



# Tekninen velka: ketterän kehityksen hinta

Ildikó Makra

Opinnäytetyö, AMK

Helmikuu 2024

Insinööri (AMK), tieto- ja viestintätekniikka

**Ildikó Makra**

## **Tekninen velka: ketterän kehityksen hinta**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Helmikuu 2024**, 40 sivua.

Tieto- ja viestintätekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Julkaisulupa avoimessa verkossa: kyllä

## **Tiivistelmä**

Tekninen velka on ohjelmistoalan käytössä oleva termi, johon yleisimmin suhtaudutaan ongelmana ja haasteena. Teknisen velkaantumisen seuraamuksia ovat muun muassa kehitystyön hidastuminen, ylläpitotehtävien hankaloituminen, työuupumus sekä toimitetun tuotteen laadun heikkeneminen. Ohjelmistoprojektien suurin haaste on työmäärän oikeanlainen ennakoarvointi, joka mahdollistaa toimituksen aikataulun suunnittelua.

Uusia oivalluksia tarjottiin kirjallisuuskatsauksen muodossa käsittelemällä teknisen velkaantumisen kannattavuuteen liittyviä keskusteluja eri sidosryhmien näkökulmasta. Erityistä huomiota kiinnitettiin ohjelmistokehittäjiin, joiden työhyvinvointia pidettiin olennaisena tekijänä toimitetun tuotteen taloudellisen menestyksen sekä arvokkaiden työntekijöiden sitouttamisen kannalta.

Tutkimusmuotona käytettiin integroivaa kirjallisuuskatsausta, jossa valittua tutkimusaineistoa analysoitiin temaattisen analyysin menetelmiä hyödyntäen. Kirjallisuuskatsauksen aineisto valikoitui osittain tunnetuimmista tietokannoista ja lähteitä haettiin myös manuaalisesti. Katsaukseen sisällytettiin kymmenen tutkimusartikkelia. Aineiston analyysin keskiössä oli vastauksen etsiminen ennalta asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

Tutkimustulosten mukaan teknistä velkaa otettiin joskus strategisesti, ohjelmistotuotteen nopean markkinoille saattamisen mahdollistamiseksi. Kuitenkin organisaatiot maksoivat tästä strategiasta korkean hinnan. Keskustelut teknisestä velasta herättivät usein voimakkaita tunteita niissä henkilöissä, joita se eniten koskee. Lisäksi teknisen velan asianmukaisen käsittelyn puute on johtanut kehittäjien motivaation laskuun.

Johtopäätöksenä todettiin, että velan kustannukset sisältävät kaikki teknisen velan aiheuttamat negatiiviset seuraamukset, mikä tarkoittaa, että lopullisen kustannuksen tarkka ennustaminen ei ole mahdollista. Näin ollen vastuullinen velanottopäätöksen tekeminen edellyttäisi kertyvän mutta kokonaisuudessaan ennalta-arvaamattoman velkakustannusten huomioimista, mikä asettaa todellisen haasteen.

## **Avainsanat (asiasanat)**

Tekninen velka, ketterä kehitys, ohjelmiston laadunhallinta

## **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

-

**Ildikó Makra**

**Technical debt: the cost of agile development**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, February 2024, 40 pages.

Degree Programme in Information and Communication Technology. Bachelor's thesis.

Permission for open access publication: Yes

Language of publication: Finnish

**Abstract**

Within the software industry the term 'technical debt' is widely employed and is commonly perceived as a challenge and a problem to resolve. Consequences of technical indebtedness include, among others, slowing down development work, complicating maintenance tasks, fatigue of developers, and quality issues in the delivered product. The biggest challenge in software projects is the proper estimation of workload, which enables planning of delivery schedules.

New insights were provided in the form of a literature review regarding general discussions about the potential advantages of technical indebtedness, examined from the perspective of various stakeholders. Special attention was directed towards software developers, whose well-being was considered essential for the financial success of the delivered product as well as for organizations aiming to retain their valuable employees.

An integrative literature review was conducted, where the selected research material was analyzed using thematic analysis. The literature review material was partially sourced from reputable databases, and some articles were searched manually. Ten research articles were incorporated into the review. The primary focus of the data analysis was to address the previously formulated research questions.

Based on research findings technical debt is occasionally assumed strategically to facilitate rapid market release of a product. Nevertheless, organizations incur a substantial price for adopting this strategy. Discussions on technical debt often evoke strong emotions in individuals most impacted by it. Furthermore, the inadequate addressing of technical debt can result in a decline in developers' morale.

In conclusion, it is suggested that the associated cost includes all negative consequences stemming from technical debt, rendering precise anticipation of expenses impossible. Consequently, the responsible evaluation of a decision on debt acquisition would require consideration of the cumulatively escalating yet overall unpredictable cost of debt, posing a genuine challenge.

**Keywords/tags (subjects)**

Technical Debt, Agile Software Development, Software Quality Assurance

**Miscellaneous (Confidential information)**

-

## Sisältö

<b>Termit ja lyhenteet.....</b>	<b>6</b>
<b>1 Johdanto .....</b>	<b>8</b>
1.1 Tutkimusaiheen perustelu .....	8
1.2 Työn tavoite.....	9
<b>2 Tekninen velka .....</b>	<b>10</b>
2.1 Termin määritelmät ja luokittelut.....	10
2.2 Puutteellisuus vai ominaisuus .....	13
2.3 Riskitietoisuus teknisen velan hallinnassa .....	14
2.3.1 Kustannusriski.....	14
2.3.2 Aikahallinta ja inhimilliset riskitekijät .....	15
2.4 Kirjallisuuskatsauksia teknisestä velasta.....	17
2.4.1 Kansainväliset kirjallisuuskatsaukset .....	17
2.4.2 Suomenkielisiä julkaisuja aiheesta .....	18
<b>3 Toteutus .....</b>	<b>19</b>
3.1 Kirjallisuuskatsaus opinnäytetyön menetelmänä .....	19
3.2 Temaattinen analyysi .....	20
3.3 Työprosessin kuvaus .....	21
3.3.1 Eteneminen tutkimusvaiheiden välillä .....	21
3.3.2 Rajausprosessin kuvaus .....	22
<b>4 Tulokset.....</b>	<b>24</b>
4.1 Kannattavuus ja suunnitelmallisuus.....	24
4.2 Aikahallinta.....	26
4.3 Motivaatio ja tunnetilat .....	28
<b>5 Pohdinta ja johtopäätökset.....</b>	<b>30</b>
5.1 Tekninen velkaantuminen kannattavana strategisena valintana .....	30
5.2 Riskien analysointi ja huomioon ottaminen .....	31
5.3 Ennakoimattoman hinnan huomioiminen .....	31
5.4 Kehittämisehdotukset, tulosten luotettavuus ja hyödyllisyys .....	32
<b>Lähteet .....</b>	<b>35</b>

**Kuviot**

Kuvio 1. Ulkoisen ja sisäisen laadun näkyvyyden havainnollistaminen (Kruchten 2012).....	11
Kuvio 2. Kehitysjonossa käytettävät värimerkit (Kruchten 2012) .....	12
Kuvio 3. Kirjallisuuskatsauksen iteratiivinen eteneminen .....	21

**Taulukot**

Taulukko 1. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit.....	22
Taulukko 2. Tutkimusaineisto .....	23

## Termit ja lyhenteet

**Ketterä ohjelmistokehitys** (Agile Software Development) on suosittu ohjelmistokehitysmalli, jossa tarpeiden kartoitus, määrittely ja tuotteen osien toimitus tapahtuu iteratiivisesti, jatkuvassa yhteistyössä asiakkaan kanssa. Tämä on vaihtoehto perinteisemmälle vesiputousmallille, jossa määrittelyyn ja dokumentaatioon panostetaan ohjelmistotuotteen elinkaaren alussa. (Brush & Silverstone 2019; Ketterä ohjelmistokehitys 2021; Koski n.d.)

**LEAN** on johtamisfilosofia, jonka keskiössä ovat asiakaslähtöisyys ja kustannustehokkuus hukkaan vähentämisen kautta. Hukka määräytyy sen perusteella, mitkä arvot ovat asiakkaalle tärkeitä. (Lean 2022; Koski n.d.)

**Ohjelmiston elinkaari** (Software Development Life Cycle, SDLC) tarkoittaa kaikkia ohjelmiston kehitysvaiheita vaatimuksien määrittelystä suunniteluun ja toteutukseen, aina ylläpitoon asti. Näitä vaiheita kuvataan elinkaarimallin mukaan joko suoralla tai iteratiivisten mallien yhteydessä ympyrämaisesti. (Martin 2023; Ohjelmistotuotanto 2023)

**Ohjelmiston ylläpito** (Software Maintenance) tarkoittaa kaikkia tarpeellisia muutostoimenpiteitä, kuten virheiden korjaamista, suorituskyvyn seuranta ja parantamista ohjelmiston käyttöönoton jälkeen. (Software maintenance 2023)

**Ohjelmistotestaus** (Software Testing) tarkoittaa sen varmistamista, että ohjelmisto toimii vaaditulla tavalla. Testaamista tulisi aloittaa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa kehitystyötä, jotta mahdolliset korjaukset voidaan suorittaa ennen tuotteen toimittamista asiakkaalle. (Ohjelmiston testaaminen 2022; Hamilton 2023)

**Riskienhallinta** (Risk Management) tarkoittaa epävarmuuden aiheuttamien tekijöiden suunnitelmallista vähentämistä ja erityisen sellaisten tapahtumien ennaltaehkäisyä, jotka voivat uhata organisaation markkina-asemaa. (Martin 2023; Mustonen n. d.; Riskienhallinta 2023)

**Scrum** on suosittu viitekehys ketterässä kehitysympäristössä, jossa työtavoitteet pyritään saavuttamaan kahden viikon mittaisissa sprinteissä. Sprintin alussa järjestetään suunnittelupalaveri ja sprintin lopussa arvioidaan saavutetut tulokset. Tiimit koostuvat yleensä kymmenestä tai vähemmästä jäsenestä ja päivittäisessä 15 minuutin pituisissa pikapalavereissa jäsenet päivittävät toisiaan omien tehtäviensä tilasta. (Scrum 2022)

**Spagettikoodi** (Spaghetti code) viittaa ohjelmistoon, joka on hankalasti ylläpidettävää, johtuen siitä, että ohjelmistosuunnittelun periaatteita ei ole noudatettu asianmukaisesti. (Spagettikoodi 2022)

**Suuri mutapallo** (Big Ball of Mud) viittaa samankaltaiseen ilmiöön kuin spagettikoodi, tarkoittaen koodia, joka kärsii puutteellisesta arkkitehtuurista. (McConnel 2007)

**Tekninen velka** (Technical Debt) ohjelmistokehityksen yhteydessä tarkoittaa työmäärää, joka jää tekemättä, kun valitaan helppo ja nopea, mutta rajoitettu ratkaisu kiireen takia. Vertauskuvan mukaan uudelleentyöstön aiheuttama lisääntynyt aika ja -kustannus lisääntyvät kumulatiivisesti, kuten rahallainan tapauksessa. (Tekninen velka 2023)

# 1 Johdanto

## 1.1 Tutkimusaiheen perustelu

Ohjelmistotuotannon yksi merkittävin ominaisuus on kiire. Kiire voi johtua sekä kilpailusta hyvälle markkinapaikalle että myös modernista iteratiivisesta ohjelmistokehitystavasta, jossa pyritään julkaisemaan ohjelmistoversioita tuotantoon usein. Kiireellä on tutkitusti merkittävä vaikutus sekä ihmisiin että tuotteen laatuun (Kuuttila, Mänylä, Farooq & Claes 2021). Sanonta, ”valmis on parempi kuin täydellinen” kuuluu monesti myös ohjelmistokehittäjän arjessa. Sanonta kuvailee hyvin ihmisten valmiutta tinkimään laadusta, kiireen perusteella. Teknistä velkaa tarkastellaan useimmiten ohjelmistotuotteen laatuongelmana, ja oletetaan sen olevan asiakkaalle päin näkymätön. (Kruchten, Nord & Ozkaya 2012.)

Teknisen velan termi on juurtunut laajasti ohjelmistotalalle, ja sillä viitataan yleensä roikkuviin tehtäviin, joiden suorittamista on lykätty eteenpäin kiireen vuoksi. Tehtävät voivat roikkua kehitysjonossa tai piileskellä tunnustamattomasti niin pitkään, kunnes ne aiheuttavat näkyvän ongelman ohjelmistolle ja sen käyttäjälle. Vertauskuva on peräisin rahoituseläimeltä ja kuvastaa velkaantumisen kustannusten kumulatiivista luonnetta.

Koska teknisen velan ottaminen on useimmiten tarkoituksellista, ja tutkimuksien mukaan sen juurisyy on kireä aikataulu (Rios, Spínola, Mendonça & Seaman 2020), teknisen velan aihe voidaan nähdä jatkuvana taisteluna asiakashankinnan ja laadunhallinnan välillä. Toisin kuin rahavelan tapauksessa, teknisen velan kustannuksia on erittäin vaikea ennakoida tai ilmaista tarkkoina numeroina. Tästä syystä myöskään velkaan liittyvää riskiä ei pystytä huomioida asianmukaisesti. Osa teknisestä velasta pysyy piilossa pitkään, jopa kokeneimmilta kehittäjiltä, mikä lisää lopullisen hintalapun arvaamattomuutta. Loppuhintaan sisältyy edellisten lisäksi myös ihmisiin kohdistuva, henkisesti negatiivinen vaikutus, jonka arvo saattaa olla korkea.

