMISVAIKUTUKSEN MÄÄRÄ JA JAKAUTUMINEN LÄHTÖTASON JA PALAUTETYYPIN SUHTEEN	45

KUVIOT

KUVIO 1.	KOKONAISKUVA PALAUTEINTERVENTIOTEORIASTA.....	10
KUVIO 2.	KOGNITIIVINEN TEORIA MULTIMEDIAOPPIMISESTA.....	13
KUVIO 3.	TUTKIMUSASETELMA	29
KUVIO 4.	ESIMERKKI PELIN KANNUSTINJÄRJESTELMÄN OMINAISUUKSISTA.....	31
KUVIO 5.	NÄYTTÖKUVIA NUMBER TRACE -PELIN SYMBOLISESTA VIHJEESTÄ.....	32
KUVIO 6.	NÄYTTÖKUVIA NUMBER TRACE -PELIN KUVITETUSTA VIHJEESTÄ.....	32
KUVIO 7.	NUMBER TRACE -PELIN OPPIMISVAIKUTUS	42
KUVIO 8.	KORRELAATIO TARJOTUN TUEN MÄÄRÄN JA OPPIMISVAIKUTUKSEN VÄLILLÄ.....	44

1 JOHDANTO

Varhainen matemaattinen osaaminen ennustaa oppijan matemaattista kyvykkyyttä tulevaisuudessa (Geary ym., 2013). Alakoulussa opittujen matemaattisten taitojen oppiminen onkin kriittistä, koska silloin oppilaat rakentavat perustan, jonka päälle vaativampia matemaattisia laskutoimituksia voidaan oppia. Alakoulussa opeteltavat murtoluvut ovat oppilaille yksi eniten haasteita tuottavista asioista. Niiden oppiminen on lisäksi todettu ennustavan oppilaan matemaattisia ja murtolukutaitoja tulevaisuudessa (Ye ym., 2016). Tämän vuoksi murtolukujen oppimista edistävien tekijöiden tutkimus on tärkeää. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää, millaisia oppimistuloksia digitaalinen murtolukupeli Number Trace -peli tuottaa ja onko pelissä tarjotun tuen määrällä yhteyttä oppilaiden oppimiseen. Tämän lisäksi selvitetään, onko tarjotun esitystavalla, oppilaiden lähtötasolla tai oppilaiden matemaattisella kiinnostuksen asteella yhteyttä murtolukujen oppimiseen.

Aihetta tarkastellaan palauteinterventioteorian (Kluger & DeNisi, 1996) näkökulmasta ja sitä täydentämään on valittu multimediaoppimisen kognitiivinen teoria (Mayer, 2009) ja pelillisen oppimisen malli (Plass ym., 2015). Teoriat täydentävät toisiaan, sillä palauteinterventioteoria (Kluger & DeNisi, 1996) keskittyy palautteen tuottamaan oppimisvaikutukseen, mutta ottaa osin huomioon myös yksilön kognitiiviset resurssit. Mayerin (2009) kognitiivinen teoria multimediaoppimisesta keskittyy yksilön kognitiivisiin prosesseihin oppimisen aikana. Teoria ottaa huomioon, miten oppilas prosessoi saamansa palautteen mutta ei yksinään pysty selittämään palautteen tuottamaa oppimisvaikutusta. Pelillisen oppimisen malli (Plass ym., 2015) puolestaan tuo teoreettiseen viitekehykseen pelillisen oppimisen elementit; haasteen (*challenge*), vastauksen/reaktion (*response*) ja palautteen (*feedback*) sekä lisäksi myös kognitiivisen prosessoinnin ja näin yhdistää teoriat toisiinsa. Yksin teoria olisi kuitenkin liian suppea selittämään esimerkiksi palautteen vaikutusta oppimiseen.

Palauteinterventioteoria (Kluger & DeNisi, 1996) käsittelee palautteen tuottamaa oppimisvaikutusta, joka voi olla myös negatiivinen. Palautteella tarkoitetaan ulkoisen agentin antamia informatiivisia viestejä ja vihjeitä yksilön käyttäytymisestä, tehtävästä suoriutumisesta tai tehtävän tuloksista (Kluger & DeNisi, 1996). Palaute ei siis tarkoita esimerkiksi itsearviointia, vaan oleellista on, että suoritusta arvioi oppijan ulkopuolinen toimija. Hattie ja Timperleyn (2007) määritelmä palautteesta vastaa suurelta osin Kluger ja DeNisin (1996) määritelmää, eli heidän mukaansa palaute on jonkun tekijän (esim. opettaja, pari,) välittämää informaatiota oppijan tekemästä suorituksesta. Palaute on suorituksen seuraus ja palaute tuottaa informaatiota oppijalle käsillä olevasta suorituksesta ja sitä annetaan oppimiskontekstissa (Hattie & Timperleyn, 2007).

Palaute on yksi oppimiseen vaikuttava tekijä, mutta tutkimukset palautteen vaikuttavuudesta oppimiseen ovat tuottaneet varsin ristiriitaisia tuloksia. Palautteen on havaittu sekä parantavan että heikentävän oppimistuloksia (Hattie & Timperley, 2007; Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008). Tutkimustulosten ristiriitaisuus on osin selitettävissä asian kompleksisuudella. Esimerkiksi opeteltava aihe (Van Der Kleij ym., 2015), oppilaan tekemien virheiden määrä, palautteen ajoitus (Attali & Der Kleij, 2017) ja sukupuoli (Narciss ym., 2014) vaikuttavat siihen, miten palaute vaikuttaa oppimiseen ja millainen palaute on hyödyllistä tutkittavassa kontekstissa.

Shuten mukaan (2008) formatiivinen palaute (*formative feedback*) on oppijalle annettua informaatiota tämän toiminnasta, jonka tarkoituksena on tukea oppijan oppimista muuttamalla hänen ajatteluaan ja käyttäytymistä. Formatiivisen palautteen muotoja ovat muun muassa tarjottu tuki (*scaffolding*) ja vihjeet (*cues*). Tarjottu tuki tarkoittaa oppijoille annettua tukea, jonka avulla oppijat pystyvät suorittamaan heidän taitotasonsa ylittäviä tehtäviä (Wood ym. 1976). Oppimispelit ovat oiva alusta, jossa tarjottua tukea voidaan antaa (Plass ym., 2015). Tarjotun tuen onkin havaittu edistävän oppimista tehokkaasti pelillisessä ympäristössä (Cai ym., 2022), mutta sen eri muotojen hyödyllisyydestä ei olla vielä saatu selvyyttä.

Matemaattisten oppimispelien on havaittu edistävän oppilaiden matemaattista osaamista (Tokac ym., 2019; Wang ym., 2022). Tämän tutkielman tavoitteena on vertailla tarjotun tuen kahta eri muotoa ja niiden mahdollista yhteyttä murtolukujen oppimiseen digitaalisessa oppimispelissä. Tarkasteltavina

tarjotun tuen muotoina toimivat symbolinen ja kuvitettu vihje. Tarkemmin tavoitteena on selvittää, edistääkö toinen palautemuodoista oppilaiden murtolukujen oppimista enemmän kuin toinen. Samalla selvitetään, onko oppilaan matemaattisella lähtötasolla yhteyttä oppimistuloksiin. Aiempien tutkimustulosten perusteella (ks. Shute, 2008; McLaren ym., 2017; Ninaus ym., 2017; Stevenson, 2017) oletetaan, että heikomman lähtötason omaavat oppilaat hyötyisivät pelillisestä oppimisesta enemmän. Lisäksi tutkimuksen tavoitteena on selvittää murtolukupelin tuottama oppimisvaikutus ja onko tarjotun tuen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin. Tutkimuksessa käydään läpi myös oppilaiden kiinnostusta matematiikkaa kohtaan ja sen mahdollista yhteyttä oppimistuloksiin.

Tutkimuksen kohderyhmänä ovat 4–5. vuosiluokan oppilaat Suomesta. Peruskoulun opetussuunnitelman (OPS) (Opetushallitus, 2014) mukaisesti Suomessa murtolukuihin tutustuminen aloitetaan toisella vuosiluokalla. Harjoittelu on tällöin kuitenkin alkeellisella tasolla, lähinnä vain murtoluvun käsitteeseen tutustumista. Murtolukuihin tutustumista jatketaan vuosiluokilla 3–6, jolloin harjoitellaan murtolukujen peruslaskutoimituksia ja syvennetään käsitteellistä ymmärrystä murtoluvuista. Näillä vuosiluokilla opitaan myös murtolukujen, desimaalilukujen ja prosenttilukujen välinen yhteys. (Opetushallitus, 2014, 236.) 4. ja 5.-vuosiluokka ovat yksi keskeisimpiä kouluvuosia murtolukujen oppimisessa ja tämän ikäisten oppilaiden on havaittu hyötävän esimerkiksi tarjotusta tuesta pelillisessä ympäristössä merkittävästi (Cai ym., 2022). Onkin perusteltua parantaa ymmärrystä juuri näiden vuosiluokkien murtolukujen oppimiseen vaikuttavista tekijöistä.

2 TEOREETTINEN TAUSTA

2.1 *Palauteinterventioteoria*

Tutkielman yhtenä teoreettisena viitekehyksenä toimii Klugerin ja DeNisin (1996) palauteinterventioteoria, jota on käytetty teoreettisena viitekehyksenä myös uudemmassa tutkimuksessa (ks. Burgers ym., 2015). Kluger ja DeNisi (1996) havaitsivat meta-analyysissään palautteen voivan vaikuttaa tehtävissä suoriutumiseen myös negatiivisesti. Kluger ja DeNisi osoittivat, että kolmasosa palautetta saaneista oppijoista suoriutuivat heikoimmin mitä ei palautetta saaneet oppijat. Palauteinterventioteoria luotiin selittämään, miksi palaute ei aina edistä oppilaan oppimista vaan voi myös heikentää sitä. Lisäksi teorian tarkoituksena on selittää, milloin palautteella on todennäköisesti positiivisia vaikutuksia suoritukseen ja milloin palautteen vaikutukset heikentävät suoritusta. Teoriaa testattiin meta-analyysillä.

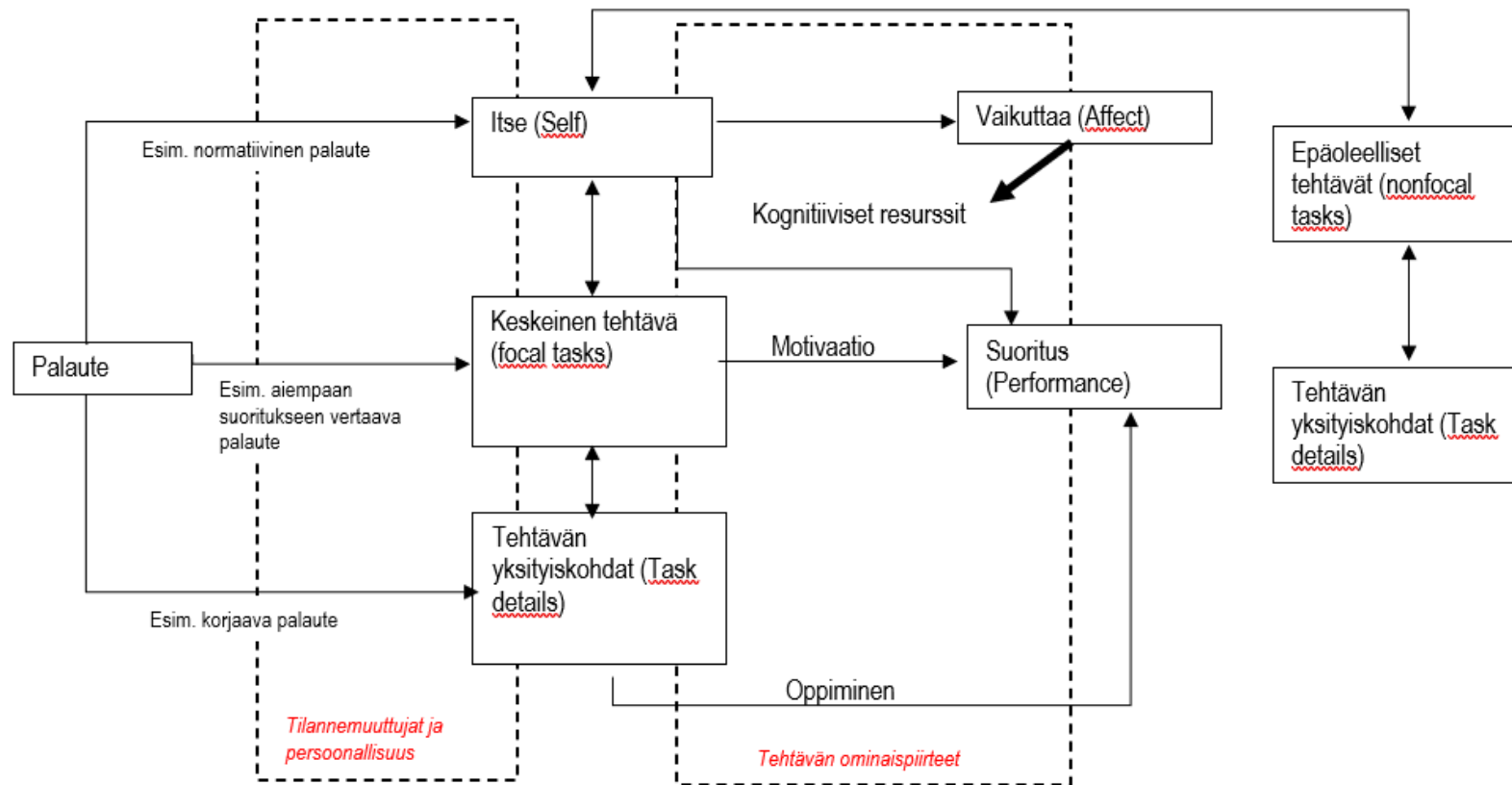
Kluger ja DeNisi (1996) pohjaavat palauteinterventioteorian seuraavien argumenttien ympärille: käyttäytymistä säädellään vertaamalla palautetta yksilön omiin tavoitteisiin tai yleisiin standardeihin, oppijalla on vain rajoitettu määrä tarkkaavaisuutta, tarkkaavaisuus kohdistuu palautteiden tuottamiin viesteihin, tarkkaavaisuus on rakentunut hierekkisiin prosesseihin ja palautteet ohjaavat tarkkaavaisuuden kohdentumista.

Klugerin ja DeNisin (1996) mukaan ihmisen käyttäytymisen sääntelyn perusmekanismi on verrata palautetta itse asetettuihin tavoitteisiin tai yleisiin standardeihin. Ihmisen käyttäytyminen on tavoitesuuntautunutta ja yksilö motivoituu palautteen tuottamien ristiriitojen minimoimisesta, eli yksilön tavoitteena on saavuttaa joko itse asetetut tavoitteet tai yleiset standardit. Ristiriitaa voidaan minimoida esimerkiksi säätelemällä käyttäytymistä tai tavoitetta. Kuitenkin käyttäytymistä muutetaan vain, jos oppijan tarkkaavaisuus kohdistuu ristiriitaan.

Ristiriitatilanne syntyy, kun palauteinterventio, eli palaute viestii, ettei oppijan suoritus vastaa hänen lopullista tavoitettansa, esimerkiksi vaivannäön määrä voi olla liian vähäinen tavoitteen saavuttamiseksi. Tällöin ristiriitatilanne saa aikaan reaktion, jonka lopputuloksena vaivannäköä lisätään. Jos vaivannäön lisääminen ei aiheuta muutosta suorituksessa voi oppija joko hylätä alkuperäisen tavoitteensa tai muuttaa sitä, esimerkiksi asettamalla tavoitteensa matalammalle tasolle. Puolestaan jos palaute antaa kuvan, että tehtävässä on ylisuoriuduttu, eli tehtävään on panostettu liikaa alkuperäisen tavoitteen saavuttamiseksi, vaivannäön määrää joko vähennetään tai asetetaan korkeampia suoriutumisen tavoitteita. Tämä palautteiden vertailu on kytköksissä hierarkkisuuuteen ja tarkkaavaisuuden kohdistamiseen. (Kluger & DeNisi, 1996.)

