

Mikko Tynnyrinen

**Kartoittava kirjallisuuskatsaus emulaatiopohjaisista
ratkaisuista digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä**

Tietotekniikan pro gradu -tutkielma

12. joulukuuta 2024

Jyväskylän yliopisto

Informaatioteknologian tiedekunta

Tekijä: Mikko Tynnyrinen

Yhteystiedot: p.mikko.i.tynnyrinen@student.jyu.fi

Ohjaajat: Jonne Itkonen ja Tuomo Rossi

Työn nimi: Kartoittava kirjallisuuskatsaus emulaatiopohjaisista ratkaisuista digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä

Title in English: Scoping review of emulation-based solutions in digital preservation

Työ: Pro gradu -tutkielma

Opintosuunta: Ohjelmisto- ja tietoliikennetekniikka

Sivumäärä: 63+28

Tiivistelmä: Emulaatioon on digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä suhtauduttu aiemmin varauksella. Sittenkin emulaation toimivuus ja luotettavuus on todistettu, mutta sen käyttö digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä on edelleen vähäistä. Tämä pro gradu -tutkielma pyrkii kartoittavan kirjallisuuskatsauksen kautta selvittämään, mitä strategioita ja työkaluja on kehitetty emulaation käyttöönoton yksinkertaistamiseen, sekä kuinka emulaatiota on sovellettu täydentävästi muiden digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmien kanssa.

Avainsanat: emulaatio, emulaattori, digitaalinen pitkäaikaissäilytys, digitaalinen vanhentuminen

Abstract: In the past, emulation in digital preservation has been treated with reservations. Since then, the feasibility and reliability of emulation has been proven, but its use in digital preservation is still limited. This master's thesis aims to find out, through a scoping review, which strategies and tools have been developed to simplify the implementation of emulation, as well as how emulation has been applied complementary with other methods of digital preservation.

Keywords: emulation, emulator, digital preservation, digital obsolescence

Kuviot

Kuvio 1. Emuloitujen ympäristöjen tasot Guttenbrunneria ja Rauberia (2012) mukaillen..	10
Kuvio 2. Modulaarisen emulaation malli Verdegemiä ja van der Hoevenia (2006) mukaillen.....	13
Kuvio 3. Ketjuttamisen malli Verdegemiä ja van der Hoevenia (2006) mukaillen.	17
Kuvio 4. Uudelleenisännöinnin malli Verdegemiä ja van der Hoevenia (2006) mukaillen.	17
Kuvio 5. Emulaatiopohjaisen säilytyksen osat Rothenbergia (2000a) mukaillen.....	19
Kuvio 6. Aikaisempien EVM:mien emulointi Rothenbergia (2000a) mukaillen.	19
Kuvio 7. Systemaattisen kirjallisuuskartoituksen prosessi Peterseniä ym. (2008) mukaillen.....	23
Kuvio 8. Löytyneiden artikkelien lukumäärät tutkimusprosessin eri vaiheissa.....	28
Kuvio 9. Hyväksytyjen artikkelien väliset viittaukset.....	32
Kuvio 10. MtE-työnkulku ja siihen liittyvät komponentit von Suchodoletzia, Rechertiä ja Valizadaa (2011) mukaillen.	34
Kuvio 11. Esimerkki katselupoluista von Suchodoletzia ja van der Hoevenia (2009) mukaillen.	35
Kuvio 12. Asiakkaan pyyntö verkkoresurssille Woodsia ja Brownia (2010) mukaillen. ...	36
Kuvio 13. Virtuaalisen arkiston organisaatio Woodsia ja Brownia (2010) mukaillen.	37
Kuvio 14. EF-työnkulku Lohmania ym. (2011) mukaillen.	39
Kuvio 15. GRATE-arkkitehtuuri Rechertiä, von Suchodoletzia ja Welteä (2010) mukaillen.	42
Kuvio 16. EaaS:n komponentit ja palvelumoduulit von Suchodoletzia, Rechertiä ja Valizadaa (2013) mukaillen.....	45
Kuvio 17. EaaS-Preservica-työnkulun yleiskatsaus Cochranea, Tilburya ja Stobbea (2017) mukaillen.	48

Taulukot

Taulukko 1. Digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen strategioiden vertailua (Ponsard 2021). Suomennettu lähteestä.	8
Taulukko 2. Emulaatiokäyttäjien ja -kohtaamisien tyypit (Acker 2020). Suomennettu lähteestä.....	14
Taulukko 3. Hyväksytyjen artikkelien lähdetietokannat.	31

Sisällys

1	JOHDANTO	1
2	DIGITAALINEN PITKÄAIKAISSÄILYTYS	2
2.1	Digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen taustaa	2
2.2	Digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmiä	3
2.2.1	Migraatio	4
2.2.2	Muita menetelmiä	5
3	EMULAATIO	9
3.1	Emulaatio käsitteenä	9
3.1.1	Samankaltaisia käsitteitä	10
3.2	Emulaatio digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä	11
3.2.1	Dioscuri	12
3.2.2	Emulaatiokäytänteet kirjastoissa, arkistoissa ja museoissa	13
3.3	Emulaation haasteita ja ongelmia	15
3.3.1	Grangerin ja Rothenbergin näkemyksiä	15
3.3.2	Emulaattoreiden kehittäminen ja vanheneminen	16
4	TUTKIMUSMENETELMÄ	20
4.1	Kartoittava kirjallisuuskatsaus	20
4.2	Harkittuja tutkimusmenetelmiä	21
4.2.1	Systemaattinen kirjallisuuskatsaus	21
4.2.2	Systemaattinen kirjallisuuskartoitus	22
5	TUTKIMUSPROSESSI	24
5.1	Tutkimuskysymykset	24
5.2	Sisällyttämisen- ja poissulkemiskriteerit	25
5.3	Hakulauseet	26
5.4	Haku- ja hyväksymisprosessi	26
6	TULOKSET	30
6.1	Määrälliset tulokset	30
6.1.1	Lähdetietokannat	30
6.1.2	Artikkelien suhde toisiinsa	30
6.2	Tunnistetut menetelmät	33
6.2.1	Etäemulaatio	33
6.2.2	Migration-through-Emulation	33
6.2.3	Automaatio	35
6.3	Menetelmiä hyödyntävät työkalut	36
6.3.1	Avustettu emulaatio	36
6.3.2	Emulation Framework	38
6.3.3	PLANETS ja GRATE	41
6.3.4	Emulation-as-a-Service	43

7	POHDINTA	49
8	YHTEENVETO.....	51
	LÄHTEET	53
	LIITTEET.....	59
	A Seulottujen julkaisujen lähdetietokannat	59
	B Tutkimukseen hyväksytyt julkaisut.....	63
	C Lukuvaiheessa hylätyt julkaisut	64
	D Seulomalla hylätyt julkaisut	65

1 Johdanto

Emulaatioon digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä on aiemmin suhtauduttu varauksella. Sitä on pidetty liian monimutkaisena ja kalliina ratkaisuna suurten varastojen säilyttämiseen (Granger 2000). Tämä käsitys on kuitenkin sittemmin kyseenalaistettu, ja emulaatio on osoitettu toimivaksi, luotettavaksi ja toteuttamiskelpoiseksi menetelmäksi (Tynnyriinen 2022). Emuloimalla säilytettävien digitaalisten objektien alkuperäisiä käyttöympäristöjä voidaan säilyttää niiden alkuperäinen formaatti ja taata näin niiden autenttisuus. Emulaatio kykenee myös säilyttämään digitaalisia objekteja sellaisissa tilanteissa, joihin yleisemmin käytetty migraatio ei sovellu yhtä hyvin, kuten monimutkaisten ja vahvasti interaktiivisten objektien kohdalla. Kuitenkin emulaation käyttö digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä on pysynyt vähäisenä (Ahmad ja Rafiq 2024).

Tutkielmassa pyritään selvittämään, mitä sellaisia malleja, strategioita ja työkaluja on ehdotettu tai kehitetty, joilla emulaation käyttöönottoa digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä voi yksinkertaistaa. Lisäksi pyritään selvittämään, mitä sellaisia ratkaisuja on ehdotettu ja kehitetty digitaaliseen pitkäaikaissäilytykseen, joissa emulaatiota sovelletaan täydentävästi yhdessä muiden digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmien kanssa. Tutkimusmenetelmänä käytetään kartoittavaa kirjallisuuskatsausta Petersin ym. (2015) ohjeita hyödyntäen.

Luvussa 2 käydään läpi digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen taustaa sekä muita digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmiä. Luvussa 3 käsitellään emulaatiota sekä yleisesti että digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä. Luvussa 4 esitellään käytetty tutkimusmenetelmä, ja varsinainen tutkimusprosessi kuvaillaan luvussa 5. Tulokset esitellään luvussa 6 ja luvussa 7 on niiden pohdintaa. Lopuksi luvussa 8 on tutkielman yhteenveto.

2 Digitaalinen pitkäaikaissäilytys

Tässä luvussa käydään läpi digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen taustaa, sekä käydään läpi joi-takin muita digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmiä emulaation ohella. Lisäksi tutus-tutaan Rothenbergin (1999) esittämiin kriteereihin ideaalille ratkaisulle digitaaliseen pitkä-aikaissäilytykseen.

2.1 Digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen taustaa

Digitaaliset asiakirjat ovat alttiita katoamiselle median rappeutumisen ja vanhentumisen vuok-si, mutta niistä tulee yhtä lailla saavuttamattomia ja epäluotettavia, jos niiden lukemiseen tar-vittava ohjelmisto tai ohjelmiston ajamiseen tarvittava laitteisto katoaa tai vanhentuu (Rot-henberg 1999). Tällaista digitaalisen aineiston katoamista kutsutaan *digitaaliseksi vanhentu-miseksi* (engl. *digital obsolescence*). Digitaalista vanhentumista pyritään torjumaan *digitaal-isella pitkäaikaissäilytyksellä* (engl. *digital preservation*), mikä tarkoittaa digitaalisen informaation luotettavaa säilytystä pitkäkestoisesti. Säilytys voi kestää useita vuosikymmeniä tai jopa vuosisatoja (Verdegem ja van der Hoeven 2006). Digitaalinen pitkäaikaissäilytys ei sisällä pelkästään aineiston varastointia ja hallinnointia, vaan myös strategioiden kehittämistä ja suorittamista aineiston jatkuvan saavutettavuuden turvaamiseksi (van der Hoeven, Loh-man ja Verdegem 2007).

Ponsard (2021) toteaa digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen olevan monimutkainen ongelma, koska säilytettävä informaatio on aineetonta ja se vaatii koko ketjun säilyttämistä, jotta tätä informaatiota voisi kokea ja tulkita uudelleen. Tämä ketju koostuu fyysisistä, loogisista ja käsitteellisistä kohteista. Fyysiset kohteet käsittävät muun muassa levykkeet, jotka on suo-jattava fyysiseltä vauriolta. Loogiset kohteet ovat ohjelmistoja ja tiedostoja, joita tietokone käsittelee tiettyä suoritus- tai koodausformaattia noudattaen, jotka tulisi säilyttää. Konseptu-aaliset kohteet ovat asioita, joilla on merkitys ihmiselle. Ponsard mainitsee tästä esimerkkinä asiakirjan, joka on sekoitus kuvia ja kommentteja, mikä edustaa valokuva-albumia.

Puhuttaessa historiallisista tietokoneohjelmista, Ponsard näkee neljä eri skenaariota, joista motivaatio säilytykseen voi tulla:

- tiedon palautus (engl. *data recovery*), jotta saadaan pääsy historialliseen dataan, jota ei tueta uudemmilla alustoilla,
- vanhojen ohjelmien tai pelien kokeminen uudestaan nostalgian vuoksi,
- sellaisten ohjelmien todellinen käyttö, jotka eivät enää ole saatavilla sekä
- vanhojen tietokonejärjestelmien tutkimus.

Burda ja Teuteberg (2013) jakavat digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen motivaation viiteen kategoriaan:

- teknologinen,
- sosiaalinen ja kulttuurinen,
- laillinen ja noudatettavuus,
- oppiminen ja uudelleenkäyttö sekä
- taloudellinen.

Teknologinen motivaatio liittyy digitaalisen datan haavoittuvuuteen suhteessa perinteiseen paperi-informaatioon. Sosiaalinen ja kulttuurinen motivaatio nostaa esille sen, että alati kasvava määrä informaatiota on digitaalista, jolloin digitaalinen pitkäaikaissäilytys on kollektiivisen tiedon ja kulttuuriperinnön katoamisen torjumista. Lailliseen motivaatioon liittyvät lailliset velvoitteet tietynlaisen datan säilyttämisestä. Oppiminen ja uudelleenkäyttö korostaa datan tieteellistä arvoa, kun taas taloudellinen motivaatio korostaa datan taloudellista arvoa.

