



# **TEKOÄLY JA SEN SOVELTAMINEN VIRTUAALISISSA TALOUSJÄRJESTEL- MISSÄ**

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

2022

Tommi Kunnari

Tarkastaja:

Yliopisto-opettaja (TkT) Erno Vanhala

## TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tietotekniikka

Tommi Kunnari

### **Tekoäly ja sen soveltaminen virtuaalisissa talousjärjestelmissä**

Tietotekniikan kandidaatintutkielma

2022

38 sivua, 5 kuvaa

Tarkastaja: Yliopisto-opettaja (TkT) Erno Vanhala

Avainsanat: tekoäly, talousjärjestelmä, virtuaalinen talousjärjestelmä, tekoälyn sovellutukset

Työssä tutkitaan virtuaalisia talousjärjestelmiä sekä tekoälyn hyödyntämistä näiden toiminnassa. Keskeisinä tutkimuskysymyksinä esitetään, miten virtuaaliset talousjärjestelmät voitaisiin jaotella ominaisuuksiensa perusteella, sekä millainen rooli tekoälyllä on molemmissa järjestelmätyypeissä, ja millaisia asioita järjestelmien vaatimusmäärittelyssä tulee ottaa huomioon.

Teknisenä toteutuksena toteutetaan yksinkertaista tekoälyä hyödyntävä virtuaalinen talousjärjestelmä roolipeli-videopeliprojektiin. Teknisen osuuden lopuksi tarkastellaan toteutuksen aikana havaittuja ongelmakohtia, onnistumisia, sekä muita tehtyjä havaintoja. Havaittiin muun muassa, että eri talousjärjestelmätyypit voivat mahdollistaa uniikkeja pelimekaniikkoja, jotka osaltaan parantavat käyttäjän kokemusta tuotteesta.

Työn tuloksina havaittiin järjestelmätyypit erottaviksi tekijöiksi tekoälyn osuus toteutuksesta, järjestelmän itseohjautuvuus, käyttäjälähtöisyys, sekä automaation määrä. Jakaviksi ominaisuuksiksi erotettiin käyttäjän- ja tietokoneen vaikutusvalta järjestelmässä, joita säätelällä voidaan suunnitella eri talousjärjestelmätyyppien mekaniikkoja yhdistelevä, projektin tarpeita vastaava talousjärjestelmä. Lopuksi ehdotettiin, että talousjärjestelmätyypit voisi jaotella termeillä käyttäjä- tai konevetoinen talousjärjestelmä. Käyttäjävetoisessa korostuisi käyttäjän vaikutusvalta järjestelmän toimintaan, kun konevetoisessa taas tietokoneen ohjauksen tekoälyn vaikutus olisi keskeisessä asemassa.

## ABSTRACT

Lappeenranta-Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Software Engineering

Tommi Kunnari

### **Artificial Intelligence and it's utilization in virtual economies**

Bachelor's Thesis

2022

38 pages, 5 figures

Examiners: University lecturer (D.Sc.) Erno Vanhala

Keywords: artificial intelligence, ai, virtual economies, ai implementation, ai utilities, simulated economy

The thesis examines virtual financial systems and the use of artificial intelligence in their operation. The main research questions are how virtual financial systems could be divided into different types based on their characteristics, what role artificial intelligence plays in these system types, and what kind of things should be considered when defining the requirements of the systems.

The technical implementation is a virtual economy system that utilizes basic artificial intelligence for a role-playing video game project. The technical part will be concluded with a discussion of the problems encountered during the implementation, the successes and other observations made. It was found, among other things, that different types of economic systems can enable unique game mechanics that partially enhance the user's experience of the product.

The results of the work identified some of the distinguishing features between differing system types: the contribution of artificial intelligence to the implementation, the self-driving nature of the system, user-orientation, and the amount of automation. The user and computer influence on the system were identified as divisive characteristics, which can be controlled to design an economic system that combines the characteristics of different system types and meets the needs of the project. In the end, it was proposed that virtual economic systems could be divided with terms user-driven- and machine-driven system. The influence of the user would be a key factor in the functioning of the user-driven system, while in machine-driven systems the main driving force would be the computer-driven artificial intelligence.

## KIITOKSET

Haluan kiittää perhettäni jatkuvasta tuesta ja kannustuksesta työn loppuun saattamiseksi. Ystäviäni kiitän myös toki työn etenemiseen rohkaisusta, mutta myös välillä yksiöstäni pihalle ajamisesta sekä vapaa-aikani elävöittämisestä.

## LYHENNELUETTELO

- NPC - Non-Playable Character
- IT - Information Technology
- RPG – Role-Playing Game

## Sisällysluettelo

1	Johdanto.....	7
1.1	Yleistä tekoälyn historiasta .....	7
1.2	Videopelit ja tekoäly .....	7
1.3	Virtuaaliset talousjärjestelmät.....	8
1.4	Työn päämäärät .....	9
2	Erilaiset virtuaaliset talousjärjestelmät.....	11
2.1	Talousjärjestelmään vaikuttavat tekijät.....	11
2.2	Markkinavoimat virtuaalisissa talouksissa.....	12
2.3	Käyttäjän rooli virtuaalisessa talousjärjestelmässä .....	13
2.3.1	Käyttäjän vaikutusvallan mahdollistamat ominaisuudet.....	13
2.3.2	Talous massiivisessa monipelissä - Runescape .....	14
2.4	Tekoälyn rooli virtuaalisessa talousjärjestelmässä .....	15
2.4.1	Tekoälyn vaikutusvallan mahdollistamat ominaisuudet.....	15
2.4.2	Simuloitu laaja talousjärjestelmä – Victoria 2.....	16
3	Tekoäly ja sen merkitys virtuaalisissa talouksissa.....	18
3.1	Eroavaisuudet eri järjestelmätyypeissä .....	18
3.1.1	Tekoäly käyttäjiin painottuvassa järjestelmässä.....	18
3.1.2	Tekoäly tekoälyn painottuvassa järjestelmässä .....	19
4	Virtuaalisen talousjärjestelmän toteutus.....	20
4.1	Järjestelmän toteutuksen lähtökohdat ja keskeiset suunnitelmat.....	20
4.1.1	Ohjelmistoprojektin esitiedot .....	20
4.1.2	Talousjärjestelmä .....	21
4.1.3	Tekoäly .....	24
5	Työn tulokset ja pohdinta .....	27
5.1	Työn lopputulos käytännössä .....	27
5.2	Kohdatut ongelmat .....	28
5.3	Onnistumiset.....	29
5.4	Virtuaalisen talousjärjestelmän piirteet .....	30
6	Johtopäätökset.....	32
7	Yhteenveto .....	34
	Lähteet .....	35

# 1 Johdanto

## 1.1 Yleistä tekoälyn historiasta

Tekoälyn tarkoitus on pohjimmiltaan simuloida jotain tiettyä haluttua toimintatapaa, jossa usein on pohjana ihmisten vastaavanlainen käytös. Periaatteena on, että mikä tahansa oppimisen tai toiminnan tapa voi tarpeeksi hyvin kuvailtuna olla mahdollista toistaa uskottavasti koneiden avulla (Dick, S. 2019). Tekoälyn merkitys on keskiössä lähes kaikessa uudessa ”informaatioteknologiassa (Information Technology, IT. Uudet lääketieteessä käytetyt monitorointiohjelmat käyttävät tekoälyä mitattujen arvojen tarkkuuden parantamiseen, jolloin terveystarpeita ja tauteja löydetään aiempaa tehokkaammin. Arkipäivässä tekoälyn vaikutus näkyy mm. suosituissa suoratoistopalveluissa, kuten Spotifyssa, joka käyttää tekoälyä antaakseen käyttäjilleen parempia käyttäjäkohtaisia suosituksia (Elverson, 2018).

Tekoälyn kehitys on ottanut täysin uuden roolin 2000 luvulla. Viime aikoina sen merkitys on jatkanut kasvamistaan lähes kaikilla teollisuuden aloilla, ja niin on myös tähän kulutettujen resurssien määrä. Tänä päivänä tekoälyä hyödynnetään elämän kaikilla aloilla, nettiselaimissa, teollisuuden koneissa, palvelualalla, sekä tietenkin videopeleissä.

## 1.2 Videopelit ja tekoäly

Videopelien ja tekoälyn suhde on aina ollut hyvin kiinteä. Jo ennen ensimmäisiä tunnistettavia olevia videopelejä, kuten ”Pong!”:ia, varhaista tekoälyä käytettiin tietokoneellistetuissa peleissä. Tällainen oli esimerkiksi matematiikkapeli Nim, jossa tietokone pystyi säännöllisesti voittamaan ihmispelaajia (BigData, 2021). Nykypäivänä tekoäly on peleissäkin kehittynyt aivan uudelle tasolle, jolloin pelaajalle ei ole aina edes selvää, pelaako tämä tietokonetta vai toista ihmistä vastaan. Tekoäly videopeleissä ei toki ole kehittyneisyydessään samalla tasolla kuin perinteinen tutkimustyöhön ja teollisuuteen käytetty tekoäly, mutta peliala on siitä huolimatta hyötynyt suuresti tekoälyn sovellutuksista ja sen kehityksestä. (Bakkes & Spronck, 2009)

Tästä huolimatta, tekoäly on saanut käytettynä fraasina melko harhaanjohtavan maineen, sillä pohjimmiltaan tekoäly on vain kokoelma ennalta määrättyjä sääntöjä, joiden mukaan tietokone päättää miten toimia tietyissä tilanteissa. Tämä on perinteisesti erityisen ilmeistä videopeleissä, joissa tietokoneen ohjaamalla hahmoilla on jokin tietty tehtävä. Tämän tietyn tarkoituksen ulkopuolella ne saattavat käyttäytyä melko tönkösti. Tämä ei usein kuitenkaan ole suuri huoli, sillä tärkeää on, että hahmot hoitavat oikein juuri ne asiat mitkä ne on suunniteltu hoitamaan. (Champanard, 2004, s. 17)

### 1.3 Virtuaaliset talousjärjestelmät

Virtuaaliset taloudet ovat reaali maailman talouksia toiminnaltaan muistuttavia järjestelmiä, joissa talouteen osallistuvat entiteetit käyvät vaihtokauppaa keskenään erilaisilla virtuaalisilla valuutoilla. Nämä taloudet voivat toimia monilla eri periaatteilla. Virtuaalinen talous voi olla toiminnaltaan hyvin yksinkertainen, jossa vaihdettavalla tavaralla on kiinteät hinnat ja siihen osallistuvia toimijoita on vähän. Vastaavasti järjestelmä voi olla myös hyvin sivistynyt, jolloin virtuaalisen valuutan arvo voi olla sidoksissa johonkin reaali maailman valuuttaan, kauppatarvalla voi olla jotkin tietyt kulutuskohteet, joiden perusteella niiden arvo vaihtelee kysynnän ja tarjonnan mukaan, ja talouteen osallistuvia toimijoita voi olla lukemattomia (Nazir & Lui, 2016).

