



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JUUSO SALOMAA  
SYSTEEMIAJATTELU JOHTAMISESSA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Mikko Salmenperä

## TIIVISTELMÄ

**Juuso Salomaa:** Systeemiajattelu johtamisessa

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 17 sivua

Toukokuu 2018

Teknisten tieteiden TkK-tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka

Pääaine: Systeemitekniikka

Tarkastaja: Mikko Salmenperä

**Avainsanat:** systeemiajattelu, systeemidynamiikka, johtaminen

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, mitä tarkoitetaan käsitteellä systeemiajattelu, minkälaisia työkaluja ja metodeja siihen kuuluu, ja kuinka systeemiajattelun keinoja voidaan hyödyntää johtamisen tukena ja päätöksenteossa. Työssä käsitellään erilaisia systeemiajattelun työkaluja kuten vuorovaikutuskaaviota, varasto- ja virtauskaaviota sekä systeemidynamiikan periaatteita ja metodeita. Työn lopussa käsitellään systeemiarkkityyppejä ja esitellään niistä tyypillisimmät. Tutkimus on tehty kirjallisuusselvityksenä.

Systeemiajattelu on kompleksisiin ja dynaamisiin ongelmiin kehitetty tieteenala, joka pyrkii ymmärtämään systeemejä tutkimalla niiden osien välisiä sidoksia ja vuorovaikutuksia. Systeemiajattelun keinoin pyritään hahmottamaan systeemin kokonaisuus ja löytämään niin sanotut vipuvoimapistet, joihin puuttumalla saadaan tehokkaimmin systeemin käyttäytymiseen vaikutettua.

Systeemiarkkityypit ovat erilaisissa systeemeissä usein toistuvia systeemin rakenteesta johtuvia tapahtumaketjuja. Tunnistamalla systeemin käyttäytymisestä systeemiarkkityyppejä, voi tietoa systeemin mahdollisesta käyttäytymisestä käyttää päätöksenteossa huomioon ja soveltaa omiin ongelmiinsa.

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	SYSTEEMIAJATTELU .....	2
2.1	Systeemi .....	3
2.2	Systeemien merkitys .....	3
2.3	Viiveet systeemissä .....	4
3.	SYSTEEMIDYNAMIIKKA .....	6
3.1	Vuorovaikutuskaavio .....	7
3.2	Stock&Flow Diagram .....	8
3.3	Management Flight Simulator .....	9
3.4	Mallinnus- ja simulointiohjelmisto Vensim .....	10
4.	SYSTEEMIARKKITYYPIT .....	12
4.1	Fixes that fail .....	12
4.2	Success to the successful .....	13
4.3	Limits to success .....	14
5.	YHTEENVETO .....	16
	LÄHTEET .....	18

# 1. JOHDANTO

Maailmassa on lukematon määrä erilaisia systeemejä. Systeemi voidaan määritellä monella tapaa, mutta yleisin määritelmä on, että systeemi koostuu vähintään kahdesta osasta, joiden välillä on vuorovaikutus. Systeemin yhden osan käyttäytyminen vaikuttaa koko systeemin toimintaan, ja osat muodostavat kokonaisuuden, jolla on usein jokin tarkoitus. [1] Systeemit voivat olla esimerkiksi fyysisiä, sosiaalisia, biologisia tai ihmisten suunnittelempia systeemejä [2].

Kiihtyvässä talouden, yhteiskunnan ja ympäristön muutoksessa päätöksentekijöiden on opittava nopeasti kontrolloimaan hallitsemiaan systeemejä. Samaan aikaan systeemien kompleksisuus kasvaa. Monet ongelmat, joita tänä päivänä kohtaamme, aiheutuvat menneisyyden päätöksistä, joiden odottamattomia pitkän kantaman sivuvaikutuksia systeemiin tai sen ympäristöön ei ole osattu ottaa päätöksenteossa huomioon. Joskus tehdyt päätökset voivat jopa huonontaa tilannetta tai aiheuttaa täysin uusia ongelmia. Tämän kaltaisiin dynaamisiin ongelmiin on kehitetty systeemiajattelu. [3]

Systeemiajattelu on tieteenala, joka pyrkii ymmärtämään systeemejä tutkimalla niiden osien välisiä sidoksia ja vuorovaikutuksia. Systeemiajattelu tarjoaa menetelmät ja ajatusmallit, joiden avulla voidaan ymmärtää, analysoida sekä mallintaa kompleksisia systeemejä. Systeemiajattelun kulmakivenä on systeemin kokonaisuuden hahmottaminen ja vaikutuspisteiden selvittäminen. Systeemi voi olla esimerkiksi organisaatio, elinympäristö tai ihmisen rakentama kone. [4]

Tässä työssä tutkitaan, mitä on systeemiajattelu ja miten sitä voidaan hyödyntää johtamisen tukena. Tutkimusmenetelmänä on kirjallisuusselvitys. Systeemiajattelusta löytyy kirjallisuutta melko kattavasti, joten työn onnistuminen oli mahdollista. Keskeisenä tutkittavana kohteena ovat systeemiajattelun työkalut ja menetelmät, joiden avulla voidaan helpottaa esimerkiksi johtajien päätöksentekoa.

Työn toisessa luvussa esitellään systeemiajattelu yleisesti, sekä siihen liittyvät termit. Myös viiveen vaikutusta systeemin käyttäytymiseen käsitellään toisessa luvussa. Kolmannessa luvussa perehdytään systeemiajatteluun keskeisesti kuuluvan systeemidynamiikan periaatteisiin ja metodeihin. Neljännessä luvussa esitellään muutama olennainen systeemiarkkityyppi, jotka päätöksentekijän olisi hyvä hallita. Systeemiarkkityyppien ymmärtäminen ja käyttäminen on tärkeä osa systeemiajattelua [5].

## 2. SYSTEEMIAJATTELU

Yksinkertaisesti ilmaistuna systeemiajattelu on tapa nähdä ja puhua todellisuudesta. Systeemiajattelun avulla pyritään ymmärtämään systeemeitä ja vaikuttamaan niihin halutulla tavalla. Systeemiajattelun voidaan ajatella olevan myös näkökulma, jonka kautta ihminen tulkitsee maailmaa. Systeemiajattelu vaatii oman sanaston kuvaamaan systeemien käyttäytymistä, joten sen voidaan ajatella olevan myös kieli. Systeemiajattelu tarjoaa erilaisia tekniikoita ja välineitä systeemien kuvaamiseen, joten systeemiajattelun voidaan toisaalta sanoa olevan valikoima eri työkaluja. Systeemeillä voidaan ajatella olevan selkeät ulkoiset rajat, tai ne voivat olla avoimia systeemejä, jolloin ne ovat vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Avoimet systeemit ovat yleisempiä ja realistisempia tapauksia. [2] Lähes kaikki systeemit voidaan ajatella olevan avoimia. Esimerkiksi organisaatio vuorovaikuttaa hyvin vahvasti monen eri asian kanssa ja on näin ollen avoin systeemi.