2.2 Digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmiä

Digitaaliseen pitkäaikaissäilytykseen on olemassa useita eri menetelmiä ja lähestymistapoja. Van der Hoeven, Lohman ja Verdegen (2007) sekä Guttenbrunner ja Rauber (2012) mainitsevat kahdeksi päästrategiaksi *migraation* ja *emulaation*. Migraatiossa datan formaattia muutetaan siten, että sitä voidaan käsitellä nykyaikaisilla järjestelmillä. Emulaatiossa puolestaan jäljitellään datan alkuperäistä ympäristöä, eikä varsinaisen datan formaattia muuteta lainkaan

(Rothenberg 2000b; Guttenbrunner ja Rauber 2012). Näiden menetelmien lisäksi on olemassa lukuisia muita vaihtoehtoisia lähestymistapoja, kuten tietokonemuseot, standardisaatio ja kapselointi.

Rothenberg (1999) esittää kriteerit ideaalille ratkaisulle digitaaliseen pitkäaikaissäilytykseen. Hänen mukaansa ideaalin lähestymistavan tulisi tarjota yksi, laajennettavissa oleva, pitkän aikavälin ratkaisu, joka voidaan suunnitella kerta kaikkiaan ja soveltaa yhtenäisesti, automaattisesti ja synkronisesti kaikenlaisiin asiakirja- ja mediatyyppeihin mahdollisimman vähällä ihmistyöllä. Sen toteuttamisen yhdelle asiakirjatyypille pitäisi tehdä siitä käyttökelpoisen kaikille asiakirjatyypeille. Sen pitäisi helpottaa asiakirjojen hallintaa yhdistämällä jokaiseen asiakirjaan ihmisten luettavissa olevat merkintä- ja metatieto. Sen tulisi säilyttää niin paljon asiakirjojen alkuperäisestä toiminnallisuuksista, ulkonäöstä ja tuntumasta kuin halutaan ja on mahdollista. Ideaalin lähestymistavan tulisi tarjota vaihtoehtoja turvallisuus- ja laatuasteille, tallennustilalle, helppokäyttöisyydelle ja muille ominaisuuksille vaihtelevin kustannuksin, ja sen pitäisi mahdollistaa näiden vaihtoehtojen muuttaminen tietylle asiakirjalle, asiakirjatyypille tai aineistolle milloin tahansa. Ainoat oletukset, joita sen tulisi tehdä tulevista tietokoneista, ovat, että ne pystyvät suorittamaan mitä tahansa laskettavia toimintoja ja että ne ovat nopeampia tai halvempia käyttää kuin nykyiset tietokoneet.

Rothenbergin mukaan paras tapa tyydyttää edellä mainitut kriteerit, on jollain tavalla ajaa digitaalisen asiakirjan alkuperäistä ohjelmistoa. Tämä on hänen mukaansa ainoa luotettava tapa luoda uudelleen asiakirjan alkuperäinen toiminnallisuus, ulkonäkö ja tuntuma. Tämän vuoksi hän ehdottaakin vanhentuneiden järjestelmien emuloimista tulevaisuuden järjestelmissä, jotta digitaalisten asiakirjojen alkuperäisiä ohjelmistoja voitaisiin ajaa tulevaisuudessa, vaikka ne olisivat vanhentuneita. Emulaatiota käsitellään luvussa 3.

2.2.1 Migraatio

Migraatio käsitteenä voi olla harhaanjohtava ja monitulkinainen, koska eri yhteyksissä sillä voidaan tarkoittaa eri asiaa. Joissain tapauksissa migraatiolla tarkoitetaan bittivirran kopioimista uudelle alustalle, mutta sillä voidaan myös tarkoittaa tiedostomuodon muuntamista toiseen muotoon (Rothenberg 2000a). Joskus jälkimmäisestä tapauksesta migraation sijaan

puhutaankin muuntamisesta tai konvertoinnista (engl. *conversion*) (esim. Lorie 2001). Tässä tutkielmassa sanaa ”migraatio” käytetään nimenomaan jälkimmäisessä merkityksessä, sillä se on useimmiten käytetty termi digitaalista pitkäaikaissäilytystä käsittelevässä kirjallisuudessa.

Migraatio menetelmänä perustuu vanhentuneen datan formaatin muuntamiseen sellaiseen muotoon, joka on tuettu nykyaikaisilla alustoilla. Migraatio on tällä hetkellä useimmiten käyttöön otettu ja luotettu menetelmä (von Suchodoletz ym. 2013; Ahmad ja Rafiq 2024) ja se on aiemmin ollut ainoa vakavasti suhtauduttu lähestymistapa suurten arkistojen säilyttämisessä (Granger 2000). Carta (2017) toteaa migraation olevan todella tehokas menetelmä, kun aineisto koostuu yksinkertaisista digitaalisista objekteista (Wheatley 2001) kuten tekstiedostoista tai kuvista, tai kun säilytetään paljon saman tyyppistä dataa. Carta kuitenkin toteaa, että migraatio voi olla merkittävästi aikaa vievä menetelmä, jos digitaaliset objektit ovat monimutkaisia, minkä lisäksi voidaan menettää autenttisuutta ja eheyttä.

Rothenberg (2000b) huomauttaa, että aina kun digitaalisen asiakirjan formaattia muunnetaan, on olemassa riski asiakirjan vioittumisesta. Tämä voi johtaa asiakirjan alkuperäisen ulkoasun, rakenteen, interaktiivisen käyttäytymisen, tuntuman tai pahimmassa tapauksessa sisällön menettämiseen. Lisäksi Rothenberg (2000a) toteaa että koska ajan myötä jokainen muunnos suoritetaan edellisen muunnoksen lopputulokselle, datan vioittumisesta tulee kumulatiivista eikä alkuperäistä asiakirjaa voi käyttää vioittumisen korjaamiseen tai edes sen havaitsemiseen, sillä alkuperäinen asiakirja on muunnoksen jälkeen jo muuttunut käyttökelvottomaksi. Datan vioittumisen lisäksi Hsu ja Brown (2011) toteavat, että on olemassa digitaalisia artefakteja, joita ei voi migraatiolla siirtää pois niiden alkuperäisistä suoritusympäristöistä.

2.2.2 Muita menetelmiä

Rothenberg (1999) mainitsee migraation ja emulaation lisäksi muiksi vaihtoehtoisiksi lähestymistavoiksi paperikopiot, tietokonemuseot sekä standardisaation. Hän ei kuitenkaan pidä mitään näistä toimivana ratkaisuna, joskin jotkin näistä voisivat toimia osaratkaisuna. Monia digitaalisia asiakirjoja, kuten hypermediaa, on mahdotonta tulostaa mielekkäästi. Lisäksi

kun digitaalinen asiakirja tulostetaan paperille, menetetään kaikki siihen kuuluva interaktiivisuus ja dynaaminen toiminnallisuus. Toinen lähestymistapa koostuu tietokoneuseoista, joissa alkuperäisiä ohjelmistoja päästäisiin ajamaan vanhoilla tietokoneilla. Kuitenkaan tietokoneita ei suurella todennäköisyydellä pystyttäisi pitämään toimintakuntoisina ikuisesti, minkä lisäksi aineistojen saatavuus rajoittuisi ainoastaan tietokoneuseoiden maantieteellisiin sijainteihin. Rothenberg kuitenkin näkee kaksi vähäisempää roolia tietokoneuseoille digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä. Ensinnäkin tietokoneuseoissa voitaisiin suorittaa digitaalisen informaation palauttamista vanhoista tallennusalustoista. Toiseksi tietokoneuseoissa voitaisiin suorittaa varmistustestausta emulaattoreille.

Standardisaatiossa digitaaliseen pitkäaikaissäilytykseen käytetään jotain standardiin perustuvaa menetelmää, jolloin digitaaliset asiakirjat saadaan esitettyä muodossa, joka on tuettu aina. Rothenberg mainitsee tästä esimerkkinä relaatiotietokannat. Koska kaikki relaatiotietokantojen hallintajärjestelmät perustuvat samaan matemaattiseen perustaan, datan siirto onnistuu näiden välillä ilman menetyksiä. Kuitenkin Rothenbergin mukaan ongelmia ilmenee, jos käytössä oleva malli korvautuu uudella, esimerkiksi jos oliomalli korvaa relaatiomallin. Lisäksi Rothenberg sanoo tämän lähestymistavan kannustavan myyjiä toteuttamaan markkinaosuuden varmistamiseksi ominaisuuksia, jotka poikkeavat standardeista, täten heikentäen standardien merkitystä. Granger (2000) ei kuitenkaan pidä tätä standardisaation vaan myyjien vikana, joiden hän sanoo pahentaneen digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen ongelmaa.

Guttenbrunner, Becker ja Rauber (2010) sekä Jamraj ja Huang (2015) mainitsevat muiksi digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmiksi tietokoneuseot, yhteensopivuuden taaksepäin (engl. *backwards compatibility*), koodin uudelleen kääntämisen (engl. *code re-compilation*) ja simulaation. Kaikissa näissä on omat ongelmansa, joiden takia ne eivät ole ihan teellisiä pitkällä aikavälillä. Tietokoneuseoista mainitaan vastaavanlaisia ongelmia, mitä Rothenberg mainitsi edellä. Yhteensopivuudessa taaksepäin ohjelmisto tai laitteisto kykenee tulkitsemaan vanhempia versioita datasta. Se kuitenkin vaatii edelleen alkuperäisen ohjelmiston, eikä se välttämättä aina jäljennä alkuperäistä järjestelmää täysin, kun se on yhteensopivuustilassa. Guttenbrunner ym. kuitenkin mainitsevat, että yhteensopivuus taaksepäin on toteutettavissa emulaatiolla, jolloin sitä voisi käyttää digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä.

Koodin uudelleen kääntäminen on migraatiopohjainen lähestymistapa, jossa ohjelmiston lähdekoodi käännetään uudelle alustalle. Tämä kuitenkin vaatii pääsyn ohjelmiston alkuperäiseen lähdekoodiin, minkä lisäksi se voi vaatia ylimääräistä ohjelmointia, joka voi johtaa käyttäytymisen tai ominaisuuksien muuttumiseen. Guttenbrunner ym. mainitsevat myös, että erityisesti videopelit ovat erittäin alustariippuvaisia, mikä tekee pelin kääntämisestä uudelle alustalle erittäin aikaa vievää. Alkuperäisen järjestelmän simulointi uudessa järjestelmässä mahdollistaisi sen yleisen tulkinnan sekä jälleenluonnin, mutta tämä simulaatio ei välttämättä todella kuvasta alkuperäisen järjestelmän tarkkaa käyttäytymistä ja toiminnallisuutta.

Muiden jo mainittujen menetelmien ohella Ponsard (2021) mainitsee ekstraktion (engl. *extraction*), kapseloinnin (engl. *encapsulation*) ja universaalien virtuaalikoneiden (engl. *Universal Virtual Machine (UVM)*, *Universal Virtual Computer (UVC)*). Ekstraktiossa otetaan talteen osittainen data, esimerkiksi asiakirjasta otetaan tekstit mutta ei kuvia. Kapseloinnissa asiakirjan ympäristö dokumentoidaan täysin, mutta itse dataa ei varsinaisesti käsitellä. Universaali virtuaalikone on virtuaalinen tietokone, joka on täysin riippumaton sen koneen arkkitehtuurista, jolla sitä ajetaan (Lorie 2001). Sitä tulkitaan omalla ohjelmallaan (UVC Interpreter), joka voidaan kirjoittaa mille alustalle tahansa. Joidenkin digitaalisten pitkäaikaissäilytyksen strategioiden vertailu on esitetty taulukossa 1 (Ponsard 2021).

Menetelmä	Idea	Esimerkki	Ongelma
Täydellinen säilytys	Pidä kaikki ennallaan	Tee yhteenveto tietokoneesta, vaihda käyttöhihna, päivitä levykkeet. . .	Kustannukset tai asiantuntemus vanhalle laitteistolle ja medialle Rajattu käyttö
Standardisaatio	Standardit kestävät pitkään	Ajetaan millä tahansa IBM PC -yhteensopivalla	Vanhat koneet harvoin standardeja Kuinka kauan on ”pitkään”
Kapselointi	Säiliö hyödyllisellä metatiedolla, ohjelmisto (linkit siihen)	Formaattitieto kuvan tulkitsemiseen Ohjeet ohjelman ajamiseen	Dokumentaatio, käyttö Ei ratkaista mitään
Ekstraktio	Louhitaan hyödyllisiä asioita	Teksti ilman kuvia, dekompilaatio	Osittainen, alennus huonontuneeseen tilaan
Migraatio (media)	Siirto vakaampaan tai saavutettavampaan mediaan	Nauhalta tai levykkeeltä HD:lle tai SSD:lle tai pilveen (wav- tai binääritiedostot)	Menetetyt median erityispiirteet (tai käyttölevykuva) Uuden median elinikä?
Migraatio (yhteensopivuus taaksepäin) Yhteentoimivuus	Voidaan lukea tai ajaa nykyisten sovellusten aikaisempia versioita	Avaa asiakirja, tarkista, tallenna Aja win32-sovellusta win64:ssa	Asiakirjojen kohdentaminen Mahdollinen menetys, progressiivinen rappeutuminen Aikaan rajoittunut
Emulaatio	Pidä digitaalinen resurssi alkuperäisessä muodossa mutta emuloi laitteisto	MAME peleille MESS vanhalle mikrotietokoneelle DosBOX DOS-ohjelmille	Pitää kirjoittaa ja ylläpitää emulaattori Kuinka saadaan pääsy dataan? Kuinka oikeellinen emulaatio on? Mahdolliset lailliset ongelmat
(Universaali) virtuaalikone	Takaa riippumattomuus suhteessa isäntäalustaan käyttämällä yksinkertaista virtuaalikonetta	Historiallinen konsepti UVM:stä Konkreettinen: Java vai Javascript?	UVC kohdistuu asiakirjoihin eikä ohjelmiin

Taulukko 1. Digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen strategioiden vertailua (Ponsard 2021). Suomennettu lähteestä.