Virtuaaliset talousjärjestelmät suunnitellaankin niiden käyttökohteita ajatellen. On turhaa kehittää paljon resursseja vaativaa kehittyneitä tietokoneella simuloitua talousjärjestelmää, jos käyttökohteen skaala on pieni, eikä järjestelmä tuottaisi siihen tarpeeksi käyttöarvoa. Käyttöarvo mitataan sillä, kuinka paljon käsitelty ominaisuus tukee lopputuotteen kokonaisuutta ja kuinka paljon se hyödyttää käyttäjiä. Lopulta lopputuotteeseen kehitettävät ominaisuudet valitaan ohjelmistosuunnittelun valintakriteereillä, kuten vaatimusmäärittelyllä, riskinhallinnan keinoilla, ja laadunhallinnan kriteereillä. (Boehm & Huang, 2003)



## 1.4 Työn päämäärät

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia erityyppisiä virtuaalisia talousjärjestelmiä ja tekoälyn suhdetta näihin, sekä soveltaa saatuja tietoja videopeliprojektissa perustavanlaatuisia tekoälyä hyödyntävän virtuaalisen talousjärjestelmän kehittämisessä. Tutkimuskysymyksinä esitetään seuraavat asiat:

- Miten ohjelmistotuotteessa käytetyn virtuaalisen talousjärjestelmän voi käyttötarkoituksen perusteella jaotella eri malleihin?
- Millainen rooli tekoälyllä on näissä eroavissa malleissa?
- Millaiset asiat vaikuttavat järjestelmälle asetettaviin vaatimuksiin?

Toteutus koostuu kolmesta vaiheesta: tutkittavien asioiden eli virtuaalisten talousjärjestelmien, sekä videopelien tekoälyn taustojen tutkimisesta, teknisestä toteutuksesta ja tulosten raportoinnista. Tekninen työ alkaa toteutettavan talousjärjestelmän toteutusta ja sen vaatimuksia. Teknisenä toteutuksena kehitetään isometristä roolipeliä sekä tutkimukselle oleellista tietokoneen ohjaamien Non-Playable Character (Npc) – hahmojen ohjaamaa talousjärjestelmää pelin tarkoituksia varten.

Työn resurssien- ja suorituskyvyn puutteessa tietokoneen ohjaamien hahmojen toiminta toteutetaan pääosin äärellisellä tilakoneella. Äärelliset tilakoneet ovat yksi suosituimmista tavoista toteuttaa tekoälyohjelmointia videopelien tarpeisiin. Se on yksinkertainen ja looginen tapa esittää tekoälyn käyttäytymistä, mutta tarvittaessa sitä on myös mahdollista kehittää hyödyntämään sumeaa logiikkaa, jolloin päädytään vähemmän deterministisempään, ennalta-arvaamattomampaan tekoälyyn (Bourg & Seemann, 2004). Tilakone koostuu useista tilamuuttujista ja näihin sisältyvästä komentologiikasta, joka muuntelee tilakoneen tilaa. Tilakoneen ympäristö lähettää deterministisesti pyyntöjä tilakoneelle komentojen suorittamisesta (esimerkiksi reitinetsintä lähettää signaalin ”liiku paikkaan x” tilakoneen käsiteltäväksi) (Schneider, F.B., 1990).

Teknisen toteutuksen päättyessä pohditaan työvaiheen ongelmakohtia sekä onnistumisia, tarkastellaan toteutettuun järjestelmään sisällettyjä ominaisuuksia ja näiden painoarvoa lopputuotteen kannalta, sekä tehdään johtopäätöksiä näiden tuottamasta lopputuloksesta ja havainnoiduista kiinnostuksen kohteista.

Peliin kehitetään simuloitu talousjärjestelmä, jonka rattaina toimivat tietokoneen ohjaamat hahmot. Talous pyörii hahmojen tuottamien ja tarvitsemien resurssien ympärillä ja jakaantuu useaan asutuskeskittymään pelikartalla, jotka harjoittavat pelitavaroilla käytävää vaihtokauppaa keskenään. Tavoitteena olisi siis kehittää tietokoneen ohjaama talousjärjestelmä, johon osallistuvilla hahmoilla olisi joukko mahdollisia toimintatapoja, joista jokainen hahmo tilanteen mukaan valitsee itselleen sopivimman.

Tavoitteena on löytää, eristää ja arvioida talousjärjestelmiin liittyviä ominaisuuksia, vaikuttavia tekijöitä, sekä näiden tuomia etuja ja haittoja lopputuotteen kannalta. Tutkimustiedon pohjalta tehdään arviot työhön liittyvien ominaisuuksien laadusta, yhdistelystä ja implementoinnista. Arvioiden perusteella on tarkoitus tarkentaa käsitystä siitä, mitkä ominaisuudet ovat tapauskohtaisen talousjärjestelmän kannalta eniten arvoa tuottavia ja mitkä turhempia olemassa olevien resurssien puitteissa. Erityisesti painoarvoa annetaan tekoälylle ja sen kehittämislle osaksi virtuaalista talousjärjestelmää.

Päämääränä on myös raportoida muita parannettavia kohteita kehitystyössä. Tulee kuitenkin ottaa huomioon, että ohjelmistokehityksessä vaatimukset ja tarpeet tekoälylle vaihtelevat tapauskohtaisesti hyvin paljon, joten tuloksien voidaan olettaa olevan vertailukelpoisia lähinnä kyseistä projektia vastaaviin tapauksiin. Toivon mukaan lopputuloksena tutkimukselle saataisiin tarkempi kuva virtuaalisten talousjärjestelmien kehityksestä, tekoälyn soveltamisesta tähän, sekä etenkin tässä huomioon otettavista kehitystyötä tukevista tiedoista ja menetelmistä.

## 2 Erilaiset virtuaaliset talousjärjestelmät

Tässä luvussa tarkastellaan millä eri tavoin talousjärjestelmiä on aiemmin toteutettu virtuaalisesti, sekä minkälaisia tarkoituksia ne on tehty vastaamaan. Tutkimme myös, miten soveluskohteeseen osoitetut vaatimukset ja tarvemääritteet vaikuttavat virtuaalisten talousjärjestelmien suunnittelussa. Erityisesti keskitymme ohjelmistotuotteen käyttäjän- sekä tekoälyn vaikutusvallan suhteeseen järjestelmän toiminnan kannalta.

### 2.1 Talousjärjestelmään vaikuttavat tekijät

Kun puhutaan virtuaalisista talousjärjestelmistä, on tärkeää selvittää, millaiseen käyttötarkoitukseen kyseinen järjestelmä on tarkoitettu. Ellei kohdeprojektin tarkoitus ole olla jokin tutkimusmielessä tehty mahdollisimman täydellinen taloussimulaatio, tulee tätä osana oleva talousjärjestelmä suunnitella projektin kokonaiskuvalle sopivaksi, jotta se tuottaisi mahdollisimman paljon toivottua hyötyarvoa mahdollisimman tehokkaalla resurssien käytöllä.

Eräs esimerkki hyvästä virtuaalisen talouden suunnittelutyöstä on pikaviestialusta ICQ:n jatkajana pidetyn OICQ:n tapaus. Sovelluksen kiinalaiset omistajat ymmärsivät, että alustan nuori käyttäjäkunta oli valmis maksamaan oikeaa rahaa sovelluksessa näkyvistä visuaalisista hyödykkeistä, kuten vaatteista, lahjoista ja lisävarusteista, joten kehittäjät suunnittelivat sovelluksen talousjärjestelmän näiden käyttäjien tarpeiden ympärille. Tämä alustan hyödyntämisen virtuaalisen talouden kohdentaminen ja käyttäjien tarpeiden hahmottaminen johtivat alustan voimakkaaseen menestykseen ja suosioon käyttäjien keskuudessa (Lehdonvirta & Castronova, 2014).

Kuten ohjelmistoprojekteissa yleisestikin, virtuaalista talousjärjestelmää varten tehty vaatimusmäärittely säästää resursseja ja mahdollistaa lopputuotteen, joka täyttää sille asetetut vaatimukset ja kohdeyleisön tarpeet. On turhaa kehittää tarpeettoman monimutkaista järjestelmää tuotteelle, jolla on yksinkertaiset vaatimukset, mutta yhtäläisen tärkeää on suunnitella järjestelmä kuitenkin vastaamaan sille asetettuja vaatimuksia (Paakki & Taina, 2011). Joitain ominaisuuksia virtuaaliselle taloudelle ovat vaikkapa mahdollisuus vaihtaa järjestelmän sisäistä tavaraa talouteen osallistuvien tahojen kesken, järjestelmäkohtainen virtuaalinen

valuutta ja siihen liittyvät ominaisuudet kuten oikeaan valuuttaan suhteutettu arvo, ja järjestelmän sisällä kaupattava tavara.

Korkean tason päätös, joka on usein tehtävä jo suunnitteluvaiheen alkupäässä, on mitkä toimijat tulevat osallistumaan talousjärjestelmän toimintaan käytännössä. Yleisesti jos ollaan kehittämässä kaupallistettavaa ihmiskuluttajille suunnattua sovellusta, voidaan päätellä, että talousjärjestelmään osallistuvat vain oikeat kuluttajat, kuten OICQ:n tapauksessa (Lehdonvirta & Castronova, 2014). Mutta on myös tilanteita, jolloin tuotteella on jokin käyttökohde, joka ei mahdollista monen, tai edes yhdenkään oikean kuluttajan osallistumista järjestelmän toimintaan, mutta josta huolimatta tuotteeseen halutaan sisällyttää toimiva talousjärjestelmä. Tällöin on mahdollista simuloida oikeiden ihmiskuluttajien toimintaa tietokoneen ohjaamalla keinotekoisilla markkinavoimilla. Tällaista ratkaisua voidaan haluta hyödyntää vaikkapa videopeleissä, joissa tietokoneen ohjaamien hahmojen pyörittämä talous voi toimia pelimekaniikkana. (Castronova, 2002)

## 2.2 Markkinavoimat virtuaalisissa talouksissa

Markkinavoimat virtuaalisissa talouksissa eroavat oleellisesti reaali maailmasta siinä, että on periaatteessa täysin ohjelman kehittäjän vallassa, mistä kysyntä ja tarjonta muodostuvat, tai halutaanko ohjelmaan edes kumpaakin voimaa. Yksinkertaisemmissa sovelluksissa esimerkiksi tarjonta voidaan jättää melkein täysin käsittelemättä, kuten 2011 hittipelissä *Skyrim*, jossa pelimaailman kannalta tärkeitä tavaroita on saatavilla yllin kyllin ja pelirahaa on hyvin helppo kerryttää (Anastasia M, 2019). Kehittäjät voivat myös päättää vaikkapa, että tiettyä hyödykettä myydään vain tietyn ajan, jolloin luodaan keinotekoista tarjonnan rajoittuneisuutta, tai että huonosti myyvän hyödykkeen hintaa lasketaan, jolloin hyödykkeen arvostuksella reagoidaan markkinoiden kysyntään (Nazir & Lui, 2016).