Perinteistä systeemien tutkimiseen kehitettyä metodia kutsutaan reduktionismiksi. Reduktionismi näkee systeemin osat tärkeimpänä tutkimuskohteena. Siinä jaetaan koko systeemi pieniin osiin ja tutkitaan niiden käyttäytymistä ja muutoksia systeemissä ja näin pyritään lopulta ymmärtämään koko systeemin käyttäytymistä. Systeemin osien väliset suhteet ja riippuvuudet saavat aikaan sen, että koko systeemiä ei voida määrittää pelkästään sen irrallisten osien avulla. Tähän ongelmaan syntyi holistinen ajattelu. Holistisessa ajattelussa koetaan systeemin olevan enemmän kuin sen osiensa summa. Holismissa tärkeintä on systeemin osien väliset riippuvuudet sekä kokonaisuuden hahmottaminen. Holistisen ajattelun avulla pyritään ymmärtämään ja hallitsemaan etenkin kompleksisia, muuttuvia sekä monimuotoisia systeemejä, joita ei reduktionismin avulla pystytty menestyksekkäästi kuvaamaan. Systeemiajattelu on holistista ajattelua. [2][6]

Systeemiajattelun merkittävä kehittäjä Senge määrittelee systeemiajattelun tieteenalana, joka tutkii systeemejä kokonaisuuksina. Hän mainitsee kirjassaan *Fifth Discipline* näin: ”Systems thinking is conceptual framework, a body of knowledge and tools that has been developed over the past fifty years, to make the full patterns clearer, and to help us see how to change them effectively.” [7] Sweeney ja Sterman listaavat tutkimuksessaan [8] viisi taitoa, jotka kuuluvat systeemiajattelijan taitoihin. Nämä viisi taitoa ovat seuraavat:

1. ymmärtää, miten systeemin käyttäytyminen saa alkunsa systeemin muuttujien vuorovaikutuksesta ajan kuluessa.
2. saada selville ja esittää systeemin takaisinkytkentäprosessi.
3. identifioida systeemin stock&flow-rakenne.

4. tunnistaa systeemin viiveet ja ymmärtää niiden vaikutus.
5. tunnistaa ja haastaa ihmisten mentaalisten mallien rajoitukset.

## 2.1 Systemi

Systemi on kokonaisuus, joka koostuu eri osista ja jonka käyttäytyminen riippuu näiden osien välisistä suhteista. Systemejä on hyvin monenlaisia, esimerkiksi fyysisiä, biologisia, sosiaalisia sekä suunniteltuja systemejä. Systemi voi olla esimerkiksi kokonainen tehdas, joki, ihmisen sisäelin tai perheen voidaan myös ajatella olevan systemi. [2]

Systemeilla on seuraavanlaisia ominaisuuksia. Ensinnäkin systemillä on usein jokin tarkoitus. Esimerkiksi auton tarkoitus on tarjota keino kuljettaa ihmisiä ja asioita yhdestä paikasta toiseen. Tämä tarkoitus pätee vain kokonaiselle systemille, tässä tapauksessa autolle, eikä esimerkiksi auton moottorilla ole samaa tarkoitusta kuin koko autolla. Luonnon tai sosiaalisia systemejä voi olla paljon vaikeampi ymmärtää kuin elottomia systemejä, sillä usein ei voida tarkoin määrittää, mikä on esimerkiksi jonkin sosiaalisen systemin tarkoitus ja rakenne. Tämän vuoksi näihin systemeihin usein tehdään toimenpiteitä, joiden vaikutuksia ei täysin ymmärretä. [6]

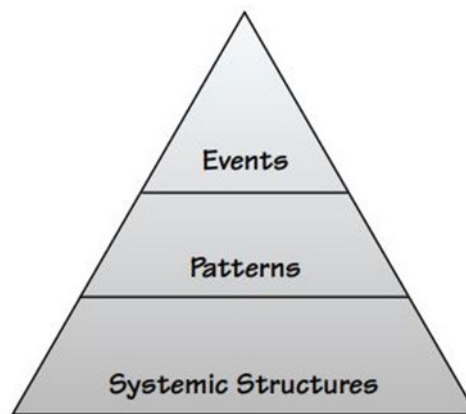
Kaikkien osien pitää olla toiminnassa, jotta systemi voi toimia tarkoituksenmukaisesti. Jos jostain voi ottaa yhden osan pois vaikuttamatta sen toimintaan, ei se ole systemi vaan pelkkä kokoelma osia. Sama pätee myös toisinpäin: jos johonkin lisätään jokin osa vaikuttamatta sen toimintaan, on se vain pelkkä kokoelma osia, eikä systemi. Systemien osien järjestyksellä on myös merkitystä. Systemit pyrkivät pysymään tasapainotilassaan takaisinkytkennän eli palautteen avulla. Takaisinkytkentä antaa informaatiota systemille sen toiminnasta, ja tämän mukaan systemi reagoi muutoksiin. Ihmisen lämpötilan säätely juostessa on tästä yksi esimerkki. Ihmisen juostessa ruumiin lämpötila nousee, mikä saa aikaiseksi hikoilun, joka pyrkii palauttamaan ruumiin normaalin lämpötilan. [6]

## 2.2 Systemien merkitys

Todellisuutta voidaan tarkastella seuraavien kolmen perspektiivitason kautta: tapahtumat, toistuvat kuviot ja systemin rakenne. Tämä on kuvattu kuvassa 1. Tapahtuma voi olla esimerkiksi havaittu viallinen tuote tuotantolinjalla. Tapahtuma on ikään kuin jäävuoren huippu, ja ainoastaan se on yksinkertaista havaita. Toistuvat kuviot (*patterns*) voidaan havaita ajan kuluessa seuraamalla tapahtumia. Tapahtumasarjoista voidaan havaita toistuvia trendejä, esimerkiksi viallisia tuotteita valmistuu tuotantolinjalla huomattavasti enemmän työvuorojen vaihtuessa. Tapa, jolla systemin osat on organisoitu, voidaan kutsua systemin rakenteeksi. Systemin rakenne aiheuttaa systemissä tapahtuvat

toistuvat kuviot ja tapahtumat. Tekemällä muutoksia systeemin rakenteen tasolla saadaan enemmän vipuvoimaa vaikuttaa systeemin toimintaan. [6] Tuntemalla hyvin systeemin rakenne voidaan systeemin käyttäytymiseen vaikuttaa huomattavasti tehokkaammin kuin puuttamalla vain yksittäisiin tapahtumiin.

Systeemin rakenteen syntymiseen etenkin organisaatioissa vaikuttaa myös niin sanotut mentaaliset mallit. Ne ovat ihmisten henkilökohtaisesti luomia malleja siitä, miten maailma heidän näkökulmastaan toimii. Ihmiset pitävät usein omista ajatusmalleistaan hyvin tiukasti kiinni, ja tämän vuoksi muun muassa kaikenlaisen muutoksen vastustaminen on yleistä. Mentaaliset mallit usein rajoittavat ihmisiä näkemästä systeemin kokonaisuutta. Senge kirjassaan *Fifth discipline* [7] esittää, että mentaalisten mallien ymmärtäminen ja niihin vaikuttaminen on tärkeä systeemijattelun taito, etenkin oppivan organisaation johtamisessa. Ymmärtämällä mentaalisten mallien merkityksen ihmisten käyttäytymisessä ja toiminnassa asioita pystyy näkemään eri perspektiiveistä. Näin kokonaiskuva systeemiin vaikuttavista tekijöistä kasvaa ja ongelmakohtiin voidaan tehokkaammin puuttua.