3 Emulaatio

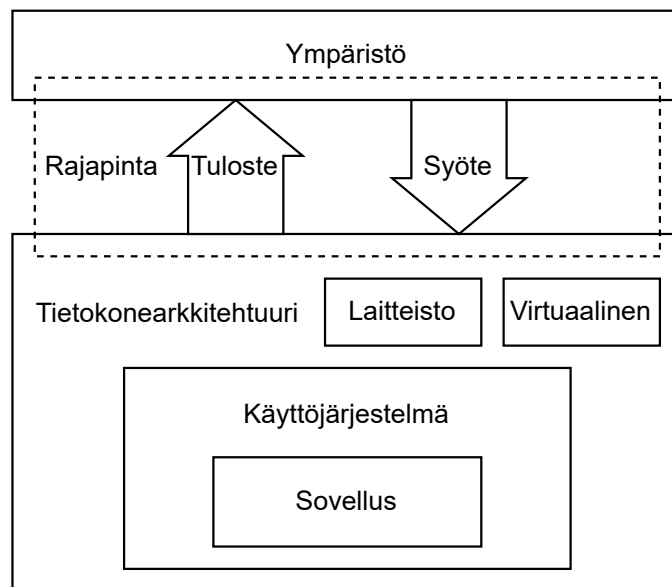
Tässä luvussa käsitellään tarkemmin emulaatiota. Luvussa käydään läpi emulaation eri käyttötarkoituksia ja verrataan emulaation käsitettä muihin samankaltaisiin käsitteisiin. Emulaatioon tutustutaan digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä sekä käydään läpi joitain emulaatioon liittyviä haasteita ja ongelmia, sekä joitain niihin ehdotettuja ratkaisuja.

3.1 Emulaatio käsitteenä

Guttenbrunnerin ja Rauberin (2012) antama määritelmä *emulaatiolle* on ”laitteen tai ohjelmiston kyky jäljitellä toisen laitteen tai ohjelmiston toimintaa”. Tyypillisesti emulaatioissa jäljitellään järjestelmän laitteistoa, jolloin alkuperäistä ohjelmistoa pystytään ajamaan emulaatioissa. Guttenbrunner ja Rauber käyttävät *emulaattorista* määritelmää ”yhdellä tietokoneella ajettava ohjelma, joka luo toisen tietokoneen laitteiston virtuaalisesti”. Rothenberg (2000b) sanoo, että yksi yleisimmistä käyttökohteista emulaatiolle on taata yhteensopivuus taaksepäin, jotta uudemmissa järjestelmissä pystyisi ajamaan saman valmistajan vanhempia ohjelmia joutumatta kirjoittamaan niitä uudelleen. Tämä siis poikkeaa hieman luvussa 2 mainitusta taaksepäin yhteensopivuudesta vaihtoehtoisena menetelmänä digitaaliseen pitkäaikaissäilytykseen. Lisäksi Rothenbergin mukaan emulaatiolla voidaan testata suunniteltua laitteistoa. Esimerkiksi prosessoria voidaan testata emulaattorilla ennen sen rakentamista fyysisesti. Nykyään emulaattoreita käytetään myös vanhojen, markkinoilta poistuneiden tietokoneiden ja pelikonsolien pelien pelaamiseen. Monet tahot toteavat emulaation parhaaksi lähestymistavaksi vanhojen videopelien säilyttämisessä (Rothenberg 1999, 2000b; van der Hoeven ym. 2005; Guttenbrunner, Becker ja Rauber 2010; Carta 2017).

Guttenbrunner ja Rauber (2012) määrittelevät neljä eri kerrosta emuloituille ympäristöille, jotka on esitetty kuviossa 1. Alimmalla kerroksella ei käytetä alkuperäistä sovellusta, vaan sovellus itse emuloidaan. Ylemmällä kerroksella emuloidaan alkuperäistä käyttöjärjestelmää, jolloin on mahdollista ajaa eri käyttöjärjestelmällä kirjoitettuja sovelluksia, kunhan ne on kirjoitettu samalle laitteistolle. Tyypillisin emulaation kerros on tietokonearkkitehtuurikerros, sillä laitteiston toiminnallisuus on yleensä paremmin dokumentoitu kuin ohjelmis-

ton. Tämä voidaan toteuttaa virtualisaatiolla, mutta tyypillisesti imitoidaan emuloitavan laitteiston komponenttien toimintaa. Tästä kerroksesta korkeampi kerros on käyttöliittymäkerros, jossa luodaan uudelleen alkuperäiset syöttö- ja tulostusmenetelmät. Kaikista korkeimmassa kerroksessa emuloidaan koko ympäristö uudelleen alkuperäisen kokemuksen jälleentuomiseksi. Tämä voi esimerkiksi arcade-pelin kohdalla tarkoittaa pelin pelaamista arcade-koneella autenttisessa ympäristössä.



Kuvio 1. Emuloitujen ympäristöjen tasot Guttenbrunneria ja Rauberia (2012) mukailleen.

3.1.1 Samankaltaisia käsitteitä

Verdegemin ja van der Hoevenin (2006) mukaan käsite *simulaatio* sekoitetaan usein emulaation kanssa, ja joskus näitä käsitteitä jopa käytetään toistensa synonyymeina. Heidän mukaansa näiden käsitteiden olennaisin ero on se, että simulaatio kuvaa mitä joku toinen asia tekisi tai kuinka se käyttäytyisi, kun taas emulaatio todella tekee kyseisen asian. Esimerkiksi lentokonesimulaattori ei todellisuudessa lennä. Simulaatio yleensä käyttää mallia järjestelmän käyttäytymisen ymmärtämiseen, ennustamiseen tai suunnitteluun. Emulaatiota sen sijaan käytetään emuloitavan järjestelmän korvikkeen luomiseksi.

Verdegem ja van der Hoevenin mukaan samankaltainen väärinkäsitys on olemassa myös emulaation ja *virtualisaation* välillä. Virtualisointia käytetään virtuaalikoneissa (engl. *virtual machine, VM*), jotka tyypillisesti ovat yleistettyjä tai yksinkertaistettuja analogioita todellisista tietokoneista, jotka on toteutettu ohjelmallisesti (Rothenberg 2000b). Vaikka Rothenbergin mukaan emulaattori voi ajatella olevan virtuaalikoneen toteutus ja virtuaalikoneen voi ajatella toteuttavan emulaation, on näiden käsitteiden välillä hienovarainen ero, joka koostuu kahdesta osasta. Ensinnäkin toisin kuin virtuaalikone, joka usein edustaa sellaista tietokonetta, jota ei todellisuudessa ole olemassa, emulaattori usein emuloi tiettyä olemassa olevaa tietokonetta, esimerkiksi historiallista tai ehdotettua tietokonetta. Toiseksi virtuaalikoneiden yleinen suunnittelukriteeri on, että se on yksinkertaistettu alusta, jota on helppo isännöidä useilla todellisilla alustoilla. Koska emulaatiota rajoittaa emuloitavan todellisen koneen monimutkaisuus, se ei välttämättä kykene täyttämään tätä kriteeriä. Verdegem ja van der Hoeven mainitsevat myös, että virtualisaatio on riippuvainen taustalla olevasta laitteistosta. Esimerkiksi jos isäntäalusta käyttää x86-arkkitehtuuria, niin virtualisoinnin kohteena olevan ympäristön tulisi myös tukea tätä. Tämä rajoite ei ole läsnä emulaatiossa, joka tekee siitä sekä joustavamman, että alustariippumattomamman.

3.2 Emulaatio digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä

Emulaatio digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä perustuu säilytettävän aineiston alkuperäisen käyttöympäristön jäljittelemiseen, jolloin aineisto kytetään pitämään muuttumattomana, toisin kuin migraatiossa. Digitaalisen pitkäikäisyyden ulkopuolella emulaatio on osoitettu hyödylliseksi ja luotettavaksi (Verdegem ja van der Hoeven 2006). Edellä mainitut emulaation käyttökohteet, yhteensopivuus taaksepäin ja retropelaaminen, ovat käyttötarkoituksiltaan lähellä digitaalista pitkäaikaissäilytystä. Emulaatioon on kuitenkin aiemmin suhtauduttu varauksella digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen kontekstissa, kun taas migraation on ajateltu olevan soveltuvin lähestymistapa (van der Hoeven, Lohman ja Verdegem 2007). Ahmadin ja Rafiqin (2024) suorittama kirjallisuuskatsaus osoittaa, että migraatio on eri instituutioissa käytetyimpien digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmien joukossa, kun taas emulaatio on yleisesti kaikista vähiten käytetty menetelmä.

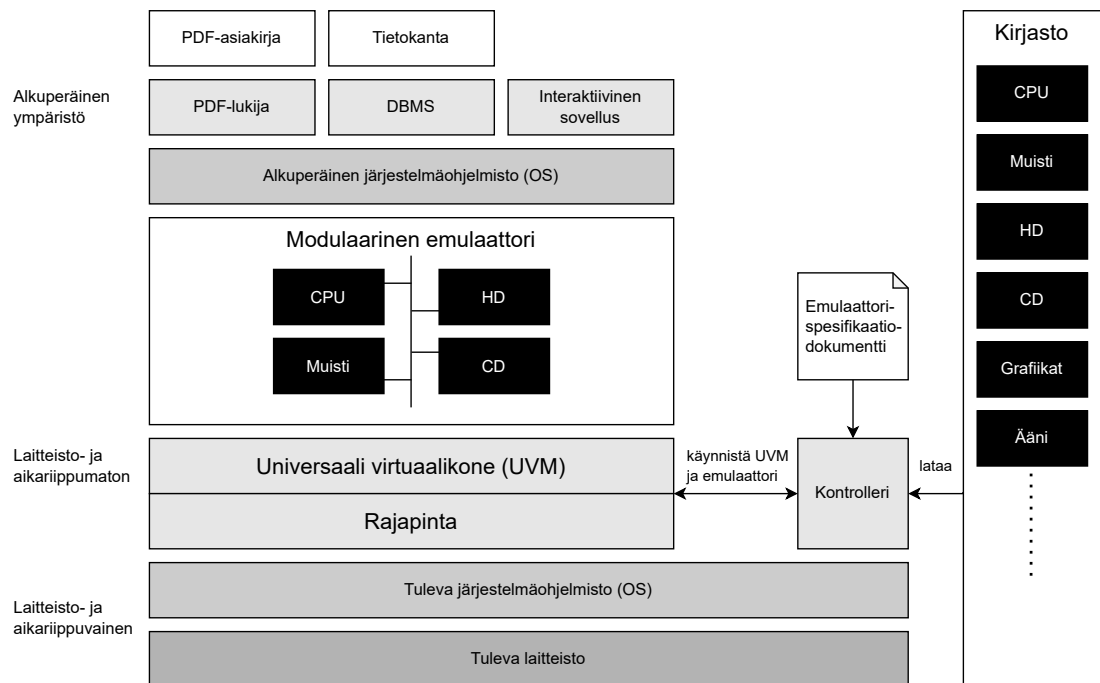
3.2.1 Dioscuri

Huolimatta emulaatioon liittyvistä ennakkoluuloista, emulaation toimivuus ja luotettavuus digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen kontekstissa on todistettu käytännössä. Vuonna 2005 Alankomaiden kansalliskirjasto (*Koninklijke Bibliotheek*, KB) ja Alankomaiden kansallisarkisto (*Nationaal Archief*, NA) aloittivat kahden vuoden projektin, jonka tarkoituksena oli kehittää emulaatioon perustuva digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen strategia (van der Hoeven, Lohman ja Verdegem 2007). Projektia toteutettaessa ei ollut tiedossa, että emulaatiota olisi ennen kehitetty ja testattu vastaavassa digitaalisessa arkistointiympäristössä. Projektin tavoitteena oli kehittää x86-komponenttipohjainen tietokone-emulaattori, joka olisi kestävä ja helppo konfiguroitava. Emulaattorissa tulisi myös olla tuki mekanismille todellisen ja emuloidun ympäristön väliseen tiedonsiirtoon.

KB toteutti alustavan tutkimuksen emulaatiopohjaisesta säilyttämisestä ennen kehitysprojektin aloittamista (van der Hoeven ym. 2005), mistä syntyi yhteistyössä Rothenbergin kanssa uusi emulointistrategia, modulaarinen emulaatio (van der Hoeven ja van Wijngaarden 2005). Rothenbergin (2000a) idea emulaatiovirtuaalikoneesta ja Lorien (2001) idea universaalista virtuaalikoneesta ovat toimineet pohjana modulaarisen emulaation periaatteille. Modulaarisessa emulaatiossa jokainen laitteiston komponentti emuloidaan erikseen, ja kokonainen emulaatioprosessi syntyy yhdistämällä nämä emuloidut komponentit. Modulaarisen emulaation malli on esitetty kuviossa 2.