Tarjonta on virtuaalisissa talouksissa lähes aina keinotekoista, pois lukien jotkin poikkeukset, kuten kryptovaluutat, joiden keinotekoisuudesta on myös paljon eriäviä mielipiteitä (O'Dwyer, R. 2018). OICQ:n tapauksessa käyttäjille myytävälle tavaroille tarjontaa on periaatteessa loputtomasti, sillä näitä digitaalisia hyödykkeitä voi kopioida rajattomasti. Rajoitteet saatavuudessa ovat siis alustan kehittäjien asettamat rajat, joita voisivat olla vaikka tiettyjen tuotteiden ajallisen saatavuuden- tai myytävän määrän keinotekoinen rajoittaminen.

Mitään oikeita, esimerkiksi raaka-aineiden saatavuudesta johtuvia rajoitteita ei siis ole. Myytävien tavaroiden arvo riippuu siis täysin alustan omistajien tavasta arvostaa markkinoilla vaihdettavan tavaran arvo, kuten vaikka oletuksista siitä, paljonko kuluttajat ovat valmiita maksamaan näistä digitaalisista hyödykkeistä (Nazir & Lui, 2016). Tämä valta omistajilla on, koska he ovat usein ainoa taho, joka pystyy vaikuttamaan järjestelmän sisäisten hyödykkeiden jakeluun.

### 2.3 Käyttäjän rooli virtuaalisessa talousjärjestelmässä

Virtuaalisissa talousjärjestelmissä sekä tietokoneella että käyttäjällä voi olla roolinsa systeemin toiminnassa. Käyttäjät ajatellaan usein oletustoimijaksi, sillä ovathan nämä tekemisissä järjestelmän kanssa monellakin tapaa, kuten virtuaalisia tavaroita ostaessaan ja myydessään. Tällöin markkinavoimien kysynnän ja mahdollisesti tarjonnan oletetaan muotoutuvan käyttäjän toiminnan mukaan.

#### 2.3.1 Käyttäjän vaikutusvallan mahdollistamat ominaisuudet

Käyttäjien asema talouden rattaina vaihtelee hyvin paljon järjestelmästä riippuen. Yleisesti nämä toimivat aina tavalla tai toisella kuluttajan roolissa, ja täten luovat talousjärjestelmän kysynnän (Lehdonvirta & Castronova, 2014). Aiemmin mainitussa OICQ:n tapauksessa käyttäjät ostivat alustan sisäisiä kosmetiikkatarvikeita ja täten loivat näille kysyntää. Esimerkin tapauksessa käyttäjät eivät kuitenkaan osallistuneet tavaroiden tarjontaan millään merkittävällä tavalla, ainakaan suorasti.

Talousjärjestelmän voi myös suunnitella siten, että sen toimijat osallistuvat myös sen markkinoilla liikkuvien tavaroiden saatavuuteen. Esimerkiksi Steam-alustan marketplace palvelussa käyttäjät tuottavat virtuaalisia keräilykortteja ja kosmeettisia tavaroita pelaamalla alustan pelejä. Näitä vaihtotavaroita voi myydä ja ostaa, ja niiden saatavilla oleva määrä riippuu täysin siitä, kuinka paljon tavaraa pelaajat tuottavat ja asettavat myytäväksi (O'Neill et al. 2016). Tarjonnan keinotekoinen siirtäminen pelaajien hartioille voi Steamien toteutuksen tavoin hyvin toteutettuna tehdä ekosysteemistä omavaraisen ja kestävä. Tämä on erityisen haluttua, jos halutaan kehittää alusta käyttäjien väliselle kaupankäynnille tai muulle

toiminnalle, jossa saatavuuden halutaan toimivan rajatusti. Steamin kehittäjä Valve ei kerääkään marketplace-palvelustaan tuloja suorilla myynneillä, vaan verottamalla jokaisesta tehdystä kaupasta tietyn prosentin ”välitysmaksua” (McCormick, 2020). Toisaalta tarjonnan siirtäminen pelaajien hartioille aiheuttaa lähes poikkeuksetta vaikeasti korjattavia ongelmia systeemiin, kuten väärinkäyttöjä, rahanpesua, ja markkinoiden vääristelyä. Eve Online on massiivinen monen pelaajan videopeli, jonka eräs suurin erottava tekijä on sen lähes täysin vapaa, pelaajien ohjailema talousjärjestelmä. Eräs pelin pelaaja perusti kokonaisen pelinsisäisen investointipankin, keräsi tälle nopeasti suuren käyttäjäkunnan ja kyllästyttyään pankin hoitamiseen, tyhjensi pankin tilit vieden lähes 700 miljardia pelinsisäistä valuuttaa, joka tuolloin vastasi noin 100 000 Yhdysvaltain dollaria (Urschel, 2011).

### 2.3.2 Talous massiivisessa monipelissä - Runescape

Hyvin tunnettu käyttäjilleen paljon vaikutusvaltaa antava virtuaalinen talousjärjestelmä löytyy massiivisesta online-monipelistä Runescapesta. Vuodesta 2001 asti toimineesta pelistä on tehty useita taloustutkimuksia sen harvinaisen toimivan ja pelaajavetoisen talousjärjestelmän johdosta, jossa pelaajilla on hyvin suuri rooli pelinsisäisten hyödykkeiden arvostuksessa. Pelissä on periaatteessa vapaat markkinat, joilla pelin miljoonat pelaajat ostavat ja myyvät tavaroita, jolloin näiden tuotteiden arvostus pääsee muodostumaan hyvin luonnollisella tavalla.

Pelin tavaroiden tarjonta koostuu käytännössä pelaajien muodostamista vapaista tuotantoketjusta, joissa osa pelaajista vapaasti tuottaa markkinoille tiettyä resurssia vaikkapa louhimmalla malmeja mineraalipesäkkeistä. Tämä sama pelaaja voi jatkaa malmin jalostamista muiksi tavaroiksi erityisten hahmokohtaisten taitojen avulla, mutta vaadittujen taitojen asettamien rajoitusten ja ajan tehokkaan käyttämisen nimissä pelaajat voivat myydä tavaran markkinoille, josta joku tavaran jalostamiseen erikoistunut pelaaja voi ostaa materiaalin ja suorittaa itse jalostuksen (Ceriale, 2012). Samankaltainen ketju voi syntyä lähes kaikelle pelin tavaralle, vaikka lohikäärmeen surmaamalla saatavalle lohikäärmeen suomulle. Näin useille pelin tavaroille muodostuu hyvin vapaamuotoinen kysyntään perustuva tuotantoketju.

Kiinnostavin asia nimenomaan Runescapen tapauksessa on kuitenkin vuonna 2007 peliin lisätty kaupankäynnin alusta ”Grand Exchange”. Tätä ennenkin pelin sisäistä kauppaa käytiin runsaasti pelaajien välisillä vaihtokaupoilla, mutta pelimaailman laajuinen pörssi mulisti täysin kaupankäynnin pelin sisällä. Keskitetyllä markkina-alustalla pystyttiin seuraamaan tavaroiden arvostusta tarkoilla graafeilla, aivan kuten oikeassakin elämässä. Syntyikin pelinsisäinen sijoittajabisnes, jossa vaihtokauppaa harrastavat myyvät ja ostavat tavaraa kurssivaihtelujen perusteella.

Pelinsisäisestä talousjärjestelmästä onkin tullut Runescapen yksi merkittävimmistä ominaisuuksista, joka tuottaa itsessään pelille paljon arvoa ja kiinnittää pelaajien mielenkiinnon. Pelin talous toimii niinkin hyvin, että esimerkiksi Etelä-Amerikassa on ihmisiä, joille Runescapen pelaaminen ja pelirahan myyminen on aivan varteenotettava tulonlähde. Tämä järjestelmä ei ole kuitenkaan vailla haittojaan. Runescape on myös pahamaineisen kuuluisa lukuisista huijaustapauksista, rahanpesutilanteista, bottipelaamisesta ja muusta talouteen liittyvistä pelaajia haittaavista asioista. Pelin kehittäjät ovatkin joutuneet lisäämään pelin alkuperäiseen versioon muun muassa keinotekoisien pörssiveron, joka hillitsee pelissä rehottavaa korkeaa inflaatiota. (The Old School Team, 2021)

## 2.4 Tekoälyn rooli virtuaalisessa talousjärjestelmässä

Käyttäjää vastaavasti, myös tietokoneen ohjaamalla tekoälyllä voi olla roolinsa virtuaalisessa talousjärjestelmässä. Järjestelmästä riippuen tämä rooli voi olla suurempi tai pienempi, mutta yleensä se liittyy oikeiden markkinavoimien simuloimiseen.

### 2.4.1 Tekoälyn vaikutusvallan mahdollistamat ominaisuudet

Joissakin talousjärjestelmissä käyttäjien lisäksi talouteen osallistuu myös tietokoneen ohjaamia toimijoita, jotka vaikuttavat sovelluksen talouteen vaihtelevin määrin. Periaatteessa käyttäjää ei pitkälle toteutetussa konevetoisessa järjestelmässä edes tarvita, sillä järjestelmän talous voi pyöriä itsestään käyttäjästä

riippumatta. Sillä voidaan pyrkiä tekemään elävää simulaatiota oikeasta maailmantaloudesta, tai jotain täysin kuvitteellista taloudellista tilannetta tapauskohtaisesta syystä.

Markkinavoimat muotoutuvat järjestelmästä riippuen. Ideaalitalanteessa ne syntyvät dynaamisesti järjestelmään määritettyjen sääntöjen perusteella. Näihin vaikuttavia muuttujia voivat olla vaikkapa toimijoille määritetyt tarpeet, kulutusreiät, tuotantoketjut, hävikki tai tehokkuus. Muuttujia voi olla lukemattomia, joista jokainen tuo järjestelmään oman vivahteen. Käyttäjät voi olla mukana vaikuttamassa näihin muuttujiin, mutta hän ei ole ainoa eikä voimakkain taho, joka kykenee puuttumaan järjestelmän toimintaan.