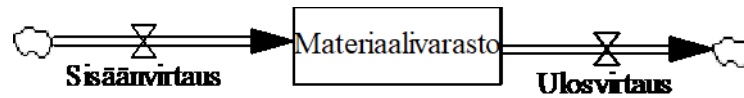


*Kuva 1. Jäätuvorirakenne [6].*

### 2.3 Viiveet systeemissä

Viiveet ovat keskeisiä systeemin dynamiikkaan vaikuttavia tekijöitä lähes kaikissa systeemeissä. Viive on prosessi, jonka ulostulo on jäljessä prosessin syötettä. Viiveet voivat aiheuttaa systeemiin epästabiilisuutta ja oskillointia. Systeemin mallintajan täytyy ymmärtää, miten viive käyttäytyy, miten esittää viiveet, miten valita oikeanlainen viive-tyyppi kuhunkin mallintamistilanteeseen sekä kuinka arvioida viiveiden kesto. [3] Viive-

veiden ymmärtäminen systeemin käyttäytymisessä on keskeisiä systeemiajattelun taitoja [7].



**Kuva 2.** Materiaaliviiveen rakenne. Perustuu lähteeseen [3].

Viivetyyppejä on kaksi, materiaaliviive ja informaatioviive. Viive tarvitsee syntyäkseen aina jonkin varaston. Materiaaliviive syntyy, kun prosessin sisäänmenon ja ulostulon virtausnopeuden välillä on ero. Tästä erosta johtuu, että sisään menevä materiaali varastoituu johonkin fyysiseen varastoon. [3] Materiaaliviiveen rakenne on kuvattu kuvassa 2.

Informaatioviive aiheutuu ihmisten käsityksistä ja uskomuksista. Esimerkiksi yrityksen tuotteiden tilausmäärä on pidemmän aikaa ollut noin 1 000 kappaletta päivässä, ja yritys uskoo tilausmäärän pysyvän jatkossa samana. Yhtenä päivänä tilausmäärä nousee yllättäen 2 000 kappaleeseen päivässä. Yritys ei todennäköisesti välittömästi muuta käsityksiään tulevaisuuden tilausmääristä. Jos tilausmäärät kuitenkin päivästä toiseen pysyvät 2 000 kappaleessa päivää kohden, yrityksen käsitykset kasvavaa tilausmäärää kohtaan alkavat vähitellen muuttua. Uuden informaation saamisen ja uuden käsityksen tilanteesta välillä on usein edellä mainitun kaltaista viivettä. Yleisesti informaatioviive johtuu ihmisten mentaalisista malleista, joiden päivittäminen ei onnistu välittömästi, kun uutta tietoa on saatavilla. Tiedon kerääminen ja sen sisäistäminen vaativat myös aikaa, mikä aiheuttaa viivettä. [3]



### 3. SYSTEEMIDYNAMIIKKA

Systeemidynamiikka kehitettiin professori Forresterin toimesta Massachusetts Institute of Technology- yliopistossa 1950-luvulla. Systeemidynamiikan metodien avulla mallinetaan systeemien osien väliset vuorovaikutukset sekä, kuinka vuorovaikutukset vaikuttavat systeemien käyttäytymiseen ajan kuluessa. [9] Systeemidynamiikka on metodi, jonka avulla pyritään oppimaan ja ymmärtämään kompleksisten systeemien käyttäytymistä. Systeemidynamiikkaa on hyödynnetty monilla eri tieteenaloilla, kuten insinööritieteissä, lääketieteessä ja taloustieteessä. Systeemidynamiikka perustuu suurelta osin epälineaariseen dynamiikkaan, takaisinkytkentäsäätöön sekä viiveiden tutkimiseen. Tämä onkin erottava tekijä muiden kompleksisia systeemejä tutkivien metodien kanssa. Tärkeä osa systeemidynamiikkaa on systeemin mallintaminen sekä systeemin mallin simulointi. [3]

Systeemiajattelu ja systeemidynamiikka tarkoittavat hyvin pitkälle samaa asiaa. Molemmissa prosessit alkavat ongelmasta, joka täytyy ratkaista. Ongelman ratkaisuun käytetään muun muassa vuorovaikutuskaaviota, jonka käyttö esitellään työssä myöhemmin. Systeemidynamiikassa ongelman ratkaisu pyritään lopulta ratkaisemaan kvantitatiivisin menetelmin, kun taas systeemiajattelussa tyydytään usein vain kvalitatiiviseen pohdintaan ja graafisiin esityksiin. Systeemidynamiikassa oikean elämän ongelmasta rakennetaan tietokonesimulaatio, jota hyödyntämällä voidaan tutkia systeemin rakenteen ja päätöksenteon vaikutuksia systeemin käyttäytymiseen. [10]

Jay Forresterin luoma metodologia systeemidynamiikan hyödyntämiseen käytännössä sisältää neljä vaihetta [2]:

1. ongelman ja muuttujien identifiointi
2. takaisinkytkentämallin rakentaminen (vuorovaikutuskaavio, stock&flow-kaavio)
3. tietokonesimulaation rakentaminen
4. tietokonemallin käyttäytymisen vertaaminen oikean systeemin käyttäytymiseen.

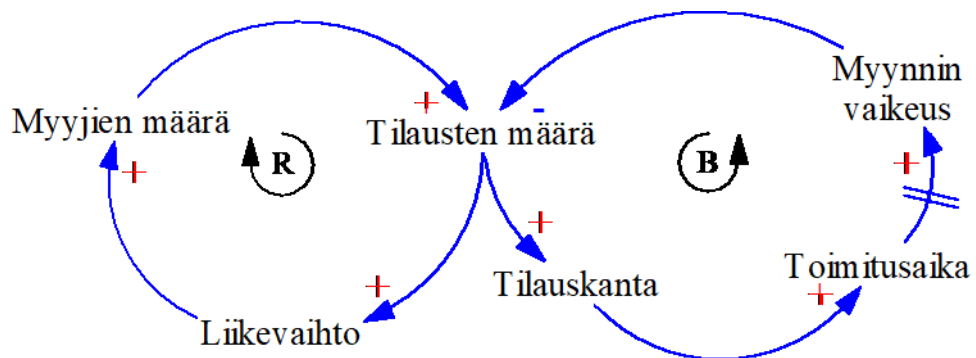
Ensimmäisessä vaiheessa määritellään ratkaistava ongelma sekä muuttujat, jotka vaikuttavat ongelman syntymiseen. Toisessa vaiheessa selvitetään takaisinkytkentöjen avulla muuttujien väliset vuorovaikutukset. Vuorovaikutuskaavion pohjalta rakennetaan seuraavassa vaiheessa tietokoneohjelman avulla matemaattinen malli. Viimeisessä vaiheessa mallia simuloidaan ja tehdään tarvittavia muutoksia malliin. Kun malli on riittävän pätevä kuvaamaan esittämäänsä systeemiä, mallia simuloidaan eri asetuksilla. Näin mallintajat voivat nähdä, kuinka erilaiset päätökset parantavat systeemin suorituskykyä. Lopulta mallin pohjalta tehdään korjaavia ehdotuksia päätöksentekijöille. [2]