Projektin tuloksena syntyi modulaariseen emulaatioon perustuva Dioscuri-emulaattori. Dioscurin versiolla 0.2.0 voidaan ajaa BIOSia sekä useaa MS-DOS-käyttöjärjestelmän versiota. Lisäksi Dioscurilla voi ajaa ELKS- ja FreeDOS 0.9 -käyttöjärjestelmiä. Saatavilla olevista moduuleista riippuen, Dioscurin voi konfiguroida minkä tahansa kohdealustan emulointiin. Kahden vuoden aikana projekti osoitti, että emulaattorin kehittäminen tällaiseen tarkoitukseen on toteutettavissa rajatuillakin resursseilla. Dioscurin viimeisin versio 0.7.0 julkaistiin vuoden 2011 tammikuussa.¹

¹Saatavilla osoitteesta <https://dioscuri.sourceforge.net>. Katsottu 8.10.2024.



Kuvio 2. Modulaarisen emulaation malli Verdegemii ja van der Hoevenia (2006) mukailleen.

3.2.2 Emulaatiokäytänteet kirjastoissa, arkistoissa ja museoissa

Acker (2020, 2021) jakaa emulaatiokäytänteet kirjastoissa, arkistoissa ja museoissa kolmeen sisäkkäiseen kerrokseen niiden tarkoituksen perusteella. Sisin kerros on emulaatio puhtaasti digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen vuoksi. Tämän kerroksen emulaatiostrategiat vaativat syvää ymmärrystä ohjelmiston säilytyksen työkuluista, laskentalaitteistosta sekä infrastruktuurien säilyttämisestä. Toisessa kerroksessa taataan pääsy arkistoituihin asiakirjoihin vanhentuneessa laskentaympäristössä. Tässä kerroksessa arkistonhoitajilla ja tutkijoilla tulee olla vankka ymmärrys formaateista ja ohjelmistoista sekä peruskäsitys emulaatioprosesseista sekä kulttuurisessa että laskennallisessa kontekstissa. Uloimmassa kerroksessa peruskäyttäjille tarjotaan pääsy vanhentuneeseen laitteistoon tai ohjelmistoon. Tässä kerroksessa käyttäjien ei juurikaan tarvitse tietää mitään ohjelmistosta tai emulaatiostrategioista voidakseen käyttää ja kokea sitä. Näiden tunnistettujen käytäntökerroksien perusteella Acker jakaa emulaatiokäyttäjät kirjastoissa, arkistoissa ja museoissa kolmeen käyttäjätyyppiin, jotka ovat esitetty taulukossa 2.

Käyttäjätyytit	Emulaatiokohtaamiset
<p><i>Säilyttäjät</i> (engl. <i>preservationists</i>) ovat asiantuntijoita, jotka käyttävät emulaattoreita päivittäisessä työssään.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Emulaation käyttäminen ohjelmiston bittivirran ottamiseen levykkeeltä, jotta voidaan säilyttää ohjelmiston säilytyskopio kokoelmaa varten. • Oheislaitteen laitteistoemulaattorin luominen kokoelmassa olevalle tietokoneelle tarkoitetuille arkistokäyttäjille. • Levyemulaattorin käyttäminen videopelin kopion tekemiseen näyttelykäyttäjille.
<p><i>Arkistokäyttäjät</i> (engl. <i>archival users</i>) ovat niitä, jotka käyttävät emulaatiota päästäkseen ohjelmistosta riippuvaiseen materiaaliin tutkimuksissaan.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Virtuaalikoneen käyttäminen historiallisen käyttöjärjestelmän ajamiseen, tiedostohakemistorakenteiden tutkimiseen ja omistusoikeuksellisten tiedostomuotojen avaamiseen. • Emulaattorin käyttäminen virtuaalisen ympäristön tutkimiseen pelisimulaatioiden suunnittelua ja ajamista varten. • ”Ohjelmistotarinan” tai suullisen historian kuunteleminen, jossa tekijä kuvailee motiiveja digitaalisen kokemuksen kehittämiseen ohjelmistolla.
<p><i>Näyttelykäyttäjät</i> (engl. <i>exhibition users</i>) ovat niitä, jotka kohtaavat ohjelmistoemulaatiota keino-koisissa näyttelykokemuksissa tai tietokonenäytöissä.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Oregon Trailin</i> pelaaminen levyke-emulaattorilla. • Apollo II -lentosimulaattorin käyttö avaruuskeskuksen vierailijakeskuksessa. • Kloonatun arcade-pelin pelaaminen videopelisuunnittelun näyttelyssä.

Taulukko 2. Emulaatiokäyttäjien ja -kohtaamisien tyytit (Acker 2020). Suomennettu lähteestä.

3.3 Emulaation haasteita ja ongelmia

3.3.1 Grangerin ja Rothenbergin näkemyksiä

Granger (2000) jakaa emulaatiota digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä koskevat kysymykset neljään osa-alueeseen: teknisiä lähestymistapoja koskevat kysymykset, sisältöä koskevat kysymykset, oikeudelliset ja organisatoriset kysymykset sekä muut kysymykset. Teknisiä lähestymistapoja koskee kysymys varsinaisesta emuloinnin kohteesta. Granger sanoo tähän vaihtoehtoiksi sovellukset, käyttöjärjestelmät sekä laitteistoalustat. Emulaattorit tyypillisesti emuloivat laitteistoa (Guttenbrunner ja Rauber 2012) ja Rothenberg (2000b) toteaaakin laitteiston emuloinnin olevan ohjelmiston emulointia helpompaa. Vaikka voikin vaikuttaa siltä, että kokonaisen laitteistoalustan emulointi pelkän sovellusohjelman ajamiseksi on turhaa, kun tavoitteena on säilyttää digitaalisen asiakirjan alkuperäinen käyttäytyminen, Rothenberg (1999) pitää laitteiston emulointia silti parhaana lähestymistapana. Hänen mukaansa vielä ei ole muodollista tai edes epämuodollista tapaa kuvailla yksinkertaisimman digitaalisen asiakirjan käyttäytyminen täydellisesti. Lisäksi ohjelmistoilla ei ole tarkkoja, selkeitä spesifikaatioita toisin kuin laitteistoilla. Rothenbergin mukaan laitteiston emulointi on myös suhteellisen helppo validoida, sillä kun ohjelmia voi ajaa onnistuneesti emulaattorissa, se jo osoittaa emulaation oikeanlaiseksi. Lisäksi tietokoneita harvoin rakennetaan yksittäisen ohjelman ajamiseen, joten laitteiston emulointi välttää tarpeen emuloida käyttöjärjestelmien, sovelluksien ja yksittäisten asiakirjojen käyttäytymistä.

Toinen Grangerin mainitsema osa-alue eli sisältö koskee digitaalisen aineiston sisällön puhtaasta säilyvyyttä, mikä on yleisesti paheneva ongelma, kun aineisto monimutkaistuu. Emulaatio on kuitenkin tällä osa-alueella vahvimmillaan, sillä alkuperäistä dataa ei muunneta, vaan se säilytetään alkuperäisessä muodossaan. Oikeudellisiin ja organisatorisiin kysymyksiin liittyvät immateriaalioikeudet, jotka saattavat vaikuttaa vanhentuneidenkin ohjelmistojen ja laitteistospesifikaatioiden säilytykseen sekä käyttämiseen, (Rothenberg 2000b). Lisäksi emulaatio ei ole vaihtoehto kaikille käyttäjille sen kustannuksien vuoksi. Emulaatiota on nimittäin pidetty liian kalliina ja monimutkaisena menetelmänä digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä (Granger 2000). Vaikka emulaatiota onkin pidetty kalliimpana menetelmänä kuin esimerkiksi migraatiota tai standardisaatiota, on tilanne Rothenbergin mukaan päinvastainen. Emulaatiossa ei vaadita yksittäisten digitaalisten asiakirjojen käsittelyä, kun taas migraatios-

sa ja standardeihin perustuvissa menetelmissä yksittäisille asiakirjoille suoritetaan toistuvasti kalliita muunnosoperaatioita. Muista kysymyksistä Granger toteaa, että standardien ja avointen spesifikaatioiden käyttöönottoaminen luultavasti tekisi emulaatiosta soveltuvamman ja kustannustehokkaamman menetelmän. Lisäksi Grangerin mukaan metatietojen määrittely on tärkeää, riippumatta käytetystä emulaatiostrategiasta.

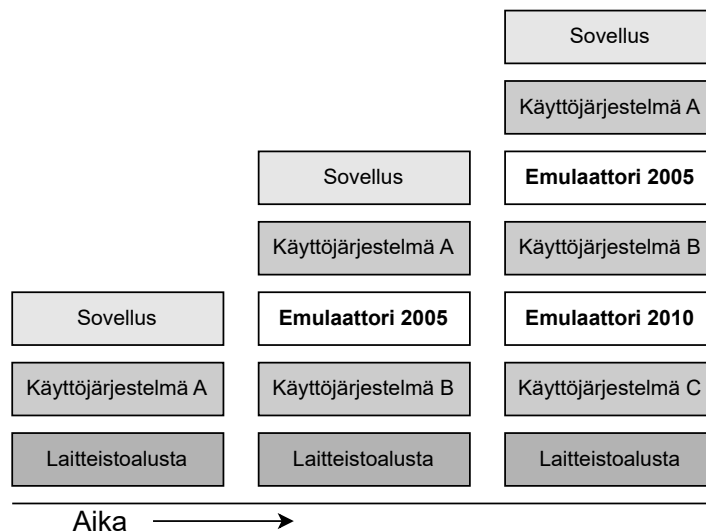
Rothenberg (2000b) esittää joukon kysymyksiä ja ongelmia, kuten pitäisikö emuloida erikseen jokainen laitteistoalustan yksittäinen malli, versio ja kokoonpano, vai olisiko yhden yleistetyn version emulointi mahdollista. Tulevien käyttäjien auttamisesta vanhentuneiden järjestelmien käytössä Rothenberg toteaa, että käyttöoppaista voidaan tarjota kansankielisiä versioita, minkä lisäksi tähän voitaisiin kehittää apuohjelmia käyttäjien auttamiseen. Jos asiakirjojen ulkonäkö ja tuntuma halutaan saavuttaa täysin, voi emulaattorispesifikaatioon olla tarpeellista lisätä tietoa esimerkiksi näytön resoluutiosta, värikalibraatiosta, kuvataajuudesta sekä tallennustilan ja prosessin nopeudesta. Tähän liittyykin kysymys, onko näin yksityiskohtaisen emulaattorispesifikaation kehittäminen realistista.

Rothenberg avaa tarkemmin yksittäisiin malleihin, versioihin ja kokoonpanoihin liittyvää ongelmaa. Usein sovellus on riippuvainen vain prosessorista sekä tyypillisimmistä syöttö- ja ulostulolaitteista, mutta jotkin sovellukset saattavat hyödyntävää erityisiä komponentteja ja lisäoselaitteita. Sovelluksilla voi myös joskus olla erityisiä kokoonpanovaatimuksia, esimerkiksi ylimääräistä grafiikkamuistia. Monessa tällaisessa tapauksessa pystyttäisiin emuloimaan yleistettyä versiota alustan kokoonpanosta, mutta jäljelle jäisi silti tapauksia, joissa sovellus vaatii toimiakseen tietyn laitteiston version. Rothenberg sanoo modulaarisen emulaation mahdolliseksi ratkaisuksi tähän. Siinä yksittäisiä komponentteja emuloidaan yksittäisillä moduuleilla. Emulaatio toteutettaisiin yhdistelemällä eri moduuleja kuten yhdisteltäisiin alkuperäisen laitteen komponentteja.

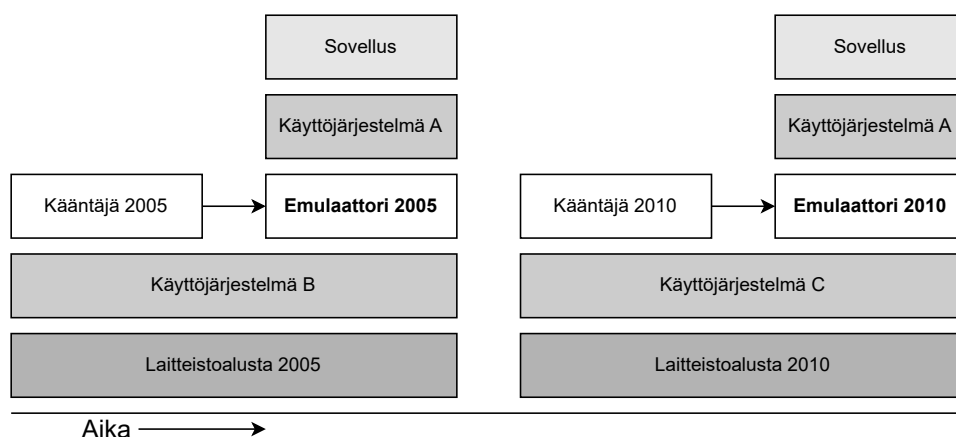
3.3.2 Emulaattoreiden kehittäminen ja vanheneminen

Takhteyev ja DuPont (2013) sanovat emulaattorien kehittämisen olevan haastavaa, koska se vaatii kehittäjiltä asiantuntemusta nykyaikaisista alustoista sekä emuloitavista vanhoista järjestelmistä. Tämän lisäksi myös ne alustat, joilla emulaattoreita ajetaan, voivat vanheta. Esi-

merkinä kehittämiseen liittyvistä haasteista Takhteyev ja DuPont mainitsevat ActiveGS:än, joka on verkkoselaimessa ajettava Apple II -emulaattori. Sen kehittäjiltä vaadittiin sekä nykyaikaisen JavaScriptin osaamista, että alkuperäisen Apple II -tietokoneen toiminnan syvää ymmärtämistä. Heidän mukaansa kyseinen emulaattori toimi Firefox-verkkoselaimessa vuonna 2011, mutta lakkasi toimimasta vuonna 2012 julkaistussa versiossa, mikä osoitti kuinka emulaattori itse voi vanhentua.