Palauteinterventioteorian (Kluger & DeNisi, 1996) mukaan palaute ohjaa oppijan tarkkaavaisuuden kohdistumista. Tarkkaavaisuus voi kohdistua oppijaan itseensä, käsillä olevaan tehtävään tai käsillä olevan tehtävän yksityiskohtiin. Tarkkaavaisuus voi myös siirtyä oppijasta itsestä käsillä olevaan tehtävään ja tehtävän yksityiskohtiin, sillä tarkkaavaisuus on rakentunut hierearkkisiin prosesseihin. Mitä paremmin palaute ohjaa tarkkaavaisuuden käsillä olevaan tehtävään tai sen yksityiskohtiin, sitä voimakkaampi ja todennäköisesti positiivisempi vaikutus palautteella on suoritukseen. Yksinkertaistettu palauteinterventioteoria on esitetty kuviossa 1.

Palauteinterventioteoriassa (Kluger & DeNisi, 1996) käsitellään myös tehtävän ominaisuuksien, tilannemuuttujien ja oppijan persoonallisuuden vaikutusta palautteen tehokkuuteen ja oppimissuoritukseen. Nämä tekijät saivat kuitenkin joko vain heikkoa tai eivät ollenkaan tukea meta-analyysissä, jonka vuoksi ne on rajattu tarkastelun ulkopuolelle tässä tutkimuksessa.



KUVIO 1. Kokonaiskuva palauteinterventioteoriasta (Kluger & Denisi, 1996, s. 268). Meta-analyyssissä tukea saamattomat tai heikkoa tukea saaneet tekijät on kirjoitettu punaisella ja kursivoitu. Nuolet esittävät vaikutuksia; yksipäiset nuolet kuvaavat yhdensuuntaista vaikutusta, kaksipäinen nuoli osoittaa vastavuoroista vaikutusta ja paksu nuoli interaktiota. Vapaasti suomennettu.

Palauteinterventioteorian (Kluger & DeNisi, 1996) mukaan palautteet, jotka ohjaavat oppijan tarkkaavaisuuden oppijaan itseensä, heikentävät tehtävässä suoriutumista kaikkein todennäköisimmin. Palaute voi kohdistaa tarkkaavaisuuden ”itsen” kolmeen eri osaan: todelliseen minään, ideaaliseen minään ja itseensä, jota pitäisi olla (Kluger & DeNisi, 1998). Palautteen tuottama reaktio on riippuvainen siitä, mitä itseyyden osaa palaute koskettaa. Mikäli palaute synnyttää ristiriidan ideaaliminässä, tarkkaavaisuus kohdistuu tavoitesuuntautuneesti, eli oppijan tavoitteeksi muodostuu saavuttaa tämä muodostettu kuva ihanteellisesta tai täydellisestä itsestä. Toisaalta ristiriitainen tieto itseyydenosasta ”mitä pitäisi olla”, saa yksilön yrittämään sosiaalisesti määrättyjen normien tai standardien saavuttamista. (Kluger ja DeNisi, 1998.) Esimerkiksi normatiiviset palautteet, jotka vertaavat oppijan suoritusta normiin, eli johonkin mitä pitäisi olla, kohdistavat oppijan tarkkaavaisuuden oppijaan itseensä. Lisäksi ylistävät ja lannistavat palautteet heikentävät tehtävästä suoriutumista. (Kluger & DeNisi, 1996.) Myös myöhempi tutkimuskirjallisuus on havainnut, että kehu, lannistava palaute tai oppijaan itseensä kohdistuva palaute eivät tuota positiivista vaikutusta oppimiseen (Hattie & Timperley, 2007; Shute, 2008).

Puolestaan kun palaute ohjaa tarkkaavaisuuden käsillä olevaan tehtävään on palautteella todennäköisesti positiivinen vaikutus tehtävässä suoriutumiseen. Palauteinterventioteorian mukaan palautteet, jotka sisältävät korjaavan sanoman, kuten tehtävän oikean vastauksen paljastamisen ja selityksen, miksi kyseinen vastaus on oikea, kohentavat oppimissuoritusta. (Kluger & DeNisi, 1996.) Myös Hattien ja Timperleyn (2007) mukaan palautteet käsillä olevista tehtävistä voivat tuottaa vaikuttavia tuloksia, kunhan ne korjaavat oppijan virheellisiä käsityksiä.

Kluger ja DeNisin (1996) mukaan palautteen kohdistuessa oppijan tarkkaavaisuuden käsillä olevan tehtävän yksityiskohtiin, tuottaa palaute useammin positiivisemmän suoritustuloksen kuin esimerkiksi palaute, joka kohdistaa tarkkaavaisuuden oppijaan itseensä. Teorian mukaan tehtävän yksityiskohdista kertova palaute ei kuitenkaan automaattisesti tuota parempia oppimissuorituksia. Esimerkiksi liian yksityiskohtainen palaute saattaa viedä oppijan tarkkaavaisuutta liikaa tuottaen kognitiivisen ylikuormituksen. Tällöin palaute voi heikentää oppimissuoritusta.

2.2 *Oppimispelit – teoreettiset mallit*

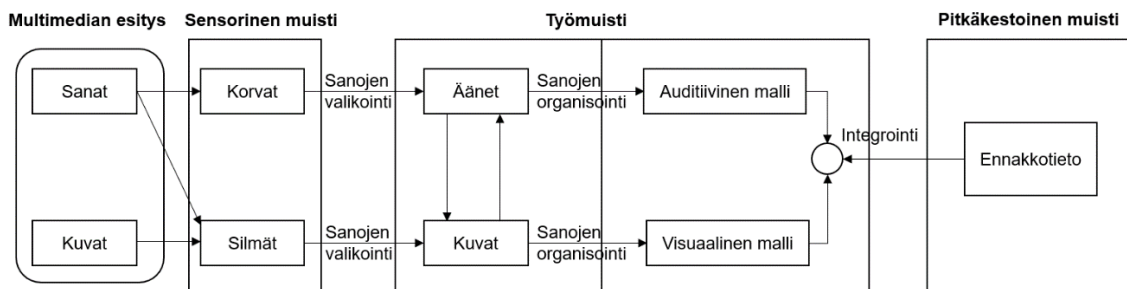
Oppimispeli (Mayer & Johnson, 2010) on sääntöpohjainen peli, mikä reagoi pelaajan toimintoihin pelissä. Oppimispelit on suunniteltu auttamaan jonkin asian oppimisessa. Optimaalisessa tilanteessa peli tarjoaa sopivan haasteen pelaajalle ja pitää kirjaa pelaajan suorituksista ja osaamisesta. (Mayer & Johnson, 2010.) Tutkielmaa varten oppimispelien määritelmään lisätään pelin digitaalisuus. Digitaalinen oppimispeli on oppimispeli, jota pelataan digitaalisella laitteella, kuten tietokoneella, tabletilla tai älypuhelimella digitaalisessa oppimisympäristössä.

2.2.1 Kognitiivinen teoria multimediaoppimisesta

Mayer (2009; 2014) on luonut kognitiivisen teorian multimediaoppimisesta, joka on esitetty kuviossa 2. Teoria kuvaa oppimisprosessia, jossa oppija prosessoi oppimateriaalia, joka sisältää sekä verbaalisia että nonverbaalisia materiaaleja, kuten sanoja ja kuvia (Mayer, 2009.) Multimediaviestejä voidaan tuottaa esimerkiksi digitaalisten laitteiden, kuten tietokoneen näytön tai tabletin avulla. Digitaaliset oppimispelit lukeutuvat multimediaoppimiseen yhdeksi oppimisympäristöksi. Mayer on myöhemmin nimittänyt teoriaa myös pelillisen oppimisen teoriaksi (Mayer, 2020). Teorian mukaan ihmisillä on erilliset aistikanavat havainnoida äänellistä ja kuvallista informaatiota; aistikanavien kautta voidaan vastaanottaa tietoa vain rajallinen määrä ja merkityksellinen oppiminen on mahdollista, kun ihminen pystyy keskittämään tarkkaavaisuutensa kognitiiviseen prosessiin oppimisen aikana, kuten relevanttiin materiaaliin ja yhdistämään sen aiemman tiedon kanssa. Kuten palauteinterventioteoriassa (Kluger & DeNisi, 1996) myös Mayer (2009) näkee, että oppijalla on vain rajoitettu määrä tarkkaavaisuutta, ja lisäksi tarkkaavaisuus kohdistuu oppimispelin tuottamiin viesteihin/informaatioon, kuten palautteeseen.

Multimediaoppimisessa (Mayer, 2009) kognitiivisia prosesseja ovat esimerkiksi olennaisen informaation valikointi, sen organisointi ja aiemman tiedon integrointi uuden valikoidun ja organisoidun tiedon kanssa. Tiedon kulku kognitiivisissa prosesseissa kulkee eri muistiosien kautta; sensorisesta muistista työmuistiin ja sieltä pitkäkestoiseen muistiin.

Valikoinnissa oppijan tulee valikoida visuaalisesta ja auditiivisesta informaatiosta tiedot, johon hän keskittää tarkkaavaisuutensa. Esitetyt tiedot/elementit joihin tarkkaavaisuus on kohdistunut siirtyvät työmuistiin. Organisointivaiheessa oppija järjestää valikointivaiheessa valitut tiedot esimerkiksi syysseuraus-malliin. Integrointivaiheessa oppija yhdistää organisointivaiheessa mallinnetut ja järjestetyt tiedot toisista aistikanavista saamansa tiedon ja aiemmin oppimansa tiedon kanssa. (Mayer, 2009; 2014.)



KUVIO 2. Kognitiivinen teoria multimediaoppimisesta (Mayer, 2009, s. 61). Vapaasti suomennettu.

Mayerin mukaan (2009; 2014.) pelillisen oppimisen kannalta tärkein tapahtumaketju multimediaoppimisessa tapahtuu työmuistissa, joka voi ylläpitää vain rajallisen määrän tietoa kerralla. Pelit voivat aiheuttaa informaatiotulvan, joka tukkii työmuistin, jolloin pelaaja ei pysty käsittelemään pelissä saamaansa informaatiota eikä siten myöskään siirtämään ja yhdistämään työmuistista tietoa pitkäkestoiseen muistiin, jolloin oppimista ei pääse tapahtumaan. (Mayer, 2009; 2014.) Pelit voivat sisältää siis liikaa informaatiota, mutta jos esimerkiksi pelillisiä ominaisuuksia poistetaan liikaa informaatiotulvan estämiseksi, voi peli muuttua tylsäksi ja epämotivoivaksi (Mayer, 2014). Oppimispelejä suunniteltaessa oleellista onkin löytää tasapaino motivoivien ja informoivien elementtien välille.

Mayerin (2009) mukaan oppija pystyy kytkeytymään kolmeen eri kognitiiviseen prosessiin oppimisen aikana: epäolennaiseen, keskeiseen ja generatiiviseen prosessiin. Jokainen näistä prosesseista vie yksilön kognitiivista kapasiteettia työmuistista.

Epäolennainen prosessi ei palvele oppimista vaan vie kognitiivista kapasiteettia työmuistista. Oppimistilanteessa voidaan esittää materiaalia, joka

liittyy opetettavaan aiheeseen, mutta ei ole opetettavan aiheen kannalta olennaista mikä lisää oppijan kognitiivista kuormaa. Epäolennaisen prosessoinnin ylikuormituksessa oppimisen kannalta epäolennaisen materiaalin käsittely voi viedä niin paljon oppijan kognitiivista kapasiteettia, että se estää keskeisen ja generatiivisen prosessoinnin. (Mayer, 2009; 2020.) Oppimispelissä esimerkiksi pelihahmojen välityksellä tarjottu tuki voi viedä enemmän kapasiteettia työmuistista verrattuna pelkistettyyn esimerkiksi symboliseen tukeen, varsinkin jos pelihahmojen kautta tarjottu tuki ei ole yksiselitteistä. Vastaavasti Mayerin (2009) mukaan myös sekavasti suunniteltu oppimispeli tai oppitunti voi viedä oppijan tarkkaavaisuuden, jolloin kognitiivinen kapasiteetti voi ylikuormittua. Tällöin oppijan voi olla vaikea valita oppimisen kannalta olennainen informaatio ja työstää sitä työmuistissa. Epäolennaisen tiedon esittämistä oppimistilanteessa tulisikin Mayerin (2009) mukaan välttää ja minimoida. Tämä näkemys tukee yksinkertaisen palautteen antamista oppimispelissä, joka voi sisältää tietoa oppijan suoriutumisesta, mutta ei esimerkiksi vertaisi oppijan suoritusta muiden suorituksiin.

Puolestaan keskeisessä prosessoinnissa käsitellään oppimisen kannalta keskeistä materiaalia. Keskeinen prosessointi kuvaa kognitiivisen kuorman määrää, jonka oppija tarvitsee käyttöönsä oppimisen kannalta olennaisen tiedon käsittelyyn työmuistissa. Esimerkiksi keskeisen tiedon prosessoinnin ylikuormituksen voi aiheuttaa tilanne, jossa esitettävä oppimateriaali on oppijalle liian vaativaa sisäistää annetussa ajassa. (Mayer, 2009.) Eli ylikuormituksen syynä voi olla joko puutteellinen aika, liian vaativa oppimismateriaali tai näiden kahden epäsuhta. Oppimispelissä esimerkiksi tehtäväkohtainen rajattu vastausaika asettaa oppilaille haasteen vastata tehtävään annetussa ajassa. Rajattu vastausaika voi myös aiheuttaa ylikuormituksen etenkin heikomman lähtötason omaaville oppilaille, jotka voivat tarvita tehtäviin enemmän vastausaikaa, mitä pelin suunnittelijat ovat ajatelleet.

Kognitiivista ylikuormitusta voidaan Mayerin (2009) mukaan välttää esimerkiksi esitettävän tiedon pilkkomisella, modaliteetilla ja esikoulutuksella. Tiedon pilkkomisella tarkoitetaan oppimistilanteessa esitettävän tiedon pilkkomista pienempiin osioihin oppijoiden alkutiedot huomioon ottaen, koska muuten myös olennaista tietoa sisältävä oppitunti voi olla liian monimutkainen oppijoille, jotka vasta tutustuvat aiheeseen. Modaliteetilla tarkoitetaan tiedon

esittämistä yhtä aikaa sekä auditiivisesti että visuaalisesti ja puolestaan esikoulutukseksi voidaan laskea esimerkiksi oppimispelin tutoriaali, jossa opeteltavaan aiheeseen ja pelin mekanismeihin tutustutaan. Pelin tutoriaalissa murtoluvun käsite voitaisiin esimerkiksi selventää oppilaille ja näin ennaltaehkäistä kognitiivisen kuorman syntymistä pelin harjoitteluosion aikana.

Kolmas kognitiivinen prosessointi, eli generatiivinen prosessointi auttaa oppijoita ymmärtämään keskeisessä prosessoinnissa käsiteltyä materiaalia ja se on myös yhteydessä motivaatioon. Prosessissa organisoidaan ja yhdistetään vanhaa ja uutta tietoa kun oppijalla on vielä käytettävänä kognitiivista kapasiteettia. Kaikkea kognitiivista kapasiteettia ei kuitenkaan aina käytetä, jolloin puhutaan generatiivisen prosessoinnin vajaakäytöstä. Vajaakäytön tilanne voi syntyä motivaation puutteen vuoksi. Esimerkiksi oppimispelissä voi olla jokin elementti kuten latistava palaute, joka epämotivoi oppilasta syventymään oppimateriaalin prosessointiin. (Mayer, 2009.)

2.2.2 Pelillisen oppimisen malli

Plass ja kumppanit (2015) loivat pelillisen oppimisen mallin. Mallin mukaan oppimispelit sisältävät kolme tärkeää elementtiä: haaste (*challenge*), vastaus/reaktio (*response*) ja palaute (*feedback*), jotka muodostavat yhdessä jatkumon. Jatkumo syntyy, kun palaute luo uuden haasteen tai pyytää pelaajaa antamaan toisen vastauksen haasteeseen.

Pelin ominaisuudet, jotka myös luovat pelin pelilliset piirteet, määrittelevät millaisen haasteen ja palautteen peli tuottaa pelaajalle vastineeksi tämän vastauksesta. Pelin ominaisuuksilla on usein yhteys siihen, kuinka motivoiva tai mukaansa tempaiseva peli on. Pelin ominaisuudet tulisi suunnitella niin, että ne tukevat oppimispelin tärkeintä tavoitetta, eli oppimistavoitetta, siis niitä taitoja ja oppisisältöjä, joita pelin tulisi opettaa. Pelin ominaisuuksiin kuuluvat kannustinjärjestelmä, pelimekaniikat, pelin visuaalisuus ja narratiivisuus sekä musiikki. (Plass ym., 2015.)