### 3.1 Vuorovaikutuskaavio

Takaisinkytkentä on yksi keskeisistä käsitteistä systeemidynamiikassa. Ihmisten mentaaliset mallit eivät usein kykene kuvaamaan tarpeeksi hyvin kriittisiä takaisinkytkentöjä, jotka määrittelevät systeemin dynamiikan. Systeemidynamiikkaan kuuluu monia graafisia työkaluja, joiden avulla systeemin rakenne voidaan kuvata. Vuorovaikutuskaavio (engl. *causal loop diagram*, CLD) on yksi näistä työkaluista. [3]

CLD on tärkeä työkalu systeemin takaisinkytkentöjen kuvaamiseen. Sitä käytetään paljon akateemisessa työssä, sekä se on yleistymässä myös liiketoiminnassa. CLD voi auttaa löytämään ongelman varsinaisen aiheuttajan, sekä se voi paljastaa ihmisten tai esimerkiksi työyhteisön mentaalisia malleja, jotka voivat myös olla syypäänä ongelman syntymiseen. [6]

CLD koostuu muuttujista, jotka ovat yhdistettynä nuolilla osoittaen muuttujien välisen kausaalisuuden. Jokaisen nuolen perään laitetaan joko positiivinen (+) tai negatiivinen (-) merkki kuvaamaan muuttujan aiheuttamaa muutosta toisessa muuttujassa. Positiivinen merkki tarkoittaa, että ensimmäisen muuttujan muutos saa aikaan samansuuntaisen muutoksen toiseen muuttujaan. Negatiivinen merkki tarkoittaa vastakkaista muutosta. Vastaavina merkkeinä voidaan käyttää myös kirjaimia ”s” (*same*) ja ”o” (*opposite*). Nuolien merkit kuvaavat vain systeemin rakennetta, eivätkä muuttujien dynaamista käyttäytymistä. Kuvaajia tulkitessa täytyy muistaa, että yhteen muuttujaan vaikuttaa usein monta eri tekijää. Säännöt CLD:n piirtämiseen ovat yksinkertaiset, mutta selkeän kaavion tekeminen vaatii harjoittelua. [3]

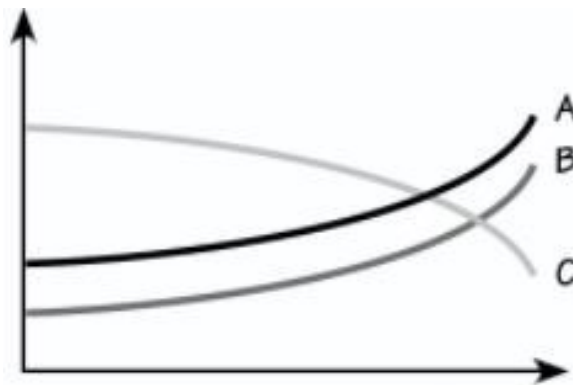


**Kuva 3.** Esimerkki CLD-kuvaajasta. Perustuu lähteeseen [7].

Kuvassa 3 on yksinkertainen esimerkki CLD-kuvaajasta. Vasemmanpuoleinen silmukka on vahvistava (*reinforcing*) ja oikeanpuoleinen tasapainottava (*balancing*) silmukka.

Kasvava tilausten määrä saa aikaan liikevaihdon kasvun, mikä aiheuttaa myyjien määrän lisääntymisen. Tämä saa aikaan tilausten määrän kasvamisen. Tilauskannan kasvaessa ja tuotannon pysyessä samana, kasvaa tuotteiden toimitusaika. Toimitusajan kasvu aiheuttaa viiveellä yrityksen tuotteiden myymisen vaikeuden. Viivettä kuvataan kuvassa 3 poikkiviivalla. Kun myynti on vaikeampaa kuin ennen, tilausten määrä laskee.

CLD tarjoaa käytännöllisen tavan esittää systeemin dynaamiset suhteet ja systeemin rakenne. Yhdessä *Behaviour Over Time* -kuvaajien (BOT) kanssa CLD tarjoaa hyvän rungon kuvaamaan kompleksisia dynaamisia ilmiöitä. BOT-kuvaajissa samaan graafiseen kuvaajaan on esitetty tutkittavat muuttujat, joiden välisiä suhteita ajan muuttuessa halutaan tutkia. [11] Kuvassa 4 on esimerkki BOT-kuvaajasta.

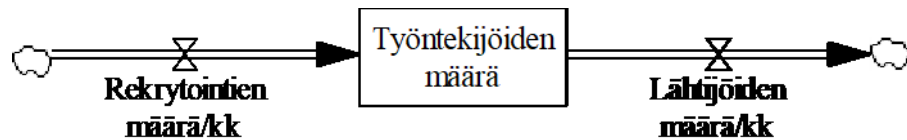


**Kuva 4.** Esimerkki *Behaviour Over Time* -kuvaajasta [11].

### 3.2 Stock&Flow Diagram

Keskeisimpiä systeemidynamiikan käsitteitä takaisinkytkennän ohella ovat ”*stock*” ja ”*flow*”, suomeksi varasto ja virtaus. Stock&flow -diagrammi (SFD) kuvaa systeemin dynamiikkaa virtausten ja varaston avulla. SFD:n käyttäminen on oleellinen taito nykypäivän systeemien mallintajalla. Usein systeemin mallintajat aloittavat mallinnusprojektin tekemällä systeemistä CLD:n ja johtamalla siitä edelleen SFD:n. [3] Lähes kaikissa simulointiohjelmistoissa käytetään mallia, joka pohjautuu SFD:hen [10]. Systeemin takaisinkytkentöjen ja vuorovaikutusten tutkiminen systeemin käyttäytymiseen edellyttää simulointia, ja SFD:tä käytetään tähän [2]. Kuvassa 5 on esimerkki stock&flow -diagrammista.

Varastot kuvaavat systeemin tilaa ja ne luovat informaatiota, johon päätökset ja toimenpiteet perustuvat. Varastot luovat systeemiin hitautta ja mahdollistavat viiveen syntymisen systeemiin. Varasto voi olla esimerkiksi varasto valmiille tuotteille, pankkitilin saldo tai työntekijöiden määrä yrityksessä [3], kuten kuvassa 5 on esitetty.