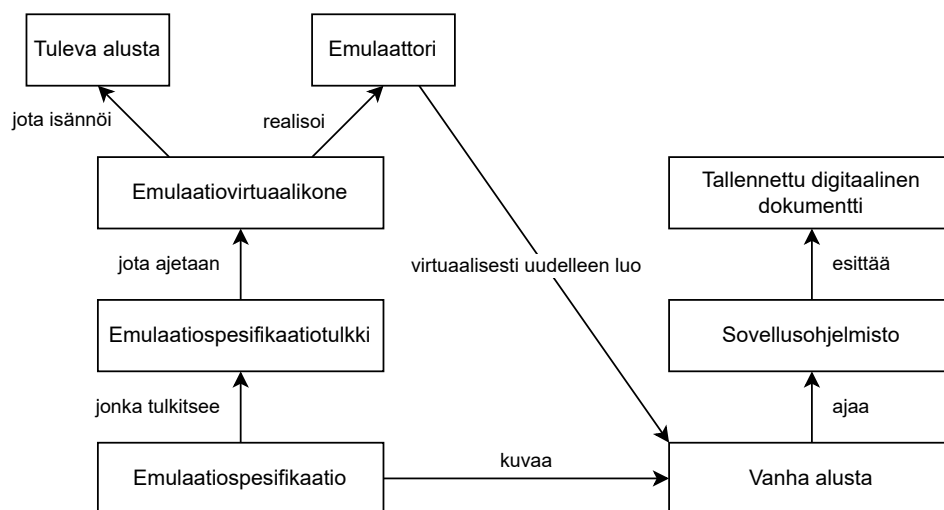
Kuvio 3. Ketjuttamisen malli Verdegemiä ja van der Hoevenia (2006) mukailten.



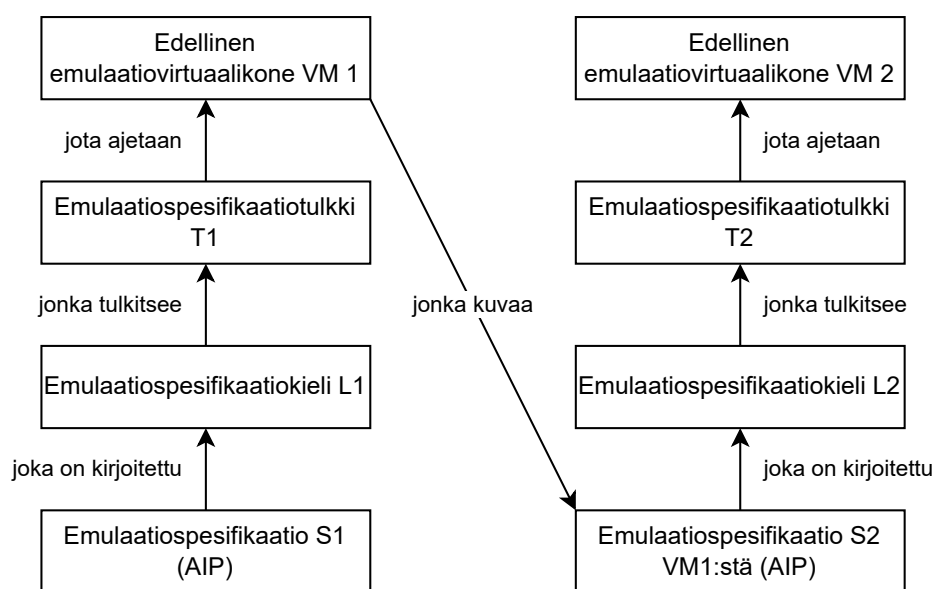
Kuvio 4. Uudelleenisännöinnin malli Verdegemiä ja van der Hoevenia (2006) mukailten.

Verdegem ja van der Hoeven (2006) mainitsevat emulaattoreiden vanhentumisen torjumi-
seen strategioiksi ketjuttamisen (engl. *chaining*), uudelleenisännöinnin (engl. *rehosting, mi-
grated emulation*) sekä emulaatiovirtuaalikoneen. Ketjuttamisessa tietty emulaattori toteute-
taan vain kerran. Ympäristöä, jossa emulaattoria ajetaan, voidaan tarvittaessa emuloida uu-
demmassa ympäristössä. Näin voidaan toteuttaa kuviossa 3 esitetty emulaattoreiden ketju,
jossa uudella emulaattorilla pystytään ajamaan mitä tahansa aiemmin kehitettyä emulaat-
toria. Ketjuttamisessa on kuitenkin se ongelma, että jokaista vanhenevaa ympäristöä kohti
tulee kehittää uusi emulaattori. Lisäksi kun ketju kasvaa, niin myös riski tukemattomista
ominaisuuksista ja epävakaasta käyttäytymisestä kasvaa. Uudelleenisännöinnissä kehitetään
vain yksi emulaattori, jonka lähdekoodi voidaan tarvittaessa kääntää ajettavaksi ohjelmaksi
uudelleen eri kääntäjällä eri alustalle. Uudelleenisännöinnin malli on esitetty kuviossa 4. Uu-
delleenisännöinnin vahvuus on, että emulaattori ei ole riippuvainen aiemmista emulaattoreis-
ta. Heikkoutena Verdegem ja van der Hoeven sanovat, että kääntäjän pitää kyetä linkittämään
vaaditut emulaatiotoiminnot taustalla olevaan isäntäalustaan.

Kolmas strategia, jonka Verdegem ja van der Hoeven mainitsevat, on Rothenbergin (2000a)
idea *emulaatiovirtuaalikoneesta* (engl. *Emulation Virtual Machine, EVM*). EVM toimii vä-
likerroksena isäntäalustan ja emulaattorin välillä. Rothenbergin ehdottaman emulaattoriat-
kaisun osat, EVM mukaan lukien, on esitetty kuviossa 5. Kun emulaattorit kirjoitetaan toi-
mimaan EVM:mässä, niistä tulee alustariippumattomia. Mikäli uusi EVM korvaa vanhan
EVM:män, voi vanhaa EVM:mää emuloida uudessa EVM:mässä, kuten on esitetty kuvios-
sa 6. Verdegem ja van der Hoeven mainitsevat onnistuneesta esimerkkinä tästä lähestymis-
tavasta Java Virtual Machinen (JVM), joka mahdollistaa Java-ohjelmien ajamisen useilla eri
alustoilla. Lähestymistavan heikkoutena he mainitsevat lisäkerroksen tuoman monimutkai-
suuden.



Kuvio 5. Emulaatiopohjaisen säilytyksen osat Rothenbergia (2000a) mukailten.



Kuvio 6. Aikaisempien EVM:mien emulointi Rothenbergia (2000a) mukailten.

4 Tutkimusmenetelmä

Tässä luvussa esitellään kartoittava kirjallisuuskatsaus sekä perustellaan sen soveltuvuus tämän tutkielman tutkimusmenetelmäksi. Lisäksi tutustutaan kahteen muuhun tutkimusmenetelmään, systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen ja systemaattiseen kirjallisuuskartoitukseen, sekä perustellaan miksi nämä menetelmät eivät sovellu tähän tutkielmaan, vaikka niitä harkittiin.

4.1 Kartoittava kirjallisuuskatsaus

Kartoittava kirjallisuuskatsaus tai *kartoittava katsaus* (engl. *scoping review*) on eräs kirjallisuuskatsauksen tyyppi. Sen tavoitteena on kartoittaa tutkimusalueen taustalla olevat avainkäsitteet. Ensimmäisen viitekehyksen kartoittavalle katsaukselle laativat Arksey ja O'Malley (2005), joskin tässä tutkielmassa hyödynnetään Petersin ym. (2015) julkaisemia ohjeita. Arksey ja O'Malley tunnistavat neljä yleistä syytä kartoittavan katsauksen suorittamiselle:

1. tutkimustoiminnan laajuuden ja luonteen tutkiminen,
2. täyden systemaattisen kirjallisuuskatsauksen arvon määrittäminen,
3. tutkimustuloksien yhteenveto ja levittäminen sekä
4. olemassa olevien kirjallisuuden tutkimusaukkojen tunnistaminen.

Kuten systemaattisissa kirjallisuuskatsauksissa, kartoittavassa kirjallisuuskatsauksessa aineisto kerätään ennalta määriteltäviä protokollaa noudattaen. Protokolla koostuu muun muassa tutkimuskysymyksistä sekä sisällyttämisen- ja poissulkemiskriteereistä. Määritellyn hakustrategian tulisi Petersin ym. mukaan olla niin kattava, että se kykenee tunnistamaan sekä julkaistut todisteet, että julkaisemattomat lähteet eli nk. harmaan kirjallisuuden. Aineisto kerätään aluksi rajoitetusti tietyistä tietokannoista. Artikkelien otsikoiden ja tiivistelmien tekstisanat sekä artikkelien kuvaamiseen käytetyt hakemistosanat analysoidaan, jonka jälkeen suoritetaan toinen haku kaikista mukana olevista tietokannoista käyttämällä kaikkia tunnistettuja avainsanoja ja hakemistotermejä. Lopuksi etsitään lisätutkimuksia tunnistettujen raporttien ja artikkelien lähdeluetteloista. Aineisto seulotaan läpi ja siitä karsitaan epärelevantit artikkelit pois sisällyttämisen- ja poissulkemiskriteerien perusteella. Jäljelle jääneiden artikkelien

kelpoisuutta arvioidaan, minkä perusteella on mahdollista karsia aineistoa.

Tiedon poiminnan eli tuloksien kartoittamisen tulisi olla looginen ja kuvaava tiivistelmä tuloksista. Tutkimuksen tavoitteista riippuen tämä voidaan toteuttaa kaavioiden, taulukoiden tai narratiivisen kuvauksen kautta. Artikkeleista voidaan esittää kuvailevia tietoja, kuten esimerkiksi julkaisuvuosi, käytetty tutkimusmenetelmä, tavoitteet ja aihealue. On myös mahdollista esittää artikkelien avainlöydökset, jotka ovat relevantteja tutkimuskysymyksien kannalta. Tutkijoiden tehtävä on päättää, millä tavalla tulokset voidaan esittää järkevimmällä tavalla tutkimuksen tavoitteet huomioiden. Tämä tulisi tehdä alustavaksi protokollaa kehitäessä, mutta sitä on mahdollista hienosäätää lisää, kun tutkijoilla on parempi käsitys mukaan otettujen tutkimuksien sisällöistä.

Kartoittava kirjallisuuskatsaus valikoitui tämän tutkimuksen tutkimusmenetelmäksi, koska se katsottiin soveltuvammaksi kuin systemaattinen kirjallisuuskatsaus tai systemaattinen kirjallisuuskartoitus, joita myös harkittiin. Kaikille kolmelle menetelmälle yhteinen systemaattinen lähestymistapa tekee hakuprosessista toistettavaa, läpinäkyvämpää ja helposti dokumentoitavaa. Kartoittava katsaus sopii hyvin ehdotettujen ja toteutettujen emulaattoratkaisujen tunnistamiseen, ja tuloksien esittäminen narratiivisesti tarjoaa syvempää tietoa itse emulaattoratkaisuista.

4.2 Harkittuja tutkimusmenetelmiä

4.2.1 Systemaattinen kirjallisuuskatsaus

Kitchenhamin ja Chartersin (2007) käyttämä määritelmä *systemaattiselle kirjallisuuskatsaukselle* (engl. *systematic literature review*) on ”toissijaisen tutkimuksen muoto, joka käyttää tarkasti määriteltyä metodologiaa tunnistamaan, analysoimaan ja tulkitsemaan kaikkia tiettyyn tutkimuskysymykseen liittyviä saatavilla olevia todisteita tavalla, joka on puolueeton ja (joissain määrin) toteutettavissa”. Yleisimmiksi syiksi systemaattisen kirjallisuuskatsauksen toteuttamiseen sanotaan yhteenvedon teko olemassa olevista todisteista, mahdollisten puutteiden tunnistaminen olemassa olevasta tutkimuksesta sekä viitekehysten tai taustan tarjoaminen uusia tutkimuksia varten.