Kannustinjärjestelmä tarkoittaa kannustimia ja palkintoja esimerkiksi pelissä saatavia pisteitä ja tähtiä, joita pelaaja saa oikeista vastauksista ja jotka kannustavat pelaajaa jatkamaan pelaamista (Plass ym., 2015). Kannustinjärjestelmän elementeillä voidaan esimerkiksi pyrkiä auttamaan

oppijaa ymmärtämään esitettyä oppimateriaalia ja näin pyrkiä lisäämään multimediaoppimiseen (Mayer, 2009) kuuluvaa generatiivista prosessointia. Pelimekaniikat (Plass ym., 2015) tarkoittavat puolestaan pelin toiminnallisuuksia ja toimija, joita pelaaja voi pelissä tehdä. Pelimekaniikan alle lasketaan esimerkiksi se, onko peli yksin- vai moninpeli. Pelin visuaalisuuteen liittyviä ominaisuuksia ovat esimerkiksi pelin ulkonäkö, hahmot ja miten pelin toiminnallisuudet, kuten palaute, esitetään pelin aikana. Narratiivisuus puolestaan tarkoittaa pelin tarinallisuutta ja musiikki esimerkiksi taustamusiikkia.

Plass ja kollegat (2015) tarkastelivat pelillistä oppimista myös kognitiivisen prosessoinnin kautta ja näkivät, että peleillä voidaan tukea tiedon kognitiivista prosessointia. Peleihin voidaan lisätä esimerkiksi elementtejä, jotka tukevat tätä tiedon kognitiivista prosessointia. Näitä elementtejä ovat esimerkiksi oppimisen tilanteisuus (*situatedness*) ja siirtovaikutus, tarjottu tuki ja palaute, dynaaminen arviointi, tietojen esitysmuodon suunnittelu sekä eleet ja liikkeet. Kuten pelin ominaisuuksien kohdalla, oppimispelissä käytettävät elementit tulisi suunnitella niin, että ne tukevat oppimista. Plassin ja kollegoiden (2015) näkemystä kognitiivisen prosessoinnin optimointiin tarjotun tuen ja palautteen osalta käsitellään tarkemmin palautemuotoja käsittelevässä luvussa 3.

2.3 Murtolukujen oppiminen ja oppimispelit matematiikassa

Murtolukujen oppiminen tuottaa usein vaikeuksia oppilaille ja murtolukujen oppimiseen liittyy myös virheellisiä käsityksiä. Malonen ja Fuchsin (2017) mukaan yksi yleinen virhekesitys murtoluvuista on se, että oppilas erehtyy luulemaan suuremman nimittäjän omaavan murtoluvun olevan suurempi kuin murtoluku, jossa on pienempi nimittäjä. Esimerkiksi oppilas voi luulla, että murtoluku $\frac{3}{7}$ on suurempi kuin $\frac{3}{5}$. Oppilas saattaa siis soveltaa luonnollisten lukujen ominaisuuksia murtolukuihin. (Malone & Fuchs, 2017.) Malone ja Fuchs (2017) havaitsivat, että 65 % virheistä, joita heikosti matematiikassa pärjäävät 4.vuosiluokan oppilaat tekivät vertaillessaan murtolukujen suuruutta, aiheutuivat siitä, että he sovelsivat kokonaislukujen logiikkaa/laskusääntöjä murtolukuihin.

Stafylidou ja Vosniadou (2004) tarkastelivat 10–16-vuotiaiden oppilaiden murtolukujen ymmärtämisen kehitystä ja heidän käsitystensä murtolukujen numeerisesta arvosta. Yksi havainto oli se, että osa oppilaista arvioi murtoluvun

suuruutta verraten siinä esiintyviä numeroita (osoittaja ja nimittäjä). Mitä pienemmistä luvuista murtoluku koostui, sitä pienemmän arvon se sai, esimerkiksi 1/1 arvioitiin pienemmäksi mitä murtoluku 100/500, koska ensin esitetty murtoluku koostui pienistä numeroista. 5.luokan (ka. ikä = 10 vuotta 7kk) ja 6.luokan (ka. ikä = 11 vuotta 5 kk) oppilaista 32,5 % ymmärsi murtolukujen arvon kasvavan, kun siinä esiintyvät luvut kasvoivat. Luokka-aste oli tilastollisesti merkitsevä tekijä ($p < .001$) ja oppilaiden käsitys murtoluvuista kehittyi luokka-asteen kasvaessa. Alemman luokka-asteen oppilailla voi siis esiintyä enemmän murtolukuihin liittyviä virhekäsitys, minkä vuoksi alemman vuosiluokan oppilaat tekevät todennäköisesti enemmän virheitä murtolukutehtävissä.

Tutkimuksissa on todettu, että lukusuoratehtävät, joissa tehtävänä on sijoittaa joko esitetty murtoluku tai kokonaisluku oikealle paikalleen lukusuoralta, ennustavat murtolukujen osaamista tulevaisuudessa (Jordan ym., 2013; Ye ym., 2016). Schneider ja hänen kollegoidensa (2018) meta-analyysi vahvisti, että lukusuoratehtävät ennustavat hyvin matematiikassa pärjäämistä tulevaisuudessa ($r = .44$), mutta murtolukutehtävien kohdalla korrelaatio oli vielä suurempi ($r = .52$, $p = .011$). Nuoressa iässä tapahtuva murtolukujen ja matematiikan oppiminen näyttäytyy siis olevan erittäin tärkeää, sillä ne luovat pohjaa tulevaisuudessa tapahtuvalle matematiikan oppimiselle. Etenkin varhaisessa iässä tehdyt lukusuoratehtävät ennustavat oppijan pärjäämistä murtolukutehtävissä myös tulevaisuudessa, mutta voivat auttaa oppilaita myös ymmärtämään, että kokonaislukujen välillä voi olla lukematon määrä murtolukuja (Ye ym., 2016).

2.3.1 Oppimispelit matematiikassa

Oppimispelit ovat nouseva kiinnostuksen kohde tutkijoiden keskuudessa. Niiden onkin yleisesti havaittu pystyvän edistämään oppimistuloksia etenkin matematiikassa (Wang ym., 2022). Lisäksi tutkimuksissa on selvitetty, mitkä tekijät ja menetelmät tukevat matematiikan oppimista tai mitkä tekijät ennustavat korkeaa oppimistulosta. Esimerkiksi oppilaiden korkea kiinnostuksen määrä tehtävää kohtaan ei aina vaikuta positiivisesti oppimistuloksiin perinteisessä tavassa opetella matematiikkaa. McLaren, Adams ja Mayer (2015) tutkivat virheellisten esimerkkien vaikutusta 6.luokan oppilaiden desimaalilukujen

oppimiseen. Virheellisiä esimerkkejä saaneen ryhmän tuli korjata ja selittää virheelliset esimerkit desimaalitehtävissä. Viivästetyssä testissä havaittiin, että vaikka virheellisten esimerkkien ryhmä arvioi kiinnostuksen tasonsa matalammaksi mitä verrokkiryhmä, suoriutuvat virheellisten esimerkkien ryhmä viivästetystä lopputestistä paremmin mitä verrokkiryhmä.

Jos motivaation yhtenä määritelmänä käytetään kiinnostuksen tasoa, korkean kiinnostuksen taso ei suoraan tarkoita sitä, että oppimistulokset olisivat korkeita, vaan voi tarkoittaa jopa päinvastaista vaikutusta oppimistuloksiin. McLaren ja kollegat (2015) eivät käyttäneet tutkimuksessaan pelillisen oppimisen elementtejä vaan osallistujat tekivät desimaalitehtäviä internetpohjaisella alustalla. Pari vuotta myöhemmin McLaren, Adams, Mayer ja Forlizzi (2017) vertailivat tavanomaisemman oppimisen ja pelillisen oppimisen eroja desimaalilukujen oppimiseen ja havaitsivat, että pelillinen oppiminen tuotti sekä huomattavasti parempia oppimistuloksia että korkeamman nautintoasteen mitä tavanomaisempi tapa opetella desimaalilukuja. Pelillisen oppimisen elementit voivat sekä parantaa oppilaiden oppimistuloksia että nostaa heidän motivaatiotaan.

Pelillisen oppimisen hyötyjä on vertailu perinteiseen luokkahuoneoppimiseen ja havaittu sen tuottavan parempia oppimistuloksia tutkimuksissa, joissa tutkittiin matemaattista oppimista, käytettiin lukusuoratehtäviä pelin pohjana ja joissa osallistujat olivat 4.–6. luokkalaisia (McLaren ym., 2017; Kiili ym., 2018). Lisäksi alakoulun oppilaat näyttävät hyötävän matemaattisista peleistä yläkoulun oppilaita enemmän (Tokac ym., 2019).

Myös McLaren ja kollegat (2017) vertailivat matemaattisen oppimispelin hyötyjä perinteisempään tapaan oppia desimaalilukuja. He havaitsivat, että peliä pelanneet saivat parempia oppimistuloksia, mitä verrokkiryhmä, joka harjoitteli desimaalilukuja tietokoneella, mutta ei-pelillisessä ympäristössä. Ero näkyi sekä välittömästi harjoitusten jälkeen lopputestissä että viikon päästä viivästetyssä lopputestistä. Lisäksi osallistujat, joilla oli heikot ennakkotiedot aiheesta, hyötivät pelillisestä oppimisesta enemmän mitä korkeamman lähtötason omaavat osallistujat. Tutkijat mittasivat myös osallistujien asenteita matematiikan oppimista kohtaan ja havaitsivat, että matematiikan oppimispeliä pelanneet osallistujat pitivät desimaalien oppimista miellyttävämpänä mitä verrokkiryhmä.

Pelillinen oppimisympäristö voi siis sisältää elementtejä, jotka tekevät matematiikan oppimisesta miellyttävämpää ja edistävät etenkin heikomman lähtötason oppilaita. Mutta mitä nämä oppimista edistävät elementit ovat?

McLaren ja kumppaneiden (2017) tutkimuksessa käytetty oppimispeli oli melko yksinkertaisesti toteutettu oppimispeli, jossa pelaajalla on vain rajattu määrä toiminnallisuuksia. Vertailtaessa oppimispelin ominaisuuksia muiden tutkimusten tuloksiin, huomataan, että se sisälsi elementtejä, joiden on todettu edistävän oppimista muissa tutkimuksissa; esimerkiksi peli ei verrannut osallistujan suoritusta muiden suorituksiin (Kluger & DeNisi, 1996), peli tuotti osallistujalle yksinkertaista välitöntä palautetta suoriutumisesta (Van Der Kleij ym., 2015) ja siinä oli yksinkertainen tavoite (Chen ym., 2020). Lisäksi oppimispelit ja niiden sisältämät eri elementit voivat motivoida ja ylläpitää pelaajien mielenkiintoa ja ne voivat olla adaptiivisia eli esimerkiksi mukautettavissa pelaajan osaamistasoa vastaavaksi ja mahdollistavat pelaajalle mahdollisuuden epäonnistua ilman häpeää (Plass ym., 2015).

2.3.2 Lähtötason vaikutus

Oppilaan lähtötason opiskeltavasta aiheesta on havaittu ennustavan oppilaan suoriutumista viivästetyssä lopputestissä (Tapola ym., 2013). Esimerkiksi desimaalitehtävien kohdalla on havaittu, että heikomman lähtötason omaavat 6.vuosiluokan oppilaat hyötyivät desimaalilukujen harjoittelusta enemmän, mitä korkeamman lähtötason oppilaat. Vaikutus näkyi sekä välittömässä että viivästetyssä lopputestissä. (McLaren ym., 2015.)

2.3.3 Kiinnostus matematiikkaa kohtaan

Kiinnostus opiskeltavaa aihetta kohtaan on aiemmissa tutkimuksissa nähty yhtenä tapana mitata oppilaan sisäistä motivaatiota (Berger & Karabenick, 2011; Chen & Law, 2016; Ninaus ym., 2017). Sisäisen motivaation ei olla nähty ennustavan matemaattista menestystä aikuisten (Areepattamannil, 2014) tai lasten (Garon-Carrier ym., 2016) kohdalla. Myöskään oppilaiden kiinnostus samankaltaista aihetta kohtaan ei välttämättä ennusta oppilaan suoriutumista lopputesteissä. Esimerkiksi kiinnostus matematiikkaa kohtaan ei ennustanut 5.–

6. vuosiluokan oppilaiden suoriutumista viivästetyssä lopputestissä, kun harjoiteltavan aiheena oli sähköoppi (Tapola ym., 2013). Tämän sijaan tutkimuksissa on havaittu matemaattisen menestyksen ennustavan (Garon-Carrier ym., 2016) ja positiivisen palautteen lisäävän (Burgers ym., 2015) sisäistä motivaatiota. Toisaalta etenkin vähän matematiikasta kiinnostuneiden oppilaiden on havaittu hyötyvän matematiikan opiskelusta digitaalisissa oppimisleikissä (Ninaus ym., 2017).

3 PALAUTEMUODOT OPPIMISESSÄ

Hattie ja Timperley (2007) määrittivät palautteen jonkun tekijän (esim. opettaja, pari, oppilas itse, kirja) välittämäksi informaatioksi oppijan tekemästä suorituksesta. Palaute on suorituksen seuraus ja palaute tuottaa informaatiota oppijalle käsillä olevasta suorituksesta. Lisäksi palautetta annetaan oppimiskontekstissa. (Hattie & Timperley, 2007.) Palautetta voidaan antaa esimerkiksi välittömästi, eli heti tehtävään vastaamisen jälkeen tai viivästetysti. Tässä tutkielmassa Hattien ja Timperleyn (2007) määritelmää palautteesta tarkennetaan hieman. Palautteella käsitetään Klugerin ja DeNisin (1996) mukaisesti ulkoisen agentin, tässä tapauksessa oppimispelin, tuottamaa palautetta oppilaan suorituksesta. Suoritukset toteutetaan digitaalisessa oppimispelissä.

Palautemuoto vaikuttaa siihen, kuinka paljon aikaa oppijat käyttävät saamaansa palautteen tarkasteluun. Esimerkiksi silmänliikkeitä havainnoivassa tutkimuksessa havaittiin, että negatiivinen palaute kiinnitti osallistujien huomion pidemmäksi aikaa, mitä positiivinen palaute (Cutumisu ym., 2019). Lisäksi on havaittu, että negatiivinen palaute parantaa suorituskykyä pelissä lyhyellä aikavälillä ja positiivinen palaute puolestaan pitkällä aikavälillä (Burgers ym., 2015).

Palautemuotojen kohdalla myös oppilaiden taitotaso opeteltavasta aiheesta määrittää, millaisesta palautteesta he hyötyvät eniten. On nähty, että heikomman ja korkean lähtötason oppilaat hyötyvät erilaisesta palautteesta (Shute, 2008). Shute (2008) suosittelee tarjoamaan korkean lähtötason oppilaille viivästettyä palautetta ja heikomman lähtötason oppilaille puolestaan välitöntä ja korjaavaa palautetta sekä tarjottua tukea. Stevensonin (2017) löydös tukee Shuten (2008) ehdotelmaa. Hän havaitsi, että 5–10-vuotiaat lapset, jotka käyttivät vähemmän kehittyneitä menetelmiä analogisissa päättelytehtävissä, hyötyivät tutoroinnista ja uudelleen yrittämisestä enemmän, mitä kehittyneempiä ratkaisumenetelmiä

käyttävät lapset. Seuraavaksi tarkastellaan palautteen ajoitusta ja tämän tutkielman kannalta tärkeimpiä palautteenannon muotoja.

3.1 Palautteen ajoitus

Palautteen ajoituksen suhteen vastakkain on usein asetettu välitön ja viivästetty palaute. Välitön palaute tarkoittaa palautetta, jonka oppija saa heti tai lähes heti oppijan antaman vastauksen jälkeen. Viivästetty palaute puolestaan voidaan antaa oppijalle minuuttien, tuntien, viikkojen tai pidemmän ajan jälkeen tehtävän suorittamisesta. (Shute, 2008.) Viivästetyn palautteen pulmana on se, että se sallii oppijan toistaa virheitä useasti, ennen kuin virheestä tai virheistä huomautetaan. Tämä voi mahdollistaa virheellisten päätelmien syntymisen ja niiden muistiin painamisen (Shute, 2008). Lisäksi Van Der Kleijn ja kollegoiden (2015) meta-analyysissä havaittiin, että viivästetty palaute vaikutti negatiivisesti efektikokoon.