Tarjonta voi muodostua monella eri tavalla. Joissain järjestelmissä hyödykkeiden tuotanto simuloidaan ajastettujen resurssien perusteella, joissain allokoimalla erityisiä työtekoresursseja tuotantoon, tai vaikka näitä yhdistelemällä. Vaihtoehtoja on paljon. Yhteinen piirre kuitenkin on, että saatavuus on miltei pakko olla jollain tavalla rajattua, jotta hyödykkeiden arvo tuntuisi perustellulta. (Asadi & Hemadi, 2018)

Kysyntä syntyy järjestelmään asetetuista kulutusrei'istä, jotka voivat olla kiinteitä tai muotoutua dynaamisesti, vaikkapa järjestelmän toimijoiden varallisuuden muuttuessa. Kuten saatavuuteenkin, kysyntään voi asettaa omat vaikuttavat muuttujat, joiden perusteella järjestelmä voi muotoutua mahdollisuuksien mukaan dynaamisesti suhteessa saatavuuteen.

#### 2.4.2 Simuloitu laaja talousjärjestelmä – Victoria 2

Erityisesti yhden pelaajan strategiapeleissä on hyödynnetty simuloituja koneistettuja talousjärjestelmiä. Paradox Interactiven suuressa strategiapelissä Victoria 2:ssa ohjataan viktoriaanisia valtioita teollistumisen ja maailmankaupan myllerryksissä. Pelin erottavana tekijänä on sen keskittyminen nimenomaan talouteen valtioiden välillä.

Pelinsisäinen talous on hyvin pitkälle viety hienosäädetty järjestelmä, joka simuloi tiettyjä reaali maailman ominaisuuksia. Jokaisen valtion populaatioiden yksittäisillä ihmisillä on omat tarpeensa, jotka tyydytetään pelimaailman markkinoilta saatavilla resursseilla. Muuttujia järjestelmässä on lukemattomia. Rikkaat kuluttavat enemmän kuin köyhät ja keskiluokka, ja luonnollisesti tienaavat enemmän kuin muut. Maanviljelijä kuluttaa eri hyödykkeitä kuin sotilas. Henkilöiden koulutustasokin vaikuttaa näiden kulutustottumuksiin.



Vastaavasti tavarantoimitus on vähintäänkin yhtäläisellä tavalla simuloitua. Maailmassa on tietty määrä resursseja, joissa populaatio voi työskennellä tuottaakseen hyödykkeitä, joita voidaan jalostaa tehtaissa arvokkaammiksi hyödykkeiksi. Kaikki tavarantoimitus noudattaa järjestelmään määritettyjä sääntöjä ja jokainen markkinoilla liikkuva tavara on tuotettu joko pelaajan, tai tekoälyn ohjaaman valtion puolesta. (Paradox Interactive, 2010)

Runescapen talousjärjestelmästä poiketen Victorian talous ei välttämättä tarvitse toimiakseen edes yhtä käyttäjää, vaan peliä voi ajaa katselutilassa siten, että käyttäjä seuraa vierestä tietokoneen ohjaamien valtioiden toimintaa (Paradox Interactive, 2010). Järjestelmä on erinomainen esimerkki itseään kannattelevasta ja toimivasta reaali maailman ominaisuuksia jäljittelevästä talousjärjestelmästä.

## 3 Tekoäly ja sen merkitys virtuaalisissa talouksissa

Tekoäly ja sen viimeaikaiset massiiviset kehitysaskleet ovat mahdollistaneet täysin uudenlaiset mahdollisuudet myös virtuaalisten talousjärjestelmien saralla. Sen sovellutuksilla voidaan saavuttaa entistä tarkempia mittauksia, immersioisempia ominaisuuksia ja ylipäänsä paremmin toimivia järjestelmiä. Paremmalla tekoälyllä voidaan saavuttaa muutoksenkestäviä järjestelmiä, jotka sopeutuvat uusiin yllättäviin tilanteisiin virtuaalisilla markkinoilla. Tämä voi käytännössä tarkoittaa vaikka, että jos talousjärjestelmän markkinoilla tietyn hyödykkeen kysyntä romahtaa, kyseistä hyödykettä ei tuoteta enää samaa määrää kuin ennen, vaan sen tuotanto sopeutuu myynnistä saatujen tulojen vähentymiseen.

### 3.1 Eroavaisuudet eri järjestelmätyypeissä

Kuten onkin jo käynyt selväksi, virtuaalisilla talousjärjestelmillä on hyvin paljon erottavia ja yksilöllistäviä tekijöitä. Näistä eräs oleellisella tavalla erottavin on järjestelmän luonne joko käyttäjälle- tai tietokoneelle enemmän valtaa antavana. Tämä tekijä myös vaikuttaa oleellisesti tekoällyn merkitykseen eri virtuaalisissa talousjärjestelmissä.

#### 3.1.1 Tekoäly käyttäjiin painottuvassa järjestelmässä

Käyttäjälle enemmän valtaa antavissa järjestelmissä tekoällyn käyttö on luonnollisesti ollut vähäisempää. Tämantapaisissa järjestelmissä markkinavoimat ja suurin osa järjestelmään vaikuttavista muuttujista syntyy käyttäjien käytöksen mukaan, joten tekoällyn tuomalle lisälle ei ole nähty laajaa tarvetta. Tekoälyllä voi kuitenkin olla sovellutuksensa tällaisissa tapauksissa. Mahdollisia sovellutuksia ovat muun muassa osittain tekoälyllä toteutetut talousjärjestelmät, joissa esimerkiksi koko- tai osa hyödykkeiden tarjonnasta tapahtuu tekoällyn toimesta ja muu jätetään käyttäjien haltuun, tai että pelaajavetoiseen järjestelmään osallistuisi eri rooleissa tekoällyn ohjaamia vaikuttajia.

### 3.1.2 Tekoäly tekoälyyn painottuvassa järjestelmässä

Jonkinasteista tekoälyä tarvitaan oleellisena osana virtuaalisia talousjärjestelmiä, joissa käyttäjän valtaa halutaan rajoittaa ja simuloida osaa toimintaa tietokoneella. Täytyy kuitenkin pitää mielessä, että tekoälyn määritelmä on hyvin häilyvä ja voi olla, että kysyttäessä vaikkapa yksinkertaisiin sääntöihin perustuvan äärellisen tilakoneen statusta tekoälynä, joka on etenkin peliteollisuudessa hyvin yleinen tapa simuloida uskottavia toimintatapoja, voidaan eri henkilöiltä saada eriäviä vastauksia (Pirovano, 2012). Tekoälyn ohjailuun painottuvissa virtuaalisissa talouksissa tekoälyn merkitys järjestelmässä tulee suunnitella huolella etukäteen annettujen vaatimusten puitteissa.

Laadukkaan tekoälyn rakentaminen voi vaatia suuriakin ponnisteluja, joten määrittely on hyvä tehdä realiteetit mielessä pitäen, muttei kuitenkaan tärkeitä ominaisuuksia unohtaen.

## 4 Virtuaalisen talousjärjestelmän toteutus

Työn osana toteutetaan tekoälyä hyödyntävä virtuaalinen talousjärjestelmä osana ohjelmistoprojektia. Tämän teknisen toteutuksen tavoitteena on saada parempi käsitys virtuaalisiin talousjärjestelmiin vaikuttavista muuttujista ja ominaisuuksista, sekä toteuttaa empiiristä tutkimusta virtuaalisten talousjärjestelmien erottavista tekijöistä ja ominaisuuksista, joiden perusteella nämä voisi jakaa omiin tyyppeihinsä. Oheisessa kappaleessa käsitellään vaihe vaiheelta järjestelmän kehityksen kulku. Lopuksi pohditaan saatuja tietoja, joista kehitetään tutkimuskysymyksiin vastaavat johtopäätökset.

### 4.1 Järjestelmän toteutuksen lähtökohdat ja keskeiset suunnitelmat

Toteutettavassa virtuaalisessa talousjärjestelmässä on implementoida tekoälyllä toteutettava automaatiota, sekä lopuksi pohtia kuinka suunnittelussa tehdyillä valinnoilla oli vaikutusta lopputuotteeseen. Koska kyseessä on yksin pelattava videopeli, keskeisinä kysymyksinä ovat etenkin, miten tekoälyllä saadaan simuloitua esimerkiksi massiivisen moninpelin pelaajavetoisen järjestelmän ominaisuuksia, ja millaisiin lopputuloksiin tällä päästään. Tarkoituksena olisi siis viedä pelaajalta päätösvaltaa lopullisessa talousjärjestelmässä paremman immersion, mielenkiintoisten mekaniikkojen, sekä paremman pelikokemuksen mahdollistamiseksi.

#### 4.1.1 Ohjelmistoprojektin esitiedot

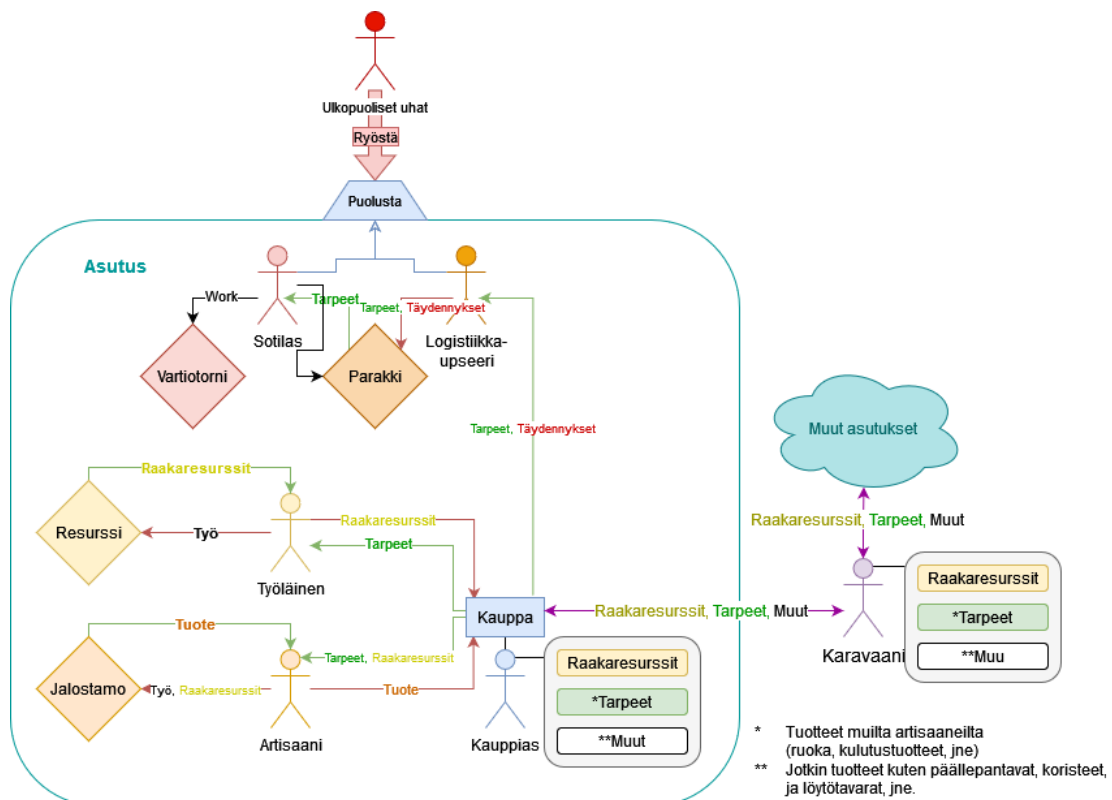
Virtuaalinen talousjärjestelmä tullaan toteuttamaan kehityksessä olevaan hiekkalaatikkotyyppiseen isometriseen RPG-tietokonepeliin. Peliin suunnitellut tämänhetkiset erottavat tekijät ovat muun muassa lähes täysin tietokoneen ohjaamien hahmojen pyörittämä talousjärjestelmä, pelin sisäisten hyödykkeiden johdonmukaiset tuotantoketjut, sekä dynaamiset pelimaailman tilat.