Ohjelmistotalalla on huutava osaajapula, ja yritykset pyrkivät sitouttamaan arvokkaita työntekijöitään kaikin mahdollisin keinoin. Kireän aikataulun aiheuttama paine vaikuttaa erittäin voimakkaasti ihmisiin, ja siten teknisen velan oikeanlaista hallintaa korostuu entisestään. Roikkuvilla tehtävillä on havaittu eniten turhauttavaa ja ahdistavaa vaikutusta ja tällaiset velkaerät vaikeuttavat koodin ylläpitotyötä yhä enemmän. (Yrttiaho, Pinola, Päättälä & Saarnio 2021.)



## 1.2 Työn tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on viimeisten empiiristen tutkimuksien, sekä muiden monipuolisten kirjallisuuslähteiden analysoimalla etsiä mahdollisia vastauksia teknisen velkaantumisen kustannuksiin liittyviin ajankohtaisiin kysymyksiin. Ensijainen näkökulma on se, miten ihmisten jaksaminen ja työhyvinvointi tulee esille osana teknisen velan loppuhintaa, sekä miten päätöksentekijät ovat suhtautuneet velkaantumisen loppuhinnan epävarmuuteen ohjelmistotuotannossa, kun teknistä velkaa otettu tietoisesti, nopean markkinoillepääsyn mahdollistamiseksi.

Opinnäytetyön menetelmänä on integroiva kirjallisuuskatsaus (Salminen 2011) ja siinä käsitellään seuraavat tutkimuskysymykset:

- Miten viimeaikaisessa kirjallisuudessa tarkasteltu teknistä velkaantumista positiivisessa valossa, strategisena työkaluna? Onko tekninen velka ongelma vai mahdollisuus?
- Miten strategisessa teknisessä velanottopäätöksessä analysoidaan riski?

Tarkentavia kysymyksiä:

- Kuinka teknisen velan riskienhallinnassa huomioidaan kustannus- ja aikahallintaan liittyvä epävarmuus?
- Kuinka teknisen velan riskienhallinnassa huomioidaan inhimillisiä tekijöitä?

Opinnäytetyö etenee siten, että luvussa 2 esitellään aiheeseen liittyvä tietoperusta, joka kattaa teknisen velan määritelmät, jaottelutavat sekä tärkeimmät termit liittyen velanhallintaan. Tämän jälkeen käydään läpi viimeisimpien kansainvälisten kirjallisuuskatsauksien näkökulmia, unohtamatta Suomessa tehtyjä tutkimuksia sekä ohjelmistotalouden ammattilaisten mielipidekirjoituksia, jotka ovat esillä verkkojulkaisujen muodossa.

Seuraavaksi luvussa 3 raportoidaan käytetty tutkimusmenetelmä, jonka jälkeen luvussa 4 esitetään analyysin tulokset. Lopuksi viimeisessä luvussa vastataan aiemmin mainittuihin tutkimuskysymyksiin, pohditaan tulosten luotettavuutta ja käytettävyyttä, esitetään ehdotuksia mahdollisille jatko-tutkimuksille sekä tiivistetään omat johtopäätökset.

## 2 Tekninen velka

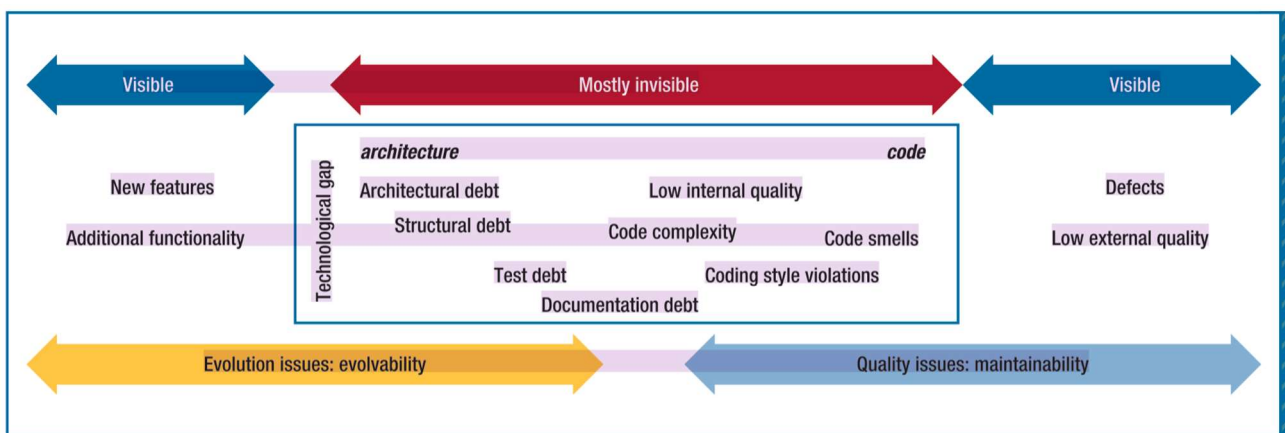
### 2.1 Termin määritelmät ja luokittelut

Tekninen velka on IT-alan käyttöön laajasti juurtunut vertauskuva. Termin ensimmäinen tietoinen käyttäjä oli Cunningham (1992) puhuessaan OOPSLA-konferenssissa omasta WyCash -nimisestä portfolion hallintajärjestelmäprojektistaan. Cunninghamin mukaan optimaalisesta poikkeavat, korjaustoimia vaativat arkkitehtuuriratkaisut toimivat samalla tavalla kuin taloudellinen velka: kasvattavat kuluja korjauksiin tarvittavan työpanoksen myötä.

Myöhemmin termille yleistyi laajempi käsitys: tekniseen velkaan luetaan mukaan usein erilaisia piileskeleviä laatuongelmia ja puutteita. Teknisellä velalla tarkoitetaan nykykirjallisuudessa huonoa koodia tai muuta ohjelmistotuotannon eri vaiheita koskevia heikkoja ratkaisuja: suunnittelun, dokumentaation tai testikattavuuden puutteita (Fairbanks 2020). Sitä pidetään usein kompromissina tai kaupantekona tuotteen laadun ja tuotannon ketteryyden välillä (Lim, Taksande & Seaman 2012). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tehtävien priorisoinnissa suositaan asiakkaille näkyvät edistysaskeleet muiden korjaustehtävien yli, jotka eivät välttämättä ole ulkoapäin helposti tunnistettavissa ja voivat aiheuttaa suurempia ongelmia vasta tulevaisuudessa.

Teknistä velkaa on myös tapana jakaa tiedossa olevaan (known) ja tiedostamattomaan (unknown) velkaan (Lipo 2022). Velkaa on tapana käsitellä tiedossa olevaksi, kun koodissa esiintyy ”to do” -tyyppisiä kommentteja. Näitä kohtia tiimi aikoo korjata jossain vaiheessa, mutta yleensä kiireen takia niitä ei priorisoida välittömästi. Toisenlainen jaottelu käsittelee tietoista (intentional) ja tahatonta (unintentional) teknistä velkaa (Lim ym., 2012) tai toisin sanoen strategista velkaa (Lipo 2022). Tässä tapauksessa otetaan velkaa osana yrityksen strategiaa. Velanoton taustalla on tietoinen päätös siitä, että pyritään markkinoille saavuttamaan etulyöntiasemaa tuottamalla koodi, joka on helppoa, nopeaa, mutta silti toimivaa. Monet pitävät tätä strategista velkaa hyvänä keinona ja positiivisena työkaluna, nopeaan markkinoillepääsyn mahdollistajana (Turunen 2021). Velanotto-päätös oli perusteltu myös sillä, että koodin laatua on lisättävä inkrementaalisesti (Wolf & Johann 2015), samalla tavalla kuin toiminnallisuutta.

Teknisen velan termin ylikäyttö aiheuttaa haasteita myös sen hallinnassa, koska se kattaa monenlaisia käsitteitä ja ilmiöitä. (Li, Avgeriou & Liang 2015). Tästä syystä, tutkijat Kruchten, Nord ja Ozkaya (2012) ovat osoittaneet tarvetta tekniseen velkaan liittyvään teorian kehittämiseen, jotta sitä voidaan käsitellä muutenkin kuin pelkkänä vertailukuvana tai retorisena konseptina. He ovat esittäneet teorian (ks. Kuvio 1), jossa ohjelmiston laajennettavuuteen ja ylläpidettävyyteen liittyvät riskitekijät ovat ryhmiteltynä näkyvyysalueittain. Kuviolla havainnollistettiin, että vaikka uudet ominaisuudet ja niiden sisältämät virheet ovat hyvin tunnistettavissa asiakkaille, on myös sellainen alue, joka teknologisen kuilun takia ei ole kaikkien sidosryhmien näkyvillä. Tekninen velka sijoittuu useimmiten tähän alueeseen.

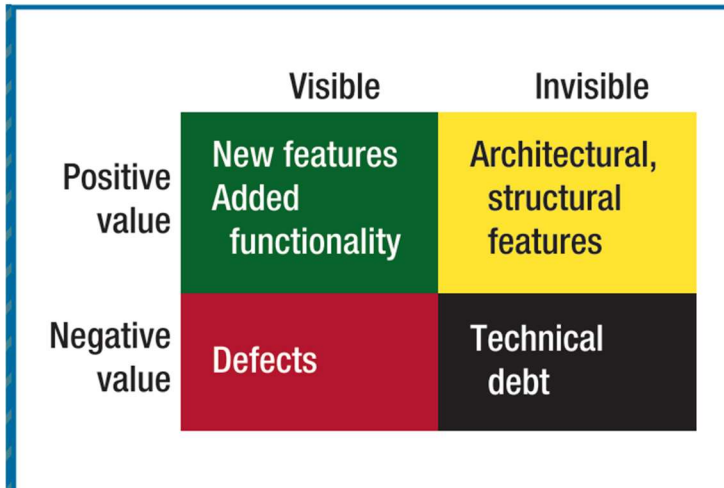


Kuvio 1. Ulkoisen ja sisäisen laadun näkyvyyden havainnollistaminen (Kruchten 2012)

Teknistä velkaa suositeltiin luetella osaksi kehitysjonoon lisättäviä erilaisia tehtäviä. Ominaisuuksiin liittyvät puutteet käsiteltiin vikoina (defects), jotka todennäköisesti aiheuttavat asiakkaalle näkyviä ongelmia (failures). Testauksen keskeinen tehtävänä on vähentää riskiä siitä, että viat aiheuttaisivat ongelmia myös tuotantoympäristössä (Cerquozzi, Decoutere, ym. 2023). Tässä lähestymistavassa asiakkaalle ja ei-teknisille sidosryhmille piilossa olevat ongelmat luokitellaan tekniseksi velaksi, kun taas näkyvät viat tai selkeät toimimattomuudet eivät kuulu tähän käsitteeseen.

Kuviossa 2 värit kuvaavat neljää erityyppistä kehitysjonon tehtävää. Keltainen alue kuvaa kehitystehtäviä, joissa arkkitehtuurin rakenteellisia ominaisuuksia lisätään inkrementaalisesti, mikä parantaa jatkuvasti tuotteen laatua vastaamaan nykyistä ymmärrystä tuotteen vaatimuksista (Cunningham 2009; Fairbanks 2020). Kruchtenin luokittelumallissa keltaiseen luokkaan sijoittuvia

kehitystehtäviä ei edes katsota tekniseksi velaksi, vaikka alkuperäisten Cunninghamin idean mukaan tekninen velka muodostuu juuri näistä, nykyarkkitehtuurin parantamiseen ja jatkuvaan päivittämiseen tarkoitetuista kehitystehtävistä.



Kuvio 2. Kehitysjonossa käytettävät värimerkit (Kruchten 2012)

Teknisenä velkana esitetään tässä kuviossa vain mustalle alueelle kohdistuvia kehitystehtäviä, jotka ovat sellaisia korjaamattomia, arkkitehtuuriin ja rakenteeseen liittyviä puutteita, jotka ovat johtaneet aiheuttaa ongelmia ja tuottavat suoraan negatiivista arvoa. Termin laajemmassa merkityksessä tekninen velka voi sijoittua jopa näkyvyysalueen toiselle, punaisella merkitylle alueelle. Yleinen esimerkki tästä on tilanne, jossa tuotteen testaamisesta leikataan kierän aikataulun takia. Suomessa tämä on edelleen usein esiin tuleva puheenaihe erityisesti pelialalla, jossa tuotetta saatetaan julkaista niin keskeneräisenä, että se suorastaan ärsyttää tuotteen käyttäjäkuntaa (Vanha-Majamaa 2023).

Kruchtenin ja muiden väriluokittelussa havaitaan jonkinlainen hierarkia teknisen velan tehtävien välillä. Keltaiseen alueeseen sijoittuvaa teknistä velkaa on helpompi myöntää, hyväksyä ja pitää luonnollisena osana ketterää kehitystä verrattuna mustaan alueeseen sijoittuvaan velkaan. Keltaiset tehtävät tuovat positiivista arvoa, koska niillä panostetaan arkkitehtuurin kehittämiseen (Kruchten ym., 2012). Toisaalta mustaan alueeseen liittyy negatiivinen arvo, usein laadunvarmistuksen tai muiden ohjeistuksien laiminlyöntiä ja aiempia virheellisiä päätöksiä.