Pelillisen oppimisen tutkimuksissa on usein uskottu välittömän palautteen tarjoamaan hyötyyn (ks. Charles, 2011; Tsai ym., 2015). Lisäksi välittömän palautteen on havaittu olevan hyödyllisempää oppijoille kuin palautteen saaminen laisinkaan (Tsai ym., 2015). Toisaalta jos oppija ei tee virhettä tehtävässä, viivästetty palaute voi olla hyödyllisempää kuin välitön palaute. Välitön palaute voi kuitenkin edistää oppimista enemmän kuin viivästetty palaute, kun virheitä tehdään. (Attali & Der Kleij, 2017.) Alakouluikäisten kohdalla, kun murtoluvut ovat vielä uusia, välitön palaute voisi olla toimivampi vaihtoehto, sillä tällöin oppilaat tekevät enemmän virheitä ja saattavat omata virhekäsityksiä murtolukujen suhteen (Stafylidou & Vosniadou, 2004). Lisäksi esimerkiksi Shute (2008) suosittelee välitöntä palautetta tilanteissa, joissa opeteltava aihe on vaativa oppilaille.

Toisaalta oppimispelissä voidaan tarjota sekä välitöntä että viivästettyä palautetta, jolloin oppimispeli pystyy tarjoamaan palautetta oppijan lähtötasosta riippumatta. Lisäksi palaute voidaan muotoilla niin, että se tukee pelimäisyyttä esimerkiksi muotoilemalla palautteen anto niin, että se sulautuu osaksi pelin visuaalisuutta ja kannustinjärjestelmää.

3.2 Tieto vastauksen oikeellisuudesta

Tieto vastauksen oikeellisuudesta on yksi yleisimmistä tavoista antaa palautetta pelillisessä ympäristössä. Tiedolla vastauksen oikeellisuudesta tarkoitetaan palautetta, jossa oppijalle annetaan tieto siitä, onko hänen antamansa vastaus oikein vai väärin (Shute, 2008). Tämä palautemuoto voidaan nähdä melko yksinkertaisena ja vähän kuormittavana tapana antaa palautetta. Yksinkertaisen palauteen onkin havaittu toimivan paremmin kuin monimutkaisen palautteen (Hattie & Timperley, 2007; Kluger & DeNisi, 1996; Shute, 2008), mikä palauteinterventioteorian näkökulmasta voi johtua siitä, että monimutkainen palaute voi viedä liaksi oppijan tarkkaavaisuutta tai ohjata sitä epäoleellisiin prosesseihin (Kluger & DeNisi, 1996). Vaikka tieto vastauksen oikeellisuudesta on yksinkertainen tapa antaa palautetta, se ei ole oppimistuloksien maksimoimisen kannalta hyödyllisin tapa. Esimerkiksi Van Der Kleij ja kollegat (2015) havaitsivat meta-analyysissään, että palaute, joka tarjoaa oppilaalle selityksen, miksi tietty vastaus oli oikein taikka väärin, tuotti suurempia efektikokoja kuin pelkkä tieto vastauksen oikeellisuudesta. Tieto vastauksen oikeellisuudesta voidaan kuitenkin yhdistää jonkin toisen palautemuodon kanssa, jolloin oppimisvaikutus voi olla suotuisampi.

3.3 Tarjottu tuki

Wood ja muut (1976) määrittelivät tarjotun tuen (*scaffolding*) tarkoittamaan oppijalle tarjottua tukea tai apua, jonka avulla oppijat voivat ymmärtää ja suorittaa tehtäviä, jotka olisivat muuten liian haastavia oppijalle läpäistäviksi. Woodin ja kollegoiden (1976) mukaan tukea tarjoaisi aikuinen, mutta myöhemmin on nähty, että tukea voi tarjota myös esimerkiksi oppimispeli (Plass ym., 2015). Tarjottu tuki voidaan jaotella pehmeään ja kovaan tarjottuun tukeen (Saye & Brush, 2002). Tarjotun tuen (Saye & Brush, 2002) kovilla muodoilla tarkoitetaan tuen muotoja, jotka on voitu ennakoita ja suunnitella etukäteen oppilaille tarjottaviksi tilanteisiin, joissa he kohtaavat haasteita. Tarjotun tuen kovia muotoja käytetään usein oppimispelissä (Chen & Law, 2016).

Plass ja kollegat (2015) näkevät, että kun tarjottua tukea käytetään, oppijan taitotasoa tehtävässä tulisi arvioida jatkuvasti ja vähentää tarjotun tuen määrää

asteittain. Oppijan kyvyt tulisi siis ensin arvioida, rakentaa tarjottu tuki tukemaan oppijan oppimisista ja sen jälkeen vähitellen vähentää tarjotun tuen määrää. Plassin ja kollegoiden (2015) mielestä oppimispelit onnistuvat hyvin tuottamaan tarjottua tukea: Pelit voivat sisältää tutorial-version, jossa pelaajan onnistumisia ja virheitä monitoroidaan. Monitoroinnin perusteella peli tuottaa pelaajalle tukea niissä kohdissa/tehtävissä, joissa pelaajalla on ollut vaikeuksia. Pelaajan suoritukseen perustuvaa tarjottua tukea Belland ja kumppanit (2017) kutsuvat adaptiiviseksi tarjotuksi tueksi (*performance adapted scaffolding*). He tutkivat tietokoneen välityksellä tarjotun tuen tuottamaa vaikutusta (tietokonepohjaista tarjottua tukea) STEM-aineissa (luonnontieteet, teknologia, insinööriyö ja matematiikka) meta-analyysissään ja havaitsivat tukea saaneiden oppilaiden suoriutuvan paremmin kognitiivisissa testeissä, mitä tietokonepohjaista tukea saamattomat oppilaat. Aikuisopiskelijat näyttivät hyötyvän eniten tietokonepohjaisesta tarjotusta tuesta.

Tarjottu tuki näyttää vaikuttavan ainakin tiettyssä muodossa positiivisesti oppimistuloksiin. Cain ja muiden (2022) meta-analyysissä havaittiin tarjotun tuen edistävän oppimista tehokkaasti. Tutkimuksessa etenkin peruskoulun oppilaat hyötyivät tarjotusta tuesta. Puolestaan Chen ja Law (2016) tutkivat tarjotun tuen vaikutusta oppilaiden motivaatioon ja oppimistuloksiin pelillisessä oppimisessa. Seitsemännen luokan oppilaat ($N = 254$) pelasivat luonnontieteellistä oppimispeliä ja tarjottuna tukena yksilöille käytettiin avoimia kysymyksiä. Tutkijat havaitsivat, että tarjottu tuki vaikutti positiivisesti oppimistuloksiin, mutta negatiivisesti kolmeen motivaatiotyyppiin: pätevyyden ja autonomian kokemukseen sekä kiinnostuksen tasoon. Tutkimuksessa kova tarjottu tuki vaikutti negatiivisesti oppilaiden kiinnostukseen, mutta positiivisesti ja voimakkaammin oppimistuloksiin mitä pehmeä tarjottu tuki. Tarjottu tuki voi siis vaikuttaa positiivisesti oppimistuloksiin ja puolestaan negatiivisesti motivaatioon, mutta tulee muistaa, että tarjotun tuen eri muodot saattavat tuottaa erilaisia tutkimustuloksia. Esimerkiksi opeteltava aine saattaa vaikuttaa siihen, millaisia oppimistuloksia tarjottu tuki tuottaa, mutta myös tarjotun tuen tyyppi vaikuttaa, auttaako se edistämään oppilaiden oppimista vai ei.

3.4 Vihje

Tarjotun tuen yksi yleisesti käytetty muoto on vihje (ks. esim. Devolder ym., 2012; Ueno & Miyasawa, 2015). Singh ja kollegat (2011) tutkivat välittömän palautteen ja vihjeiden vaikutusta 8.luokkalaisten matematiikan oppimiseen tietokonepohjaisissa kotitehtävissä. Osallistujat pystyivät pyytämään 3–4 vihjettä tietokonepohjaisissa kotitehtävissä ennen jokaisen tehtävän palautusta. He havaitsivat, että tietokonepohjainen oppiminen edisti oppimista enemmän mitä tavanomaiset kotitehtävät. Lisäanalyysissä havaittiin, että vihjeiden antaminen yhdistettynä välittömään palautteeseen oli tehokkaampi palautemuoto, mitä pelkkä välitön palaute.

Tässä työssä vihjeellä tarkoitetaan palautteenannon muotoa, jossa ulkoinen agentti tuottaa ja antaa vihjeitä, jotka ohjaavat oppijaa löytämään käsillä olevaan tehtävään oikean vastauksen. Vihje selittää käsillä olevaa murtolukutehtävää tai ongelmaa esimerkiksi paljastamalla toisen murtoluvun paikan lukusuoralta tai pilkkomalla lukusuoran pienempiin osiin (Moyer-Packenham ym., 2019). Vihjeiden tarkoituksena ei ole ohjata oppijaa etsimään tietoa jostain ulkoisesta lähteestä, vaan havainnollistaa tehtävää ja auttaa oppijaa löytämään ongelmaan ratkaisu pelikontekstissa, mutta myös palvella oppimispelin pelillisyyttä ja minimoida palautteen aiheuttama kognitiivinen kuorma.

Multimediateorian (Mayer, 2009) mukaan vihje voi aiheuttaa työmuistin ylikuormittumista, jos se esitetään pelkästään visuaalisesti ja onkin havaittu, että visuaalisen ja auditiivisen vihjeen yhdistelmä edistää ongelmanratkaisukykyä enemmän kuin pelkästään visuaalinen tai auditiivinen vihje (de Kock, 2016).

4 TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella tarjotun tuen kahden eri muodon vaikutusta oppilaiden murtolukujen oppimiseen. Tarkemmin tutkimuksessa tavoitteena oli vastata kolmeen päätutkimuskysymykseen ja niiden alakysymyksiin. Tutkimuksessa etsittiin vastauksia seuraaviin kysymyksiin:

1. *Millainen murtolukupelin tuottama oppimisvaikutus on?*
 - 1.1. *Onko annetun tuen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin ja millainen mahdollinen yhteys on?*
2. *Onko symbolisella ja kuvitetulla vihjeellä tai lähtötasolla yhteyttä oppimistuloksiin?*
3. *Onko oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin?*

Ensimmäiseksi tutkittiin, millaisen oppimisvaikutuksen murtolukupeli tuotti. Samalla selvitettiin, oliko tarjotun tuen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin ja millainen mahdollinen yhteys on. Matemaattisten oppimispelien on todettu edistävän pelaajien matemaattisia taitoja opiskeltavasta aiheesta (Ninaus ym., 2017), joten oletettiin, että murtolukupeli edistäisi murtolukujen oppimista. Tarjotun tuen on puolestaan havaittu vaikuttavan positiivisesti oppimistuloksiin (Chen ym., 2016), mutta tässä tutkimuksessa oltiin erityisesti kiinnostuneita saadun tuen määrän yhteydestä oppimistuloksiin.

Toiseksi selvitettiin, oliko symbolisella ja kuvitetulla vihjeellä tai lähtötasolla yhteyttä oppimistuloksiin. Mayerin (2009; 2020) mukaan epäolennaisten materiaalien esittäminen oppimispelissä voi viedä liikaa oppijan kognitiivista kapasiteettia. Tämä näkemys tukisi pelkistetyn tuen käyttöä oppimispelissä, sillä pelihahmojen kautta tarjottu tuki voi viedä liikaa tilaa oppijan kognitiivisesta kapasiteetista. Tarjotun tuen eri muotojen hyödyllisyyden vertailun lisäksi, tarkasteltiin, vaikuttiko oppilaan lähtötaso oppimistuloksiin. Shute (2008) on

ehdottanut heikomman lähtötason omaaville oppilaille palautemuodoksi välitöntä palautetta ja tarjottua tukea, kun taas korkeamman lähtötason oppilaille viivästettyä palautetta. Pelissä tarjottiin kaikkia edellä mainittuja palautemuotoja, mutta enemmän palautteita, joiden Shute (2008) on nähnyt edistävän enemmän heikomman lähtötason oppilaita. Tämän vuoksi oletettiin, että heikomman lähtötason osallistujat oppivat oppimispelissä suhteellisesti enemmän, mitä korkeamman lähtötason osallistujat. Hypoteesia puoltaa lisäksi McLarenin ja kumppaneiden (2017) ja Ninauksen ja kollegoiden (2017) tutkimus. Esimerkiksi McLaren ja kumppanit (2017) havaitsivat, että osallistujat, joilla oli heikot ennakkotiedot aiheesta, hyötyivät pelillisestä oppimisesta enemmän, mitä korkeamman lähtötason omaavat osallistujat. Tämä voi johtua siitä, että heikommin alkutestissä pärjänneiden oppilaiden voi olla helpompi nostattaa osaamistaan esimerkiksi 10 % kuin alkutestissä hyvin pärjänneiden oppilaiden (Ninaus ym., 2017).

Viimeiseksi tutkimuksessa selvitettiin, oliko oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin. Ninaus ja kollegat (2017) havaitsivat, että oppimispelissä, jossa harjoiteltiin rationaalilukuja, että etenkin matalan kiinnostusasteen omaavat oppilaat pystyivät nostattamaan oppimismenestystään selvemmin. Tästä huolimatta sisäisen motivaation, jonka yhtenä mittarina on käytetty kiinnostuksen määrää (Berger & Karabenick, 2011; Chen & Law, 2016; Ninaus ym., 2017) ei olla nähty ennustavan matemaattista menestystä (Areepattamannil, 2014; Garon-Carrier ym., 2016). Tavoitteena onkin tutkia, saadaanko kiinnostuksen ja oppimistulosten yhteyttä todennettua vain tukeeko tutkimus aiempia tutkimustuloksia.

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Mayer ja Johnson (2010, 246–248) (ks. myös Mayer, 2014) jaottelevat oppimispelitutkimukset kolmeen eri luokkaan; kognitiivisen vaikutuksen tutkimiseen, perinteisen luokahuoneoppimisen ja pelillisen oppimisen vertailuun ja lisäarvotutkimukseen. Tämä tutkimus lukeutuu lisäarvotutkimukseen, jossa Mayerin ja Johnsonin (2010, 246–248) mukaan tavoitteena on selvittää, mitkä pelien ominaisuudet edistävät oppimista oppimispelissä. Lisäarvotutkimuksissa pelien oppimisvaikutuksia tutkitaan yleensä vertailemalla kahden tai useamman ryhmän välisiä oppimistuloksia. Tällaisissa tutkimuksissa tutkittavat ryhmät pelaavat saman pelin eri versioita. Tässä tutkimuksessa keskityttiin vertailemaan ja mittaamaan tarjotun tuen eri muotojen yhteyttä oppimistuloksiin digitaalisessa oppimispelissä.

5.1 Tutkittavat

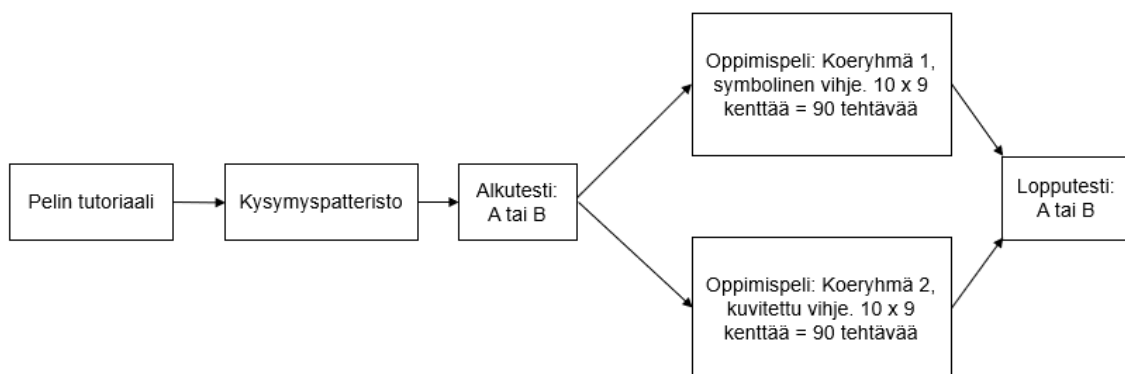
Tutkimukseen osallistui neljännen ja viidennen vuosiluokan oppilaita suomalaisista peruskouluista. Yhteensä osallistujia oli $N = 76$, joista 35 oli tyttöjä ja 33 poikia. 8 vastaajaa ei ilmoittanut sukupuoltaan. Osallistujien keski-ikä (kh) oli 11,49 (0,76). Osallistujista 4.vuosiluokan oppilaita oli 20 ja 5.vuosiluokan oppilaita 56. Kaikki osallistujat vastasivat alku- ja lopputesteihin sekä matematiikkaan liittyviin Likert-asteikollisiin kysymyksiin.