Projektin toteutuksessa käytetään Godot-pelimoottorin Mono-versiota C# ohjelmointikielien mahdollistamiseksi. C# valittiin kieleksi Godotin sisäänrakennetun GDscriptin sijasta sen korkeamman suorituskyvyn ja tyyppityksen johdosta, joiden nähdään olevan tärkeitä implementoitavan kompleksin talousjärjestelmän ja etenkin tekoälyn johdosta.

Tiedon ja resurssien käsittelyyn työn laajuudessa käytetään käytännössä vain C#-natiivi- ja Godot-pelimoottorin sisäisiä kirjastoja ja moduuleja. Etenkin tietorakenteiden yhteydessä käytetään Godotin sisäänrakennettuja resurssinhallintaobjekteja ja työkaluja.

#### 4.1.2 Talousjärjestelmä

Valmiissa pelissä tulee olemaan itsenäisesti toimivia asutuskeskuksia, jotka vaihtavat resursseja keskenään kaupankäynnin keinoin. Asutuksissa on tietyin määritellyin säännöin muokautuva asukasmäärä, joka toimii asutuksen työvoimana sekä kuluttajakuntana. Yksittäisillä asukkailla on oma roolinsa, jonka mukaan ne tekevät työtä ja kuluttavat resursseja. Pelissä on kirjoittamishetkellä neljä eri työtyyppiä: raakaresurssituottajat, jalostajat, sotilaat ja kaupalan ammatit. Järjestelmän toimijoiden vuorovaikutukset on esitetty Kuvassa 1.



Kuva 1. Kaavio talousjärjestelmän toiminnasta

Raakaresurssituottajat työstävät pelikartalla sijaitsevia resurssilähteitä, kuten maatiloja, kaivoksia, ja puuhakkuita ja keräävät näistä resurssikohtaisia raaka-aineita. Kun työntekijä on kerännyt resurssin tyhjäksi, etsii tämä lähimmän markkinapaikan ja myy tälle kerätyt resurssit asutuskohtaiseen hintaan. Perustarpeiden lisäksi näiden hahmojen ei periaatteessa tarvitse ostaa kauppapaikalta muuta, ellei niillä ole jokin hyvin spesifi tarve, joka voidaan tyydyttää kauppapaikalta saatavalla tavaralla. Käytännössä nämä hahmot siis tuottavat rahansa resursseja keräämällä, ja kuluttavat vain perustarpeisiin.

Jalostajat työskentelevät tietyillä jalostamorakennuksilla, joissa ne tuottavat raakaresursseista käyttökelpoisia tuotteita, jotka myydään paikallisille markkinoille. Jalostamoja on kirjoitushetkellä kolmea eri tyyppiä: leipomo, metallityöpaja ja puutyöpaja. Esimerkiksi leipomossa työntekijä jalostaa ruoantuotantoon liittyviä raakaresursseja kuten vehnää muun muassa jauhoiksi ja leiväksi, jota jokainen pelimaailman hahmo tarvitsee hengissä pysyäkseen. Ruokatavaroille on siis olemassa dynaamisesti muuttuva, populaation koosta riippuva kysyntä, jonka mukaan ruokatavaroiden hinta mukautuu. Tällöin ruoantuotannon pitäisi säädellä itse itseään. Tilanteessa, jossa populaatio ja vehnäntuotanto on pientä, leiväntuotanto ei ole enää kannattavaa kun leivän hinta laskee mutta vehnän puolestaan nousee, jolloin leipurit joutuvat jäämään työttömiksi. Vastaavasti jos populaatio myöhemmin kasvaa, kasvaa myös leivän tarve, ja tätä kautta myös tarve vehnälle, jolloin pelimaailman hahmot lopullisessa tuotteessa ohjautuisivat näihin kannattaviin työpaikkoihin.

Sotilaat ovat riippuvaisia asutuksen hallinnosta, jotka maksavat näille palkkaa alueidensa puolustamisesta maantierosvoja, vihollisasutusten joukkoja, sekä muita uhkia vastaan. Kirjoitushetkellä sotilaille on kaksi hallinnollista rakennusta, joilla ne tekevät työtä: vartiotornit ja parakit. Rivisotilaat työskentelevät vartiotorneilla, jolloin ne kiertävät tornia ympäröivää laajaa aluetta ja hyökkäävät yhdessä tunkeilijoiden kimppuun. Sotilaille on perustarpeidensa lisäksi parakkikohtainen täydennystarve (supply). Toinen sotilasrooli on logistiikkaupseeri. Tämä työstää parakkeja, ja käytännössä huolehtii rivisotilaiden tarpeiden täyttymisestä. Asutukset maksavat parakeille rahaa tietyin väliajoin, jolla logistiikkaupseeri ostaa markkinoilta ruoka- ja hyödyketavaroita. Nämä upseeri muuttaa sotilastarpeisiin mukauteiksi muonitusresursseiksi, joilla ei ole myyntiarvoa jälleenmyynnin välttämiseksi. Näitä muonitusresursseja sotilaat voivat vapaasti käyttää tarpeidensa mukaan. Parakeille on säännöllisin väliajoin toimitettava myös erityisiä jalostamossa tuotettavia täydennyksiä (supply), tai muuten sotilaiden suorituskyky alkaa kärsiä. Asutukset voivatkin säädellä täydennystasoa

tarpeen ja taloudellisen tilanteen mukaan. Täydennykset ovat kalliita, eikä kaikilla asutuksilla ole välttämättä aina rahaa maksaa parakeille täysiä täydennyksiä. Sotilaiden ylläpito onkin hyvin kallista ja niiden turha ylläpito on resurssien haaskausta. Ne ovat kuitenkin välttämättömiä, sillä ilman sotilaita asutukset voisivat hyvinkin nopeasti kärsiä suuria vahinkoja pienessäkin maantierosvojen tai vihollisten hyökkäyksessä.

Kaupankävijöitä on kahta eri tyyppiä: kauppias ja karavaani. Kauppiat huolehtivat asutusten paikallisesta kaupankäynnistä. Ne työstävät kauppapaikkoja, joissa muut hahmot voivat ostaa ja myydä tavaraansa. Kauppiat saavat elantonsa ostamalla tavaransa keskivertoa hie- man edullisemmin ja myymällä nämä eteenpäin pienellä korolla. Jokaisella kauppapaikalla on oma tarpeeseen ja saatavuuteen perustuva hintataso tuotteille. Jos kylä tuottaa paljon puuta mutta ei leipää, paikallinen puun hinta on oletettavasti matala ja leivän korkea. Periaatteessa kaikki pelin hahmojen välinen kaupankäynti käydään kauppiaiden välittämänä, jolloin saadaan melko tarkka kuva tavaroiden paikallisista arvostuksista. Toisen kauppiastyön, karavaanin tehtävänä onkin hyödyntää näitä paikallisten arvostuksien eroavaisuuksia. Hiljaisina aikoina ne pysyttelevät karavaaneille tarkoitetuilla varikoilla, mutta kun ne saavat signaalin hyvästä kaupankäyntimahdollisuudesta ne lähtevät suorittamaan kauppatehtävää. Näissä matkoissa on neljä vaihetta. Ensimmäiseksi matkaan lähtiessään karavaani saa esitietona kaupankäyntiasutuksen ja tämän kauppiaan sijainnin, ja lähtee matkustamaan tänne. Toinen vaihe eli matkantekovaihe on melko yksiselitteinen, eli karavaani kulkee pelikartan läpi kohteenaan aiemmin määritelty kaupantekopaikka. Tämä on kuitenkin tehtävän kriittisin vaihe, sillä lopputuotteessa on hyvin mahdollista, että karavaani kohtaa matkallaan uhkia, kuten maantierosvoja. Tämän takia ohessa mainitut sotilaat ja tieverkoston tarkkailu on tärkeässä roolissa, sillä asutukset voivat menettää hyvin suuria määriä resursseja, jos matkalla olevat karavaanit ja näiden kantamat kauppatavarat jäävät matkan varrelle. Kolmannessa vaiheessa karavaani saapuu kauppapaikalle ja suorittaa kaupankäyntitapahtuman kauppiaan kanssa. Ensin tämä tarkistaa onko tällä mukana resursseja, joista saisi hyvän hinnan kyseisellä kauppapaikalla. Jos on, myy. Seuraavaksi karavaani tarkistaa onko kauppapaikalla edullisella hinnalla myytäviä resursseja joista saisi hyvän hinnan muualla. Jos on, osta. Viimeinen vaihe on päätellä seuraava toiminnan tapa. Jos karavaanin tavaratilassa on vielä

myymätöntä kauppatavaraa, etsitään uusi kauppapaikka ja lähdetään uudelleen liikkeelle ensimmäisestä kohdasta. Jos tavara on myyty loppuun, palaa varikolle.