*Kuva 5. Esimerkki stock&flow -diagrammista. Perustuu lähteeseen [3].*

Kuvassa 5 on esitetty SFD:n tärkeimmät osat. Kuvassa vasemmanpuoleinen ”pilvi” merkitsee virtauksen alkuperäistä lähdettä, ja oikeanpuoleinen pilvi virtauksen lopullista kohdetta. Näiden pilvien voidaan ajatella rajaavan tutkittavan mallin, ja niiden kapasiteetin oletetaan olevan rajaton. Venttiilit säätelevät virtauksia, joita esitetään nuolilla. Virtauksen yksikkönä on määrä aikayksikössä, esimerkiksi kg/h. Varaston kertymä aiheutuu sisään virtauksen ollessa suurempi kuin ulos virtauksen. Varasto esitetään kuvaajissa suorakulmiona. Kaikki stock&flow -rakenteet muodostuvat näistä komponenteista. [3]

Systeemidynamiikassa käytetään SFD:tä kuvaamaan kaiken kokoisia ja kompleksisia systeemejä, ja ne mahdollistavat myös epälineaaristen systeemien simuloinnin. Seuraavassa listassa on esitetty simulointimallin vaihtoehtoiset rakentamistavat [10]:

1. systeemin tutkiminen ja CLD:n laatiminen
2. CLD:n tila- ja virtausmuuttujien identifiointi
3. tilamuuttujien koon määrittely
4. virtausnopeuksien määrittely
5. tila- ja virtausmuuttujien yhdistäminen laatimalla SFD
6. simulointiajan määrittely.

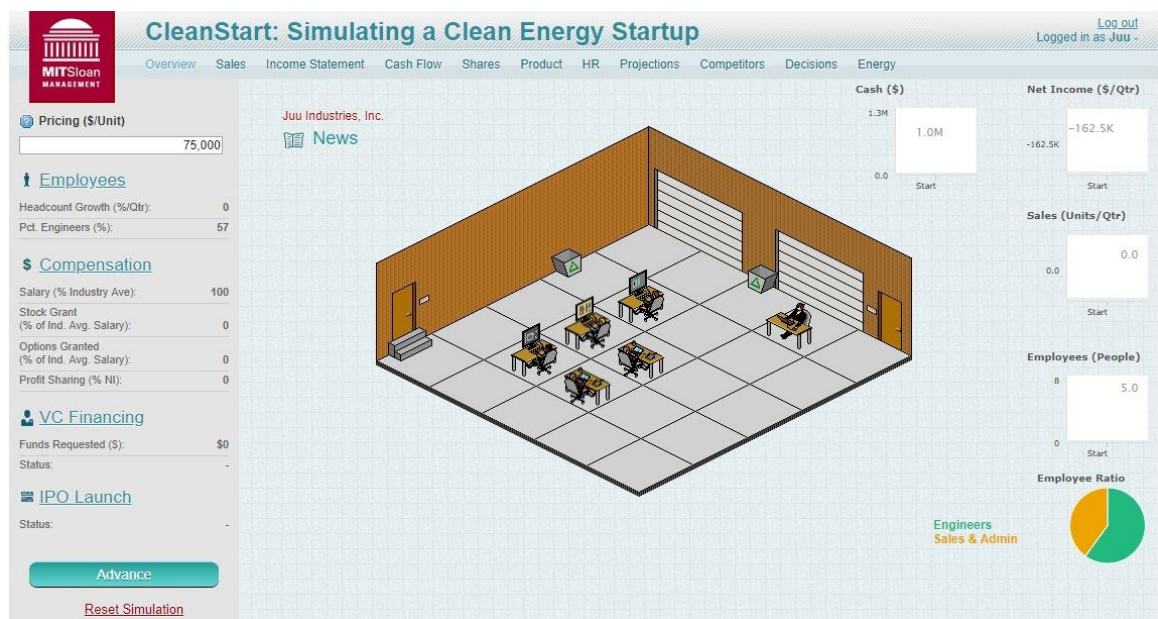
Lukuisia simulointiohjelmistoja on kehitetty simuloimaan systeemejä, joilla on korkea määrä muuttujia. Siirtyminen CLD:sta numeeriseen simulointiin on nykypäivänä suhteellisen helppoa ohjelmistojen avulla ilman, että mallintajan tarvitsee kirjoittaa systeemin differentiaali- tai differenssiyhtälöitä, jotka kuvaavat systeemin muuttujien käyttäytymistä ajan suhteen. [10]

### 3.3 Management Flight Simulator

*Management flight simulator* (MFS) on päätöksenteon tueksi ja opettamiseksi etenkin johtajille ja johtamisesta kiinnostuneille kehitetty pelinomainen malli jostain systeemistä, kuten yrityksestä. MFS on helppokäyttöinen ja helposti ymmärrettävissä oleva tietokoneohjelma, jonka ohjauspaneelin taakse kätkeytyy systeemin kompleksisuus. Johtajat voivat simulaatiossa koittaa erilaisia ratkaisuja, ja kokea lyhyessä ajassa, kuinka heidän tekemänsä ratkaisut vaikuttavat pitkällä aikavälillä systeemiin. MFS:n toteutuksessa on

erityisen tärkeää oikeiden asetusten ja parametrien suunnittelu. MFS on vain malli oikeasta systeemistä, eikä näin ollen voi olla täysin identtinen kopio oikeasta systeemistä. Harjoittellessa päätöksentekoa MFS:n avulla tavoitteena on saada johtajat kyseenalaistamaan omia mentaalaisia mallejaan, ja korvata heidän ajatuksensa enemmän systemaattisemmalla ajatusmaailmalla. [2]

Massachusetts Institute of Technology -yliopisto on pitkään ollut toiminnallisen oppimisen pioneereja, ja yliopisto on kehittänyt monia erilaisia MFS:iä. Yksi yliopiston toteuttama MFS käsittelee uuden *clean tech* -yrityksen perustamista ja sen kehittämistä menestyväksi yritykseksi. Pelissä jokaisella neljänneksellä johtajan täytyy asettaa muun muassa tuotteen hinta, päättää uusien insinöörien ja myyjien palkkauksesta sekä voiton jaosta. Myös rahoituksen hankinta on yksi päätettävä asia. Pelin tavoitteena on saada johtajat kokemaan startup-yrityksen haasteet vaativassa kilpailutilanteessa koskien henkilöstöresursseja, taloudellisia, strategisia ja muita päätöksiä. [9] Kuvassa 6 on esitetty kyseisen MFS:n aloitusnäyttö.