5.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin kokeellisena tutkimuksena ilman kontrolliryhmää. Kontrolliryhmää ei ollut, koska tutkimuksen tavoitteena ei ollut verrata murtolukupelin oppimisvaikutuksia esimerkiksi tavallisen luokahuoneoppimisen oppimisvaikutukseen vaan tarkastella tarjotun tuen kahden eri muodon vaikuttavuutta.

Tutkimukseen osallistujat pelasivat digitaalista murtolukupeliä tavallisten koulupäivien aikana. Osallistujat jaettiin kahteen eri ryhmään. Toinen ryhmistä pelasi murtolukupelin versiota, johon oli lisätty symbolinen vihje ja toinen murtolukupelin versiota, johon oli lisätty kuvitettu vihje. Molemmissa pelin versioissa palautteen anto tapahtui välittömästi. Peruspalautetta annettiin välittömästi jokaisen vastauksen jälkeen ja sitä olivat esimerkiksi pisteiden anto oikeasta vastauksesta tai pelihahmon energian menetys liian epätarkasta vastauksesta. Tukipalautetta, johon lukeutui joko symbolinen tai kuvitettu vihje annettiin välittömästi, mutta ainoastaan liian epätarkan vastauksen jälkeen.

Tutkittavat osallistuivat alku- sekä lopputestiin ja pelasivat 90 tehtävän ajan oppimispeliä, joissa harjoiteltiin murtolukuja. Oppilaista 37 osallistui koeryhmään 1 (peruspalautte + symbolinen vihje) ja 39 koeryhmään 2 (peruspalautte + kuvitettu vihje). Tutkimusasetelma on havainnollistettu kuviossa 3.



KUVIO 3. Tutkimusasetelma

Ennen alkutestiä, pelin tutoriaalin jälkeen, osallistujille esitettiin matematiikkaan liittyviä Likert-asteikollisia kysymyksiä sekä kerättiin osallistujilta taustatiedot. Kysymyspatteriston jälkeen osallistujat vastasivat osaamistasoa mittaavaan alkutestiin ennen murtolukujen harjoitteluosiota. Oppimistasoa testaavia testejä oli kaksi, joista kullekin osallistujalle arvottiin vastasiko hän ensin testiin A(1) vai B(2). Jos alkutestiksi arvottiin testi A, vastasi osallistuja lopputestissä testiin B. Alkutestin jälkeen osallistujat pelasivat murtolukupelissä läpi 10 kenttää, joista jokainen koostui 9 tehtävästä. Kokonaisuudessaan osallistujat vastasivat pelin aikana 90 tehtävään omassa tahdissaan. Arvioitu peliaika oli 2–3 oppituntia, riippuen osallistujan nopeudesta. Lopuksi osallistujat

vastasivat toiseen oppimistulostesteistä. Alku- ja lopputesteissä tehtävät keskittyivät lukualueelle 0–5.

5.3 *Pelin kuvaus*

Osallistujat pelasivat digitaalista murtolukupeliä (Number Trace), jossa harjoiteltiin murtolukuja yksinpelinä. Ennen pelin peluuta, pelaajat harjoittelivat pelin perustoimintoja pelin tutoriaaliosuudessa. Pelissä pelaajalle esitettiin murtolukuja yksi kerrallaan. Murtoluvun sijainti oli tarkoitus löytää lukusuoralta 0–3 liikuttamalla pelihahmo näppäimistön nuolinäppäimillä. Jokaista esitettyä murtolukua kohti pelaaja sai yrittää arvioida murtoluvun sijainnin kaksi kertaa. Pelaajalle esitettävät tehtävät muuttuivat haasteellisimmiksi pelin edetessä.

Pelaajat saivat pelissä palautetta sekä välittömästi että viivästetysti. Lisäksi pelissä oli käytetty oppimispeleille tyypillisen ominaisuuden; kannustinjärjestelmän, joka kannustaa pelaajaa jatkamaan pelaamista (Plass ym., 2015). Kannustinjärjestelmään kuuluvia piirteitä olivat esimerkiksi pelistä saatavat pisteet ja pelihahmon iloisuus oikean vastauksen jälkeen (kuvio 4). Lisäksi pelissä esitettiin muita kannusjärjestelmään kuuluvia piirteitä, kuten energian väheneminen energiamittarista ja pelihahmon surullisuus väärän vastauksen jälkeen sekä viivästettyä palautetta kuten pelikentän kokonaisarvostelu 1–3 tähdellä pelaajan keräämien pisteiden ja jäljelle jääneen energian mukaisesti pelikentän päätteeksi.

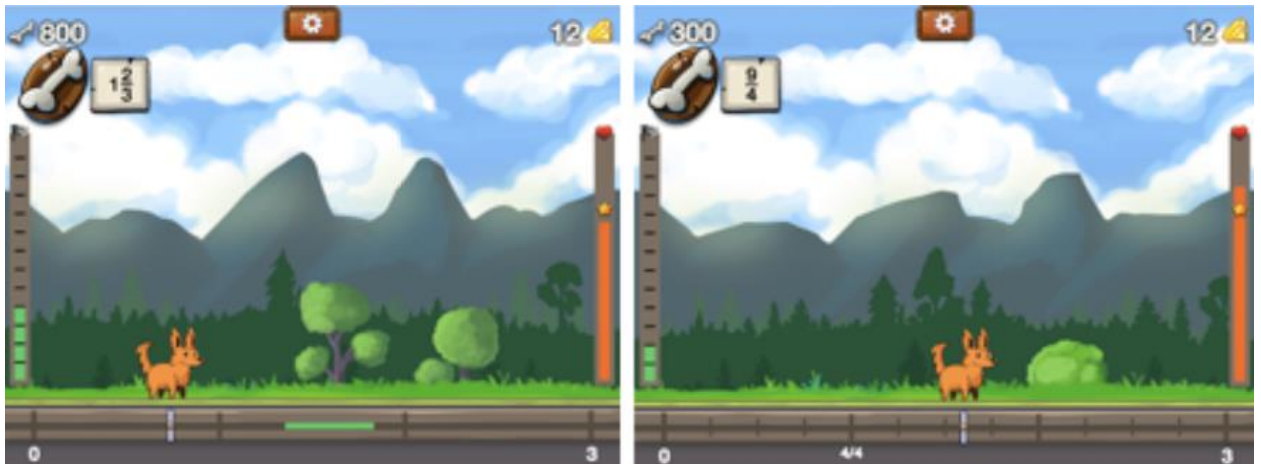


KUVIO 4. Esimerkki pelin kannustinjärjestelmän ominaisuuksista: pisteiden saaminen ja pelihahmon iloisuus (vasen) sekä pelihahmon surullisuus (oikea)

Murtolukupeli oli suunniteltu antamaan osittain adaptiivista tarjottua tukea pelaajille, jonka on havaittu edistävän oppimista esimerkiksi STEM-aineissa (Belland ym., 2017). Palautteenantoa varten osallistujien pelidataa analysoitiin oppimispelin kenttien sisällä. 5:ssä ensimmäisessä tehtävässä pelaaja sai virheen tehtyään automatisoitua palautetta, joko symbolisen tai kuvitetun vihjeen. Pelaajan suoriutuminen 5 ensimmäisessä tehtävässä määritteli, kuinka paljon tukea pelaajalle tarjottiin kentän viidessä viimeisessä murtolukutehtävässä, eli pelaajan pärjääminen kentän alkupäässä määritteli sen, minkä verran hän sai tukea ja palautetta kentän loppupäässä.

Pelissä oikean vastauksen osumatarkkuutena pidettiin 92 prosenttia. Väärän vastauksen myötä energiaa väheni energiamittarista 10 prosenttia. Ensimmäisen väärän vastauksen jälkeen oppilas sai arvioida murtoluvun sijainnin uudelleen. Lisäksi peliin ilmestyi apukeino (tarjottu tuki), joko symbolinen vihje tai kuvitettu vihje väärän vastauksen jälkeen. Symbolisessa vihjeessä pelihahmon alta löytyvä lukusuora pilkottiin esimerkiksi nimittäjän mukaisiin yhtä suuriin osiin viivoilla ja paljastamalla toisen murtoluvun, esimerkiksi murtoluvun $\frac{4}{4}$ sijainti lukusuoralta matemaattisessa muodossa (esim. $\frac{1}{2}$) (kuvio 5). Kuvitetussa vihjeessä lukusuora pilkottiin myös osiin, mutta viivojen sijaan jakajana toimi kuvitettu mathahmo. Lisäksi apukeinona käytettiin toista pelihahmoa, joka auttoi hahmottamaan lukusuoran sijaintia lukusuoralta sekä

toisen murtoluvun sijainnin paljastamista lukusuoralta matemaattisessa muodossa (kuvio 6).



KUVIO 5. Näyttökuvia Number Trace -pelin symbolisesta vihjeestä



KUVIO 6. Näyttökuvia Number Trace -pelin kuvitetusta vihjeestä

5.4 Mittarit

Oppimispelin oppimisvaikutusta mitattiin alku- ja lopputesteillä, joissa käytettiin lukusuoratehtäviä ja avoimia lukusuoratehtäviä. Lukusuoratehtävät on todettu toimiviksi mittareiksi, sillä ne ennustavat oppilaan matemaattista kyvykkyyttä myös tulevaisuudessa (Schneider ym., 2018). Alku- ja lopputestit toteutettiin samantyyppisillä pelitehtävillä kuin pelin murtolukujen harjoitteluosiossa.

Oppimisvaikutusta mittaavissa alku- ja lopputesteissä oli 12 lukusuoratehtävää ja 5 avointa lukusuoratehtävää. Testien tekemisjärjestys arvottiin, jotta mahdolliset testien vaikeuserot tasaantuisivat. Testeissä käytettiin 8 % arviointitarkkuutta, eli vastaus oli oikein, jos tarkkuus oli vähintään 92 %.

Lukusuoratehtävissä tutkittavan tuli arvioida murto- tai sekaluvun sijainti lukusuoralla 0–5. Esimerkiksi testissä A tutkittavan tuli sijoittaa luku $\frac{3}{2}$ lukusuoralle. Viidessä avoimessa lukusuoratehtävässä tutkittavan tuli verrata murtolukujen suuruutta toisiinsa, kun päätepisteen tietoja ei ilmoitettu. Esimerkiksi tutkittavan tuli testissä B arvioida murtoluvun $\frac{9}{4}$ sijainti lukusuoralla, kun vain nollakohta ja murtoluvun $\frac{6}{2}$ sijainti oli ilmoitettu. Luvut esitettiin pareittain ja tutkittavan tuli osata arvioida niin murtoluvun sijainti kuin oliko esitetty murtoluku pienempi tai suurempi kuin lukusuoralla ilmoitettu murtoluku. Testien A ja B kaikki tehtävät on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Alku- ja lopputestien tehtävät

Testi A			Testi B		
Lukusuoratehtävä lukualue 0–5	Avoin lukusuoratehtävä lukualue 0–5		Lukusuoratehtävä lukualue 0–5	Avoin lukusuoratehtävä lukualue 0–5	
	Sijoitettava luku	Esitetty luku		Sijoitettava luku	Esitetty luku
3/2	8/3	6/2	4/3	9/4	6/2
4 1/8	3/2	5/5	4 1/5	3/2	4/4
7/2	5/4	9/6	3/1	4/3	9/6
14/3	8/2	8/4	6/5	8/4	8/2
5/4	9/4	5/4	12/3	9/5	6/5
9/3			10/3		
2 2/6			2 2/8		
2/5			4/5		
4/1			9/2		
1 1/5			1 1/6		
7/3			5/5		
3 3/4			3 1/4		

Lopuksi tarkastettiin vielä, oliko alkutestien A ja B välillä vaikeustasoeroa. Mann-Whitney U -testin mukaan testien A ($n = 40$) ja B ($n = 36$) välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa: $U(74) = 679.5$, $Z = -.424$, $p = .675$, $r = -.006$. Kerta samoja testejä käytettiin myös lopputestissä, oletettiin ettei niidenkään välillä löytyisi tilastollisesti merkittävää vaikeustasoeroa. Tämän jälkeen alku- ja lopputesteistä muodostettiin summamuuttujat. Alkutestistä muodostetun summamuuttujan Cronbachin alfa kertoimeksi saatiin $\alpha = .74$ ja lopputestistä muodostetun summamuuttujan $\alpha = .81$. Alkutestistä tehty summamuuttuja näytti sisältävän 3 heikkoa outlieria, kun outlierin etsimisessä käytettiin $1,5 \cdot IQR$ -sääntöä. Outlierit johtuivat osallistujista, jotka olivat saaneet alkutestissä muita

osallistujia poikkeavasti korkeammat pisteet. Tarkasteltaessa lopputestistä tehtyä summamuuttujaa, ei outliereita enää löydetty, minkä vuoksi alkutestin outlierit sisällytettiin summamuuttujaan. Tällä on kuitenkin voinut olla hieman vaikutusta esimerkiksi alkutestistä tehdyn summamuuttujan keskiarvoon ja keskihajontaan arvoja hieman nostavasti.

Pelin tutoriaalin jälkeen, osallistujille esitettiin Likert-asteikollisia kysymyksiä matemaattisen kiinnostuksen mittaamiseksi. Kysymyksiä oli 5 ("Pidän matematiikasta", "Minusta on hauska tehdä matematiikan tehtäviä", "Matematiikka on minusta kiinnostavaa", "Pidän murtolukujen opiskelusta" ja "Pidän matematiikan oppimispelien pelaamisesta"), joihin tutkittavien tuli antaa arvio asteikolla 1 (= Täysin eri mieltä) - 5 (= Täysin samaa mieltä). Osiosta muodostettiin summamuuttuja jättäen summamuuttujan ulkopuolelle kysymys "Pidän matematiikan oppimispelien pelaamisesta". Samankaltaista mittaria on käytetty esimerkiksi Bergerin ja Karabenickin (2011) tutkimuksessa. Näin muodostetun summamuuttujan Cronbachin alfan arvoksi tuli $\alpha = .92$. Lisää kuvailutietoja muodostetusta summamuuttujasta löytyy tulososion taulukosta 2.

Lisäksi pelin tutoriaalin jälkeen osallistujilta kerättiin seuraavat taustatiedot: ikä, sukupuoli ja vuosiluokka. Puolestaan murtolukujen harjoitteluosiossa tutkittavien pelidata tarjotun tuen määrän osalta tallennettiin.

5.5 Aineistonkeruu ja käsittely

Tutkimusaineisto kerättiin osana laajempaa tutkimusta ja aineiston keräsi Tampereen yliopiston tutkijat vuonna 2020. Aineisto kerättiin digitaalisessa oppimispelialustassa osallistujien tavallisten koulupäivien aikana. Aineisto luovutettiin tätä tutkimusta varten pseudonymisoituna, josta yksittäistä osallistujaa ei pystytty tunnistamaan.

5.6 Tilastolliset analyysit

Tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi aineisto analysoitiin käyttämällä IBM SPSS-ohjelmiston versiota 26.0. Ensimmäiseksi tutkittiin, millainen murtolukupelin tuottama oppimisvaikutus oli. Samalla selvitettiin, oliko tarjotun tuen määrällä yhteyttä osallistujien oppimistuloksiin. Tämän jälkeen selvitettiin, oliko

symbolisella tai kuvitetulla vihjeellä, lähtötasolla tai matemaattisen kiinnostuksen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin. Tähtinen ja muut (2020) suosittavat Kolmogorov-Smirnov- ja Shapiro-Wilk -testejä silmämääräisen normaalijakautuneisuuden tarkastelun rinnalle, jonka vuoksi muuttujien normaalijakautuneisuutta tarkasteltiin vinouden, huipukkuuden, pylväsdigrammien ja tilastollisten testien avulla. Tulosten taulukosta 2, löytyy tarkempia tietoja muuttujien tilastollisista tunnusluvuista.

Murtolukupelin tuottaman oppimisvaikutuksen mittaamiseksi alku- ja lopputestistä muodostettiin summamuuttujat. Muodostetut summamuuttujat eivät noudattaneet normaalijakaumaa, joten analyysissä käytettiin Wilcoxonin merkkitestä, sillä se soveltuu Tähtisen ja kollegoiden (2020) mukaan toistetuille mittauksille eikä se edellytä summamuuttujien normaalijakautuneisuutta.