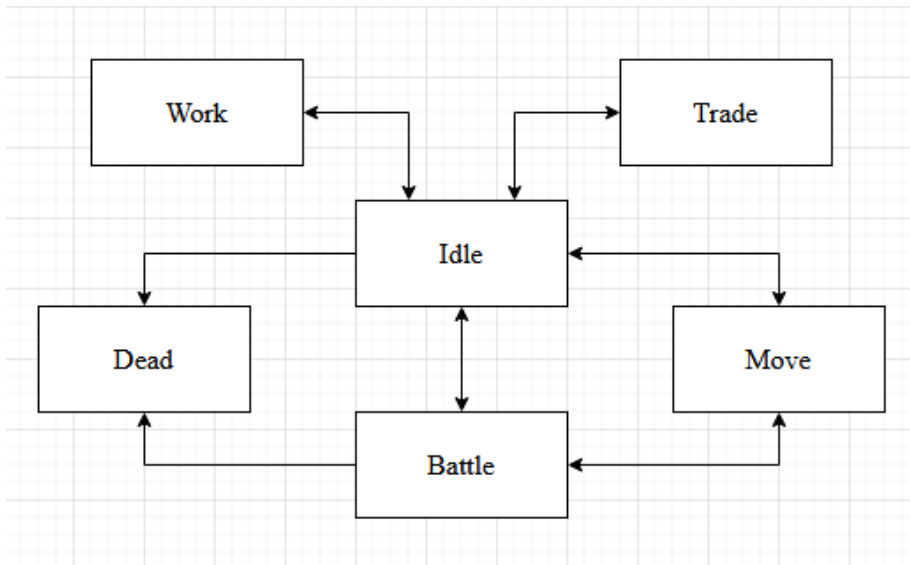
#### 4.1.3 Tekoäly

Valmiiseen peliin on tarkoitus kehittää tekoäly, joka hallitsee tietokoneen ohjaamien hahmojen toimintaa näiden kaikissa toiminnoissa. Tämän työn laajuudessa keskitytään kuitenkin vain talousjärjestelmän kanssa olennaisesti keskeisiin asioihin. Automatisaatio hoidetaan resurssien puitteissa tilakoneella. Tarkoituksena on, että tietokoneen ohjaamat hahmot toimisivat varteenotettavina toimijoina pelin taloudessa ja veisivät pelaajalta valtaa, joka mahdollistaisi pelimekaniikat muun muassa talouteen epäsuorasti vaikuttamalla.

Koska projekti on tällä hetkellä yhden henkilön kehittämä eikä resursseja ole kuin hyvin rajoitetusti, tekoälyn kehityksessä jätetään intensiivisemmät ominaisuudet kuten edistynyt koneoppiminen vähäiselle prioriteetille ja keskitytään lähinnä säännöillä määritellyn neuroverkon kehittämiseen. Myös lopulliseen peliin suunniteltu NPC-hahmojen korkea määrä rajoittaa suorituskyvyn kannalta tekoälyn pitkälle viemistä.

Tekoälyn päätoteutus keskittyykin ohessa mainittuun työnteko- ja kaupankäyntikäyttäytymiseen. Myöhemmin lisättävät pelaajakokemusta kohottavat tekoälyn piirteet ovat työn kontekstissa epäoleellisia. Pelin hahmoja ohjataan tilakoneen tiloja muokkaamalla. Jokaisella hahmolla on ennalta määritetyt tilat, joita muokataan yksinkertaisen neuroverkon osoittamalla tilamuunnoksilla. Talouden kannalta tärkeimmät muutokset liittyvät työtilan- ja kaupankäyntitilan säätelyyn.

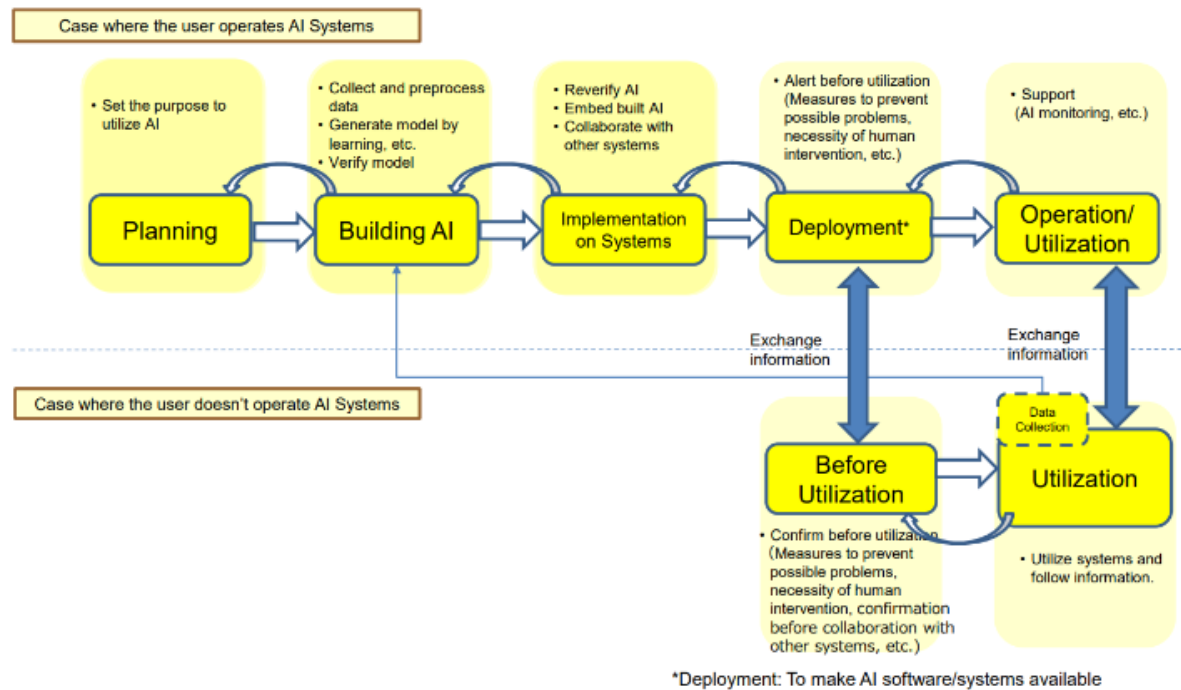




Kuva 1. Siirtymäkaavio pelin tilakoneen tiloista

Tilasiirtymät hoidetaan Kuva 2:n kuvaajan mukaan. Kuten kuvaajasta käy selväksi, ”Work” ja ”Trade” tiloja säädellään täysin ”Idle” perustilan avulla. Tämä mahdollistaa sen, että työtai kaupankäyntitilaan siirtyminen voidaan käsitellä keskitetysti aina muista tiloista poistuttaessa. Idle-tilaa käytetään siis seuraavan tilan päättämiseen mutta tapauksessa, jossa parempaa toimintatapaa ei löydy, Idle-tilassa hahmolla on myös taustatekemistä, kuten vaikka ympäriinsä kävely.

Pienimuotoista koneoppimista on kokeiltu kaupankäynnissä, jossa kauppapaikoilla pidetään lukua tavaroiden myynti- ja ostomääristä, jonka perusteella tavaralle määritetään lopullinen hinta. Tämän mukaan kuluttajat ja karavaanit valitsevat itselleen edullisimman kauppapaikan, jonka pitkällä tähtäimellä pitäisi tasoittaa kauppapaikkojen hintojen vaihtelua.



Kuva 3. Japanin sisäministeriön (MIC, 2019) julkaisema pohja tekoälyn käyttöönoton toteuttamiseen

Tekoälyn toteuttamiseen on kehitetty useita kehyksiä, ja kuten kehitystyössä yleensä, on mahdollisia toiminnan tapoja yhtä monta kuin niiden toteuttajaa. Tähän työhön kuitenkin valittiin toteutus pohjaksi Japanin sisäministeriön julkaisema pohja (Kuva 3) tekoälyn toteuttamiseen projekteissa, sen suotuisten tulosten ja yksinkertaisen askelpohjaisen rakenteen johdosta. Kuvaajan esittämien siirtymien mukaan on kehitystyö suoritettu alustavasti vaiheissa siten, että tekoälyn uusien versioiden pohjalta kerätyn informaation perusteella sen käyttötarkoitusta- ja vaikutusta muuhun systeemiin on täsmennetty ja luotettavuutta parannettu. Ennen jokaista uutta päivitystä järjestelmällä on ajettu useita tunteja kestäviä kestävyystestejä, joissa sen toimivuutta ja vaatimuksien täyttyvyyttä on tarkkailtu.

## 5 Työn tulokset ja pohdinta

Työn tekninen toteutus aloitettiin pienimuotoisena 2021 elokuun aikana ja säännöllisemmin saman vuoden syyskuun lopulla. Alkupuolella projektissa piti keskittyä myös pelin muihin välttämättömiin ominaisuuksiin, kuten yksinkertaiseen grafiikkaan, pelimaailman navigointiin, tavarajärjestelmään, komponenttien rakenteisiin, etc. Varsinaisen talousjärjestelmän kehitys alkoi muun ohessa lokakuun aikana ja päättyi 2022 helmikuussa, jolloin järjestelmän nähtiin toimivan tarpeeksi hyvin raportissa käsiteltävien aiheiden kannalta.

### 5.1 Työn lopputulos käytännössä



Kuva 4. Kuva eräältä pelin kauppapaikalta

Tekoälyn ohjaamat hahmot tuottavat tavaraa myyntiin markkinoille ja kuluttavat tarpeidensa mukaan, jolloin kulutustavaralle on jatkuva tasainen kysyntä ja keskeisten tavaroiden hinnat tasaantuvat itsestään. Kuvassa 4 esitetään tilanne pelin kauppapaikalta, joissa kauppatavaran hinta määritellään dynaamisesti kulutuksen- ja saatavuuden perusteella. Testiympäristössä toimivat asutukset vaihtavat tavaraa keskenään toimivasti. Jalostusasutus saa raaka-aineensa kaupan kautta raaka-aineita tuottavalta asutukselta, ja sotilastukikohta saa täydennyksensä puolestaan jalostusasutukselta. Karttaan sijoitettu maantierosvoja luova keskus tuottaa kaupankäynnille ulkoisen uhan, mutta suurimman osan ajasta sotilastukikohdan sotilaat

pystyvät pysäyttämään nämä ja turvaamaan tavaran liikkuvuuden. Talous pystyy palautumaan tilanteesta, jossa maantierosvot onnistuvat keskeyttämään kaupankäynnin, mutta sen vaikutukset näkyvät haittoina ruuan riittävydessä ja hahmojen käytettävissä olevien varojen määrässä.

Saavutettu lopputulos ilmentää valitun talousjärjestelmätyypin hyötyjä lopputuotteen kannalta ja jalostuu varmasti jatkokehityksessä entistä enemmän käyttökokemusta vahventavaksi tekijäksi. Itsestään toimiva talousjärjestelmä luo peliin useita satunnaismuuttujia kuten horjuvat markkinat, avoimen kaupankäynnin ja talouteen osallistumisen. Pelinsisäiset hahmot jota tuntuvat merkittävilta pelimaailman toiminnan kannalta myös luovat kuvaa elävästä maailmasta, johon pelaaja voi omalta osaltaan osallistua. Voidaan siis päätellä, että talousjärjestelmä on kasvattanut ohjelmistotuotteen käyttöarvoa.