Suositussa lean-johtamisfilosofiassa, jossa tehtävät järjestetään asiakkaiden arvojen mukaan tärkeysjärjestykseen (Koski n.d.), teknisen velan alipriorisointi asiakkaalle näkymättömyyden vuoksi on yleistä. Lean keskittyy hukka-ajan ja turhien prosessien poistamiseen (Lean 2022), mikä saattaa johtaa siihen, että teknisen velan ottamista tai sen käsittelyn lykkäämistä perustellaan ajan säästämisellä, koska ne eivät näyttäytyä tärkeinä asiakkaan näkökulmasta.

## 2.2 Puutteellisuus vai ominaisuus

Teknisen velan käsitteeseen liittyy kirjallisuudessa sekä kielteinen että myönteinen sävy. Vaikka useimmat määrittelevät sen puutteellisuudeksi tai laadun heikkoudeksi, on havaittavissa myös sallivampaa suhtautumista. Toiset tarkastelevat teknistä velkaa suorastaan strategisena työkaluna, joka mahdollistaa kilpailijoita tehokkaamman markkinoillepääsyn (McConnel 2008).

Suuren suosion myötä termi tekninen velka on kuitenkin etääntynyt alkuperäisestä tarkoituksestaan, mikä on Fairbanksin mukaan (2020) valitettavaa. Nykyään teknisellä velalla tarkoitetaan kaikenlaista koodia, jota syystä tai toisesta ei pidetä toivottavana. Tällaisia esimerkkejä voivat olla huolimattomasti kirjoitettu koodi (hacky code), aloittelijoiden tuottama koodi ja arkkitehtuuria huomiomatta jätetty koodi, jota leikkisästi kutsutaan myös suureksi mutapalloksi (McConnel 2007). Myös staattisten koodianalyysityökalujen havaitsemat koodinpätkät liitetään monesti tekniseen velkaan (Fairbanks 2020).

Vertauskuvan alkuperäinen käyttäjä huomauttaa, että velkaantumisella saavutettava, tuotteen toimitusta nopeuttava positiivinen vaikutus on olemassa ainoastaan siinä tapauksessa, kun velanottoon liittyy selkeä takaisinmaksusuunnitelma. Näin ollen, on syytä suhtautua velkaantumiseen samalla suunnitelmallisuudella kuin taloudellisessa elämässä yleensä. Jokainen hetki, jona hyväksytään epätäydellinen koodi, kartuttaa velan korkoa. (Cunningham 1992.)

Myöhemmin, vuonna 2009, Cunningham jakoi ajatuksiaan omalla YouTube-kanavallaan siitä, miten hänen näkemyksiään on ajan myötä tulkittu virhellisesti. Hän vahvisti, ettei hänen tarkoitukseensa ollut kannustaa ohjelmistotiimejä valitsemaan heikkolaatuisia ratkaisuja. Laadun sivuuttaminen pelkästään ajan säästämiseksi, oli paitsi sitten ketteryystä tai iteratiivisuudesta, ei Cunninghamin mukaan ole hyvä idea. Halvempien aloittelijoiden palkkaamista ja heidän ensimmäisen luonnoskoodiensa yhdistäminen pääkehityshaaraan taloudellisten etujen saavuttamiseksi tuo

esiin myös eettisiä kysymyksiä. Hänen mukaansa tahallisesti heikkoa koodia kirjoittamalla heikennetään suorastaan iteratiivisen kehityksen arvoa. (Cunningham 2009.)

Iteratiivisessa mallissa, kuten esimerkiksi Scrumissa, päämääränä on toimittaa hyvin toimiva koodi jokaisen iteraation eli sprintin aikana (Schwaber & Sutherland 2020). On yleistä, että kehittäjä hahmottaa lopputuotteen luonnetta ensimmäisen iteraatiokierroksen aikana melko rajoitetusti. Ymmärrys tuotteesta syvenee kuitenkin ajan myötä, kun toiminnallisuuksia jatkuvasti lisätään. Koodin tulisi olla sovitettavissa jokaiseen ymmärrystasoon ja olla mahdollisimman selkeää, laadukas ratkaisu. Refaktoroinnin yhteydessä voidaan nostaa koodin seuraavalle ymmärrystasolle. Tätä prosessia kutsutaan Cunninghamin alkuperäisteoksessa konsolidaatioksi (Cunningham 1992; Fairbanks 2020). Tämän lähestymistavan mukaan voidaan todeta, että tekninen velka ei ole muuta kuin ketterän kehityksen luonnollinen piirre. Toisaalta, jos teknisen velan käsitteeseen otetaan mukaan hyväksytyjä puutteellisuuksia, on oltava tietoinen siihen liittyvistä riskeistä.

## **2.3 Riskitietoisuus teknisen velan hallinnassa**

Kuten alaluvussa 2.1 korostettiin, samoin kuin rahalainaa ottaessa, myös tekniseen velkaantumiseen liittyy aina riskejä. Näitä on käsiteltävä suunnitelmallisesti, jotta voidaan säästää ohjelmiston kustannuksista (Khan 2020). Empiirisissä tutkimuksissa esitettiin erilaisia tyypillisiä riskitekijöitä ja haitallisia seuraamuksia teknisen velkaantumisen yhteydessä (Lim ym., 2012). Tässä luvussa esitellään joitakin näistä tekijöistä. Myöhemmin opinnäytetyön valittua aineistoa analysoimalla etsitään vastauksia tutkimuskysymyksiin siitä, miten teknisen velkaantumisen mukanaan tuomia riskejä yleensä hallinnoidaan käytännössä.

### **2.3.1 Kustannusriski**

Velanottoon liittyy aina kustannuksia, kuten korkoa, ja se lisääntyy kumulatiivisesti, eli nousee korkoa korolla. Samoin ohjelmistotyössä tehdyt oikaisut aiheuttavat kustannuksia ajan myötä. Korjaustyö vaatii useimmin enemmän työaikaa verrattuna siihen, kun työ olisi alun perin tehty oikein. Parhaimmassa tapauksessa velanottopäätös on huolellisesti suunniteltu ja mahdolliset kustannuskenaariot on vertailtu keskenään. Construx.com-sivustolla julkaistussa tekniseen velkaan liittyvässä asiantuntijaselityksessä on tarjolla erilaisia mallilaskelmia, jotka käytännössä auttavat vertailemaan tekniseen velkaan liittyviä kustannuksia päätöksentekoprosessin osana (McConnel 2008).

Teknisen velan ottamiseen liittyy korkea riski myös ylläpidettävyyden osalta. Guo, Spínola ja Seaman (2016) määrittelivät teknisen velan kokoelmaksi viivästyneitä ylläpitotehtäviä. Arvion mukaan, tyyppillisten ohjelmistoprojektien yli puolet, 50–75 % koostuu ylläpitotehtävistä (Ampatzoglou, Chatzigeorgiou & Avgeriou 2015). Tutkimusten mukaan ohjelmistotuotteen ylläpitovaihe on kallein, sillä merkittävä osa, jopa 90 prosenttia tuotteen elinkaaren kokonaiskustannuksista voi helposti kohdistua ylläpitotehtäviin (Dehaghani & Hajrahimi 2013). Siksi on erittäin perusteltua suhtautua kriittisesti teknisen velanottoon ja sen kannattavuuteen.

Vaikka tehtävien lykkäämisellä myöhempään ajankohtaan voidaan säästää kustannuksissa lyhyellä aikavälillä ja nähdä tämä tempu investointina, seuraamuksia ei voida kuitenkaan laskea samalla matemaattisella kaavalla kuin taloudellisen velkautumisen ja siihen liittyvien korkojen tapauksessa (Guo, Spínola & Seaman 2016). Yhtälössä on paljon muuttujia, kuten odottamattomat muutokset vaatimusmäärittelyssä, kehitystiimin rakenteessa ja osaamisessa, sekä muita tuotteen kypsymisen myötä vaiheittain selveneviä tietoja (Cunningham 2009). Nämä muuttujat aiheuttavat epävarmuutta ja tuovat ohjelmistotuotteen onnistumiselle lisää riskiä. Toisaalta kaikki monimutkaisesti kirjoitetut moduulit eivät välttämättä aiheuttaakaan lisätyötä ja kustannuksia tulevaisuudessa, vain jos ja kun niihin vaaditaan muutoksia (Guo ym., 2016). Mitä enemmän teknistä velkaa otetaan tuotteeseen, sitä vaikeammaksi kokonaiskustannuksien ja työpanoksien ennakointi muuttuu, mikä saattaa aiheuttaa haasteita myös seuraavien iteraatioiden aikataulun suunnittelussa.

### **2.3.2 Aikahallinta ja inhimilliset riskitekijät**

Ohjelmistoprojektien onnistumisen kannalta hyvällä suunnittelulla ja erityisesti optimaalisella aikataulutuksella on ollut merkittävä rooli. Tarkan arvion antaminen siitä, kuinka kauan kehitysjonossa odottelevien tehtävien suorittaminen kestää on ollut aina haastava. Useat tutkimukset ovat keskittyneet esittelemään erilaisia työkaluja ja menetelmiä juuri tämän ongelman ratkaisemiseksi. (Vega-Velázquez, García-Nájera & Cervantes 2018.)

Teknisen velan käsittelyn yhteydessä aikasuunnitteluongelma korostuu entisestään korjaustyön liittyvien epävarmuuksien takia (di Biase ym. 2019; Rios ym. 2020; Maipradit ym. 2020). Lisäksi kehittäjätiimit, jotka tietoisesti päätyvät ottamaan teknistä velkaa, perustelevät päätöksensä usein aikataulun kiristymisellä (Yli-Huumo, Maglyas & Smolander 2014). Tästä voidaan päätellä, että

koko teknisen velan ilmiö on tiiviissä yhteydessä projektisuunnitteluun ja aikataulutukseen liittyviin ongelmiin.

Teknisen velan vaikutukset eivät rajoitu pelkästään lopputuotteen laadun heikentymiseen. Niillä on monenlaisia ulottuvuuksia myös organisaatioon ja projektihallintaan. Tiedetyt seuraamukset kohdistuvat suoraan ihmisiin. On täysin ymmärrettävää, jos tiukassa aikataulussa ihmiset turhautuvat herkemmin ajan tuhlaamisesta. Vaikka lean-ajattelun mukaisesti teknisen velkaantumisen tavoitteena oli poistaa ajanhukkaa, käytännössä velan käsittelyvaiheessa uudelleentyöstämiseen menevä aika nousee esiin yhtenä yleisimmistä seuraamuksista (Rios ym., 2020).

Teknisen velan hallinnassa myös työkokemuksen merkitys voi korostua eri tavalla, termin alkuperäisen tai laajemman määritelmän yhteydessä. Joka tapauksessa kokemuksella on merkitystä, koska teknisen velan juurisyiden listalla ymmärryksen puute tulee toisena, toimituspäivän noudattamiseen pyrkimisen jälkeen (Rios ym., 2020). Ymmärryksen puute (knowledge) voi viitata sekä tietojen että valmiuksien puutteeseen. Seuraavissa kappaleissa käsitellään nämä puutteet ensin alkuperäistä kapeamman määritelmän näkökulmasta ja sitten laajennetaan näkökulmaa termin nykyisen käytännön mukaisesti.

Kehittäjän osaamis-, valmius-, tai työkokemustaso eivät välttämättä ole suorassa yhteydessä tiedon puutteeseen tai riittämättömyyteen lopullisen tuotteen osalta. Fairbanksin mukaan kyse on enemmänkin iteratiivisen kehitysmallin ominaisuudesta, jonka vuoksi ymmärrys tuotteesta rakentuu vähitellen, uusien toiminnallisuuksien lisäämisen tahdissa (Fairbanks 2020). Myös alkuperäisen idean mukaan tekninen velka kuvaa ketterän kehitysmallin tilannetta, jossa ohjelmiston ensimmäinen julkaistu versio sisältää muitakin kuin ideaalisia teknisiä ratkaisuja (Cunningham 1992).

Nykyisessä määritelmässä, jossa teknistä velkaa katsotaan pikemminkin laadun puutteena kuin ketterän kehityksen ominaisuutena, myös työkokemuksen merkitys voi tulla esiin eri tavoin. Tietoisesti otettua teknistä velkaa selitetään kireällä aikataululla ja tämä pätee suurimpaan osaan tapauksista (Lim ym., 2012). Osa tapauksista on kuitenkin tahatonta, ja tällaisissa tilanteissa saattaa paljastua joko osaamisen tai työkokemuksen puutteita.



## 2.4 Kirjallisuuskatsauksia teknisestä velasta

Viime vuosina teknisen velkaan liittyviä kysymyksiä tutkittiin sekä kansainvälisesti että Suomessa. Näitä tutkimuksia kartoitettiin kirjallisuuskatsauksissa. Tässä luvussa tarkastellaan joitain näistä kartoitustöistä ja esitetään monia erilaisia tutkimuskysymyksiä ja näkökulmia teknisen velan aihepiiriin liittyen.

### 2.4.1 Kansainväliset kirjallisuuskatsaukset

Vertaisarvioidut julkaisut keskittyvät pääasiassa systemaattisiin kirjallisuuskatsauksiin, joissa tarkastellaan laajaa joukkoa muiden tekemiä empiirisiä tutkimuksia. Systemaattisessa työssä tutkijat pyrkivät noudattamaan toistettavuuden kriteeriä, ja siksi haku- ja valintaprosessi kuvataan yleensä erittäin tarkasti.