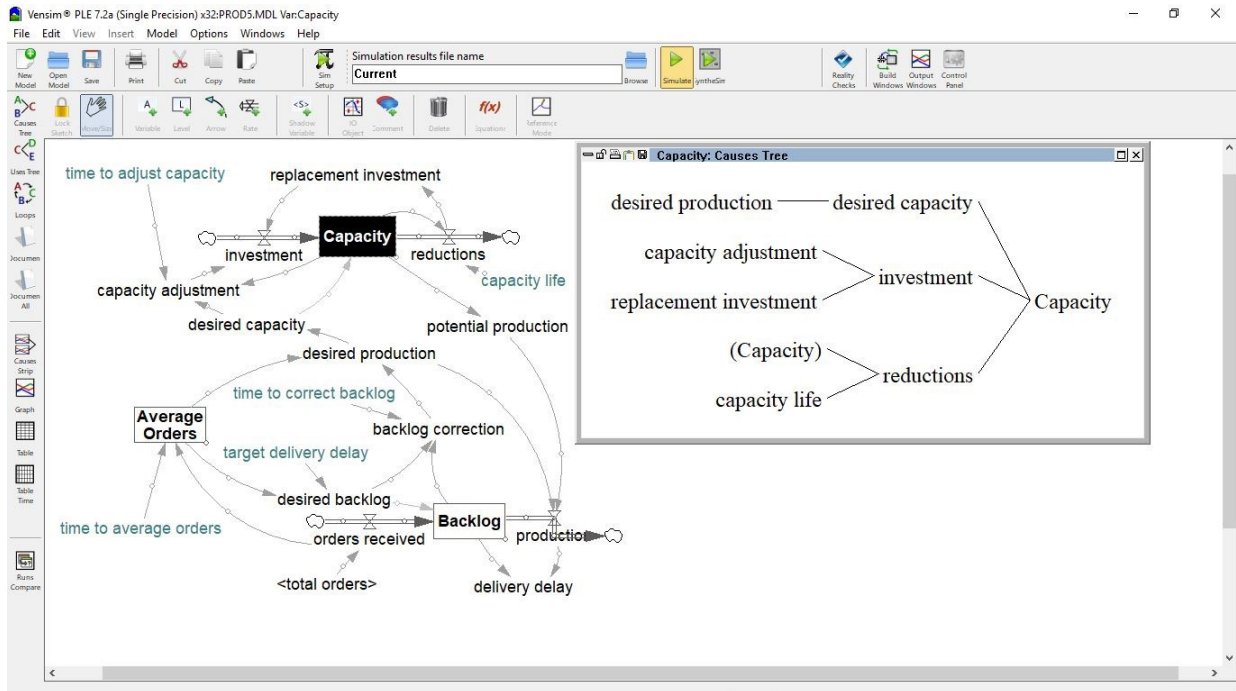
**Kuva 6.** MIT:n kehittämä Management Flight Simulator [12].

### 3.4 Mallinnus- ja simulointiohjelmisto Vensim

Vensim on Ventana Systemsin kehittämä simulointiohjelmisto. Vensim tarjoaa graafisen käyttöliittymän muun muassa vuorovaikutuskaavioiden ja stock&flow -diagrammien mallintamiseen. Käytännössä ohjelmistolla voidaan mallintaa ja simuloida mikä tahansa systeemi, jonka elementit ja niiden väliset vuorovaikutukset voidaan kuvata matemaattisilla suhteilla. Vensim tarjoaa helpon ja sujuvan tavan rakentaa dy-

naamisia systeemimalleja, syy- ja seuraus -kaavioita ja rakenteellisia kaavioita ottaen huomioon systeemin takaisinkytkennät. Vensim sisältää patentoidun metodin systeemin kausaalisten suhteiden seuraamiseen. [13] Esimerkki tästä on esitetty kuvassa 6, jossa kapasiteettiin vaikuttavat muuttujat on esitetty puumaisella rakenteella.

**Kuva 7.** Esimerkki Vensimillä tehdystä mallista [13].



Vensim tarjoaa myös mahdollisuuden jakaa oma interaktiivinen mallinsa muiden käyttäjien nähtäville, ja näin ollen muiden käyttäjien tekemien mallien hyödyntäminen on mahdollista. [14] Tämän työn CLD- ja stock&flow-kaaviot on tehty Vensimillä.

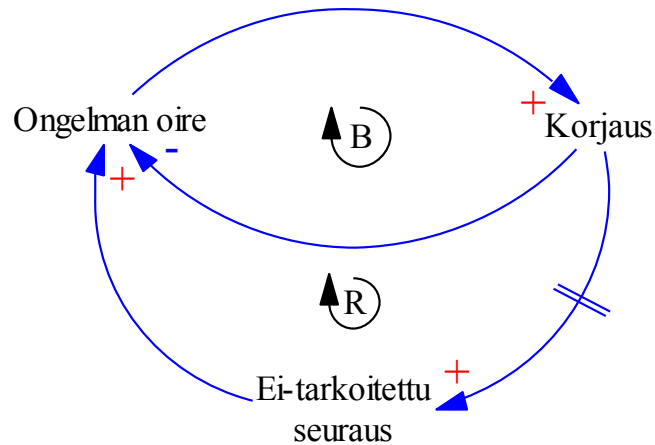
## 4. SYSTEEMIARKKITYYPIT

1960-luvulta lähtien systeemiajattelun pioneerit alkoivat havaita systeemeissä jatkuvasti toistuvia, samankaltaisia rakenteita. Yksi merkittävimmistä systeemiajatteliijoista, Peter Senge, antoi kirjassaan *Fifth Discipline* näille rakenteille käsitteen systeemiarkkityyppi. Kirjassaan Senge esittelee kahdeksan tyypillisintä systeemiarkkityyppiä. Niitä pidetään yhtenä tärkeimmistä systeemiajattelun työkaluista. [5]

Jokainen systeemiarkkityyppi esittää tiettyä teemaa tai tapahtumasarjaa, joka voidaan kuvata vuorovaikutuskaavion avulla. Systeemiarkkityyppien merkitys systeemiajattelussa on siinä, että niistä voidaan oppia yleisiä systeemirakenteen aiheuttamia vaikutuksia systeemiin, ja soveltaa opittuja asioita omiin arkipäiväisiin ongelmiinsa. [5][7] Tässä kappaleessa esitellään muutama olennaisin systeemiarkkityyppi johtamistyön kannalta.

### 4.1 Fixes that fail

Tämä arkkityyppi alkaa ongelmasta ja pyrkimyksestä ratkaista se. Usein ei kuitenkaan pureuduta syvemmin ongelman varsinaisiin aiheuttajiin, vaan pyritään vain peittelemään oireita ja ratkaisemaan ongelma nopeasti. Korjaus yleensä helpottaa tilannetta hetkellisesti, mutta pidemmällä aikavälillä korjaustoimenpide voi aiheuttaa sivuvaikutuksia, kuten ongelman uusiutumisen tai jopa tilanteen huonontumisen. Tällainen tilanne johtaa usein siihen, että vääriä korjaavia toimenpiteitä tehdään kerta toisensa jälkeen, mikä voi aiheuttaa tilanteen riistäytymisen käsistä. [5][7] Kuvassa 8 on esitetty tämän arkkityypin CLD.



**Kuva 8.** *Fixes that fail* -systeemiarkkityypin CLD. Perustuu lähteeseen [3].

Viiveellä on tällaisessa tilanteessa suuri rooli. Ihmiset eivät usein kykene näkemään kunnolla syy-seuraus-suhteita, kun näiden välinen aika on riittävän pitkä. Ihmiset ovat luontaisesti valmiimpia toimimaan muun muassa nopeissa henkeä uhkaavissa tilanteissa, kuin ennakoimaan ja valmistautumaan pitkälle tulevaisuuteen. Esimerkkinä *Fixes that fail*- arkkityypistä on aloitteleva yrittäjä, joka rahan puutteessa kerta toisensa jälkeen ottaa pieniä lainoja selvitäkseen pahimman yli. Tämä johtaa kasvaviin lainanhoitokuluihin, eikä tämä ratkaisu pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna ole kannattavin päätös. Nopea korjaava toimenpide helpottaa väliaikaisesti, mutta lopulta systeemin vahvistava silmukka ottaa vallan, ja yrittäjän tilanne muuttuu tukalammaksi kasvavien lainanhoitokulujen myötä.