## 5.2 Kohdatut ongelmat

Kehitystyössä toki kohdattiin ongelmia, kuten sovelluskehityksen projekteissa yleensä on tapana. Muutamia eteen tulleita ongelmatilanteita oli muun muassa alkuperäisen ohjelmistoarkkitehtuurisuunnitelman puutokset, jossa ei oltu otettu huomioon kehitystyön edetessä mukaan tempautuneita satunnaisia tekijöitä, kuten lopullisen järjestelmän komponenttihierarkian muutoksia.

Maininnan arvoisen huomion ansaitsee puutos tietokoneen ohjaamien hahmojen hallinnan keskittämisessä. Tällä hetkellä tämä johtaa siihen, että kaikkia pelissä olevia hahmoja arvioidaan jokaisella ladatulla ruudun päivityksellä, joka on asetuksista riippuen 60–144 kertaa sekunnissa. Tämä tulee olemaan ensimmäinen ongelma korjattavaksi jatkokehityksessä, sillä tämän voi hyvin vähentää yhteen päivitykseen 1-2 sekunnissa, joka nostaisi pelin suorituskykyä räjähdysmäisesti.

Ongelmakohta oli myös pelin resurssinhallinnasta päättäminen, joka piti alun perin hoitaa JSON-formaatissa paikalliseen MySQL tietokantaan. Tässä päätettiin kuitenkin poiketa suunnitelmasta, sillä Godot-pelimoottorin tarjoama natiivi resurssienhallintatyökalu osoitautui paremmin sopivaksi työtä varten. Tämä kuitenkin aiheutti jonkin verran hämmennystä ja työajan menettämistä myöhemmässä työssä, sillä kävi ilmi, ettei Godotin tuki C# ohjelmointikielelle ja kirjastoille vielä käsittänyt monessa suhteessa varsinkaan

resurssienhallinnan puolelta samoja käyttökohteita kuin suositeltu GDScript. Lopulta nämäkin ongelmat kuitenkin selätettiin, ja vaikka kompromisseja varsinkin Godotin sisältämien työkalujen käytössä jouduttiin tekemään, resurssienhallinta saatiin toimimaan tehokkaasti.

Eräs toinen aikaa vaatinut ongelmakohta oli kaupankäynnin tasoitus ja resurssien määrän arviointi. Kun kehityksessä päästiin vaiheeseen, jossa systeemi alkoi toimia, päädyttiin pohtimaan kuinka tämä järjestelmä saataisiin tasapainotettua ja kuinka vältyttäisiin tilanteilta, joissa resurssien saatavilla oleva määrä on arvioitu väärin ja tuotteita kuten raaka-aineita tuotettaisiin reilusti yli tarpeen. Tämä ongelma on osittain vieläkin olemassa, mutta käytännössä sitä paranneltiin muuttamalla aikaisemmin suunniteltua resurssijärjestelmää, jossa resurssit ilmestyisivät kartalle tietyin väliajoin satunnaisiin paikkoihin. Nykyisessä järjestelmässä, jossa resurssit kyllä palautuvat mutta eivät muuta paikkaa tai lisääny määrällisesti, korostaa resurssien rajallisuutta ja luo asutusten kasvulle rajoittavan tekijän, jota voidaan hyödyntää jatkokehityksessä.

Systeemissä on toki vielä ongelmia. Reitinhaku on hieman tönkköä, ja hahmot voivat kulkea pitkiäkin matkoja ennen kuin ne tajuavat vaihtaa suuntaansa uuden käskyn sattuessa. Myös tavaroiden hinnat voivat kasvaa- tai laskea odottamattomasti, vaikka saatavuus olisi hyvä. Nämä ovat toki ongelmia, jotka vaikuttavat talousjärjestelmän uskottavuuteen, mutta työn lopputulosten tarkastelemisen kannalta ne ovat verrattain vähäisiä, eivätkä vaikuta suuresti arvioon siitä, millainen vaikutus lopulliseen tuotteeseen talousjärjestelmällä on. Jatkokehityksessä nykyisen järjestelmän ongelmat pyritään korjaamaan.

### 5.3 Onnistumiset

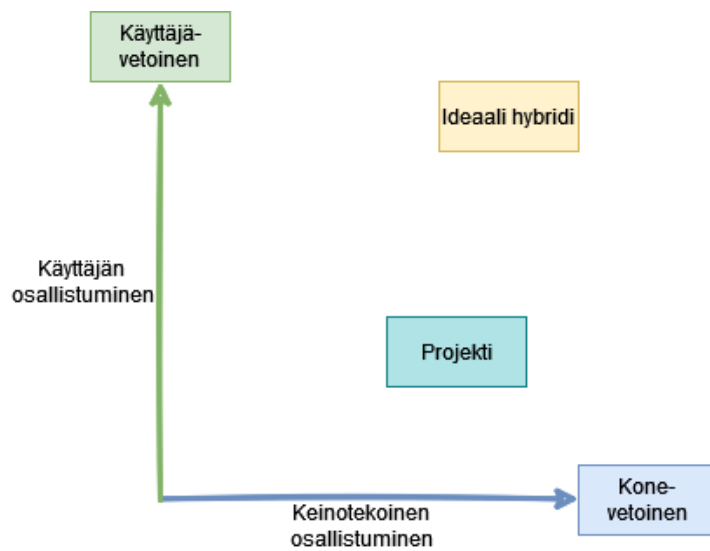
Vaikka peli ei tällä hetkellä olekaan pelaajansa kannalta kovin jännittävä kokonaisuus sen pelattavien elementtien vähyden johdosta, on varsinaisen talousjärjestelmän toiminta yllättänyt toimivuudellaan. Järjestelmä toimii autonomisesti tuntikausia ja vasta kun kartalle asetettu sotilastukikohta kaatuu loputtomaan maantierosvojen invaasioon alkaa systeemi kaatua resurssien puutteeseen ja logistiikkaketjun pettämiseen. Tästä syntyikin idea pelimekaniikasta, jossa pelaajan olisi mahdollista osallistua vastaavien hyökkäysten torjumiseen dynaamisessa pelimaailmassa, ja kenties toimia henkivartijana haavoittuville karavaaneille maksum vastaan.

Vastaavia projektin testaamisessa ideoituja pelimekaniikkoja on keksitty muitakin, kuten pelaajan oma osallistuminen kaupankäyntiin itse ostamalla tavaraa edullisella hinnalla ja myymällä jonnekin muualle korkeaan hintaan. Myös pelaajan toimiminen ammateissa, kuten jalostajana tai sotilaana voisi myös toimia pelikokemusta parantavana tekijänä, eikä tämä edes ole kovin vaikea toteuttaa, sillä järjestelmä suunniteltiin hyvin skaalattavaksi monille eri toimijoille. Tämä korostaa erityisesti avointen talousjärjestelmien kykyä tuottaa peleihin sisältöä, jota ei välttämättä alun perin edes tarkoitettu pelimekaniikaksi. Tämä on tosin ollut nähtävissä jo useissa hiekkalaatikkopeleissä. Tällaisissa peleissä onkin yleensä tapana, että pelaaja itse keksii itselleen tekemistä pelin tarjoamien mekaniikkojen puitteissa. (Ocio & Brugos, 2009)

Tiivistettynä, talousjärjestelmän kehittäminen tekoälyllä höystetyksi simulaatioksi on onnistunut tuottamaan pelille odottamatontakin käyttöarvoa ja on ongelmistaan huolimatta toimiva kokonaisuus, jota on mahdollista skaalata ja muovata tulevaisuudessa pelin tarpeisiin sopivaksi. Suunnittelussa onnistuttiin rajaamaan kokonaisuus aikamääreessä toteutettavalle tasolle resurssien puitteissa, joka täyttää sille asetetut vaatimukset, ja jota voidaan kuitenkin viedä halutessa myös eteenpäin.

#### 5.4 Virtuaalisen talousjärjestelmän piirteet

Toteutuksen talousjärjestelmä sisälsi useita eri mekaniikkoja. Keskeisimpiä näistä ovat automatisoidun pelaajasta riippumattoman kaupankäynnin mahdollistaminen, sekä simuloitua talouteen vaikuttavat toimintaa satunnaistavat ulkoiset muuttujat. Myös dynaamisesti muotoutuvat tavaroiden arvostukset ja useat talouteen vaikuttavat toimijat olivat keskiössä. Mekaniikkojen implementointi onnistui kohtuuyhyvin, ja tavoitteeseen monen toimijan kaupankäyntijärjestelmää jäljittelevästä simuloitusta taloudesta päästiin ainakin osittain. Lopputuloksena saatiin talousjärjestelmä, joka kallistuu selvästi enemmän tekoälyyn painottuvaksi, mutta johon käyttäjä myös voi vaikuttaa paljonkin, varsinkin pelin edetessä ja pelaajan valuutan määrän kasvaessa.



Kuva 5. Virtuaalisen talousjärjestelmän painottuminen osallistamisen perusteella. "Projektin" kuvaa työn teknistä toteutusta.

Teknisessä toteutuksessa saatiin myös selkeämpi näkemys eri talousjärjestelmätyyppien suhteesta. Pohjimmiltaan näiden ero on keskeisessä kysymyksessä siitä, kummalle osapuolelle järjestelmässä painotetaan enemmän vaikutusvaltaa: käyttäjille vai tietokoneelle. Tämän päätelmän pohjalta, työssä toteutettu järjestelmä sijoitettaisiin selvästi enemmän tekoälypainotteisemmaksi, mutta siten että käyttäjällekin halutaan varata pelimekaniikkana mahdollisuus toimia vaikuttavana tekijänä järjestelmässä. Kuva 5:n havainnollistuksesta nähdään, että ideaalissa hybriditoteutuksessa tietokoneen ja käyttäjän vaikutusvalta olisi periaatteessa identtinen.

## 6 Johtopäätökset

Työssä olemme nyt käsitelleet tutkimuskysymykset ja esittäneet näihin liittyviä väitteitä. Miten virtuaaliset talousjärjestelmät voi jaotella ominaisuuksiensa perusteella eri malleihin, millainen rooli tekoälyllä näissä malleissa on, ja millaisia erottavia piirteitä ja ominaisuuksia niissä esiintyy.

Aiemman tutkimus- ja lähdetiedon pohjalta päädyttiin tutkimuksen lopputuloksiin, joiden perusteella tuettiin teknisen toteutuksen suorittamista. Keskeisimmiksi käyttäjän vaikutusvallan mahdollistamiksi ominaisuuksiksi eroteltiin järjestelmän luonnollista kehitystä ja toimintaa ylläpitävät tekijät, kuten vapaasti muotoutuvat markkinat, kaupankäynnin helppous, ja käyttäjälähtöinen arvon tuotto.