Jyväskylän yliopiston tutkijaryhmä julkaisi vuonna 2018 systemaattisen kirjallisuuskatsauksen, joka analysoi 19 empiiristä tutkimusta. Hadi Ghanbari, Tero Vartiainen ja Mikko Siponen pyrkivät ymmärtämään, miten tiimit perustelevat omia päätöksentekoaan ohjelmointisääntöjen tietoisesta ohittamisesta ja laatukäytäntöjen laiminlyönnistä. Perustelut ovat jaoteltu eri tasoille, kuten markkina, organisaatio- ja henkilötasolle. Perusteluissa esiintyvät tärkeämmät syyt olivat mm. tuotekilpailu, resurssien puute ja kova kiire aikataulun noudattamiseen. Tutkimus osoitti empiiristen tietojen tarvetta päätöksenteon prosessiin liittyen, jossa laatukäytäntöjen laiminlyönti tapahtuu. (Ghanbari, Vartiainen & Siponen 2018.)

Valentina Lenarduzzi Oulun yliopistolta on Suomessa tunnettu asiantuntija teknisen velan aktiivisessa tutkimisessa. Pohjoismaissa ja Italiassa toimivien muiden tutkijoiden kanssa hän on julkaissut systemaattisen kirjallisuuskatsauksen, jossa on analysoitu 44 empiiristä tutkimusta. Työssä tunnistettiin tarve kerätä tietoa siitä, miten teknistä velkaa on tapana priorisoida. Tämä tarve perusteltiin sillä, että teknisen velan muodostumista ei voida täysin välttää lukuisten ennalta näkemättömien tekijöiden takia. Kuitenkin, koska velkakohdat voivat olla vaarallisuuksiltaan eriasteisia, niitä on syytä luokitella tärkeysjärjestykseen. Työssä tutkittiin myös se, miten kyseinen järjestely toteutettu, yksittäisinä tapahtumina vai liittyikö siihen jokin systemaattinen prosessi.

Tuloksena havaittiin neljä erilaista tavoitetta sekä niiden kombinaatioita, joilla tekniset velkaerät voitiin asettaa tärkeysjärjestykseen. Ensimmäinen tavoite keskittyi ohjelmiston laadun parantamiseen, erityisesti ylläpidettävyyden näkökulmasta. Lisäksi tavoitteina olivat kehittäjien työtehokkuuden parantaminen, mahdollisten virheiden vähentäminen sekä kustannusten ja saatujen hyötyjen

analysointi. Jokaisen onnistuneen järjestelyn taustalla oli harkittu tavoite. Mielenkiintoista oli myös havaita, että velkaerät oli järjestelty vain keskenään, omissa luokissaan. Niiden tärkeys tai kiireellisyys ei ollut vertailukohtana uusien ominaisuuksien kehittämiseksi. (Lenarduzzi, Besker, Taibi, Martini & Fontana 2021.)

Seuraavana vuonna Lenarduzzi osallistui toisen tutkijaryhmän kirjallisuuskatsaustyöhön yhdessä Ana Melon ja muiden kanssa. Työn puitteissa tutkittiin samasta aiheesta yhtä kapeampaa aluetta, nimittäin teknistä velkaa, joka liittyy suorastaan vaatimusmäärittelyyn. Tutkimuksessa tarkasteltiin tekijöitä, jotka aiheuttavat teknistä velkaa vaatimusmäärittelyssä sekä erilaisia strategioita sen tunnistamiseen ja mittaamiseen. Analysoitavaksi valittiin 66 empiiristä tutkimusta, joiden avulla tutkijat kartoittivat erilaisia strategioita, joilla voidaan vähentää vaatimusmäärittelyn puutteellisuksia. (Melo, Fagundes, Lenarduzzi & Santos 2022.)

Vuonna 2023 julkaistussa kirjallisuuskatsauksessa esiteltiin uusi näkökulma, jossa tarkasteltiin teknisen velan psykologisia vaikutuksia ihmisiin. Tässä yhteydessä keskeisenä käsitteenä oli ”sosiaalinen velka”, teknisen velan sijalla. Sosiaalinen velka kuvattiin ennakoimattomien projektikustannusten kertymisenä, johtuen puutteellisista ohjelmistokehitysprosesseista. Tutkimuksessa analysoitiin 25 empiiristä tutkimusta, joiden tulokset osoittivat, että tekninen velka johtuu usein yhteisöllisistä ja organisaatioon liittyvistä sosiaalisista puutteista. (Caballero-Espinosa, Carver & Stowers 2023.)

#### **2.4.2 Suomenkielisiä julkaisuja aiheesta**

Myös suomen kielellä on tehty kandidattutkielmia teknisen velan aiheesta. Näistä korostuu mm. Jaana Lehojärven kandidityö vuodelta 2016, josta hän on saanut myös palkinnon. Hän on tehnyt kirjallisuuskatsauksen silloin saatavilla olevista julkaisuista. Tutkielman keskiössä on termin määrittely ja velan hallinnoinnin tietyt elementit (Lehojärvi 2016). Sama tutkimus täydennettiin myös omalla empiirisellä tutkimuksella webropol-kyselyn muodossa pari vuotta myöhemmin tehdyssä gradutyössä (Lehojärvi 2018). Toisessa Jyväskylän yliopiston kandidityössä Tiitus Kivikangas erotteli teknisen velan merkitystä sen mukaan, oliko se otettu perinteisessä vai ketterässä kehitysmallissa. Loppupohdinnassaan hän totesi, että tekninen velka ketterässä ympäristössä on ominaisuus, joka saattaa toimia sekä positiivisena että negatiivisena tekijänä (Kivikangas 2020).

Suomessa tekninen velan aihe tulee esille usein myös erilaisten ohjelmistotalojen ja ammattilaisten verkkojulkaisussa. Tällaisissa julkaisuissa teknisen velan läsnäoloa harvoin kuvaillaan tervetulleeksi. Aihe tuo esille vahvojakin tunteita. Jopa otsikkotasolla voidaan löytää hyvinkin epämieluisia ilmaisuja, kuten ”organisaatiosi pahin myrkky” tai ”suurin digitalisaation jarru” (Niemistö 2017). Digian bloggeri Tero Niemistö samalla huomautti, että työpaikan sosiaaliset suhteet kärsivät teknisen velkaantumisen myötä ja oli sitä mieltä, että tiimitason ulottuvuus on jätetty vähäiselle huomiolle tekniseen velkaan liittyvissä tieteellisissä tutkimuksissa (Niemistö 2017).

Cinian bloggaaja vertaa teknistä velkaa autokorjaamoon, jossa työkalut jätetään lattialle, valot sammutetaan ja odotetaan, että joku kompastuu ensin ja siivous on vasta silloin aiheellista. Hänen mukaansa velan asiallinen dokumentaatio on tärkeää, koska tekninen velka voi jäädä piiloon kokonaan tai osittain tietyiltä sidosryhmiltä. (Lipo 2022). Verkkojulkaisuista löytyy myös hyväksyvä sävy velanotolle. LinkedIn Pulse blogin kirjoittajan mukaan toimituksen nopeutta saa kyllä priorisoida koodin laadun yli. Kirjoituksessaan hän ottaa kuitenkin esille useita ikäviä vaikutuksia, kuten hidas-tuminen, tuottavuuden ja työmotivaation lasku sekä henkilökunnan vaihtuvuus (Turunen 2021).

Oman priorisoinnin seuraamukset organisaatio joutuu hyväksymään velan ns. hinnaksi. Sitä, että onko myös otetun velan hintataso oikea, kaikki saavat arvioida itse. Eri sidosryhmien mielipide kuitenkin usein jakautuu tästä, mikä selittää aiheeseen liittyviä suuria tunteitakin. Tämän opinnäytetyön näkökulmavalinta perustu tavoitteeseen saada lisää tietoa siitä, kuinka paljon hintataso on havaittavissa päätöksentekohetkellä ja kuinka tietoisia päätöksentekijät ovat näkymättömään hintaan liittyvästä riskistä.

### 3 Toteutus

#### 3.1 Kirjallisuuskatsaus opinnäytetyön menetelmänä

Opinnäytetyön menetelmänä on integroiva kirjallisuuskatsaus. Tutkimuksen puitteissa ei ole tarkoitus kerätä uutta empiiristä dataa. Integroivassa katsauksessa pyritään yhdistää systemaattisia ja narratiivisia elementtejä (Salminen 2011). Analyysi tehdään laadullisin ottein, Onwuegbuzie:n, Leech:n ja Collins:n (2012) viitekehyksellä, jossa tarjotaan vaihtoehtoja kirjallisuuskatsauksen laadulliseen analyysiin. Viitekehyksessä ehdotetuista menetelmistä yksi on temaattinen analyysi, joka soveltuu hyvin tähän välimaastoon: analyysimenetelmä on systemaattinen, mutta synteessin rakentamiseen salli myös kirjoittajan omaa tulkintaa.

Integroivassa kirjallisuuskatsauksessa toisin kuin varsinaisessa systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa toistettavuus ei ole ensisijainen tavoite tai edellytys (Salminen 2011). Myös narratiivin kerrota on selkokieline ja samalla pyrkii herättämään keskustelua, tuoda esille uusia näkökulmia sekä aihe-ehdotuksia seuraaville empiirisille tutkimuksille. Tässä luvussa kuvataan tutkimuksen eri vaiheita ja työprosessi raportoidaan systemaattisen kirjallisuuskatsauksen periaatteiden mukaisesti, mikä pyrkii tarjoamaan korkeaa luotettavuustasoa.

### 3.2 Temaattinen analyysi

Temaattinen analyysi on suosittu, laadulliseen aineistoon tarkoitettu hyvin joustava sekä teoreettisesta viitekehuksesta riippumaton analyysimenetelmä, jota oli kehitetty ensisijaisesti yhteiskunta- ja terveystieteiden tutkimuksiin. Sitä käytetään kuitenkin lähes kaikkialla muilla tieteenaloilla myös, joilla on tarkoitus käsitellä laadulliset tutkimuskysymykset ihmisen kokemuksesta, ymmärryksestä, käytännöistä ja käyttäytymisestä (Terry, Hayfield, Clarke & Braun 2017). Tämä on hyödyllinen valinta silloin, kun tarkoituksena on tuoda esille aineistosta laajempia kertomuksia tai kokemuksia. Silloin analyysin lopullisen narratiiviin kuuluu usein myös tutkijan omaa tulkintaa (Karila 2019).

Temaattisella analyysiprosessilla on monta eri vaihetta ja koko prosessi on vahvasti iteratiivinen. Tutkija tai analyysin tekijä liikkuu usein edestakaisin eri vaiheiden välillä. Aineistoon tutustumisen jälkeen luodaan koodeja, jonka avulla aineiston ymmärrys syvenee. Koodit ovat analyysin rakennuspalikoita, joita ryhmittämällä voidaan havaita erilaisia kuvioita tiedoissa. Koodauksen valmistumisen jälkeen aloitetaan luoda koodeista kokonaisuuksia ja tarkastellaan mahdollisia teemoja. Lopullisten teemojen määrittelyssä otetaan huomioon opinnäytetyön alustavaa teoreettista viitekehystä ja etsitään vastauksia omille tutkimuskysymyksille koko ajan. Viimeinen vaihe on tuloksien, eli oman narratiivin kirjoittaminen. (Terry, Hayfield, Clark & Braun 2017.)

Kirjallisuuskatsauksen aineisto oli valikoima julkaisuja muiden tekemistä tutkimuksista. Analyysin kohteeksi otettiin tulokset-osio kymmenestä valitusta julkaisusta. Koodaamiseen käytetään useimmiten siihen tarkoitettuja työkaluja, kuten Nvivo, MAXQDA tai Atlas. Tässä tapauksessa työkaluna toimi Excel-taulu, jonka sarakkeet olivat: Tekijät ja Vuosi, Julkaisun nimi, Alkuperäinen tekstipätkä, Suomennos, Yksinkertaistettu versio ja viimeisenä sarakkeena Koodi. Koodit tai teemat olivat kan-

nattavuus, riski, ajanhukka, tunteet ja motivaatio. Tulokset luku, jossa analysoidaan tutkimusaineistoa, on rakennettu näiden teemojen ympärillä. Tutkimusaineistoon valitut julkaisut sekä niiden tiivistetty ja suomennettu sisältö on esitetty seuraavalta luvulta löytyvässä taulukossa (Taulukko 2).

### 3.3 Työprosessin kuvaus

#### 3.3.1 Eteneminen tutkimusvaiheiden välillä

Kirjallisuuskatsauksen prosessiin kuuluvia tärkeimpiä vaiheita olivat: aiheen valinta, tutustuminen kirjallisuuteen, näkökulman valinta, aineiston rajausta, analyysi ja tuloksien raportointi. Eteneminen vaiheiden välillä ei kuitenkaan toteutunut lineaarisesti, kuten menetelmäkirjallisuudessa yleensä kuvataan. Juntunen ja Lehenkari (2019) ovat tutkimuksissaan osoittaneet, että käytännössä katsauksen eri vaiheiden välillä edetään iteratiivisesti ja monisuuntaisesti (ks. Kuvio3).