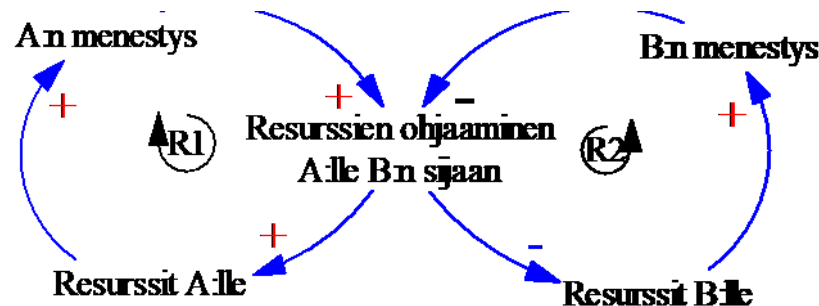
Tämän arkkityypin opetus on, että yleensä helppo ja nopea ongelman selvittäminen ei ole oikea ratkaisu. Päätöksentekijän on pyrittävä identifioimaan ongelma ja sen syntyneen aiheuttama dynamiikka. Tämän jälkeen pohditaan ja vertaillaan eri toimenpiteiden aiheuttamia pitkän aikavälin vaikutuksia systeemiin. Lopulta pyritään löytämään ongelmaan ratkaisu, joka voidaan toteuttaa mahdollisimman pienin ponnisteluin, mutta jonka avulla saadaan silti merkittävä hyöty. Englanninkielisessä kirjallisuudessa tästä käytetään termiä *high-leverage point*. Yrittäjän tapauksessa parempi ratkaisu olisi ottaa kohtuullisen kokoinen ja pitkäaikainen laina, kuin ottaa monia pieniä lainoja. [5][7]

## 4.2 Success to the successful

Tämä arkkityyppi on hyvin yleinen monessa arkipäivän tilanteessa. Esimerkiksi työpaikalla on aluksi kaksi yhtä pätevää työntekijää, joista toinen sairastuu viikoksi heti työsuhteen alussa. Tämä johtaa siihen, että terve työntekijä saa tällä aikaa enemmän huomiota ja vastuuta työnantajaltaan. Sairaslomalaisen palattua töihin sama tilanne työpai-



kalla jatkuu. Kaksi henkilöä taistelee samoista resursseista, ja jos toinen näistä alkaa menestyä työssään paremmin kuin toinen, on menestymisen kierre valmis. [5]

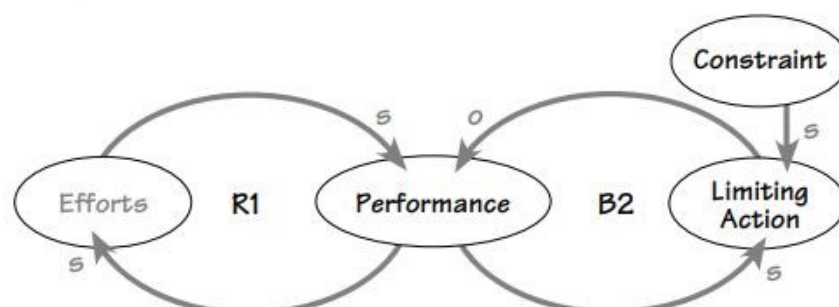


**Kuva 9.** *Success to the successful* -systeemiarkkityypin CLD. Perustuu lähteeseen [7].

Tässä arkkityypissä on kaksi tai enemmän esimerkiksi yksilöä, ryhmää tai projektia, jotka kamppailevat samoista resursseista. Jos joku näistä aloittaa paremmilla resursseilla kuin toiset, on sillä suurempi todennäköisyys menestyä paremmin jatkossa johtuen tämän systeemiarkkityypin rakenteesta. Menestyminen heti alussa saa päätöksentekijät sijoittamaan enemmän resursseja menestyjiin, ja näin vahvistava silmukka on valmis. Samaan aikaan resurssien ohjaaminen jo menestyneille on pois huonommin aloittaneilta, mikä aiheuttaa myös vahvistavan silmukan. *Success to the successful* -arkkityypin rakenne on kuvattu kuvassa 9. [5][7] Johtajan on hyvä etenkin alussa varmistaa resurssien tasavertainen jakaminen, jotta tämän kaltainen arkkityyppi ei pääse toteutumaan. Näin kaikilla työntekijöillä tai projekteilla on tasavertainen mahdollisuus menestyä.

### 4.3 Limits to success

Tässä arkkityypissä esimerkiksi yritys pyrkii kasvattamaan liiketoimintaansa toteuttamalla kasvua tukevia toimintoja. Toimintojen aikaansaama positiivinen muutos liiketoimintaan saa usein aikaan sen, että se rohkaisee yritystä käyttämään jatkossakin näitä toimintoja jatkaakseen kasvua. Ajan kuluessa yritys kohtaa kuitenkin jonkin kasvua rajoittavan tekijän. Kasvun hidastuessa yritys panostaa entistä enemmän kasvua tukeviin toimintoihin, vaikka parempi ratkaisu olisi keskittyä kasvua rajoittavan tekijän poistamiseen tai vähentämiseen.



**Kuva 10.** *Limits to success* -systeemiarkkityypin CLD [5].

Kuvassa 10 on esitetty tämän systeemiarkkityypin vuorovaikutuskaavio. Se koostuu vasemmanpuoleisesta vahvistavasta silmukasta ja oikeanpuoleisesta tasapainottavasta silmukasta. Tyypillistä tälle systeemiarkkityypille on, että aluksi vahvistava silmukka on selvästi hallitseva silmukka systeemissä. Rajoittava tekijä alkaa viiveellä vaikuttamaan systeemiin ja lopulta alkaa dominoimaan systeemin dynamiikkaa. Tärkeitä kysymyksiä löytääkseen systeemin rajoittavan tekijän on esimerkiksi, mitä paineita kasvu aiheuttaa systeemiin, miten nuo paineet voivat heikentää systeemin toimintakykyä sekä, mitä kapasiteettirajoituksia ja pullonkauloja systeemissä voi olla. [5][7] Kasvua tavoittelevan johtajan on hyvä pitää mielessä, että mitä kovemmin systeemiin tehdään työtä, sitä kovemmin systeemi usein pyrkii vastustamaan muutosta.

## 5. YHTEENVETO

Systeemiajattelun keinoin pyritään saamaan systeemistä kokonaisvaltainen käsitys, mitkä ovat systeemin osien väliset vuorovaikutukset sekä kuinka ne vaikuttavat koko systeemin käyttäytymiseen. Systeemiajattelu on kokoelma erilaisia metodeja ja työkaluja, joiden avulla systeemin toimintaa pyritään mallintamaan. Systeemiajattelu vaatii oman sanaston, joten sen voidaan sanoa olevan myös kieli.