Vastaavasti tekoälypainotteisemmassa järjestelmässä keskeisimmät ominaisuudet keskittyvät talouden simulaatioon, johon tekoäly liittyy kiinteämmin. Tietokonepainotteisemmassa järjestelmässä panostetaan jonkinasteisella tekoälyllä oikeita talousjärjestelmiä imitoivaan autonomiseen järjestelmään, jonka tarkoitus on vähentää käyttäjän valtaa systeemin toimintaan liittyen.

Keskeisin järjestelmätyypit erottava ominaisuus on kuitenkin vaikutusvallan keskittäminen järjestelmän sisällä joko käyttäjien tai tietokoneen harteille. Nämä ovatkin minkä tahansa virtuaalisen talousjärjestelmän kannalta niin keskeisiä erottavia tekijöitä luonteensa- sekä mahdollistavien ominaisuuksiensa puolesta, että työssä käsitellyn aineiston pohjalla esitetään, että talousjärjestelmät jaettaisiin tämän perusteella termein ”konevetoinen”- ja ”käyttäjävetoinen” talousjärjestelmä. Tämän jaon perusteella talousjärjestelmä painottuisi käyttäjävetoiseksi, kun käyttäjällä on verrattain paljon vaikutusvaltaa järjestelmän toimintaan, ja konevetoiseksi, kun käyttäjän valtaa siirretään tietokoneelle (Kuva 5).

Teknisessä toteutuksessa tutkittiin virtuaalisen talousjärjestelmän toteutukseen liittyvää vaatimusmäärittelyä, sekä järjestelmän ominaisuuksien aiheuttamien hyötyjen vaikuttavia seikkoja. Voi todeta myös, että esitetyt käyttäjä- ja tietokonepainotteiset mallit toimivat käytännössä ja parantavat toteutukseen liittyvää järjestelmän hahmottamista, kategorisointia ja resurssien käyttöä. Tarkempi ymmärrys talousjärjestelmän tarpeista auttaa panostamaan resurssit tehokkaasti oikeille osa-alueille, ja lisäksi suoraviiivaistaa käytännön kehitystyötä.



Erityisesti teknisessä toteutuksessa huomioitiin talousjärjestelmään vaikuttavien muuttujien aiheuttamat satunnaiset tekijät, jotka voivat olla hyödyllisiä lopputuotteelle, tämän työn kannalta vaikkapa potentiaalisena pelimekaniikkana.

## 7 Yhteenveto

Työssä tutkittiin virtuaalisia talousjärjestelmiä ja tekoälyn suhdetta näihin, erityisesti esittämällä, että virtuaaliset talousjärjestelmät voidaan jakaa eri malleihin näiden ominaisuuksien perusteella. Esitettiin myös, kuinka paljon tekoälyn vaikuttavuus näkyy kumpaisessakin järjestelmätyypissä, sekä minkälaiset asiat vaikuttavat järjestelmälle asetettavaan vaatimusmäärittelyyn. Lopulta esitettiin, että virtuaaliset talousjärjestelmät voisi jakaa ”konevetoiseen” ja ”käyttäjävetoiseen” tyyppiin, jotka eroavat käyttäjälle- ja tietokoneelle annettavan vaikutusvallan perusteella.

Teknisenä toteutuksena toteutettiin konevetoinen virtuaalinen talousjärjestelmä RPG-videopeliin ja pohdittiin toteutuksen ongelmakohtia ja onnistumisia. Toteutuksen aikana tehtiin myös havaintoja virtuaalisten talousjärjestelmien luonteesta, joilla saatiin tarkennettua tutkimuskysymyksiin esitettyjä vastauksia.

Videopeliprojekti johon järjestelmä toteutettiin jäi odotusten mukaan kesken. Jatkokehityksen kannalta keskeisimmiksi aiheiksi muodostuivat suorituskykyvikojen korjaus, talousjärjestelmän hiominen, sekä muiden videopelin ominaisuuksien toteuttaminen. Peliprojekti jatkaa kehityksessä oletettavasti vielä pitkään, ja tämän työn aikana opittuja asioita päästään varmasti soveltamaan käytännössä jatkokehityksessä.

## Lähteet

Dick, S. (2019). Artificial Intelligence. *Harvard Data Science Review*, 1(1).  
<https://doi.org/10.1162/99608f92.92fe150c>

Champanand, Alex J. (2004). AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviours. *New Riders* [saatavilla]  
<https://books.google.fi/books?id=ZpuR8GnBSGcC&lpg=PR35&ots=XI45vGGJuW&lr&pg=PA1#v=onepage&q&f=false>

Castronova, E., 2002. On virtual economies. *Indiana University*, [saatavilla]  
[https://www.econstor.eu/bitstream/10419/76069/1/cesifo\\_wp752.pdf](https://www.econstor.eu/bitstream/10419/76069/1/cesifo_wp752.pdf)

Nazir, M. & Lui, C.S.M., 2016. A brief history of virtual economy. *Journal for Virtual Worlds Research*, 9(1). [saatavilla] <https://jvwr-ojs-utexas.tdl.org/jvwr/index.php/jvwr/article/download/7179/6375>

Boehm, B. & Huang, L.G., 2003. Value-based software engineering: a case study. *Computer*, 36(3), s.33–41. [Saatavilla] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.545.3773&rep=rep1&type=pdf>

Lehdonvirta, V. and Castronova, E., 2014. *Virtual economies: Design and analysis*. *Mit Press*. [Saatavilla] <https://muse.jhu.edu/book/46988>

O'Neill, M., Vaziripour, E., Wu, J. and Zappala, D., 2016, November. Condensing steam: Distilling the diversity of gamer behavior. In *Proceedings of the 2016 internet measurement conference* (pp. 81-95). [saatavilla] <http://www.fht.byu.edu/static/papers/steam-imc-2016.pdf>

Urschel, A., 2011. Understanding real money trading in MMORPGs. *New World Disorder*, [saatavilla] [https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:87quX6QJ7-kJ:scholar.google.com/+video+game+money+scam&hl=en&as\\_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:87quX6QJ7-kJ:scholar.google.com/+video+game+money+scam&hl=en&as_sdt=0,5)

MIC (Japan Ministry of Internal Affairs and Communications), 2019. AI Utilization Guidelines Practical Reference for AI Utilization. The Conference toward AI Network Society [saatavilla] [https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000658284.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000658284.pdf)

Elverson, A., 2018. Spotify: Can machine learning drive content generation?. Harvard Business School Digital Initiative, [saatavilla] <https://digital.hbs.edu/platform-rctom/submission/spotify-can-machine-learning-drive-content-generation/>

BigData, 2021, History of AI use In Video Game Design [verkkolähde] [saatavilla] <https://bigdataanalyticsnews.com/history-of-artificial-intelligence-in-video-games/> (8.8.2022)

Bakkes, S., Spronck, P. and van den Herik, J., 2009. Rapid and Reliable Adaptation of Video Game AI. *IEEE*, [saatavilla] [https://sander.landofsand.com/publications/Bakkes\\_Spronck\\_Herik\\_-\\_Rapid\\_and\\_Reliable\\_Adaptation\\_of\\_Video\\_Game\\_AI.pdf](https://sander.landofsand.com/publications/Bakkes_Spronck_Herik_-_Rapid_and_Reliable_Adaptation_of_Video_Game_AI.pdf)

Paakki, J. and Taina, J., 2011. Ohjelmistojen vaatimusmäärittely. Luentokalvot. Helsingin yliopisto. [saatavilla] <https://www.cs.helsinki.fi/u/paakki/Vaatimus-11-Luentokalvot-1.pdf>

Anastasia, M. 2019, 10 Hilarious Ways Skyrim's Economy Makes No Sense, *The Gamer* [verkkoartikkeli] [saatavilla] <https://www.thegamer.com/skyrim-economy-makes-no-sense/> (8.8.2022)

O'Dwyer, R., 2020. Limited edition: Producing artificial scarcity for digital art on the blockchain and its implications for the cultural industries. *Convergence*, 26(4), pp.874-894. [saatavilla] <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1354856518795097>

The Old School Team, 2021, Grand Exchange Tax & Item Sink, Old School Runescape, [verkkolähde] [saatavilla] <https://secure.runescape.com/m=news/grand-exchange-tax--item-sink?oldschool=1> (8.8.2022)

Asadi, A.R. and Hemadi, R., 2018, November. Understanding Virtual Currencies in Video Games: A Review. IEEE, [saatavilla] <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2203/2203.14253.pdf>

Paradox Interactive, 2010, Victoria II Manual, Paradox Interactive [ohjekirja] [saatavilla] [http://cdn.akamai.steamstatic.com/steam/apps/42960/manuals/Victoria2\\_onlinemanual\\_English\\_USA.pdf](http://cdn.akamai.steamstatic.com/steam/apps/42960/manuals/Victoria2_onlinemanual_English_USA.pdf)

McCormick, J., 2020, How Valve Makes Billions in Passive Income. Better Marketing [verkkolähde] [saatavilla] <https://bettermarketing.pub/how-valve-makes-billions-in-passive-income-f0372e8693d2> (8.8.2022)

Ceriale, M., 2012, The Game within the Games: The Behaviors, Language, and Virtual Norms of RuneScape. University of Central Florida, [saatavilla] [https://writingandrhetic.cah.ucf.edu/wp-content/uploads/sites/17/2019/10/Stylus\\_4\\_1\\_Ceriale.pdf](https://writingandrhetic.cah.ucf.edu/wp-content/uploads/sites/17/2019/10/Stylus_4_1_Ceriale.pdf)

Schneider, F.B., 1990. The state machine approach: A tutorial. ACM Computing Surveys, [saatavilla] <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/98163.98167>

Ocio, S. and Brugos, J.A.L., 2009. Multi-agent systems and sandbox games. In Adaptive and emergent behaviour and complex systems: proceedings of the 23rd convention of the Society for the Study of Artificial Intelligence and Simulation of Behaviour, Heriot-Watt University, Edinburgh [saatavilla] <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.160.4115&rep=rep1&type=pdf>

Bourg, D. M. & Seemann, G. 2004. AI for Game Developers. O'Reilly Media [saatavilla] <https://www.cse.unr.edu/~sushil/class/381/notes/AIGDch04.pdf>

Pirovano, M. 2012. The use of Fuzzy Logic for Artificial Intelligence in Games. Department of Computer Science, University of Milano, Italy [saatavilla] [https://www.michelepirovano.com/pdf/fuzzy\\_ai\\_in\\_games](https://www.michelepirovano.com/pdf/fuzzy_ai_in_games)