Kuvio 3. Kirjallisuuskatsauksen iteratiivinen eteneminen

### 3.3.2 Rajausprosessin kuvaus

Analysoitavaksi valikoituivat empiiristen tutkimuksien ja vertaisarvioitujen kansainvälisten artikkelien lisäksi myös konferenssijulkaisut sekä muu harmaata kirjallisuutta, kuten eri tunnettujen pohjoismaisten ICT-alan yritysten verkkojulkaisut, joissa heijastuu aidosti ohjelmistokehittäjien näkökulma ja mielipide teknisestä velkaantumisesta. Hakua suoritettiin mm. seuraavista tietokannoista: Finna, ACM, IEEE Xplore, Elsevier, jne. Taulukossa 1 on sisäänotto- ja poissulkukriteerit, jonka mukaan aineisto on valikoitunut hakutulosten joukosta.

Taulukko 1. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Julkaisun koko teksti on saatavilla maksutta opiskelijalle	Julkaisun koko teksti ei ole saatavilla tai saatavuus on maksullinen
Julkaisun kieli on englanti tai suomi	Julkaisun kieli on muu kuin englanti tai suomi
Julkaisuvuosi on 2020–2023	Julkaisuvuosi on 2019 tai ennen
Tutkimuksen tuloksissa tai julkaisussa vastaan opinnäytetyön tutkimuskysymyksiin	Julkaisu ei koske opinnäytetyön tutkimustehtävää

Finna-tietokannan kansainvälisten artikkeleiden pikahakupalveluun lisättiin seuraava hakulauseke: "technical debt" AND "management" sekä aiherajaus: "Technical Debt". Tuloksia saatiin yhteensä 258. Kun lisättiin rajausta koko tekstin saatavuudesta sekä julkaisuvuosikriteerit, tuloksena saatiin enää 59 julkaisua. Vaikka vertaisarviointi ei ollut mukana sisäänottokriteereissä, tavoitteena oli kuitenkin varmistaa, että vähintään puolet lopputoksesta koostui vertaisarvioituista julkaisuista, työn luotettavuuden vahvistamiseksi. Lisäämällä rajauksiin vertaisarviointikriteerin, tuloksia saatiin 45. Aineiston rajausta jatkui tästä eteenpäin manuaalisesti, otsikoiden ja tiivistelmien perusteella ja lopulta valikoitui kymmenen julkaisua, joita koko tekstin perusteella valittiin mukaan aineistovalikoimaan.

Tavoitteena oli sisällyttää lopulliseen aineistoon mahdollisimman erityyppistä kirjallisuutta, eri puolilta maailmaa: empiirisiä tutkimuksia, vertaisarvioituja artikkeleita sekä konferenssijulkaisuja. Taulukossa 2 on kymmenen, tiivistelmän perusteella valittu julkaisu, mikä on opinnäytetyön tutkimusaineisto.

Taulukko 2. Tutkimusaineisto

Tekijät ja julkaisutiedot aakkosjärjestyksessä	Sisältö tiivistettynä ja suomennettuna
Banker, R., Liang, Y., & Ramasubbu, N. 2021. Technical Debt and Firm Performance. Management science, 67(5), 3174-3194.	Teknisen velan negatiivinen vaikutus kasvaa järjestelmien elinkaaren aikana, mikä heikentää merkittävästi liiketoiminnan arvoa. Tutkimusajanjakso: 11 vuotta. Osallistui 26 yritystä.
Besker, T., Ghanbari, H., Martini, A., & Bosch, J. 2020. The influence of Technical Debt on software developer morale. The Journal of systems and software, 167, 110586.	Yhteyksiä ajanhukkaan ja työmoraalin välillä. 15 haastattelua ja 43 kyselyä.
Besker, T., Martini, A., & Bosch, J. 2022. The use of incentives to promote technical debt management. Information and Software Technology, 142, 106740.	Teknisen velan hallintatapojen analyysi, joka keskittyy johtajien asenteisiin ja kannustimiin perustuvaan velkahallintastrategiaan. Osallistujia oli yhteensä 258, jotka edustivat 32 eri ohjelmistoyritystä.
Cico, O., Besker, T., Martini, A., Duc, A. N., Souza, R., & Bosch, J. 2021. Toward a Technical Debt Relationship with the Pivoting of Growth Phase Startups. Product-Focused Software Process Improvement. PROFES 2021. 265-250. Springer, Cham.	Teknisen velan hallinta vähentää merkittävästi startup-yritysten tarvetta suunnanmuutoksiin. Empiirinen tutkimus, osallistui 11 startup yritystä.
Freire, S., Rios, N., ym. 2021. How Experience Impacts Practitioners' Perception of Causes and Effects of Technical Debt. IEEE/ACM 13th International Workshop on Cooperative and Human Aspects of Software Engineering (CHASE), Madrid, Spain, 2021, 21-30.	Eri kokemustasolla olevat kehittäjät näkevät teknisen velan syitä ja seuraamuksia eri tavalla. Tiimit kannattaa tästäkin syystä koostaa vaihtelevasti. Kyselytutkimukseen osallistui 227 ohjelmistoalan ammattilaista.
Olsson, J., Risfelt, E., Besker, T., Martini, A., & Torkar, R. 2021. Measuring affective states from technical debt: A psychoempirical software engineering experiment. Empirical Software Engineering : an international journal, 26(5), .	Inhimilliset näkökulmat teknisen velan yhteydessä ovat tärkeitä tekijöitä koska ne voivat johtaa esimerkiksi viivyttelyyn, pelkoon ja uupumukseen. Empiirisessä tutkimuksessa osallistui 40 ammattilaista 12 eri yrityksestä.
Ramač, R., Mandić, V., ym. 2022. Prevalence, common causes and effects of technical debt: Results from a family of surveys with the IT industry. The Journal of Systems and Software, 184, 111114.	Suurella osalla ammattilaisista on vain teoreettista tietämystä teknisestä velasta ja alle puolet omaavat käytännön kokemusta teknisen velan hallinnasta. Tekninen velkaantuminen johtaa toimitusajan jatkuvaan viivästymiseen. Tiedot perustuvat kansainväliseen InsignTD-kyselytietokantaan, johon osallistui tutkijoita 12 eri maasta. Vastauksia saatiin 653 henkilöltä, jotka edustivat kuutta eri maata.
Soliman, M., Avgeriou, P., & Li, Y. 2021. Architectural design decisions that incur technical debt — An industrial case study. Information and Software Technology, 139, 106669.	Velkaantumista lisäävien arkkitehtuuripäätösten luokittelu ja tekijöiden kartoitus, jotka johtavat teknisen velan tarkoitukselliseen lisäämiseen. Tapaustutkimus täydennettiin kyselyillä.

Verdecchia, R., Kruchten, P., ym. 2020. Architectural technical debt: A grounded theory. Software Architecture: 14th European Conference, ECSA 2020 Proceedings 14, 202-219. Springer International Publishing.	Arkkitehtuurin teknisen velan korjaaminen tuntuu pelottavalta ja sitä usein vältellään. Tutkimus pyrkii selvittämään, miten organisaatiot käsittelevät tilannetta, jos lainkaan. Haastatteluun osallistui 18 kehittäjää, jolla oli keskimäärin 17 vuoden työkokemus.
Vidoni, M., Codabux, Z., & Fard, F. H. 2022. Infinite technical debt. The Journal of Systems and Software, 190, 111336.	Teoreettinen katsaus, joka tarjoaa uuden näkökulman lähestyä teknistä velkaa ja sen hallintaa, peliteorian avulla. Väitteenä on, että teknisestä velasta ei voi koskaan päästä eroon.

## 4 Tulokset

Teknisen velanoton päätöksentekohetkellä yleensä on jo tiedossa, että velalla on oma vaikeasti ennakoitava hintansa, jolla otetaan riski projektin kannattavuudelle tai ylipäättään sen onnistumiselle. Monet tutkimukset keskittyivät sen selvittämiseen, miten voidaan mitata teknisen velan negatiivista vaikutusta kehittäjien arkeen työhyvinvointiin tai minkä verran se voi aiheuttaa lisätyötä, stressiä sekä muita vaikeuksia koodin tekijöille (Besker 2020; Olsson 2021; Ramac 2022). Temaattisen analyysin perusteella tutkimusaineiston tuloksia järjestettiin teemojen mukaan, jotka liittyivät tutkimusasetelmaan ja siinä esitettyihin kysymyksiin kanssa.

### 4.1 Kannattavuus ja suunnitelmallisuus

Teknisen velan vaikutuksia kannattaa tutkia myös siitä näkökulmasta, että miten julkaistu ohjelmistotuote käyttäytyy asiakaan puolella ja miten hyvin se vastaa odotuksia taloudellisen hyödyn tuottajana ajan mittaan. Amerikkalaiset tutkijat, Rajiv Banker, Yi Liang ja Narayan Ramasubbu lähtivät selvittämään tätä kysymystä seuraamalla ohjelmistotuotteen elinkaaria 11 vuoden ajan ja mittaamalla sekä sisältynyttä teknistä velkaa, että taloudellisten hyödyllisyydestä muuttumista 26 eri asiakasyrityksellä. Tutkijat päätyivät lopputulokseen, että tietyn määrän teknisen velan negatiivinen vaikutus kasvaa järjestelmien elinkaaren aikana ja heikentää jatkuvasti ja merkittävästi liiketoiminnan arvoa. Tutkituissa asiakasorganisaatioissa ohjelmistotuotteen teknisen velan 10% lisäys heikennytti asiakaan bruttotulosta keskimäärin 16% ja tämä tulosten heikennys vielä lisääntyi elinkaaren ajan mittaan. Tulokset korostavat entisestään, että teknisen velan hoitamisella kannatta pitää kiirettä. (Banker, Liang & Ramasubbu 2021.)



Bankerin ja muiden tutkimustulokset osoittivat myös, että kilpailu CRM-ohjelmiston tuottajien välillä on tiukkaa, Markkinoilla pysyminen vaatii usein strategista päätöstä ottaa teknistä velkaa (Banker ja muut 2021). Tutkimuksessa ei kuitenkaan saatu tietoa päätöksentekijöiden mielipiteestä siitä, oliko lopulta velanotto hyvä vai huono päätös tai oliko se työkaluna kannattavaa. Myöskään riskianalyysin olemassaolosta ja sen menetelmistä ei saatu tutkimuksen yhteydessä tietoa. Kuitenkin tutkimus tarjoaa tärkeitä tietoja seuraaville päätöksentekijöille, jotka saattavat harkita jonkunlaista riskianalyysin tekemistä velanoton kannattavuuden tukemiseksi.

Päätöksenteossa suunnitelmallisuudella on keskeinen merkitys, koska se mahdollistaa riskien rajoituksen. Hollantilaisessa tapaustutkimuksessa Soliman ja muut käsittelivät velkaantumisen takana olevan ohjelmistosuunnittelun päätöksentekoprosessia. Velkaantumista lisääviä päätöksiä on luokiteltu muun muassa sitä mukaan, oliko päätös tehty pakon edestä, jonkun paineen alla vai omatahtoisesti johtuen siitä, että päätöksen tekohetkellä negatiivisia vaikutuksia ei nähty. Tapaustutkimuksen tavoitteena oli luokitella suunnittelupäätöksiä. Samalla kun tahattomien velkaantumisen syitä on tutkittu ja seurattu erilaisia tekijöitä, jotka vaikuttavat velanhallintaan, tavoitteena oli myös seurata, kuinka tarkoituksellinen velka syntyy käytännössä. Tutkijat esittivät oman viisi askelta sisältävän päätöksentekoprosessiehdotuksen, jonka noudattamalla teknistä velkaa syntyy oletettavasti vähemmän. Ehdotuksen mukaan, ensimmäisenä suunnittelijan tulisi määrittää yhden, hyvin ylläpidettävissä olevan ratkaisun. Toinen askel olisi yhden edellistä helpomman, mutta velkaa aiheuttavan ratkaisun esittämistä. Kolmantena tulisi tehdä analyysin perustuva valinta edellisten kahden ratkaisun välillä. Valinnassa on otettava huomioon erilaisia tekijöitä, kuten aikataulun tiukkuus, resurssien saatavuus, sekä ratkaisun monimutkaisuus. Valinnan perustelemisen jälkeen neljäntenä askelena valinnasta tulee sopia kehittäjien ja johtajien kesken. Asiakkaalta ei tässä vaiheessa kysytä mielipidettä. Viidennessä askelessa tulisi dokumentoida ensimmäisenä määritetty, parempi ratkaisu myös, koska siitä voi olla vielä hyötyä. Dokumentoitu oikea ratkaisu tulisi nostaa esiin myöhemmin, kun velan takaisinmaksuvaihe koittaa, ja sitä tulisi hyödyntää erityisesti tilanteissa, joissa henkilöstö vaihtuu välillä. Velkaa tietoisesti aiheuttavia päätöksiä olivat syntyneet tutkituissa tapauksissa aina paineen alla, jonka lisäksi muitakin arkkitehtuuriratkaisupäätöksiä aiheuttivat teknistä velkaa tahattomasti, koska helpon arkkitehtuurivalinnan seuraamuksia eivät olleet näköpiirissä päätöksentekohetkellä. (Soliman, Avgeriou & Li 2021.)