Jotta saataisiin selville, oliko annetun tuen määrällä yhteyttä oppilaiden oppimistuloksiin, muodostettiin oppimisvaikutusta kuvaava muuttuja ja uudelleenkoodattiin tallennetusta ”*annetun tuen määrästä*” uusi muuttuja. Oppimisvaikutuksen määrää (*learning gain*) laskettaessa voidaan käyttää erilaisia kaavoja. Yksi tunnetuimmista on Haken (1998) esittämä ”*Hake’s gain*”, jossa oppivaikutusta mitataan kaavalla:

$$\text{oppimisvaikutus} = \frac{\text{lopputesti} - \text{alkutesti}}{1 - \text{alkutesti}}$$

Miller ja kollegat (2010) nostivat kuitenkin esiin normalisoidun oppimisvaikutuksen kaavan ongelman: se ei ota huomioon, että oppimisvaikutusta ei aina tapahdu saati, että se voi olla negatiivinen. Etenkin heikosti alkutestissä pärjänneet voivat saada kaavaa käyttämällä heikompia oppimistuloksia. Normalisoidun oppimisvaikutuksen kaavan sijaan osassa pelillisen oppimisen tutkimuksista oppivaikutusta on mitattu yksinkertaisesti lopputestin ja alkutestin erotuksella (ks. esim. Kiili ym., 2018; McLaren ym., 2015; Park ym., 2019). Tätä tapaa käytettiin myös tässä tutkimuksessa, eli:

$$\text{oppimisvaikutus} = \text{lopputesti} - \text{alkutesti}$$

Oppimisvaikutuksen normaalisuuden testaamisessa käytettiin Kolmogorov-Smirnovin testiä, sillä sen soveltuu suurempien kuin $n \geq 50$ aineistojen normaalisuuden testaamiseen (Tähtinen ym., 2020). Testin mukaan oppimisvaikutuksen jakauma oli normaalisti jakautunut ($p = .200$).

Uudelleenkoodauksessa osallistujat jaettiin kahteen eri ryhmään tarjotun tuen määrän perusteella: paljon ja vähän tukea saaneisiin alkutestin mediaanijakauman perusteella. Tätä luokittelutapaa käytetty esimerkiksi McLaren ja kollegoiden (2015) tutkimuksessa ja tapaa kutsutaan mediaanilohkomiseksi (median split). Ryhmien kokojen haluttiin olevan mahdollisimman lähellä toisiaan, jonka vuoksi vähän tukea saaneita oli 39 (ts. tuen määrä 0,051–0,455 asteikolla 0–1), eli he saivat tukea 5–45,5 % tehtävistä ja paljon tukea saaneita osallistujia 37 (ts. tukea annettiin 0,456–0,707) saaden vihjeitä 45,6–70,7 % tehtävistä.

Levenen testillä tarkastettiin muodostettujen ryhmien varianssien homogeenisuus oppimisvaikutuksen suhteen, ja arvoksi saatiin $F = .097$, $p = .756$, tarkoittaen, että varianssit olivat riittävän yhtäsuuria t-testin toteuttamiseksi (Tähtinen ym., 2020). Tämän jälkeen käytettiin riippumattomien otosten t-testiä, sillä se soveltuu keskiarvojen vertailuun, kun vertailtavia ryhmiä on kaksi. Efektikoko laskettiin Cohenin d-suureen avulla: $(ka1 - ka2) / kh$. (Tähtinen ym., 2020.)

Koska riippumattomien otosten t-testissä osallistujat jaettiin tarjotun tuen määrän osalta omavaltaisesti kahteen eri ryhmään mediaanilohkomisen avulla, haluttiin vielä tarkistaa, millainen yhteys annetun tuen määrällä oli osallistujien oppimistuloksiin ja kuinka paljon tarjotun tuen määrä selitti oppimisvaikutuksen vaihtelusta. Muuttujina käytettiin tarjotun tuen määrää sekä oppimisvaikutusta. Tarjotun tuen määrä oli ei normaalisti jakautunut, minkä vuoksi Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa käytettiin analysoinnissa.

Lähtötason ja palautetyypin vaikutuksen oppimistuloksiin mittaamiseksi osallistujat jaettiin eri ryhmiin. Lähtötason osalta osallistujat jaettiin matalan lähtötason ja korkean lähtötason ryhmiin alkutestin mediaanijakauman perusteella. 34 oppilasta luokiteltiin matalan ennakkotiedon omaaviksi ja he saivat alkutestin tehtävien oikeellisuusprosentiksi 0,09–0,3 (min 0, max 1), eli he saivat tehtävistä 9–30 % oikein. 42 oppilasta luokiteltiin korkean ennakkotiedon omaaviksi, eli alkutestissä he saivat 31–82 % tehtävistä oikein.

Puolestaan palautetyypin osalta osallistujat jaettiin yksinkertaistetun vihjeen ($n = 37$) ja kuvitetun vihjeen ryhmiin ($n = 39$). Lisäksi testattiin, oliko palauteryhmien välillä tasoeroja alkutestin (summamuuttuja) suhteen. Mann-Whitney U -testin mukaan yksinkertaistetun vihjeen ($n = 37$, $md = 0.318$) ja kuvitetun vihjeen ($n = 39$, $md = 0.318$) välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa osaamistasossa: $U(74) = 692.5$, $Z = -0.303$, $p = .762$, $r = -.004$.

Koska vertailtavia ryhmiä oli useampi kuin kaksi ja osallistujat kuuluivat samanaikaisesti useampaan ryhmään, käytettiin analysoinnissa kaksisuuntaista varianssianalyysiä (two-way ANOVA). Levenen testillä tarkastettiin populaatiovariانسien yhtäsuuruus ja arvoksi saatiin $F = 1.257$, $p = .296$, joten variansseja voitiin pitää riittävän yhtä suurina kaksisuuntaisen varianssianalyysin käyttämiseksi, kunhan ryhmät ovat normaalisti jakautuneita (Tähtinen ym., 2020). Oppimisvaikutus todettiin jo aiemmin olleen normaalisti jakautunut, mutta varmistettiin myös, että lähtötasosta ja palautetyypistä muodostetut ryhmät ovat normaalisti jakautuneita oppimisvaikutusten suhteen. Shapiro-Wilkin testin, joka sopii pienempien aineistojen testaukseen (Tähtinen ym., 2020), tulokset osoittivat, että lähtötasosta ja palautetyypistä muodostetut ryhmät olivat normaalisti jakautuneita oppimisvaikutuksen suhteen ($p \geq .05$), joten parametrisiä testejä, kuten kaksisuuntaista varianssianalyysiä voitiin käyttää.

Matemaattisesta kiinnostuksesta tehty summamuuttuja ei ollut normaalisti jakautunut, joten Spearmanin järjestyskorrelaatiokerrointa käytettiin oppimistulosten ja matemaattisen kiinnostuksen välisen korrelaation selvittämiseksi.

5.7 Eettiset kysymykset

Tässä tutkimuksessa analysoitiin muiden tutkijoiden keräämää aineistoa. Tämän vuoksi tätä tutkimusta tehdessä ei oltu suoraan yhteydessä tutkittaviin ja näin esimerkiksi aineiston keruuseen liittyvät päätökset on suorittanut tutkimusaineiston alkuperäiset kerääjät. Aineiston kerääjiltä saatujen tietojen mukaan aineiston keruussa, käsittelyssä ja säilyttämisessä noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä (TENK, 2012). Tutkimukseen osallistuneiden koulujen rehtorit hyväksyivät aineistonkeruun kouluissa. Tutkittavia oppilaita ja heidän vanhempiaan informoitiin tiedotteella tutkimuksen sisällöstä ja sen tarkoituksesta.

Tiedotteessa ilmoitettiin esimerkiksi tutkittavien oikeuksista, tutkimuksen osallistumisen olevan vapaaehtoista ja ettei tutkimukseen osallistumisella ole vaikutusta oppilaan arvosanoihin. Tutkimukseen osallistui vain oppilailta, joiden vanhemmat olivat hyväksyneet tutkimukseen osallistumisen. Aineiston keruuta varten oppilaille luotiin satunnainen kirjautumiskoodi murtolukupeliin, johon ei liitetty henkilötietoja kuten oppilaiden nimiä. Tutkimusaineisto, eli pelisuoritukset ja kysely tallennettiin Tampereen yliopiston suojatulle palvelimelle (*server*).

Aineisto saatiin tutkimusta varten muodossa, josta oppilaita ei pystynyt tunnistamaan. Myöskään tietoja aineiston keruuseen osallistuneista kouluista ei luovutettu aineiston jakamisen yhteydessä. Menettely on suojannut tutkittavien yksityisyydensuojaa. Aineiston analysointivaiheessa analyysien tulokset tarkistettiin, jotta esimerkiksi inhimillisiltä kirjoitusvirheiltä ja virheellisten tulosten raportoinnilta vältyttäisiin.

6 TULOKSET

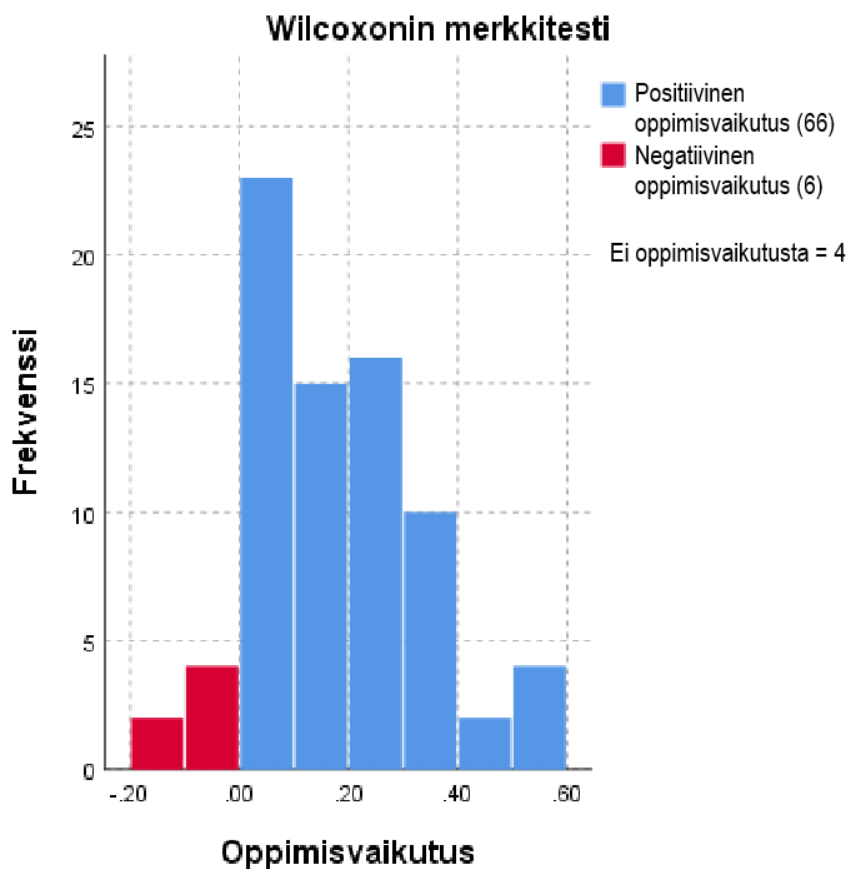
Kuvailevia tilastoja muuttujista ja muodostetuista summamuuttujista löytyy taulukosta 2. Tämän jälkeen esittelen saadut tulokset tutkimuskysymysjärjestyksessä, käyden ensin läpi pelin oppimisvaikutuksen ja annetun tuen määrän yhteyden oppimistuloksiin, sitten siirtyen käsittelemään palautetyypin ja lähtötason vaikutuksen oppimistuloksiin ja lopuksi selventäen, oliko oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrällä yhteyttä heidän oppimistuloksiinsa.

TAULUKKO 2. Kuvailivat tilastot ja summamuuttujat

Muuttuja	N	n	Min	Max	ka	kh	md	Vinous	Huipukkuus	α	Kuvailutiedot
Ikä	76	10	13	11.49	0.76	12	-0.33	-0.30			
Luokka-aste	76	4	5	4.7	0.44	5	-1.01	-0.82			
Alkutestit A & B (alkuperäiset)	76	0	1	0.34	0.18	0.32	1.03	0.65			Testien A (n = 40, Mean Rank = 39.51) ja B (n = 36, Mean Rank = 37.38) vaikeustasoero ei Mann-Whitney U -testin mukaan ollut tilastollisesti merkittävä.
Summamuuttuja: Alkutesti.	76	0	1	0.34	0.18	0.32	1.03	0.65	.74		Ei normaalisti jakautunut (Kolmogorov-Smirnovin testillä $p < .001$).
Summamuuttuja: Lopputesti.	76	0	1	0.52	0.22	0.50	0.53	-0.60	.81		Ei normaalisti jakautunut (Kolmogorov-Smirnovin testillä $p = .005$)
Oppimisvaikutus (lopputesti - alkutesti)	76		-	0.17	0.16	0.18	0.19	0.05			Normaalisti jakautunut (Kolmogorov-Smirnovin testillä $p = .200$)
Tarjotun tuen määrä	76	0	1	0.42	0.16	0.46	-0.41	-0.56			Ei normaalisti jakautunut (Kolmogorov-Smirnov: $p = .016$)
Palautetyyppi	76	1	2	1.51	0.50	2	-0.05	-2.05			
Symbolinen vihje		37									
Kuvitettu vihje		39									
Lähtötaso	76	1	2	1.55	0.50	2	-0.22	-2.00			Uudelleenkoodattu alkutestin tuloksista.
Matala		34									Saivat alkutestin tehtävistä 9–30 % oikein.
Korkea		42									Saivat alkutestin tehtävistä 31–82 % oikein.
Tuen määrä	76	1	2	1.51	0.50	2	-0.05	-2.05			Uudelleenkoodattu pelissä tarjotun tuen määrästä.
Vähän tukea saaneet		39									Saivat tukea 5–45,5 % tehtävistä.
Paljon tukea saaneet		37									Saivat tukea 45,6–70,7 % tehtävistä.
Kiinnostus matematiikkaa kohtaan.	76	1	5	3.50	1.14	3.66	-0.60	-0.45	.92		1=Täysin eri mieltä. 5=Täysin samaa mieltä. Ei normaalisti jakautunut (Kolmogorov-Smirnovin testillä $p = .039$).

6.1 Pelin oppimisvaikutus ja annetun tuen määrän yhteys oppimistuloksiin

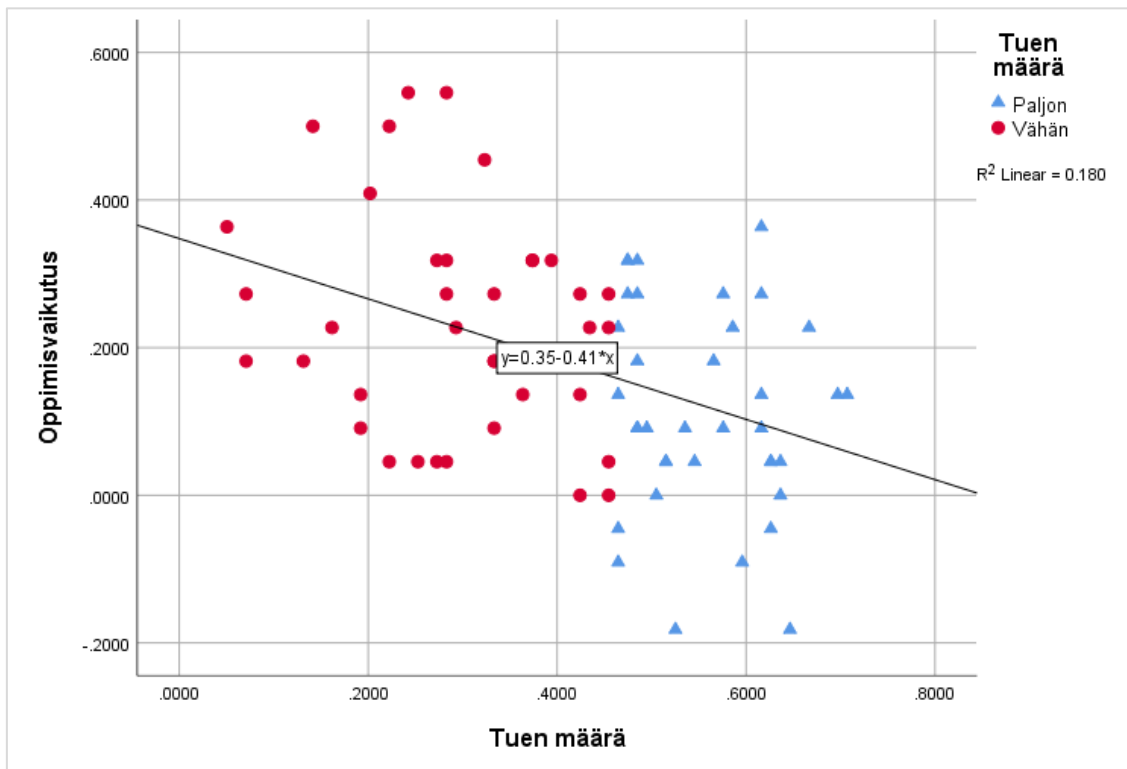
Tarkasteltaessa, onko murtolukupeli tuottanut oppimistuloksia mittauskertojen välillä, analyysimenetelmäksi valittiin Wilcoxonin merkkitesti. Testin mukaan lopputestin arvot olivat tilastollisesti merkittävästi suurempia kuin alkutestin tulokset ($N = 76$): $Z = -6.703$, $p < .001$, $r = -.544$. Number Trace -peli oli siis tuottanut oppimistuloksia ja oppimisvaikutus oli efektikooltaan voimakasta (Tähtinen ym. 2020). Hypoteesi, jonka mukaan murtolukupelin oletettiin edistävän oppimista, osoittautui oikeaksi. Kuvio 7 osoittaa kuitenkin, etteivät kaikki osallistujat hyötäneet oppimispeleistä vaan heidän osaamistasonsa lopputestissä oli matalampi mitä alkutestissä. Keskimäärin oppimistulokset kuitenkin kehittyivät alkua- ja lopputestien välillä 0.17 yksikköä ($kh = 0.16$, $Min = 0.18$, $Max = 0.55$). Yhteensä 10 oppilasta ei saavuttanut ollenkaan oppimistuloksia tai heidän oppimistuloksensa olivat negatiivisia.