Kitchenham ja Charters nimeävät menetelmän tärkeimmiksi vaiheiksi seuraavat vaiheet:

- protokollan kehittäminen,
- tutkimuskysymysten määrittely,
- sen määrittely, kuinka otetaan huomioon se ongelma, että yksittäinen tutkija soveltaa sisällyttämis- ja poissulkemiskriteerejä sekä suorittaa kaiken tiedon poiminnan,
- hakustrategian määrittely,
- sen tiedon määrittely, joka poimitaan jokaisesta perustutkimuksesta laadullisuustieto mukaan lukien,
- sisällytettyjen ja poissuljettujen tutkimusten listan ylläpitäminen,
- datasynteesin ohjeiden noudattaminen sekä
- raportoinnin ohjeiden noudattaminen

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ei kuitenkaan sovellu tämän tutkielman menetelmäksi, koska todisteiden määrä tällä tutkimusalueella on alustavan kirjallisuuskartoituksen perusteella vähäinen. Tämän tutkielman tarkoitus ei myöskään ole empiiristen todisteiden perusteella arvioida tunnistettuja emulaatoratkaisuja, vaan vain kartoittaa niiden olemassaoloa. Lisäksi tämän tutkielman tutkimuskysymykset ovat liian laajoja ja moninaisia systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen.

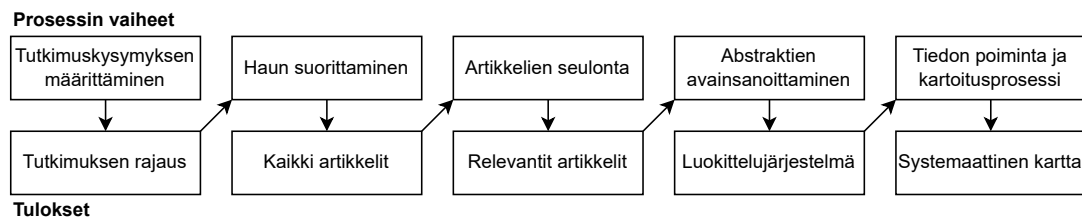
4.2.2 Systemaattinen kirjallisuuskartoitus

Kitchenhamin ja Chartersin (2007) käyttämä määritelmä *systemaattiselle kirjallisuuskartoitukselle* (engl. *systematic mapping study*) on ”laaja katsaus tietyn aihealueen perustutkimuksiin, jonka tarkoituksena on tunnistaa, mitä todisteita aiheesta on saatavilla”. Systemaattinen kirjallisuuskartoitus tarjoaa rakenteen julkaistuista tutkimusraporteista ja -tuloksista kategorisoinnin ja visualisoinnin avulla (Petersen ym. 2008). Tämä antaa tutkimuskohteesta karkean yleiskuvan vähemmällä vaivalla. Ohjelmistotuotannossa systemaattista kirjallisuuskatsausta on suositettu käytettävän silloin, kun relevanteista ja korkealaatuisista perustutkimuksista on puutetta.

Petersen ym. määrittelevät vaiheet systemaattisen kirjallisuuskartoituksen prosessille, jotka ovat esitetty kuviossa 7. Nämä vaiheet ovat:

1. tutkimuskysymyksen määrittäminen,
2. perustutkimuksien hakeminen,
3. artikkelien läpikäynti sisällyttämiseksi ja poissulkemiseksi,
4. abstraktien avainsanoittaminen sekä
5. tiedon poiminta ja tutkimuksien kartoittaminen

Kun kerätystä aineistoista on karsittu epärelevantit artikkelit pois protokollan mukaan, niiden tiivistelmistä, ja tarvittaessa myös johdanto- ja yhteenvetoluvuista, etsitään avainsanoja, jota kautta tutkija saa käsityksen artikkelin tutkimuksen kontekstissa. Tätä hyödynnetään luokittelujärjestelmän kehittämisessä, jonka mukaan artikkelit jaetaan eri kategorioihin. Luokittelun lopputulos esitetään esimerkiksi sirontakaavion avulla, josta ilmenee, kuinka tutkimusaiheesta julkaistu kirjallisuus jakautuu eri kategorioihin. Mukaan otettuihin artikkeleihin ei tutustuta syvemmin, mikä mahdollistaa laajemman aineiston keräämisen.



Kuvio 7. Systemaattisen kirjallisuuskartoituksen prosessi Peterseniä ym. (2008) mukailten.

Lähestymistapa, jolla systemaattisessa kirjallisuuskartoituksessa kerätään aineistoa, sopisi tähän tutkielmaan systemaattista kirjallisuuskatsausta paremmin. Kuitenkaan tämän menetelmän tarjoamat tulokset eivät vastaa tutkielman tarpeisiin, sillä ne eivät antaisi juuri tietoa tunnistetuista emulaattoratkaisuista. Tutkittavan aiheen sijaan systemaattinen kirjallisuuskartoitus antaa tietoa aiheesta julkaisun kirjallisuuden luonteesta. Lisäksi tämän menetelmän tuloksena syntyvä kartta ei sovellu eri emulaattoratkaisujen esittämiseen, vaan tarvitaan jonkinlaista narratiivista kuvausta.

5 Tutkimusprosessi

Tässä luvussa kuvaillaan tutkimusprosessi. Tutkimuskysymykset, sisällyttämisen- ja poissulkemiskriteerit, sekä käytetyt hakulauseet esitellään ja perustellaan. Lopuksi kuvaillaan varsinainen haku- ja hyväksymisprosessi.

5.1 Tutkimuskysymykset

Kuten luvussa 3 todettiin, suurimmat emulaatioon liittyvät haasteet ovat menetelmän monimutkaisuus ja suuret kustannukset, joista jälkimmäistä Rothenberg (2000b) kuitenkin pitää harhaluulona. Muihin emulaatioon liittyviin haasteisiin, kuten emulaattoreiden vanhenemiseen, on jo kehitetty ja toteutettu erilaisia ratkaisuja. Tämän vuoksi tutkielma pyrkii kartoittavan kirjallisuuskatsauksen kautta tunnistamaan sekä ehdotettuja että toteutettuja emulaatiopohjaisia ja emulaatiota hyödyntäviä malleja, strategioita ja työkaluja, jotka vastaavat seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Kuinka emulaation käyttöönottoa digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä voi tehdä yksinkertaisemmaksi käyttäjälle?
2. Kuinka emulaatiota voi soveltaa täydentävästi yhdessä muiden digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmien kanssa?

Huolimatta siitä, että emulaation toimivuus ja luotettavuus digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä on osoitettu, sen käyttö on yhä vähäistä. Eri instituutioiden perusteluja eri lähestymistapojen valitsemiselle olisi syytä tutkia erikseen, mutta on hyvinkin mahdollista, että emulaation maine monimutkaisena ja hankalana menetelmänä on osaltaan vaikuttanut siihen. Emulaatiota tässä käyttötarkoituksessa olisi mahdollista hyödyntää paremmin, jos sen käyttöönottoa voisi yksinkertaistaa ei paitsi digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen järjestelmiä kehittäville tutkijoille, vaan myös vanhentuneiden ohjelmistojen käyttäjille teknisestä osaamistasosta riippumatta.

Vaikka emulaation käyttöönottoa saataisiin yksinkertaistettua niin, että sen monimutkaisuus ei ole este sen valitsemiseksi pitkäaikaissäilytysstrategiaksi, se ei välttämättä ole paras lä-

hestymistapa kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi jos säilytettävä aineisto on luonteeltaan yksinkertaista, ja se koostuu pelkästään yhdestä tiedostoformaattista, voi migraatio soveltua parhaimminkin. Kuitenkin jos aineisto on hyvin monipuolista, voi olla hankalaa valita soveltuvinta lähestymistapaa, ja ääritapauksessa mikään menetelmä ei yksinään riitä täyttämään pitkäaikaissäilytyksen tarpeita. Saattaisi kuitenkin olla mahdollista kehittää pitkäaikaissäilytysstrategia, jossa eri lähestymistapoja hyödynnettäisiin toisiaan täydentäen, pyrkien yhdistämään niiden parhaat puolet. Tässä tutkielmassa rajataan eri menetelmien yhdistämistä siten, että tutkitaan, kuinka emulaatio voisi toimia tällaisessa hybridilähestymistavassa.

5.2 Sisällyttämis- ja poissulkemiskriteerit

Sisällyttämis- ja poissulkemiskriteerien perusteella hakutuloksista valittiin artikkelit tutkimukseen. Koska emulaatio digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä on suhteellisen vähän tutkittu aihe, aikaväliä ei ollut erityisesti tarvetta rajata. Kuitenkin tutkimuksista jätettiin pois kaikki ennen vuotta 2000 julkaissut artikkelit, koska keskustelu emulaatiosta digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen menetelmänä oli silloin vasta aluillaan. Koska suomenkielistä tutkimusta aiheesta ei oletettavasti ole muuten kuin kirjallisuuskatsauksien muodossa, rajattiin haku englanninkielisiin artikkeleihin hakutermin yksinkertaistamiseksi.

Sisällyttämiskriteerit:

- Julkaistu vuonna 2000 tai sen jälkeen.
- Englanninkielinen.
- Saatavilla avoimesti tai JYUn tunnuksilla.
- Käsittelee emulaatiopohjaista tai emulaatiota hyödyntävää strategiaa tai lähestymistapaa digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä.

Poissulkemiskriteerit:

- Kirjallisuuskatsaus emulaatiosta tai digitaalisesta pitkäaikaissäilytyksestä yleisesti.
- Kirja, luentokalvot tai ei-luettava media, kuten videotallenne.
- Ei vastaa kumpaakaan tutkimuskysymykseen.

5.3 Hakulauseet

Koska aiheesta on suhteellisen vähän tutkimusta, voitiin käyttää sellaisia hakulauseita, joilla pyrittiin saamaan mahdollisimman paljon tutkimusta, joka liittyy emulaatioon digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä miettimättä tässä vaiheessa tarkempia tutkimuskysymyksiä. Tämän vuoksi hakusanoina käytettiin englanninkielisiä sanoja ”emulation” ja ”preservation” sekä näiden eri muotoja. Hakusanan ”preservation” korvaaminen hakusanalla ”digital preservation” olisi voinut rajoittaa epärelevanttien hakutuloksien lukumäärää, mutta hakuprosessissa päädyttiin varmuuden vuoksi käyttämään ensimmäistä.

Google Scholar tarjosi mahdollisuuden hakutermien hakemiseen joko kaikkialta artikkelista tai vain otsikosta, mutta ei molemmista samanaikaisesti. Hakeminen koko artikkelista johdattiin valtavaan määrään epärelevantteja artikkeleita, joten haku suoritettiin otsikon perusteella. Mikäli otsikossa mainittiin sekä emulaatio että säilytys, artikkeli todennäköisesti käsittelee digitaalista pitkäaikaissäilytystä ilman, että emulaatio mainittiin vain ohimennen. Tämän vuoksi Google Scholarissa käytettiin hakulausetta ”allintitle: (emulation OR emulator OR emulate OR emulating) (preservation OR preserve OR preserving)”.

JYKDOKin kansainvälisten artikkelien haku tarjosi monipuolisemmat mahdollisuudet artikkelien hakemiseen. Haku voitiin suorittaa niin, että emulaatio mainitaan otsikossa ja säilytys abstraktissa, millä saatiin enemmän hakutuloksia kuin Google Scholarissa. Vaikka tämä johdattiin suureen määrään hakutuloksia, joilla ei ole mitään tekemistä digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen kanssa, pysyi hakutuloksien määrä kuitenkin kohtuullisena. JYKDOKin kansainvälisten artikkelien haussa pystyi käyttämään jokerimerkkejä, mikä yksinkertaisti hakulauseita samalla tehden niistä Google Scholarissa käytettä hakulausetta kattavampana. Otsikosta haettiin hakusanalla ”emulat*” ja abstraktista hakusanalla ”preserv*”.

5.4 Haku- ja hyväksymisprosessi

Koska aiheesta on vähän tutkimusta, artikkelien haku suoraan monesta yksittäisestä tietokannasta olisi voinut olla haastavaa, sekä enemmän aikaa vievää. Siksi hakuun käytettiin Google Scholar -palvelua sekä JYKDOKin kansainvälisten artikkelien hakua, jotka hakevat useasta tietokannasta yhtä aikaa. Tästä huolimatta hakutuloksien määrä pysyi molemmissa

palveluissa hallittavana, eikä duplikaattituloksia ollut valtavasti.