Startup-yritysten maailmassa on usein niin, että alkuperäistä ideaa joudutaan muuttamaan kokonaan, koska markkinat vetävät eri suuntaan. Tämänkaltaista merkittävää suunnanmuutosta kutsutaan usein pivotoinniksi englannin kielen ”pivoting” sanan mukaan. Pohjoismainen tutkijaryhmä syventyi siihen kysymykseen, mikä rooli teknisellä velalla on tässä suunnanmuutostarpeessa. Analyysiin kohteeksi valittiin yhteensä 11 startup-yritystä Norjasta ja Brasiliasta. Vain kolme yritystä ei havainnut mitään yhteyttä teknisen velkaantumisen ja suunnanmuutostarpeen välillä ja vain yksi mainitsi teknisen velan ottamisen hyödylliseksi alkuvaiheessa, jolloin on tarpeen rakentaa oma ns. ’proof-of-concept’ eli todistaa peruskonseptin toimivuus. Samalla todettiin, että tämäkin myönteinen näkemys oli vain tarinanomaista, sillä todellisuudessa kaikki yritykset, jotka saavuttivat kasvuvaiheen, olivat panostaneet teknisen velkaantumisen välttämiseen. Tuloksien mukaan teknisen velan välttäminen ja olemassa olevan velan nopea käsittely merkittävästi vähentää suunnanmuutostarvetta nuoreissa yrityksessä. (Cico, Besker, Martini, Duc, Souza & Bosch 2021.)

## 4.2 Aikahallinta

Vaikka tekninen velka on käytetty termi ohjelmistotalalla, moni ei välttämättä osaa selittää käsitettä. Kansainvälinen hankkeessa, InsignTD:ssä, johon osallistuu tutkijoita 12 eri maasta, muun muassa Suomesta, pyritään selvittämään kyselyjen avulla, kuinka tuttu termi tekninen velka on ammattilaisten keskuudessa ja mitä mielipiteitä ihmisillä on teknisen velan syistä ja seuraamuksista. Kyselyyn vastasi 745 ammattilaista, kuten kehittäjiä arkkitehtejä ja testaajia Brasiliasta Chilestä, Colombiasta, Costa Ricasta, Serbiasta ja Yhdysvalloista. Tulosten mukaan, ohjelmistotalalla 22%:lla ainoastaan teoreettista tietämystä on teknisestä velasta ja vain 47%:lla on käytännön kokemusta velan hallinnasta. (Ramač, Mandić, Taušan, Rios, Freire, Pérez, Castellanos, Correl, Pacheco, Lopez, Izurieta, Seaman & Spinola 2022.)

Tutkimuksella on toinen mielenkiintoinen tulos, joka paljastaa teknisen velanottoon liittyvää riitaisuutta. Ensisijaisena syynä velanottoon mainittiin tiukka aikataulu, eli velka otettiin kiireen takia varmistaakseen, että toimitus tapahtuu luvatusi. Tästä huolimatta yleisin haitallinen seuraamus velkaantumiselle oli juuri toimitusajan toistuva siirtyminen. (Ramač ym., 2022.)

Ajanhukka on merkittävä seikka, joka usein nousee esiin teknisten velkaantumisen ikävänä ja ahdistavana seuraamuksena. Tietyissä tilanteissa ratkaisun uudelleenarviointi on välttämätön ja vä-

lillä joudutaan kirjoittamaan joitain osia koodista kokonaan uusiksi. Ajanhukka tuntuu yleensä turhautavalta ja herättää ajatuksia siitä, miten olisi ollut parempi ja nopeampi käsitellä kyseistä moduulia jo alun perin kerralla kunnolla. Pohjoismaalaiset tutkijat kuten Terese Besker, Hadi Ghanbari, Antonio Martini sekä Jan Bosh ovat tutkineet epäiltyjä yhteyksiä ajanhukkaan ja työmoraaalin välillä. He ovat haastatelleet ja tehneet kyselyitä selvittääkseen, miten teknisen velan läsnäolo ja sen hallinta vaikuttavat työmoraaliin. Erityisesti he ovat tarkastelleet ajanhukkaan ja moraaliiin välinen yhteys. (Besker, Ghanbari, Martini & Bosch 2020.)

Tutkimustulosten mukaan ohjelmisto, joka kantaa merkittävää määrää teknistä velkaa, vaikuttaa negatiivisesti työmoraaliin ja samalla myös tuottavuuteen. Toisaalta velan hallinta parantaa molempia tekijöitä. Tutkimus osoitti myös, että teknisen velan läsnäolo hidastaa prosesseja ja aiheuttaa ajanhukkaa. Tutkijat korostavat, että panostaminen teknisen velan ennaltaehkäisyyn kannattaa, koska se parantaa tiimin työmoraalia, vähentää ajanhukkaa ja lisäämää edistymisen tunnetta. Tuloksista kävi ilmi, että negatiivinen yhteys liittyi ainoastaan työmoraaliin eikä tiimin sisäiseen viestintämoraaliin. Myöskään teknisen velan hallinnasta puhuminen ei tuonut esille henkilökohtaista ristiriitaa. Tutkijat selittivät tämän sillä, että teknisten velkakohteiden alkuperäiset koodarit ja sen takaisinmaksajat eivät todennäköisesti tunne toisiaan. (Besker ym., 2020.)

Ajanhukan käsittely riskinä ja siihen valmistautuminen tulisi ottaa huomioon päätöksenteossa, kun harkitaan teknisen velan lisäämistä. Työmoraali on inhimillinen tekijä, ja sen heikkeneminen muodostaa korkean hinnan tekniselle velalle. Kyseisessä tutkimuksessa ei käsitelty sitä, miten tekninen velka oli päättynyt järjestelmään, oliko se tapahtunut vahingossa vai tahallisesti (Besker ym., 2020).

Jokaisen tutkimuksen yhteydessä todettu, että teknisen velan hallintaan on tärkeä kiinnittää huomiota riittävästi, koska hyvällä velkahallinnalla on suora yhteys koko projektin onnistumiseen. Velkahallintaan oli lähestytty myös uudesta näkökulmasta, peliteorian avulla. Vidoni ja muut tutkijat esittivät omia väitteitään peliteorian sanastoa käyttäen siitä, kuinka velanhallinta on verrattavissa neljän, julkaisussa esitetyn tekijän kautta päättymättömiin peleihin (infinite games). Peliteorian mukaan peleissä yleensä pyritään johonkin tavoitteeseen, joka on saavutettavissa äärellisen määrän tiettyjen valintojen jälkeen, minkä jälkeen peli päättyy. Tämänkaltaisia pelejä ovat esimerkiksi

tunnetuimmat lautapelit. Toisaalta on myös olemassa pelityyppi, jossa valintojen määrä on ääretön ja pelaajien hyödyt selviävät usein vasta myöhemmin, valinnan jälkeisessä vaiheessa. Tätä pelityyppiä kutsutaan päättymättömäksi peliksi (Peliteoria 2023). Tutkimuksessa pelin tarkasteltuja tekijöitä olivat sen pelaajat, pelin tavoitteet, pelisäännöt sekä aikahallinta. Esitetyssä teoriassa todettu, että teknisestä velasta on mahdotonta päästä lopullisesti eroon (Vidoni, Codabux & Fard 2022). Teorian pystyttämiseksi ei ole otettu huomioon sitä, miten tekninen velka oli päättynyt systeemiin, vaan lähtöpiste on siinä, että velka aina sisältyy tuotteeseen, eikä ole mahdollista voittaa sitä missään vaiheessa, ohjelmistotuotteen elinkaaren aikana. Teknisen velanoton strategisen kannattavuuteen ei suorastaan oteta kantaa, vaan tutkimus keskittyy kokonaan velkakohteiden jatkuvan käsittelyyn.

### 4.3 Motivaatio ja tunnetilat

Teknisen velan hallinnassa vaikuttaa myös monenlaisia inhimillisiä tekijöitä, joita kannattaa ottaa huomioon sekä velanoton liittyvässä päätöksenteossa että velan takaisinmaksuvaiheessa. Ohjelmistotyöntekijöiden halukkuus ja motivaatio ovat keskeisessä asemassa, kun pyritään hallitsemaan teknistä velkaa. Pohjoismaiset tutkijat, Terese Besker, Antonio Martini sekä Jan Bosh olivat kiinnostuneet siitä, miten esimiesten asenne vaikuttaa teknisen velan kohteiden poistamisen vauhtiin. He ovat tutkineet erilaisia strategioita, jolla on mahdollista vaikuttaa ja ohjata toisten ihmisten käyttäytymistä, kuten rohkaiseva kannustus, palkitseminen, uhkaavat rangaistukset tai muut pakottavat keinot. (Besker, Martini & Bosh 2022.)

Tutkimuksessa kysyttiin verkkokyselyn avulla 258 ammattilaiselta, miten heidän esimiehensä ovat pyrkineet vaikuttamaan kehittäjien halukkuuteen puuttua ohjelmistotuotteesta löytyvään tekniseen velkaan. Tuloksena saatiin selville, että vaikka teknisen velan hallintaa ei ole palkittu erikseen, ei useinkaan pakottamista tai rangaistuksia tullut kyseeseen. Tutkimus osoitti selvästi, että kannustaminen ja henkinen tuki olivat tehokkaampia tapoja motivoida työntekijöitä käsittelemään teknistä velkaa. Mielenkiintoista oli, että melko suuri osa (40%) vastaajista ilmoitti, etteivät he saaneet lainkaan kannustusta esimiehiltään, vaikka monet ammattilaiset, jotka myönsivät saavansa tukea, olivat kaivanneet sitä enemmänkin. Toisen mielenkiintoisen havainnon mukaan tuotteenomistajat ja arkkitehdit uskoivat saavansa enemmän tukea johtajiltaan, kuin mitä itse asiassa haas-

tatellut johtajat myönsivät antavan. Tutkimustuloksien pääviesti oli, että tuki ei tarvitse olla rahan-arvoista, vaan myös henkinen tuki on arvokasta ja tämä saattaakin tarjota käyttämättömiä mahdollisuuksia. (Besker ym., 2022.)

Seuraavassa tutkimuksessa Alankomaissa ja Kanadassa haastateltiin kokeneita ohjelmistoalan työntekijöitä. Tutkimus keskittyi erityisesti arkkitehtuurista lähtöisin oleviin velkakohtiin, sillä lähtökohtana oli näkemys, jonka mukaan toisin kuin kooditasolla oleva tekninen velka, joka on korjattavissa vähäisellä vaivannäöllä staattisten analyysityökalujen avulla, arkkitehtuurinen tekninen velka tuntuu pelottavalta korjata ja usein sitä vältelläänkin. Tutkimuksen tarkoituksena oli saada ymmärrystä siitä, miten organisaatiot käsittelevät tällaista tilannetta, jos ollenkaan. Tuloksena oli esitetty teknisen velkaan liittyvä peruskonseptikokonaisuus, eli kokonainen teoria. Kuusi havaittua peruskonseptia koskee teknistä velkakohteita, syitä, seuraamuksia, oireita, hallintastrategioita sekä priorisointeja. (Verdecchia, Kruchten, ym., 2020.)

Suomalaisessa tutkimuksessa aiemmin havaittiin, että teknistä velkaa lisäävät monessa tapauksessa kokemattomat kehittäjät, koska ne eivät hallitse yrityksen koodausstandardeja kunnolla (Yli-Huumo ym., 2014). Tästä voisi helposti päätellä, että aloittelijoiden palkkaaminen olisi haitallista teknisen velkaantumisen hallinnan kannalta. Kuitenkin tiimien vaihteleva kokemustaso voi olla myös jollain tavalla etu.

Tekninen velka huolestuttaa eri tavalla ja erilaisin perustein kehittäjien kokemustasolta riippuen. Myöhemmin tehtiin kansainvälinen tutkimus, jossa kerättiin tietoja siitä, miten eri kokemustasolla olevat kehittäjät ymmärtävät teknisen velan syitä ja seuraamuksia. Tutkimus toteutettiin kyselyn avulla, ja siihen vastasi 227 ammattilaista. (Freire, Rios, ym. 2021.) Kokeneimmat kehittäjät keskittyivät enemmän siihen, miten tekninen velka saattaa vaikuttaa haitallisesti asiakaskokemukseen ja yleisesti tulla näkyville ulospäin, kun taas vähemmän kokeneet olivat huolissaan teknisistä yksityiskohdista ja siitä, miten tekninen velka lisää työpanosten määrää ja aiheuttaa turhaa ajanhukkaa. Koska molemmat näkökulmat ovat tärkeitä, tutkijoiden johtopäätös oli, että tiimien kannattaa koostua vaihtelevasti myös tästä syystä. (Freire, Rios, ym. 2021.)

Teknisen velan hinnan maksajat ovat usein eri henkilöitä kuin ne, jotka olivat strategisten päätösten tekijöitä velanottoon liittyen. Teknisen velkaantumisen käsittely tuo usein esille vahvojakin

tunteita työntekijöistä, joita takaisinmaksutilanne koskee. Tutkimuksia on kuitenkin tehty vain vähän, koska inhimillisten tekijöiden arvioiminen voi olla melko haastavaa. Jesper Olsson, Erik Risfelt, Terese Besker, Antonio Martini ja Richard Torkar suorittivat psykoempiirisen ohjelmistotuotanto-tutkimuksen, jossa pyrkivät selvittämään, miten tekninen velka vaikuttaa tekijöiden tunnetilaan (Olsson, Risfelt, Besker, Martini & Torkar 2021).

Kvalitatiivisten analyysitulosten mukaan teknisen velan kohtaaminen saattaa johtaa muun muassa viivyttelyyn, pelkoon, uupumukseen ja syyttelyyn. Nämä psykologiset kokemukset ovat haitallisia ohjelmistoprojektin onnistumiselle tavoilla, jotka ulottuvat pitkälle inhimillisten näkökulman ulkopuolelle (Olsson, ym., 2021). Siinä vaiheessa kun teknistä velkaa aletaan lyhentää, alkuperäinen motivaatio velan ottamiseen, kuten nopea markkinoillepääsy ja kilpailuedun saavuttaminen, saat-  
taa unohtua.