KUVIO 7. Number Trace -pelin oppimisvaikutus

Pyrittäessä selvittämään, oliko annetun tuen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin, käytettiin riippumattomien otosten t-testiä keskiarvojen vertailuun. Riippumattomana muuttujana käytettiin ryhmittelevää/kategorisoivaa muuttujaa 'Annetun tuen määrä': Vähän / Paljon ja riippuvana muuttujana oppimisvaikutusta. Paljon tukea saaneita oli 37 ($kh = 0.140$) ja vähän tukea saaneita 39 ($kh = 0.149$). Paljon tukea saaneiden oppimisvaikutuksen määrän oli alhaisempi ($ka = 0.113$), mitä vähän tukea saaneilla ($ka = 0.223$). T-testi osoitti, että saadun tuen määrällä oli tilastollisesti merkitsevä yhteys oppimistuloksiin $t(74) = -3.612, p = .001$, 2-suuntainen CI [-0.186, -0.054]. Cohenin $d = 0.830$, joka tarkoittaa, että efektikoko oli suuri ($d > 0.8$) (Tähtinen ym. 2020).

Seuraavaksi tarkasteltiin, millainen yhteys palautteen määrällä oli oppimistuloksiin Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimen avulla (kuvio 8). Muuttujina käytettiin alkuperäistä tarjotun tuen määrää sekä oppimisvaikutusta. Tuen määrä ja oppimisvaikutukset korreloivat negatiivisesti, $r_s = -.399, n = 76, p < .0005$. Tuen määrä selitti 18 % oppimisvaikutuksen vaihtelusta ja yhteys oli tilastollisesti erittäin merkitsevä ja efektikooltaan kohtalaista (Tähtinen ym. 2020). Toisin sanoen, mitä enemmän tukea oppilas sai oppimispelissä, sitä heikompia oppimistuloksia hän sai.



KUVIO 8. Korrelaatio tarjotun tuen määrän ja oppimisvaikutuksen välillä. Erottelevana muuttujana annettun tuen määrä.

6.2 Palautetyypin ja lähtötason yhteys oppimistuloksiin

Pyrittäessä selvittämään, onko lähtötasolla ja palautetyypillä yhteyttä oppilaiden oppimistuloksiin tehtiin kaksisuuntainen varianssianalyysi. Lähtötason osalta oppilaat oli jaettu kahteen ryhmään, matalan lähtötason ($n = 34$, $ka = 0.190$, $kh = 0.135$,) sekä korkean lähtötason oppilaisiin ($n = 42$, $ka = 0.162$, $kh = 0.172$). Palautetyypin osalta oppilaat oli jaoteltu kahteen ryhmään: symbolinen vihje ($n = 37$, $ka = 0.172$, $kh = 0.171$) ja kuvitettu vihje ($n = 39$, $ka = 0.177$, $kh = 0.143$).

Taulukko 3 esittää varianssianalyysin tulokset. Havaitaan, että muuttujien (lähtötaso*palautetyyppi) yhdysvaikutus ei ollut tilastollisesti merkitsevä $F(1,72) = 0.159$; $p = .691$, $\eta_p^2 = 0.002$. Lisäksi matalan lähtötason ja korkean lähtötason oppilaiden oppimistuloksien keskiarvot eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan ($p > .05$). Hypoteesi, jonka mukaan heikomman lähtötason osallistujat olisivat oppineet oppimispelissä enemmän, mitä

korkeamman lähtötason osallistujat hylätään. Myöskään palauteryhmien väliset oppimistulosten erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä ($p > .05$).

TAULUKKO 3. Oppimisvaikutuksen määrä ja jakautuminen lähtötason ja palautetyypin suhteen. ANOVA.

Between-subjects effects	F	df	p	eta ²
Lähtötaso	.540	1	.465	.007
Palautetyyppi	.026	1	.872	.000
Lähtötaso*Palautetyyppi	.159	1	.691	.002

6.3 Kiinnostus matematiikkaa kohtaan

Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin oppilaiden kiinnostus matematiikkaa kohtaan ja sen mahdollinen yhteys oppimistuloksiin. Keskimäärin oppilaat olivat kiinnostuneita matematiikasta ($ka = 3.50$, $kh = 1.14$). Kuitenkaan oppilaiden oppimistulosten ja matematiikan kiinnostusasteen välillä ei löydetty tilastollisesti merkitsevää korrelaatiota ($r_s = .126$, $n = 76$, $p > .05$).

7 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa selvitettiin aluksi murtolukupelin oppimisvaikutuksen määrä ja oliko tarjotun tuen määrällä yhteyttä oppimistuloksiin. Tämän jälkeen tutkittiin tarjotun tuen kahden eri muodon ja oppilaiden lähtötason yhteyttä 4–5 luokan oppilaiden murtolukujen oppimiseen digitaalisessa oppimispelissä. Tarjotun tuen muotoina käytettiin symbolista ja kuvitettua vihjettä. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin, oliko oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrällä yhteyttä saavutettuihin oppimistuloksiin.

Analyysit osoittivat, että murtolukupelin aikaansaama oppimisvaikutus oli voimakasta ja positiivista. Tämä tuki asetettua hypoteesia, jonka mukaan murtolukupelin oletettiin edistävän oppimista merkittävästi. Pelin oppimisvaikutuksen osalta tulokset ovat yhdenmukaisia pelillisen oppimisen meta-analyysien (Tokac ym., 2019; Chen ym., 2020; Wang ym., 2022) kanssa. Osalla tutkimukseen osallistuneista oppilaista oppimistulokset olivat kuitenkin negatiivisia. Negatiiviset oppimistulokset eivät kuitenkaan ole poikkeuksellisia. Esimerkiksi McLaren ja kumppanit (2015) havaitsivat tutkimuksessaan, että osa osallistujista sai negatiivisia oppimistuloksia desimaalipelissä, mutta toisin kuin tässä tutkimuksessa, he jättivät nämä osallistujat analyysien ulkopuolelle.

Palautteinterventioteorian (Kluger & DeNisi, 1996) mukaan käyttäytymistä säädellään vertaamalla palautetta yksilön omiin tavoitteisiin, saatu palaute vaikuttaa oppijan tarkkaavaisuuden suuntaan ja, että oppijalla on vain rajoitettu määrä tarkkaavaisuutta. Esimerkiksi jos murtolukupelissä saatu palaute on ristiriidassa oppijan itse koetun osaamisen kanssa, voi tämä ohjata oppilasta asettamaan matalampia oppimistavoitteita, jolloin tehtävässä (lopputestissä) suoriutuminen voi olla heikompaa mitä alkutestissä. Toisaalta oppilas voi myös kohdata ristiriidan itse koetun osaamisen ja pelissä onnistumisen välillä. Tällöin oppilas voi pyrkiä muuttamaan käyttäytymistään ja esimerkiksi keskittyä tehtävään tarkemmin, joka puolestaan heijastuu parempana suoriutumisena lopputestissä.

Vaikka osalla oppilaista oppimistulokset olivat negatiivisia, kokonaisuudessaan pelin oppimisvaikutus oli oppimista edistävää. Lisäksi on hyvä muistaa, että oppilaat pelasivat murtolukupelissä lukusuoratehtäviä lukualueella 0–3. Alku- ja lopputesteissä puolestaan testattiin murtolukujen osaamista harjoiteltua lukualuetta laajemmalla lukualueella 0–5, tehden testeistä haastavampia, mitä harjoitellut murtoluvut olivat oppimispelissä. Haastavampien testien käyttäminen oppimisvaikutuksen mittaamisessa lisää Number Trace -pelin uskottavuutta edistää murtolukujen oppimista merkittävästi, sillä peli tuottamat oppimisvaikutukset olivat efektikooltaan (r-suure) voimakkaita. Lisäksi haastavammista alku- ja lopputesteistä huolimatta, niistä muodostetut summamuuttujat olivat reliabiliteetiltaan riittäviä ($\alpha = .74$ & $\alpha = .81$) tarkoittaen, että niiden kyky mitata pelin tuottamaa oppimisvaikutusta oli luotettavaa.

Lisäksi tutkimuksessa havaittiin, että mitä enemmän tukea oppilas sai oppimispelin aikana, sitä pienempiä hänen oppimistuloksensa olivat. Sen sijaan aiemmissa tutkimuksissa on havaittu tarjotun tuen vaikuttavan positiivisesti oppimistuloksiin (Chen & Law, 2016, Cai ym., 2022). Paljon tukea saaneet oppilaat saivat vihjeitä 45,6–70,7 % harjoitteluosion tehtävistä. Tämä voi viitata siihen, että peli on voinut olla liian haastava pelaajille, mikä on voinut lisätä kognitiivista kuormaa. Lisäksi toistuva negatiivinen välitön palaute (pelihahmon surullisuus väärän vastauksen jälkeen) on voinut lannistaa oppilaita, jos onnistumisen kokemuksia ei ole päässyt syntymään. Palauteinterventioteorian (Kluger & DeNisi, 1996) näkökulmasta tämä jatkuva negatiivinen palaute on voinut ohjata oppilaan tarkkaavaisuuden keskeisestä tehtävästä ja sen yksityiskohdista oppijaan itseän. Tarkkaavaisuuden kohdistuessa itseän on sillä teorian mukaan negatiivisia vaikutuksia oppijan oppimistuloksiin.

Vaikkakin tässä tutkimuksessa ollenkaan. Jatkotutkimuksissa voisi vertailla tarjottua tukea saaneiden havaittiin, että tuen määrällä oli negatiivinen yhteys oppimistuloksiin, ei voida päätellä, että tuki olisi suoraan aiheuttanut oppimistulosten heikkenemisen, sillä tutkimuksessa ei käytetty kontrolliryhmää, joka ei olisi saanut oppimispelissä vihjeitä oppimistuloksia verrokkiryhmään, joka ei ole saanut tukea murtolukupelissä. Tällöin voitaisiin selvittää, että oliko tarjotulla tuella vaikutusta oppimistuloksiin vai pelkästään pelin peluulla. Jatkotutkimuksissa voitaisiin myös käyttää viivästettyjä lopputestejä mittaamaan, kuinka pitkään pelin tuottama oppimisvaikutus säilyy.

Plass ja kollegat (2015) näkevät, että kun tarjottua tukea käytetään, oppijan taitotasoa tehtävässä tulisi arvioida jatkuvasti ja vähentää tarjotun tuen määrää asteittain. Vaikka tässä tutkimuksessa murtolukujen harjoitteluosiossa tukea tarjottiinkin adaptiivisesti pelaajan pelidataan perustuen, voi olla, että pelin vaikeutuessa tukea on myös tarjottu määrällisesti enemmän, jos oppiminen ei ole tapahtunut samaa tahtia pelikenttien vaikeutumisen kanssa. Tällöin paljon tukea saaneiden oppilaiden siirtymä peliosuudesta lopputestiin, jossa ei tarjottu enää tukea, on voinut tapahtua liian nopeasti. Tämä on voinut johtaa siihen, että paljon tukea pelin loppupuolella saaneet oppilaat eivät ole menestyneet lopputestissä yhtä hyvin, koska he olivat tottuneet ja tukeutuneet tarjottuun tukeen ja jota ei ole häivytetty vähitellen pois. Tämän selvittämiseksi olisi tosin tarvittu tarjotun tuen määrän tallentamista pelidatasta kentittäin. Jatkotutkimuksissa näin voisikin tehdä ja samalla selvittää, lisääntyikö tuen määrä pelin vaikeutuessa ja oliko siirtymä tarjotusta tuesta lopputestin tekoon liian jyrkkä. Tämä voisi osaltaan selittää, miksi vähemmän tukea saaneet pärjäsivät paremmin lopputestissä, mitä paljon tukea saaneet oppilaat.

Tarjotun tuen muotojen osalta tutkimuksessa todettiin, etteivät symbolinen ja kuvitettu vihje tuottaneet erilaisia oppimistuloksia. Mayerin (2009; 2020) mukaan epäolellaisen materiaalin esittäminen oppimispelissä voi viedä liikaa oppijan kognitiivista kapasiteettia. Tästä näkökulmasta voidaan todeta, ettei kuvitettu vihje sisältänyt liikaa epäoleellista materiaalia, sillä kuvitettuja vihjeitä saaneiden oppilaiden ryhmän oppimistulokset eivät eronneet yksinkertaisempaa vihjettä eli symbolista vihjettä saaneiden ryhmästä. Tarjotun tuen eri muotojen hyödyllisyyttä ei toisissakaan tutkimuksissa olla vielä pystytty todentamaan (Cai ym., 2022). Jatkotutkimuksissa voitaisiin vertailla lisää tarjotun tuen muotojen hyödyllisyyttä, sillä niiden on havaittu vaikuttavan positiivisesti oppilaiden oppimistuloksiin (Chen & Law, 2016; Belland ym., 2017) ja niiden avulla oppilaille on mahdollista opettaa heidän taitotasonsa ylittäviä aiheita (Wood ym., 1976), minkä vuoksi niiden käyttö murtolukuja opetellessa on perusteltua, sillä ne tuottavat usein haasteita etenkin alakoulun oppilaille.

Lisäksi tutkimuksessa todettiin, ettei oppilaiden lähtötaso vaikuttanut heidän oppimistuloksiinsa. Tämän vuoksi oletus, jonka mukaan heikomman lähtötason omaavat oppilaat olisivat hyötyneet oppimispelistä enemmän mitä korkeamman lähtötason oppilaat, osoittautui vääräksi. Tulokset ovat ristiriidassa aiemman

tutkimustiedon kanssa, joissa heikomman lähtötason osallistujien on todettu oppineen oppimispelissä suhteellisesti enemmän, mitä korkeamman lähtötason osallistajat (McLaren ym., 2017; Ninaus ym., 2017).

Mayerin (2009) teorian mukaan oppimispelit voivat ylikuormittaa oppilaiden kognitiivisia prosesseja. Keskeisen tiedon prosessoinnissa ylikuormituksen voi aiheuttaa tilanne, jossa esitettävä oppimateriaali on oppijalle liian vaativaa sisäistää annetussa ajassa (Mayer, 2009). Puolestaan työmuisti voi myös ylikuormittua, jolloin oppilas ei pysty käsittelemään pelissä saamaansa informaatiota eikä myöskään siirtämään ja yhdistämään työmuistista tietoa pitkäkestoiseen muistiin, jolloin oppimista ei pääse tapahtumaan (Mayer, 2009; 2014). Kognitiivista ylikuormitusta voidaan välttää esimerkiksi esikoulutuksella, joita ovat muun muassa oppimispelien tutoriaalit. Tässä tutkimuksessa heikomman lähtötason omaaville oppilaille peli saattoi olla liian haastava pelin alkuvaiheilla, sillä pelin tutoriaaliosuudessa käytiin lähinnä pelin toiminnot läpi, eikä esimerkiksi syvennetty murtolukujen käsitteellistä ymmärrystä. Voi olla, että syvällisempi ja pidempi tutoriaaliosuus voisi vähentää oppilaiden kognitiivista kuormitusta ja tällöin etenkin heikomman lähtötason oppilaat voisivat hyötyä oppimispelistä enemmän. Kognitiivista ylikuormitusta voitaisiin myös vähentää esittämällä tiedot kuvien ja sanojen (ääni) yhdistelmänä pelkän kuvallisen tiedon sijaan (Mayer, 2009).