Systeemiajatteluun kuuluvia keskeisiä käsitteitä ovat vuorovaikutuskaavio, stock&flow-kaavio, systeemin viive, systeemidynamiikka sekä systeemiarkkityypit. Vuorovaikutus- ja stock&flow -kaavioiden avulla mallinnetaan systeemin osien välisiä vuorovaikutuksia ja koko systeemin käyttäytymistä. Jos mallit ovat hyvin epätarkkoja, eivät ne voi antaa hyödyllistä informaatiota päätöksentekijöille systeemin tulevasta käyttäytymisestä.

Systeemidynamiikan käyttö perustuu systeemin mallintamiseen ja simulointiin, minkä avulla voidaan saada käyttökelpoista informaatiota päätöksentekijöille. Systeemidynamiikan keinoin voidaan monimutkaisistakin systeemeistä saada selville niin sanotut vipuvoimapistet, joihin vaikuttamalla saadaan systeemin toimintaa parannettua usein hyvinkin pienin muutoksin. Systeemidynamiikan mukaan systeemin rakenne on suurin vaikuttava tekijä systeemin käyttäytymiseen. Tämän vuoksi päätöksentekijöiden tulisi tehdä muutoksia systeemin rakenteen tasolla, eikä vain puuttua yksittäisiin tapahtumiin.

Pitkäaikaisten vaikutusten analysointi ja toimintojen viiveiden ymmärtäminen on oleellista päätöksentekijöille. Usein nopea ja helppo ongelman korjaustoimenpide ei ole paras ratkaisu vaan päätöksentekijän on osattava katsoa ongelmaa kokonaisvaltaisesti ja kauaskantoisesti. Nykypäivänä dataa on tarjolla runsaasti ja päätöksentekijöiden tulisi osata hyödyntää tätä. Systeemidynamiikan menetöt ovat käyttökelpoisia ja soveltuvat lähes jokaiseen ongelman ratkaisuun. Päätöksentekijän täytyy kuitenkin pitää mielessä, että kaikkea ei aina kannata yrittää mallintaa ja simuloida. Haasteita systeemidynamiikan metodien käyttämisessä on ennen kaikkea ihmisten käyttäytymisen mallintaminen. Jokainen ihminen on erilainen ja tämän vuoksi on vaikea ennustaa, kuinka joku ihminen tulee tulevaisuudessa toimimaan. Kehittyvän tekoälyn seurauksena yksittäisen ihmisen käyttäytymisen oppiminen ja mallintaminen voi tuoda lisäarvoa tulevaisuuden johtajille. Haasteena mallintamisessa ja siitä johdetulla ennustamisella on aina kuitenkin riskinsä. Niin sanottu perhosvaikutus voi tehdä hyvästäkin mallista täysin käyttökelvottoman.

Systeemiarkkityypit ovat monissa erilaisissa systeemirakenteissa usein toistuvia tapahtumaketjuja. Ne ovat vuorovaikutuskaavion avulla kuvattuja tyypillisiä systeemin käyttäytymismalleja. Esimerkkinä systeemiarkkityypistä on *Fixes that fail* -arkkityyppi. Se kuvaa kuinka johonkin ongelmaan on puututtu nopealla ja helpolla ratkaisulla, joka ajan kuluessa aiheuttaaakin tilanteen uusiutumisen tai jopa huonontumisen. Systeemiarkkityyppien tunnistaminen ja soveltaminen on hyödyllinen taito johtamistyössä. Systeemiarkkityypit on koottu tutkimalla monia erilaisia systeemejä ja niiden käyttäytymistä. Näin johtaja voi käyttää hyväkseen tietoa muiden systeemien käyttäytymisestä tietyssä tilanteessa.

Työn tavoitteena oli tutkia, mitä tarkoitetaan systeemiajattelulla ja kuinka sitä voidaan hyödyntää johtamistyössä. Työssä on esitetty yleisimmät ja hyödyllisimmät systeemiajattelijan tarvitsemat työkalut ja menetöt. Työssä on esitetty myös esimerkkejä erilaisten systeemien mahdollisesta käyttäytymisestä tietyssä tilanteessa. Näistä esimerkeistä asiasta kiinnostunut voi ottaa opiksi ja soveltaa tarvittaessa omiin ongelmiinsa. Työ kattaa systeemiajattelun peruskäsitteet hyvin ja antaa lukijalle selkeän kuvan systeemiajattelusta ja sen tuomista hyödyistä johtamiseen ja päätöksentekoon. Tavoitteisiin nähden työ onnistui hyvin.

Systeemiajattelu on laaja-alainen käsite ja siihen kuuluvia erilaisia metodeja on monia. Jatkotutkimuksia aiheesta voisi tehdä esimerkiksi tutkimalla, miten konkreettisesti jotkin yritykset ovat ottaneet systeemiajattelun menetöt käyttöön, ja minkälaisia hyötyjä he ovat sillä saavuttaneet.

## LÄHTEET

- [1] R.W. Stotz, System definition: Defining the intended use for a system. Journal of Validation Technology, web page. Available (accessed 20.3.2018): <https://search-proquest-com.libproxy.tut.fi/docview/205476425?accountid=27303>.
- [2] M.C. Jackson, Systems thinking: creative holism for managers, John Wiley & Sons, Chichester, 2003.
- [3] J.D. Sterman, Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world, Boston, 2000.
- [4] Basic principles of systems thinking as applied to management and leadership | The Institute For Systemic Leadership, web page. Available (accessed 21.3.2018): <http://www.systemicleadershipinstitute.org/basic-principles-of-systems-thinking-as-applied-to-management-and-leadership/>.
- [5] D.H. Kim, V. Anderson, Systems archetype basics, Rev. ed. ed. Pegasus Communications, Waltham, Mass, 2007.
- [6] Introduction to Systems Thinking, web page. Available (accessed 18.3.2018): <https://thesystemsthinker.com/introduction-to-systems-thinking/>.
- [7] P.M. Senge, The fifth discipline: the art and practice of the learning organization, Doubleday Currency, New York, 1990.
- [8] A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach, in: Procedia Computer Science, 2015, web page. Available (accessed 3.4.2018): <https://www.sciencedirect-com.libproxy.tut.fi/science/article/pii/S1877050915002860>
- [9] MIT Management Sloan School, web page. Available (accessed 6.4.2018): <http://mitsloan.mit.edu/faculty-and-research/academic-groups/system-dynamics/>.
- [10] P. Mella, Systems thinking: Intelligence in action, 2012.
- [11] D. Kim A, Palette of Systems Thinking Tools, web page. Available (accessed 5.4.2018): <https://thesystemsthinker.com/a-palette-of-systems-thinking-tools/>.
- [12] Management Simulation Games, web page. Available (accessed 7.4.2018): <https://mitsloan.mit.edu/LearningEdge/simulations/Pages/Overview.aspx>.
- [13] Vensim PLE 7.2a -ohjelmisto.
- [14] Vensim, Ventama Systems, web page. Available (accessed 20.4.2018): <http://vensim.com/vensim-software/>