## **5 Pohdinta ja johtopäätökset**

Valitun tutkimusjulkaisuaineiston temaattisen analyysin avulla, voidaan esittää seuraavia vastauksia johdantoluvussa esitettyihin tutkimuskysymyksiin siitä, miten tekninen velkaantuminen näyt-  
täytyy kannattavana strategisena valintana ja miten päätökseen liittyvä riski analysoidaan ja ote-  
taan huomioon, erityisesti tilanteessa, jossa työkalun (teknisen velan) hinta on ennakoimaton.

### **5.1 Tekninen velkaantuminen kannattavana strategisena valintana**

Vaikka ikävistä seuraamuksista oli jo aiemmin runsaasti tietoja saatavilla (Cunningham 2009; Lim, ym. 2012; Ghanbari, ym., 2018), teknistä velkaa otetaan edelleen strategisena valintana. Valinnan kannattavuutta päätöksentekohetkellä ei kuitenkaan pystytä varmuudella arvioimaan. Ohjelmisto-  
tuotteen sisältämä tekninen velka saattaa aiheuttaa taloudellista haittaa asiakkaalle eli ohjelmis-  
ton käyttäjälle, mikä on todettu tutkimuksessa vasta jälkikäteen, useiden vuosien seurannan tulok-  
sena (Banker ym., 2021).

Arkkitehtuuripäätökset, joista etukäteen tiedetään aiheuttavan teknistä velkaa koodissa pitkällä  
aikavälillä, syntyvät kuitenkin aina paineen alla (Soliman, ym., 2021), ja niitä on siten vaikea käsi-  
tellä vapaaehtoisena valintana. Kun käytetään teknistä velkaa työkaluna toimitusajan nopeuttami-  
seen, tämänkaltaisen työkalu todennäköisesti kääntyy omistajaansa vastaan. Se alkaa muodostua

uhkaksi viimeistään siinä vaiheessa, kun on aika maksaa velkaa takaisin. Tässä vaiheessa tekninen velka saattaa aiheuttaa hidastumista ja toimitusaikoja joudutaan siirtämään (Ramac, ym., 2022).

Tutkimusaineiston perusteella ei voida vahvistaa, että strateginen tekninen velkaantuminen olisi kokonaisuudessaan kannattava valinta. Tekninen velka ei näytä voivan toimia aina tehokkaana työkaluna edes yrityksen alkuvaiheessa, sillä se lisää riskiä esimerkiksi pivotoinnin tarpeeseen (Cico, ym., 2021).

## **5.2 Riskien analysointi ja huomioon ottaminen**

Tekninen velka strategisena työkaluna näyttää lisäävän organisaation markkina-asemaa mahdollistaen ohjelmistotuotteen ilmestymisen markkinoille. On kuitenkin tärkeä ymmärtää, että mahdollisuuksien rinnalla organisaatio ottaa myös merkittävän riskin, sillä velan hinta ei ole tiedossa etukäteen. Riskienhallinta tapahtuu käytännössä teknisen velan hallinnan muodossa vasta velanoton jälkeisessä vaiheessa (Lehojärvi 2018), kun tuote on jo markkinoilla. Tutkitusta aineistosta ei ole saatu tietoa päätöksen yhteydessä tapahtuvista riskianalyysimenetelmistä tai hallintasuunnitelman dokumentaatiosta.

Eräässä tutkimuksessa esitettiin kuitenkin ehdotus siitä, miten voidaan pitää riski matalana päätöksenteon eri vaiheissa (Soliman ym., 2021). Tässä tapauksessa kyseessä olivat arkkitehtuuripäätökset, jotka saattavat tuoda mukanaan teknisen velan syntymistä myöhemmässä vaiheessa. Näin ollen, tekninen velka itsessään oli käsitelty riskinä, jota vältellään. Muita teknisen velkaantumisen kanssa mukaan tulevia riskejä, kuten inhimilliset tekijät tai kustannus- ja aikahallintaan liittyvät haasteet eivät tässä yhteydessä olleet keskeisenä tarkastelun kohteena, eikä niitä erityisesti pyritty kartoittamaan.

## **5.3 Ennakoimattoman hinnan huomioiminen**

Velanottopäätös on hyvässä tapauksessa huolellisesti valmisteltu, vertailemalla erilaisia vaihtoehtoja niiden kustannuksineen (McConnel 2008). Tällaisissa kustannuslaskelmissa on yleistä laskea ihmis- ja työtuntien hinnalla, vaikka se harvoin sisältää kaikkia todellisia kustannusseuraamuksia, joihin tulisi myös varautua. Inhimillisten vaikutusten tutkimuksista käy ilmi, että pelkkä teknisen

velan puheenaihe herättää voimakkaita tunteita (Olsson, ym., 2021), ja saattaa johtua työmotivaation laskuun (Besker, ym., 2022). Tunteita synnyttää erityisesti ajan hukkaamisesta johtuva ahdistus (Besker, ym., 2020).

Kyselyvastauksista käy ilmi siitä, että teknistä velkaa muodostaa strategisen päätösten ohella myös arkkitehtien tai kehittäjien kokemattomuus ja tietojen puute (Verdecchia ym., 2020). Kokemustaso on inhimillinen kysymys, ja vaikka sen puute saattaakin liittyä velkaantumiseen, sitä ei voida tarkastella pelkästään riskinä, sillä siinä voi olla myös hyötyä velan hallinnassa. Tämä hyöty voi ilmetä erityisesti vaihtelevissa tiimikoostumuksissa (Freire, ym., 2021).

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että teknisen velanoton loppuhintaa todennäköisesti aliarvioidaan siinä vaiheessa, kun velan ottamisesta tehdään päätös, koska hintaan olisi laskettava mukaan kaikki ennen mainitut inhimilliset vaikutukset. Niiden ennustaminen on kuitenkin hyvin haastava, jos mahdollinen ollenkaan.

## **5.4 Kehittämisehdotukset, tulosten luotettavuus ja hyödyllisyys**

Lisää empiiristä tutkimusta voitaisiin tehdä siitä, miten ohjelmistoyritykset yleensä valmistelevat päätöksiään lisätä teknistä velkaa, ja onko niillä riittävästi keinoja ja työkaluja laatia hallintasuunnitelmaa teknisen velanottopäätöksen yhteydessä. Hyödyllistä olisi saada lisää tietoa myös siitä, miten hallintasuunnitelmasta vastaavat tahot pystyvät analysoimaan ja ottamaan huomioon kaikki aiempiin tutkimuksiin perustuvat mahdolliset riskit, mukaan lukien inhimilliset tekijät, joiden hinta voi nousta helposti odotuksien yläpuolelle ja vaarantaa koko organisaation taloudellisen kannattavuuden.

E erityisenä riskinä olisi käsiteltävä siinä myös se, että suunniteltuun strategisen velan lisäksi on odotettavissa myös ennenäkematöntä teknistä velkaa, joka saattaa osoittautua vaikeaksi poistaa. Kannattaa muistaa samalla, että edes parhaalla suunnittelulla kaikkia teknistä velkaa ei välttämättä pystytäkään maksaa takaisin ja niiden käsittely on kuin ikuisuuspelejä (Vidoni ym., 2022). Ilman asianmukaista riskien kartoitusta, loppuhinnan ennakoiminen on mahdotonta ja päätöksentekoprosessista puuttuu vastuullisuus yrityksen tulevaisuutta kohtaan. Vaikka reagoivalla lähestymistavalla voitaisiinkin jonkin aikaa edetä, kokonaisvaltainen riskienhallinta on välttämätöntä yrityksen pitkän aikavälin menestyksen varmistamiseksi.



Teknisestä velasta on julkaistu viimeisten vuosikymmenten aikana runsaasti kirjallisuutta. Omiin tutkimuskysymyksiin suoraan vastaavien julkaisujen valinta niiden joukosta oli haasteellista. Valitut julkaisut tutkivat tekniseen velkaan liittyviä haasteita hieman eri näkökulmista kuin opinnäytetyön tutkimusasetelmassa tavoiteltiin. Lähteisiin viittaamisessa oli pyritty noudattamaan eettisyyden peruskriteereitä (Hyvä tieteellinen käytäntö n.d.) sekä Jyväskylän ammattikorkeakoulun raportointiohjeita (Liukko ja Perttula 2021).

Analyysiin valitut englanninkieliset julkaisut olivat vertaisarvioituja ja englanninkielisiä, lisäksi ammattilaisten verkkojulkaisuja ja asiantuntiselvityksiä oli myös referoitu tietoperustaan, jotta työstä tulisi mahdollisimman monipuolista sekä nykyistä ammatillista ympäristöä ja sen haasteita parhaiten kuvaava. Tulosten luotettavuutta saattaa heikentää kirjoittajan oma tulkinta sekä ohjelmistoalalta kerätty vähäinen työkokemus. Sekä englanti, että suomen kieli ovat kirjoittajalle vieraita kieliiä, joten ei myöskään voida poissulkea kielten välisiä mahdollisia tulkintavirheitä. Aineistosta poissuljettuja kirjallisuutta, joka on julkaistu englannin ja suomen kielten ulkopuolella, saattaa myös tarjota hyviä vastauksia tämän työn tutkimuskysymyksiin.

Opinnäytetyöstä ja sen tuloksista voi olla hyötyä lukijoille, jotka ovat siirtymässä ohjelmistoalalle ja ovat kiinnostuneet kartoittamaan siellä tyypillisiä haasteita. Tulevat koodarit, testaajat sekä myös yrittäjäksi pyrkivät voivat saada hyödyllisiä tietoja siitä, kuinka tekninen velka vaikuttaa eri sidosryhmiin ja projektin budjettiin. Työn tavoite oli herättää ajatuksia siitä, voiko kyseenalaistaa sitä yleisesti levinnyttä uskomusta, että teknisen velan ottaminen olisi kätevää ja kannattava työkalu ohjelmistojulkaisujen vauhdittamiseen. Työssä kartoitetut tutkimustulokset kannustavat lukijoita miettimään myös sitä, miten voisi tutkia teknisen velan kokonaishinnan muodostumista, ja tarjota sillä parempia työkaluja vastuulliseen budjetointiin. Tämä mahdollistaisi, että organisaatiot voisivat suunnitella myös markkinoillepääsyn jälkeistä aikakautta.

Teknisen velan termin määritelmä vaihtelee, mikä tekee aiheen tutkimuksesta ja siitä pidetyistä keskusteluista haasteellisia. Suppeammassa käsityksessä puhutaan vain ketterälle kehitykselle ominaisesta tietämättömyydestä mahdollisiin lisävaatimuksiin liittyen. Toiset taas voivat ymmärtää teknisen velan niin, että sallitaan heikompilaatuista koodausta ja vähemmän testausta.

Työn yhteydessä ei voitu kyseenalaistaa yleissääntöä, jonka mukaan korkea riskinsietokyky johtaa parempaan voittoon, mutta onnistuttiin päivittämään aikaisemmat näkemykset teknisestä velasta pitkäaikaisen kannattavuuden uhkana. Kartoittamalla kenttää tarjottiin uusia näkökulmia päätöksenteon eri asemissa oleville ammattilaisille.

## Lähteet

- Ampatzoglou, A., Ampatzoglou Ap., Chatzigeorgiou, A., Avgeriou, P. 2015. The Financial Aspect of Managing Technical Debt: A Systematic Literature Review. *Information and Software Technology*, 64, 52-73.
- Banker, R., Liang, Y., & Ramasubbu, N. 2021. Technical Debt and Firm Performance. *Management Science*, 67(5), 3174-3194
- Besker, T., Ghanbari, H., Martini, A., & Bosch, J. 2020. The influence of Technical Debt on software developer morale. *Journal of Systems and Software*, 167, 110586.
- Besker, T., Martini, A., & Bosch, J. 2022. The use of incentives to promote technical debt management. *Information and Software Technology*, 142, 106740.
- Brown, N., Cai, Y., Guo, Y., Kazman, R., Kim, M., Kruchten, P., Lim, E., MacCormack, A., Nord, R., Ozkaya, I., Sangwan, R., Seaman, C., Sullivan, K. & Zazworka, N. 2010. Managing technical debt in software-reliant systems. Workshop on Future of Software engineering research. FoSER 2010. Association for Computing Machinery, NewYork, USA, 47-52.
- Brush, K. & Silvertone, V. 2019. Agile software development. Verkkojulkaisu. Techtarget. Päivitetty 1.11.2022. Viitattu 5.5. 2023. <https://www.techtarget.com/searchsoftwarequality/definition/agile-software-development>
- Caballero-Espinosa, E., Carver, J. C., & Stowers, K. 2023. Community smells—The sources of social debt: A systematic literature review. *Information and Software Technology*, 153, 107078.
- Cerquozzi, R., Decoutere, W., Dussa-Zieger, K., Riverin, J., Hryszko, A., Klonk, M., Pilaeten, M., Posthuma, M., Reid, S., Riou du Cosquer, E. (puheenjohtaja), Roman, A., Stapp, L., Ulrich, S. (varapuheenjohtaja), Zakaria, E. 2023. Sertifioitu testaaja. Perustason sertifikaattisisältö. Versio CTFL 4.0-FI. International Software Testing Qualifications Board. Saatavilla <https://fistb.fi/istqb-sertifiointi/tiedostot/>
- Cico, O., Besker, T., Martini, A., Duc, A. N., Souza, R., & Bosch, J. 2021. Toward a Technical Debt Relationship with the Pivoting of Growth Phase Startups. *Product-Focused Software Process Improvement. PROFES 2021*. 265-250. Springer, Cham.
- Cunningham, W. 1992. The WyCash Portfolio Management System. *Proc. OOPSLA 92 Vancouver*, pp. 5-10.