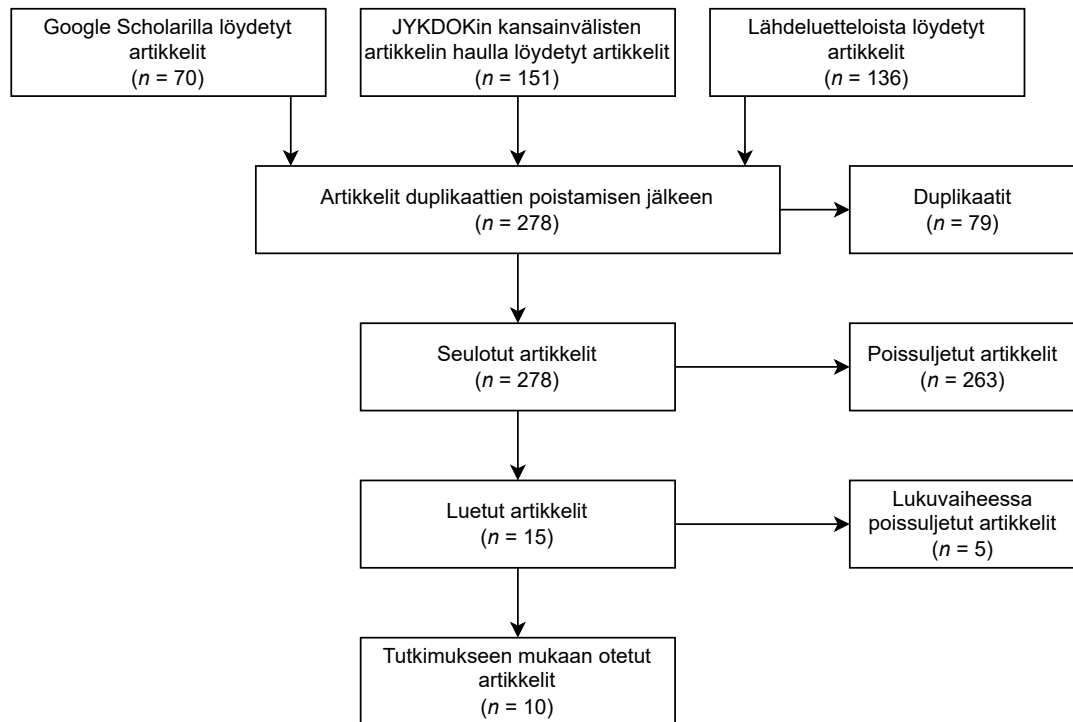
Haku suoritettiin molemmissa palveluissa erikseen. Hakutulokset rajattiin kummankin palvelun tarjoamilla keinoilla, esimerkiksi julkaisuvuoden perusteella. Alustavan rajauksen jälkeen kaikki hakutulokset käytiin läpi, tallentaen niistä tiedot Excel-taulukoon. Artikkelit seulottiin siten, että niistä luettiin pelkästään otsikot ja abstraktit, minkä perusteella tehtiin päätös siitä, otettiinko artikkeli tutkimukseen mukaan. Kaikissa tapauksissa päätöstä ei kuitenkaan voitu tehdä tämän perusteella, eikä kaikissa artikkeleissa ollut edes abstraktia. Näissä tapauksissa luettiin myös johdanto- ja yhteenvetoluvut, joiden perusteella päätös tehtiin.

Excel-taulukkoon tallennettiin kaikista artikkeleista seuraavat tiedot:

- kirjoittaja(t),
- vuosi,
- otsikko,
- viitetiedot,
- lähdetietokannat,
- hyväksytty tutkimukseen,
- syy hylkäämiselle,
- tyyppi,
- käsite,
- relevantti tutkimuskysymys sekä
- huomioita.

Lähdetietokannoilla tarkoitetaan niitä tietokantoja, joista kukin palvelu näytti hakutuloksien olevan peräisin, esimerkiksi IEEE Xplore tai ACM Digital Library. ”Hyväksytty tutkimukseen” sai arvoksi joko ”kyllä” tai ”ei”, ja jälkimmäisen kohdalla seuraavaan sarakkeeseen kirjoitettiin lyhyesti syy hylkäämiselle. Suuri osa seulotuista julkaisuista hylättiin, koska abstraktin perusteella ne eivät vastanneet tutkimuskysymyksiin. Muita syitä olivat muun muassa puutteellinen saatavuus ja julkaisun muoto, joka ei soveltunut tutkimukseen. ”Tyyppi” saattoi olla esimerkiksi ”ohjelmisto” tai ”ehdotettu arkkitehtuuri” ja ”käsite” oli artikkeleissa käsitellyn menetelmän nimi, jos sellaista oli mahdollista tunnistaa. ”Relevantti tutkimuskysymys” sai arvoksi numeron 1 tai 2, jotka viittaavat luvun 5 alussa esitettyihin tutki-

muskysymyksiin. Jos artikkeli liittyi molempiin tutkimuskysymyksiin, annettiin arvoksi 3. ”Huomioita”-kohtaan kirjoitettiin muutamalla lauseella mitä artikkeli käsitteli. Jos artikkeli hylättiin vasta lukuvaiheessa, tähän kohtaan kirjoitettiin perustelut hylkäämiselle. Listan neljä viimeistä kohtaa täytettiin vasta lukuvaiheessa, ja jos artikkelia ei otettu tutkimukseen mukaan seulontavaiheessa, jäivät nämä kohdat tyhjiksi.



Kuvio 8. Löytyneiden artikkelien lukumäärät tutkimusprosessin eri vaiheissa.

Google Scholarissa haku suoritettiin 17.10.2024, jolloin se tarjosi 137 hakutulosta. Kun haku rajattiin jättämällä sitaatit sekä ennen vuotta 2000 julkaistut artikkelit pois, oli hakutuloksia enää 70. Seulomalla näistä artikkeleista otettiin tutkimukseen 8 kappaletta. JYKDOKissa haku suoritettiin seuraavana päivänä 18.10.2024, jolloin hakutuloksia oli 190. Kun tätä haku rajattiin vuonna 2000 tai sen jälkeen julkaistuihin englanninkielisiin artikkeleihin, joista oli kokoteksti saatavilla, oli hakutuloksia 151. Seulomalla näistä artikkeleista otettiin 5 kappaletta tutkimukseen mukaan.

Varsinaisen hakuprosessin jälkeen tutkimukseen valitut artikkelit luettiin läpi. Tämän perusteella päätettiin hylätä 5 kappaletta jo mukaan otettua artikkelia, koska ne osoittautuivat tarkemmalla lukemisella epärelevantiksi tähän tutkimukseen. Kaikkien hyväksytyjen artikkelien lähdeluettelot seulottiin läpi, minkä perusteella tutkimukseen valittiin vielä 3 artikkelia lisää. Kun lopullisesta tuloksesta poistettiin duplikaattiartikkelit, oli tutkimukseen valittu yhteensä 10 kappaletta artikkeleita. Artikkelien lukumäärät tutkimusprosessin eri vaiheissa on kuvattu kuviossa 8. Tutkimukseen mukaan otetut artikkelit on listattu liitteessä B, lukuvaiheessa poissuljetut artikkelit liitteessä C ja seulomalla poissuljetut artikkelit liitteessä D.

6 Tulokset

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tulokset. Aluksi käydään läpi tutkimukseen mukaan otettujen artikkeleita kuvaavaa määrällistä tietoa, jonka jälkeen käydään läpi tutkimuksessa tunnistetut menetelmät ja niitä hyödyntävät työkalut.

6.1 Määrälliset tulokset

6.1.1 Lähdetietokannat

Taulukossa 3 on lueteltu ne tietokannat, joista tutkimukseen mukaan otetut artikkelit ovat peräisin. Sama artikkeli on voitu löytää useasta eri tietokannasta samanaikaisesti. Puolet artikkeleista löytyy PHAIDRAsta, joka on Wienin yliopiston julkaisuarkisto.¹ Kaikkien seuloittujen julkaisujen, mukaan lukien hylättyjen julkaisujen, lähdetietokannat ja -sivustot on lueteltu liitteessä A.

6.1.2 Artikkelien suhde toisiinsa

Suurin osa tutkimukseen mukaan otetuista artikkeleista on julkaistu vuosina 2009–2013, noin kaksi artikkelia per vuosi, ja yksi artikkeli on julkaistu vuonna 2017. Kuviossa 9 on esitetty, kuinka tutkimukseen mukaan otetut artikkelit viittaavat toisiinsa. Jos ruutuun on merkitty ruksi, niin vastaavalla rivillä oleva artikkeli viittaa vastaavalla sarakkeella olevaan artikkeliin. Vain yksi artikkeleista on sellainen, joka ei viittaa muuhun artikkeliin eikä muu artikkeli viittaa siihen (Cochrane, Tilbury ja Stobbe 2017). Kuitenkin tämä artikkeli viittaa kahden muun hyväksytyin artikkelin (von Suchodoletz, Rechert ja Valizada 2013; von Suchodoletz ym. 2013) kanssa samaan artikkeliin (Rechert ym. 2012). Tätä artikkelia ei otettu tutkimukseen mukaan, koska siihen ei ollut pääsyä JYUn tunnuksilla.

Sen lisäksi, että artikkelit linkittyvät vahvasti toisiinsa lähdeviittausten kautta, usean artikkelin kirjoittajiksi on merkitty samoja henkilöitä. Yli puolessa artikkeleissa on merkitty kirjoittajaksi von Suchodoletz (7 kpl.) ja Rechert (6 kpl.). Tämä yhdessä viittauksien kautta

¹<https://phaidra.univie.ac.at/>

Tietokanta	Lkm.
PHAIDRA	5
CiteseerX	3
Academia.edu	2
CORE	2
Directory of Open Access Journals	2
International Conference on Digital Preservation	2
planets-project.eu	2
Semantic Scholar	2
ACM Digital Library	1
CSEAS	1
Digitale Bibliothek	1
Deutsche National Bibliothek	1
EconPapers	1
HSTalks	1
IDEAS	1
Ingenta Connect	1
ResearchGate	1

Taulukko 3. Hyväksytyjen artikkelien lähdetietokannat.

osoittaa, kuinka tutkimukseen valitut artikkelit ovat lähellä toisiaan, ja tutkimus aiheesta on keskittynyt suhteellisen pieneen piiriin. Alla on listattu kirjoittajat lukumäärineen, pois lukiin 12 kirjoittajaa, jotka oltiin mainittu vain yhdessä artikkelissa:

- von Suchodoletz: 7,
- Rechert: 6,
- Valizada: 4,
- van der Hoeven: 3 ja
- Welte: 2

	Emulation: From Digital Artefact to Remotely Rendered Environments (2009)	Novel Workflows for Abstract Handling of Complex Interaction Processes in Digital Preservation (2009)	Assisted Emulation for Legacy Executables (2010)	Emulation Based Services in Digital Preservation (2010)	Emulation as a Business Solution: the Emulation Framework (2011)	Remote Emulation for Migration Services in a Distributed Preservation Framework (2011)	Emulation-as-a-Service – Requirements and Design of Scalable Emulation Services for Digital Preservation (2012)	Towards Emulation-as-a-Service: Cloud Services for Versatile Digital Object Access (2013)	Emulation as an Alternative Preservation Strategy – Use-Cases, Tools and Lessons Learned (2013)	Adding Emulation Functionality to Existing Digital Preservation Infrastructure (2017)
Emulation: From Digital Artefact to Remotely Rendered Environments (2009)										
Novel Workflows for Abstract Handling of Complex Interaction Processes in Digital Preservation (2009)	X									
Assisted Emulation for Legacy Executables (2010)	X	X								
Emulation Based Services in Digital Preservation (2010)	X	X								
Emulation as a Business Solution: the Emulation Framework (2011)										
Remote Emulation for Migration Services in a Distributed Preservation Framework (2011)	X	X								
Emulation-as-a-Service – Requirements and Design of Scalable Emulation Services for Digital Preservation (2012)	X	X			X	X				
Towards Emulation-as-a-Service: Cloud Services for Versatile Digital Object Access (2013)					X					
Emulation as an Alternative Preservation Strategy – Use-Cases, Tools and Lessons Learned (2013)	X	X	X		X			X		
Adding Emulation Functionality to Existing Digital Preservation Infrastructure (2017)										

Viittaava

Viitattu

Kuvio 9. Hyväksytyjen artikkelien väliset viittaukset.

6.2 Tunnistetut menetelmät

6.2.1 Etäemulaatio

Olettaen, että emulointiin tarvittava ohjelmisto ja ympäristö on saatavilla, emuloitava ympäristö on tarpeellista valmistella. Tämä on erittäin tekninen prosessi, joka vaatii ammattitaitoa tarvittavan ohjelmiston yhdistämiseen yhteen tietokoneympäristöön, emulaattoriparametrien asettamiseen sekä käyttäjän opastamiseen vanhojen tietokoneympäristöjen käytössä. Von Suchodoletz ja van der Hoeven (2009) ehdottavat tähän ratkaisuksi *etäemulointia* (engl. *remote emulation*), jossa emulointiprosessi keskitetään erikoistuneisiin yksiköihin ja emulointipalvelu tarjotaan käyttäjälle Internetin kautta. Tämä vähentää emulaattorien ajamiseen tarvittavien menettelyjen monimutkaisuutta sekä käyttäjän katselijaohjelmaa, joka on mieluiten verkkoselain, koskevia järjestelmäriippuvuuksia. Von Suchodoletzin ja van der Hoevenin mukaan tällainen asetelma tarjoaisi seuraavat hyödyt:

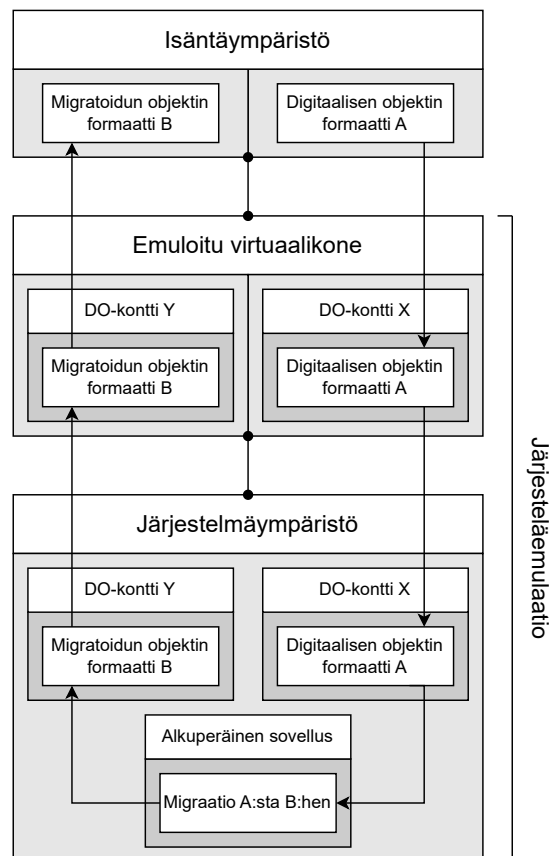
- Pääsy digitaalisiin objekteihin ei ole riippuvainen sijainnista.
- Käyttäjän puolelta ei tarvita erityisiä järjestelmävaatimuksia.
- Tällaisen verkkopalvelun hallinnointi voidaan keskittää ja useat muisti-instituutiot voisivat jakaa työtaakan tai erikoistua tiettyihin ympäristöihin ja jakaa asiantuntemuksensa toistensa kanssa.
- Lisenssien käsittelyn ja digitaalisten oikeuksien hallinnoinnin ongelmat voitaisiin välttää, sillä ohjelmistoa ei tarvitse kopioida käyttäjien koneille, vaan ainoastaan palveluntarjoaja ajaa niitä.
- Tietokoneuseoiden kaltaiset organisaatiot voivat esittää kokoelmiaan vaihtoehtoisilla tavoilla, sillä ne eivät olisi enää rajoittuneita yhteen huoneeseen.