Tutkimuksen analyysit myös osoittivat, ettei oppilaiden matemaattisen kiinnostuksen määrällä, joka oli mitattu ennen oppimispeliä, ollut yhteyttä heidän oppimistuloksiinsa. Tämä on linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa, joissa ei olla pystytty todistamaan, että sisäinen motivaatio ennustaisi matemaattista menestystä (Areepattamannil, 2014; Garon-Carrier ym., 2016). Sen sijaan aiemmissa tutkimuksissa on havaittu tarjotun tuen vaikuttaneen oppilaiden sisäiseen motivaatioon ja oppimistuloksiin (Chen & Law, 2016). Jatkotutkimuksissa voitaisiin tarkastella, onko symbolisen ja kuvitetulla vihjeellä yhteyttä esimerkiksi tilannekohtaiseen kiinnostukseen.

Yhteenvedona voidaan todeta, että tässä tutkimuksessa pystyttiin havaitsemaan osin tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä esimerkiksi pelin oppimisvaikutuksen ja tarjotun tuen määrän suhteen. On kuitenkin joitain rajoituksia, jotka tulisi ottaa huomioon tulevia tutkimuksia suunniteltaessa. Tässä tutkimuksessa oppilaat pelasivat murtolukupeliä 90 tehtävän verran, kun

puolestaan Ninauksen ja kollegoiden (2017) rationaalilukuihin keskittyvässä oppimispelissä osallistujat harjoittelivat 200 tehtävää. Murtolukujen harjoitteluosion tehtävien suurempi määrä olisi voinut tuottaa vaikuttavampia oppimistuloksia, koska nuoremmat oppilaat omaavat usein virhekäsityksiä murtolukujen suhteen (Stafylidou & Vosniadou, 2004; Malone & Fuchs, 2017), minkä vuoksi he voivat tehdä enemmän virheitä murtolukutehtävissä ja tarvita näin myös enemmän aikaa virhekäsityksistä poisoppimiseen. Myös tästä näkökulmasta pelin pidempi ja syvällisempi tutoriaaliosuus voisi edistää etenkin heikomman lähtötason oppilaiden oppimistuloksia.

Toinen rajoitus liittyy tutkimuksen otoskokoan ($N = 76$), joka oli melko pieni. Suurempi otoskoko mahdollistaisi monimutkaisempien analyysien käytön, mutta myös lisäisi tilastollista uskottavuutta, sillä otoskoko vaikuttaa esimerkiksi p-arvoon (Tähtinen ym., 2020). Jatkotutkimuksissa otoskoko voisi olla suurempi ja pelin harjoitteluosio pidempi, jotta parempi yleistettävyys saavutettaisiin. Lisäksi tässä tutkimuksessa tarkasteltiin vain lähtötason, tarjotun tuen kahden eri muodon, matemaattisen kiinnostuksen ja tuen määrän yhteyttä oppimistuloksiin. Löydetyistä yhteyksistä tuen määrä selitti kuitenkin vain 18 % oppimistulosten vaihtelusta, tarkoittaen että 82 % muuttujan vaihtelusta jäi selittämättä. Oppimistuloksiin vaikuttivat tarjotun tuen määrän lisäksi siis myös jotkin muut tekijät, joita ei tässä tutkimuksessa saatu selville.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että digitaaliset oppimispelit edistävät lasten murtolukujen oppimista merkittävästi. Lukusuoratehtävissä pärjääminen, joita tässäkin tutkimuksessa käytettiin, ennustavat matemaattista osaamista tulevaisuudessa (Jordan ym., 2013; Ye ym., 2016; Schneider ym., 2018), joten oppilaat, jotka pärjäsivät tämän tutkimuksen lopputestissä pärjäävät matematiikassa todennäköisesti myös jatkossa. Toisaalta oppimispeli onnistui nostamaan oppilaiden murtolukutaitoja parantaen heidän todennäköisyyttään matematiikassa pärjäämiseen myös tulevaisuudessa.

LÄHTEET

- Areepattamannil, S. (2014). Relationship Between Academic Motivation and Mathematics Achievement Among Indian Adolescents in Canada and India. *The Journal of General Psychology*, 141(3), 247–262.
<https://doi.org/10.1080/00221309.2014.897929>
- Attali, Y., & van Der Kleij, F. (2017). Effects of feedback elaboration and feedback timing during computer-based practice in mathematics problem solving. *Computers & Education*, 110, 154–169.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.03.012>
- Belland, B. R., Walker, A. E., Kim, N. J., & Lefler, M. (2017). Synthesizing Results From Empirical Research on Computer-Based Scaffolding in STEM Education: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 87(2), 309–344. <https://doi.org/10.3102/0034654316670999>
- Berger, J. L., & Karabenick, S. A. (2011). Motivation and students' use of learning strategies: Evidence of unidirectional effects in mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, 21(3), 416–428.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2010.06.002>
- Burgers, C., Eden, A., van Engelenburg, M., & Buningh, S. (2015). How feedback boosts motivation and play in a brain-training game. *Computers in Human Behavior*, 48(2), 94–103.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.038>
- Cai, Z., Mao, P., Wang, D., He, J., Chen, X., & Fan, X. (2022). Effects of Scaffolding in Digital Game-Based Learning on Student's Achievement: a Three-Level Meta-analysis. *Educational Psychology Review*.
<https://doi.org/10.1007/s10648-021-09655-0>
- Charles, C. (2011). Game-based feedback for educational multi-user virtual environments. *British Journal of Educational Technology*, 42(4), 638–654.
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2010.01068.x>

- Chen, C., & Law, V. (2016). Scaffolding individual and collaborative game-based learning in learning performance and intrinsic motivation. *Computers in Human Behavior*, 55, 1201–1212.
<https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.03.010>
- Chen, C., Shih, C.-C., & Law, V. (2020). The effects of competition in digital game-based learning (DGBL): a meta-analysis. *Educational Technology Research and Development*, 68(4), 1855–1873.
<https://doi.org/10.1007/s11423-020-09794-1>
- Cutumisu, M., Turgeon, K., Saiyera, T., Chuong, S., González Esparza, L., MacDonald, R., & Kokhan, V. (2019). Eye Tracking the Feedback Assigned to Undergraduate Students in a Digital Assessment Game. *Frontiers in Psychology*, 10, 1931–1931.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01931>
- Devolder, A., van Braak, J., & Tondeur, J. (2012). Supporting self-regulated learning in computer-based learning environments: systematic review of effects of scaffolding in the domain of science education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 28(6), 557–573.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2011.00476.x>
- Garon-Carrier, G., Boivin, M., Guay, F., Kovas, Y., Dionne, G., Lemelin, J.-P., Séguin, J. R., Vitaro, F., & Tremblay, R. E. (2016). Intrinsic Motivation and Achievement in Mathematics in Elementary School: A Longitudinal Investigation of Their Association. *Child Development*, 87(1), 165–175.
<https://doi.org/10.1111/cdev.12458>
- Geary, D., Hoard, M., Nugent, L., & Bailey, D. (2013). Adolescents' Functional Numeracy Is Predicted by Their School Entry Number System Knowledge. *PloS One*, 8(1), e54651–. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054651>
- Hake, R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
<https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81–112.
<https://doi.org/10.3102/003465430298487>

- Hecht, S. (1998). Toward an Information-Processing Account of Individual Differences in Fraction Skills. *Journal of Educational Psychology*, 90(3), 545–559. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.90.3.545>
- Jordan, N., Hansen, N., Fuchs, L., Siegler, R., Gersten, R., & Micklos, D. (2013). Developmental predictors of fraction concepts and procedures. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116(1), 45–58. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.02.001>
- Kiili, K., & Ketamo, H. (2018). Evaluating Cognitive and Affective Outcomes of a Digital Game-Based Math Test. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 11(2), 255–263. <https://doi.org/10.1109/TLT.2017.2687458>
- Kiili, K., Moeller, K., & Ninaus, M. (2018). Evaluating the effectiveness of a game-based rational number training - In-game metrics as learning indicators. *Computers and Education*, 120, 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.01.012>
- Kluger, A., & Denisi, A. (1996). The Effects of Feedback Interventions on Performance: A Historical Review, a Meta-Analysis, and a Preliminary Feedback Intervention Theory. *Psychological Bulletin*, 119(2), 254–284. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.119.2.254>
- Kluger, A., & Denisi, A. (1998). Feedback Interventions: Toward the Understanding of a Double-Edged Sword. *Current Directions in Psychological Science*, 7(3), 67–72. <https://doi.org/10.1111/1467-8721.ep10772989>
- de Kock, W. (2016). Speech versus text supported hints in learning to solve word problems. *Computers in Human Behavior*, 57, 300–311. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.11.037>
- Malone, A., & Fuchs, L. (2017). Error Patterns in Ordering Fractions Among At-Risk Fourth-Grade Students. *Journal of Learning Disabilities*, 50(3), 337–352. <https://doi.org/10.1177/0022219416629647>
- Mayer, R., & Johnson, C. (2010). Adding Instructional Features That Promote Learning in a Game-Like Environment. *Journal of Educational Computing Research*, 42(3), 241–265. <https://doi.org/10.2190/EC.42.3.a>
- Mayer, R. (2009). *Multimedia Learning*. Cambridge Univ. Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>

- Mayer, R. (2014). *Computer games for learning: An evidence-based approach*. The MIT Press.
- Mayer, R. E. (2020). Cognitive Foundations of Game-Based Learning. In Plass, J. L., Mayer, R. E., & Homer, B. D. (Eds.), *Handbook of Game-Based Learning*. (s.83-110) MIT Press.
- McLaren, B., Adams, D., & Mayer, R. (2015). Delayed Learning Effects with Erroneous Examples: A Study of Learning Decimals with a Web-Based Tutor. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 25(4), 520–542. <https://doi.org/10.1007/s40593-015-0064-x>
- McLaren, B., Adams, D., Mayer, R., & Forlizzi, J. (2017). A Computer-Based Game that Promotes Mathematics Learning More than a Conventional Approach. *International Journal of Game-Based Learning*, 7(1), 36–56. <https://doi.org/10.4018/ijgbl.2017010103>
- Miller, K., Lasry, N., Reshef, O., Dowd, J., Araujo, I., & Mazur, E. (2010). Losing it: The Influence of Losses on Individuals' Normalized Gains. *AIP Conference Proceedings* 1289, 229-232. <https://doi.org/10.1063/1.3515208>
- Moyer-Packenham, P., Lommatsch, C., Litster, K., Ashby, J., Bullock, E., Roxburgh, A., Shumway, J., Speed, E., Covington, B., Hartmann, C., Clarke-Midura, J., Skaria, J., Westenskow, A., MacDonald, B., Symanzik, J., & Jordan, K. (2019). How design features in digital math games support learning and mathematics connections. *Computers in Human Behavior*, 91, 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.09.036>
- Narciss, S., Sosnovsky, S., Schnaubert, L., Andrès, E., Eichelmann, A., Gogvadze, G., & Melis, E. (2014). Exploring feedback and student characteristics relevant for personalizing feedback strategies. *Computers and Education*, 71, 56–76. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.011>
- Ninaus, M., Moeller, K., McMullen, J., & Kiili, K. (2017). Acceptance of Game-Based Learning and Intrinsic Motivation as Predictors for Learning Success and Flow Experience. *International Journal of Serious Games*, 4(3). <https://doi.org/10.17083/ijsg.v4i3.176>
- Opetushallitus. (2014). *Perusopetuksen opetussuunnitelma perusteet 2014*. https://www.oph.fi/sites/default/files/documents/perusopetuksen_opetussuunnitelman_perusteet_2014.pdf. (Viitattu 25.4.2020)

- Park, J., Kim, S., Kim, A., & Yi, M. (2019). Learning to be better at the game: Performance vs. completion contingent reward for game-based learning. *Computers & Education*, 139, 1–15.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.04.016>
- Plass, J., Homer, B., & Kinzer, C. (2015). Foundations of Game-Based Learning. *Educational Psychologist*, 50(4), 258–283.
<https://doi.org/10.1080/00461520.2015.1122533>
- Saye, J. W., & Brush, T. (2002). Scaffolding Critical Reasoning about History and Social Issues in Multimedia-Supported Learning Environments. *Educational Technology Research and Development*, 50(3), 77–96.
<https://doi.org/10.1007/BF02505026>
- Schneider, M., Merz, S., Stricker, J., De Smedt, B., Torbeyns, J., Verschaffel, L., & Luwel, K. (2018). Associations of Number Line Estimation With Mathematical Competence: A Meta-analysis. *Child Development*, 89(5), 1467–1484. <https://doi.org/10.1111/cdev.13068>
- Shute, V. (2008). Focus on Formative Feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189. <https://doi.org/10.3102/0034654307313795>
- Siegler, R., Thompson, C., & Schneider, M. (2011). An integrated theory of whole number and fractions development. *Cognitive Psychology*, 62(4), 273–296. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2011.03.001>
- Singh, R., Saleem, M., Pradhan, P., Heffernan, C., Heffernan, N., Razzaq, L., Dailey, M., O'Connor, C., & Mulcahy, C. (2011). Feedback during Web-Based Homework: The Role of Hints. In *Artificial Intelligence in Education* (Vol. 6738, pp. 328–336). Springer Berlin Heidelberg.
https://doi.org/10.1007/978-3-642-21869-9_43
- Stafylidou, S., & Vosniadou, S. (2004). The development of students' understanding of the numerical value of fractions. *Learning and Instruction*, 14(5), 503–518.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.015>
- Stevenson, C. (2017). Role of Working Memory and Strategy-Use in Feedback Effects on children's Progression in Analogy Solving: An Explanatory Item Response Theory Account. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 27(3), 393–418. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0129-5>

- Tapola, A., Veermans, M., & Niemivirta, M. (2013). Predictors and outcomes of situational interest during a science learning task. *Instructional Science*, 41(6), 1047–1064. <https://doi.org/10.1007/s11251-013-9273-6>
- TENK. (2012). *Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsittelyminen Suomessa*. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohje. https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf. (Viitattu 26.4.2022)
- Tokac, U., Novak, E., & Thompson, C. G. (2019). Effects of game-based learning on students' mathematics achievement: A meta-analysis. *Journal of Computer Assisted Learning*, 35(3), 407–420. <https://doi.org/10.1111/jcal.12347>
- Torbeyns, J., Schneider, M., Xin, Z., & Siegler, R. (2015). Bridging the gap: Fraction understanding is central to mathematics achievement in students from three different continents. *Learning and Instruction*, 37, 5–13. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.03.002>
- Tsai, F., Tsai, C., & Lin, K. (2015). The evaluation of different gaming modes and feedback types on game-based formative assessment in an online learning environment. *Computers & Education*, 81, 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.10.013>
- Tähtinen, J., Laakkonen, E., & Broberg, M. (2020). *Tilastollisen aineiston käsittelyn ja tulkinnan perusteita*. 2. uudistettu painos. Turun yliopisto. <https://urn.fi/URN:ISBN:978-951-29-8091-8>
- Ueno, M., & Miyasawa, Y. (2015). Probability Based Scaffolding System with Fading. In *Artificial Intelligence in Education* (Vol. 9112, pp. 492–503). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19773-9_49
- Van Der Kleij, F., Feskens, R., & Eggen, T. (2015). Effects of Feedback in a Computer-Based Learning Environment on Students' Learning Outcomes: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research*, 85(4), 475–511. <https://doi.org/10.3102/0034654314564881>
- Wang, L.-H., Chen, B., Hwang, G.-J., Guan, J.-Q., & Wang, Y.-Q. (2022). Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: a meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 9(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0>

Wood, D., Bruner, J., & Ross, G. (1976). The role of tutoring in problem solving.
Journal of Child Psychology and Psychiatry, 17(2), 89–100.

<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>

Ye, A., Resnick, I., Hansen, N., Rodrigues, J., Rinne, L., & Jordan, N. (2016).
Pathways to fraction learning: Numerical abilities mediate the relation
between early cognitive competencies and later fraction knowledge.

Journal of Experimental Child Psychology, 152, 242–263.

<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.08.001>