Cunningham, W. 2009. Ward explains the tech debt metaphor. Viitattu: 25.11. 2022. Saatavilla verkossa: <https://www.youtube.com/watch?v=pqeJFYwnkJE> & <http://wiki.c2.com/WardExplainsDebtMetaphor>

Dehaghani, S. & Hajrahimi, N. 2013. Which factors affect software projects maintenance cost more. *Acta Informatica Medica* 2013 Mar; 21(1):63-66

di Biase, M., Bruntink, M., van Deursen, A., & Bacchelli, A. 2019. The effects of change decomposition on code review—a controlled experiment. *PeerJ. Computer Science*, 5, e193.

Fairbanks, G. 2020. Ur-Technical Debt. *IEEE Software*, vol. 37, no. 4, pp. 95-98.

Freire, S., Rios, N., Perez, B., Castellanos, C., Correal, D., Ramac, R., Mandic, V., Tausan, N., López, G., Pacheco, A., Falessi, D., Mendonca, M., Izurieta, C., Seaman, C., Spínola, R. 2021. How Experience Impacts Practitioners' Perception of Causes and Effects of Technical Debt. *IEEE/ACM 13<sup>th</sup> International Workshop on Cooperative and Human aspects of Software Engineering (CHASE)*, Madrid, Spain, 2021, 21-30.

Gilson, F. & Morales-Trujillo, M. & Mathews, M. 2020. How junior developers deal with their technical debt? In *Proceedings of the 3rd International Conference on Technical Debt (TechDebt '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 51–61.

Guo, Y., Spínola, R. O., & Seaman, C. 2016. Exploring the costs of technical debt management – a case study. *Empirical Software Engineering: an international journal*, 21(1), 159-182.  
Hamilton, T. 2023.

Ghanbari, H., Vartiainen, T., & Siponen, M. 2018. Omission of Quality Software Development Practices: A Systematic Literature Review. *ACM Computing Surveys*, 51(2), 1–27.

Hyvä tieteellinen käytäntö. N.d. Verkkojulkaisu. Päivitetty 9.10.2023. Viitattu 15.1.2024. <https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk>

Juntunen, M. & Lehenkari, M. 2019. A narrative literature review process for an academic business research thesis. *Studies in Higher Education*, DOI: 10.1080/03075079.2019.1630813

Liukko, S. & Perttula, S. 2021. Opinnäytetyön raportointi. Jyväskylän ammattikorkeakoulun Internet-sivut. Viitattu 15.1.2024. <https://oppimateriaalit.jamk.fi/raportointiohje/>.

Karila, K. 2019. Mitä on temaattinen analyysi? Tampereen yliopiston Metodifestivaali 2019. <https://events.tuni.fi/metodifestivaali2019/ohjelma/mita-ihmetta-on-temaattinen-analyysi-policy-brief-tietoarkisto/>

Ketterä ohjelmistokehitys. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 15.12.2021. Viitattu 5.5.2023. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Ketter%C3%A4\\_ohjelmistokehitys](https://fi.wikipedia.org/wiki/Ketter%C3%A4_ohjelmistokehitys)

Khan, M., Mirza, A., Saleem, I., 2020. Software Risk Analysis with the use of Classification Techniques: A Review. Engineering, Technology & Applied Science Research. Vol.10, No 3, 2020, 5678-5682

Kivikangas, T. 2020. Tekninen velka erilaisissa ohjelmistokehitystyypeissä. Kandidaatintutkielma, Tietojärjestelmätiede, Jyväskylän yliopisto.

Koski, J. n.d. Ketterät menetelmät, agile, LEAN ja scrum. Itewiki. Verkkojulkaisu. Viitattu 5.5.2023. <https://www.itewiki.fi/opas/ketterat-menetelmat-agile-lean-ja-scrum/>

Kuutila, M., Mantyla, M. V., Farooq, U., & Claes, M. 2021. What Do We Know About Time Pressure in Software Development? IEEE software, 38(5), 32-38.

Kruchten, P., Nord, R. L., & Ozkaya, I. 2012. Technical Debt: From Metaphor to Theory and Practice. IEEE software, 29(6), 18–21. <https://doi.org/10.1109/MS.2012.167>

Lean. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 30.10.2022. Viitattu 5.5.2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Lean>

Lehojärvi, J. 2016. Tekninen velka hallinnoinnin näkökulmasta: tunnusta, tunnista ja rajoita. Kandidaatintutkielma, Tietojärjestelmätiede, Jyväskylän yliopisto.

Lehojärvi, J. 2018. Teknisen velan hallinnoinnin viitekehykset: tiimin näkökulma. Pro gradu -tutkielma, Informaatioteknologian tiedekunta, Jyväskylän yliopisto.

Lenarduzzi, V., Besker, T., Taibi, D., Martini, A., & Fontana, F. A. 2021. Technical Debt Prioritization: State of the Art. A Systematic Literature Review. The Journal of Systems and Software, 171.

Li, Z., Avgeriou, P., & Liang, P. 2015. A systematic mapping study on technical debt and its management. Journal of Systems and Software, 101, 193-220.

Lim, E., Taksande, N., & Seaman, C. 2012. A Balancing Act: What Software Practitioners Have to Say about Technical Debt: TECHNICAL DEBT. IEEE software, 29(6), 22–27.

Lipo, Vili. 2022. Tuo tekninen velka päivänvaloon. Viitattu 8.3.2023. Saatavilla <https://www.cinia.fi/blogi/tuo-tekninen-velka-paivanvaloon>

Maipradit, R., Treude, C., Hata, H., & Matsumoto, K. (2020). Wait for it: Identifying “On-Hold” self-admitted technical debt. *Empirical Software Engineering: an international journal*, 25(5), 3770-3798.

Martin, M. Risk Analysis & Risk Management in Software Engineering. Guru99. Verkkojulkaisu. Päivitetty 11.3.2023. Viitattu 5.5.2023. Saatavilla <https://www.guru99.com/risk-analysis-project-management.html>

Martin, M. 2023. Software Development Life Cycle (SDLC) Phases Models. Guru99. Verkkojulkaisu. Päivitetty 8.4.2023. Viitattu 5.5.2023. <https://www.guru99.com/software-development-life-cycle-tutorial.html>

McConnel, S. 2007. The Big Ball of Mud and Other Architectural Disasters. Verkkojulkaisu. Päivitetty 26.11.2007. Viitattu 5.5.2023. <https://blog.codinghorror.com/the-big-ball-of-mud-and-other-architectural-disasters/>

McConnel, S., 2008. Managing Technical Debt. Construx White papers. Verkkojulkaisu. Viitattu 20.1.2024. Saatavilla <https://www.construx.com/resources/white-papers/>

Melo, A., Fagundes, R., Lenarduzzi, V., & Santos, W. B. 2022. Identification and measurement of Requirements Technical Debt in software development: A systematic literature review. *The Journal of Systems and Software*, 194, 111483.

Mustonen, E. n.d. Riskienhallinta: lisäarvoa vai lisätyötä? Valtiontalouden tarkastusvirasto. Verkkojulkaisu. <https://www.vtv.fi/hyva-hallinto-artikkeli/riskienhallinta-lisaarvoa-vai-lisatyota/>

Niemistö, Tero. 2016. Tekninen velka - yrityksesi suurin digitalisaation jarru. Digia Blog. Julkaistu 7.11.2016. Viitattu 8.3.2023. <https://blog.digia.com/tekninen-velka-yrityksesi-suurin-digitalisaation-jarru>

Niemistö, Tero. 2017. Tekninen velka - organisaatiosi pahin myrkky. Digia Blog. Julkaistu: 17.1.2017. Viitattu: 8.3.2023. <https://blog.digia.com/tekninen-velka-organisaatiosi-pahin-myrkky>

Ohjelmiston testaaminen. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 8.8.2022. Viitattu 5.5.2023. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmiston\\_testaaminen](https://fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmiston_testaaminen)

Ohjelmistotuotanto. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 31.3.2023. Viitattu 5.5.2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Ohjelmistotuotanto>

Olsson, J., Risfelt, E., Besker, T., Martini, A., & Torkar, R. 2021. Measuring affective states from technical debt: A psychoempirical software engineering experiment. *Empirical Software Engineering: an international journal*, 26(5).

Onwuegbuzie, A. J., Leech, N. L., & Collins, K. M. 2012. Qualitative analysis techniques for the review of the literature. *The Qualitative Report*, 17(28), 1.

Peliteoria. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 26.2.2023. Viitattu 10.2.2024. [https://fi.wikipedia.org/wiki/Peliteoria#P%C3%A4%C3%A4ttym%C3%A4t%C3%B6n\\_peli](https://fi.wikipedia.org/wiki/Peliteoria#P%C3%A4%C3%A4ttym%C3%A4t%C3%B6n_peli)

Ramač, R., Mandić, V., Taušan, N., Rios, N., Freire, S., Pérez, B., Castellanos, C., Correl, D., Pacheco, A., Lopez, G., Izurieta, C., Seaman, C., Spinola, R. 2022. Prevalence, common causes and effects of technical debt: Results from a family of surveys with the IT industry. *The Journal of Systems and Software*, 184, 111114.

Rios, N., Spínola, R. O., Mendonça, M., & Seaman, C. 2020. The practitioners' point of view on the concept of technical debt and its causes and consequences: A design for a global family of industrial surveys and its first results from Brazil. *Empirical Software Engineering: an international journal*, 25(5), 3216–3287.

Riskienhallinta. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 7.1.2023. Viitattu 5.5.2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Riskienhallinta>

Schwaber, K. & Sutherland, J., 2020. *Scrum-opas*. SAEFe.

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? – Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan Yliopisto. Viitattu 7.3.2023. [https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf](https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf)

Scrum. Wikipedia Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 27.10.2022 Viitattu 5.5.2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Scrum>

Software maintenance. Wikipedia. Englanninkielinen tietosanakirja. Päivitetty 18.2.2023. Viitattu 5.5.2023. [https://en.wikipedia.org/wiki/Software\\_maintenance](https://en.wikipedia.org/wiki/Software_maintenance)

Soliman, M., Avgeriou, P., & Li, Y. 2021. Architectural design decisions that incur technical debt — An industrial case study. *Information and Software Technology*, 139, 106669.

Spagettikoodi. Wikipedia. Vapaa tietosanakirja. Päivitetty 23.10.2022. Viitattu 5.5.2023. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Spagettikoodi>

Tekninen velka. 2023. Wikipedia. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa [https://fi.wikipedia.org/wiki/Tekninen\\_velka](https://fi.wikipedia.org/wiki/Tekninen_velka)

Terry, G., Hayfield, N., Clarke, V., & Braun, V. 2017. *Thematic Analysis*. SAGE Publications Ltd.

Turunen, W. 2021. Tekninen velka pähkinänkuoressa. Pulse verkkojulkaisu, LinkedIn. Viitattu 23.9.2023. Saatavissa <https://www.linkedin.com/pulse/tekninen-velka-p%25C3%25A4hkin%25C3%25A4nkuoressa-waltteri-turunen/>

Vanha-Majamaa, A., 2023. Ylistetyn suomalaispelin jatko-osa julkaistiin keskeneräisenä – ”paine on kovaa”, sanoo pelintekijä. Verkkojulkaisu. Yle.fi. Julkaistu 10.11.2023. Viitattu 14.1.2024. <https://yle.fi/a/74-20059311>

Vega-Velázquez, M. Á., García-Nájera, A., & Cervantes, H. 2018. A survey on the Software Project Scheduling Problem. *International Journal of Production Economics*, 202, 145-161.

Verdecchia, R., Kruchten, P., ym. 2020. Architectural technical debt: A grounded theory. *Software Architecture: 14<sup>th</sup> European Conference, ECSA 2020 Proceedings 14*, 202-219. Springer International Publishing.

Vidoni, M., Codabux, Z., & Fard, F. H. 2022. Infinite technical debt. *The Journal of Systems and Software*, 190, 111336.

What is Software Testing? Definition. Guru99. Verkkojulkaisu. Päivitetty 1.1.2023. Viitattu 5.5.2023. <https://www.guru99.com/software-testing-introduction-importance.html>

Wolff, E., & Johann, S. 2015. Technical Debt. Edited radio episode: *Software Engineering 224*. *IEEE software*, 32(4), 94-c3.

Yli-Huumo, J., Maglyas, A., & Smolander, K. 2016. How do software development teams manage technical debt? – An empirical study. *The Journal of systems and software*, 120, 195-218. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2016.05.018> .

Yli-Huumo, J., Maglyas, A., & Smolander, K. 2014. The Sources and Approaches to Management of Technical Debt: A Case Study of Two Product Lines in a Middle-Size Finnish Software Company. Conference Paper. 15<sup>th</sup> International Conference PROFES 2014, Helsinki, Finland.

Yrttiaho, T., Pinola, S., Päätaalo, K., & Saarnio, R. 2021. Eettiset kuormitustekijät haastavat ICT-alan osaajien aivoterveyttä. *ePOOKI 26/2021 Olulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut*. Saatavilla <https://www.theseus.fi/handle/10024/493471>