Emuloitujen tietokoneiden käyttämiseen tarvittaisiin edelleen tietoa vanhoista tietokoneympäristöistä, mutta käyttäjää voidaan auttaa näytöllä näytettävien ohjeiden avulla.

6.2.2 Migration-through-Emulation

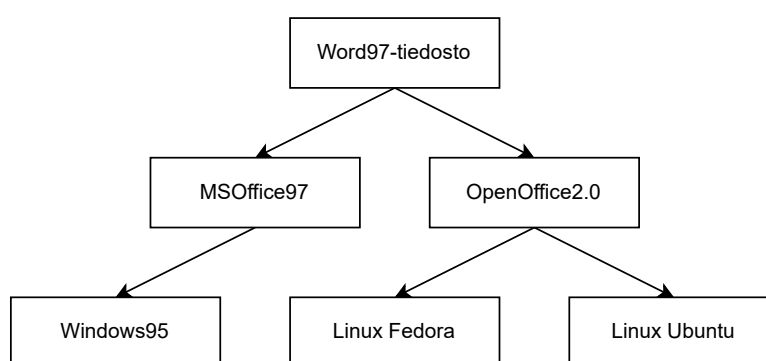
Käsite *Migration-by-emulation* tai *Migration-through-Emulation* (MtE) kuvaa digitaalisen pitkäaikaissäilytysstrategian, jossa säilytettävälle digitaalisille objekteille suoritetaan migraatio emuloidussa ympäristössä. Menetelmää ehdottivat alun perin Rechert ym. (2009) ratkai-

suksi massamigraation automatisointiin, jota he pitävät väistämättömänä, kun säilytysorganisaatiolla on valtava määrä digitaalisia objekteja, joiden formaattia tulee muuntaa. Huomattavaksi ongelmaksi automatisoitujen prosessien luomisessa he mainitsevat sopivien työkalujen puutteen. Useimmissa tapauksissa digitaalista objektia käsitellään parhaiten ohjelmissa, joille objekti on suunniteltu tai objektin alkuperäisessä ympäristössä. Sen lisäksi että emulaatio on paras tapa jäljentää alkuperäisiä ympäristöjä (von Suchodoletz, Rechert ja Valizada 2011), ehdotettu menetelmä ennustaa, että työnkulkuihin käytetyn koneen ja syötteen tai tulosten välillä tapahtuu tekninen ja organisatorinen erottaminen, johon emuloidut tai virtualisoidut ympäristöt soveltuvat erityisen hyvin. MtE-työnkulku on kuvattu kuviossa 10.



Kuvio 10. MtE-työnkulku ja siihen liittyvät komponentit von Suchodoletzia, Rechertiä ja Valizadaa (2011) mukaillen.

Rechertin ym. ehdottamassa menetelmässä sopiva järjestelmäympäristö jokaiselle objekti-tyypille kuvataan *katselupolkuina* (engl. *view path*), jotka ovat suuntaohjeita digitaalisesta objektista käyttäjän varsinaiseen ympäristöön (Oltmans, van Diessan ja van Wijngaarden 2004; von Suchodoletz ja van der Hoeven 2009). Kuvio 11 toimii esimerkkinä katselupoluista, joista ilmenee millaisia ympäristöriippuvuuksia tietyllä tiedostotyypillä voi olla. Von Suchodoletz, Rechert ja Valizada (2011) jalostavat menetelmää hyödyntämällä siinä etäemu-laatiota. Tällöin tuloksena on hajautettu MtE-palvelu, joka tarjoaa vastaavanlaisia etuja kuin verkon kautta käytettävä etäemulointipalvelu.



Kuvio 11. Esimerkki katselupoluista von Suchodoletzia ja van der Hoevenia (2009) mukailen.

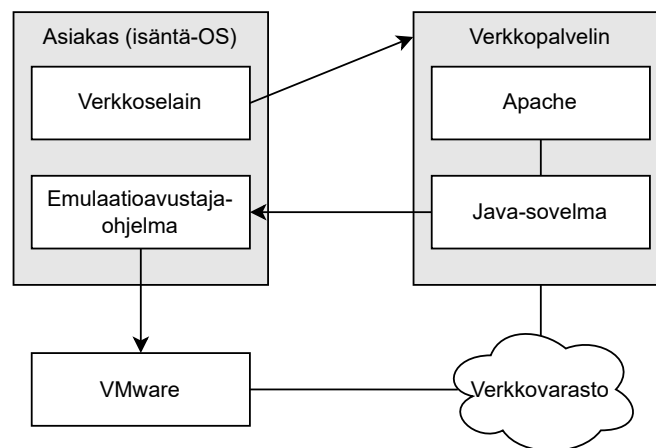
6.2.3 Automaatio

Automaatio liittyy vahvasti edellä mainittuihin lähestymistapoihin, mutta automaatiolla itsellään on mahdollista yksinkertaistaa emulaation käyttöönottoa. Automatisoimalla itse emulointiin tai emulaatioon liittyvään digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen työnkulkuun liittyviä tehtäviä kyetään vähentämään käyttäjän riippuvuutta työnkulkua ja vanhoja ympäristöä koskevasta tiedosta (Woods ja Brown 2010). Tällöin aloittelevillekin käyttäjille voidaan tarjota helppo pääsy vanhoihin digitaalisiin objekteihin niiden alkuperäisessä ympäristössään ja muodossaan (Lohman ym. 2011).

6.3 Menetelmiä hyödyntävät työkalut

6.3.1 Avustettu emulaatio

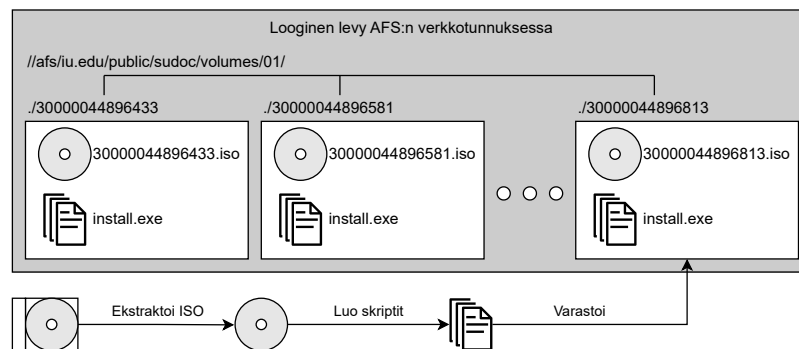
Woods ja Brown (2010) ehdottavat lähestymistapaa, jossa säilytetään tarvittava kontekstuaalinen tieto vanhan ympäristön hallintaan suunniteltujen skriptien kautta. Tästä lähestymistavasta he käyttävät termiä *avustettu emulaatio* (engl. *assisted emulation*). He kuvailevat ohjelmiston, joka on suunniteltu minimoimaan riippuvuuden kontekstuaalisesta tiedosta automatisoimalla emuloitujen ympäristöjen konfiguroinnin ja suorituksen. Kuvailut työkalut automatisoivat säilytettyjen objektien etäkäyttöä paikallisissa emulointiympäristöissä, mikä auttaa sekä poistamaan riippuvuutta säilytysinstituutioiden fyysisistä viitetyöasemista, että tarjoaa käyttäjille pääsyn materiaaleihin verkon yli yksinkertaistetuilla ja helposti käytettävillä ympäristöillä. Woods ja Brown uskovat tämän tyyppisen strategian toteuttamisen digitaalisissa arkistoissa välttämättömiksi, sillä nykyajan käyttäjät ovat tottuneet aineiston helppoon käyttöön Internetin kautta, eivätkä he välttämättä omaa tarvittavien ympäristöjen luomiseen tarvittavaa asiantuntemusta (van der Hoeven, Lohman ja Verdegem 2007).



Kuvio 12. Asiakkaan pyyntö verkkoresurssille Woodsia ja Brownia (2010) mukailten.

Lähestymistapa keskittyy parantamaan käyttäjien navigointia ja pääsyä ohjelmiin, jotka sijaitsevat yhtenä tiedostojärjestelmänä esitettävässä CD-ROM-ISO-kuvien verkkokokoelmas- sa ja joihin pääsee käsiksi verkkokäyttöliittymän kautta. Kun käyttäjä klikkaa linkkiä virtuaaliseen levykuvaan, jolle on saatavilla asennusskripti, Java-sovelma (engl. *applet*) suorittaa

apuohjelman käyttäjän työasemalla, joka informoi käyttäjää ja tarjoaa mahdollisuuden asentaa ISO-kuva vierailijavirtuaalikoneeseen. Perusvuorovaikutus käyttäjän sekä verkkovaras-
tossa säilytetyn digitaalisen aineiston välillä on esitetty kuviossa 12. Käyttäjä voi navigoida
arkistoa verkkoselaimella ja hakea haluamaansa ISO-kuvaa. Jos ISO-kuva sisältää ajettavia
ohjelmia, käyttäjälle tarjotaan kaksi linkkiä: ensimmäinen suorittaa paikallisen apuohjelman
ja toisesta voi ladata koko kuvan. Asennuskriptit on varastoitu yhdessä aineiston kanssa ha-
jautettuun AFS-levyjärjestelmään (Andrew File System), joka on kuvattu kuviossa 13. Kun
käyttäjä on valinnut ISO-kuvan, ohjelmisto suorittaa automaattisesti kyselyn hakemistosta
määrittääkseen, onko asennuskriptiä saatavilla.



Kuvio 13. Virtuaalisen arkiston organisaatio Woodsia ja Brownia (2010) mukailten.

Woodsin ja Brownin mukaan avustetulla emulaatiolla on useita etuja. CD-ROMien ISO-
kuvat ovat suuria, mutta kun ne on varastoitu hajautettuun tiedostojärjestelmään, niiden asen-
taminen virtuaaliasemana paikalliseen virtuaalikoneeseen mahdollistaa vain tarvittavien ku-
van osien siirtämisen verkon yli. Useat käyttäjät ja virtuaalikoneet voivat käyttää kuvia sa-
maan aikaan. Hajautetut tiedostojärjestelmät, jotka tukevat globaalia nimiavaruutta, paran-
tavat instituutioiden ja tutkijoiden kykyä jakaa, verrata ja vahvistaa sekä tietokohteita et-
tä niiden tukemiseen käytettyjä ympäristöjä. Automatisoitu virtuaalikoneen konfigurointi ja
verkkoon liitetty resurssivarasto poistaa kirjastoilta tarpeen ylläpitää fyysisiä nk. viitetyöase-
mia tai laitteistoalustoja mukautetuilla ohjelmistoympäristöillä tukeakseen vanhan sähköisen
aineiston käyttöä. Ohjelmistoavusteinen menetelmä, jolla automatisoidaan vuorovaikutusta
virtuaalikoneen, verkkolevyresurssien ja tarvittun ohjelmiston kanssa, poistaa ongelman liit-
tyen vanhaa ohjelmistoa koskevan tiedon puutteesta. Automaatioskriptit ovat linkitetty yksit-
täisiin ISO-kuviin olettaen ”puhtaan” virtuaalikoneen tilannekuvan (engl. *snapshot*) olemas-

saolon, käytännössä ”jäädyttäen” ympäristön. Tämä poistaa huolen ympäristön eheydestä, missä jouduttaisiin joko esikonfiguroimaan laitteistotyöasema jokaisella arkistossa saatavilla olevalla ohjelmistolla tai antamaan käyttäjälle asennus- ja suoritusoikeudet, mikä johtaisi väistämättä ympäristön vioittumiseen tai väärinkäyttöön.

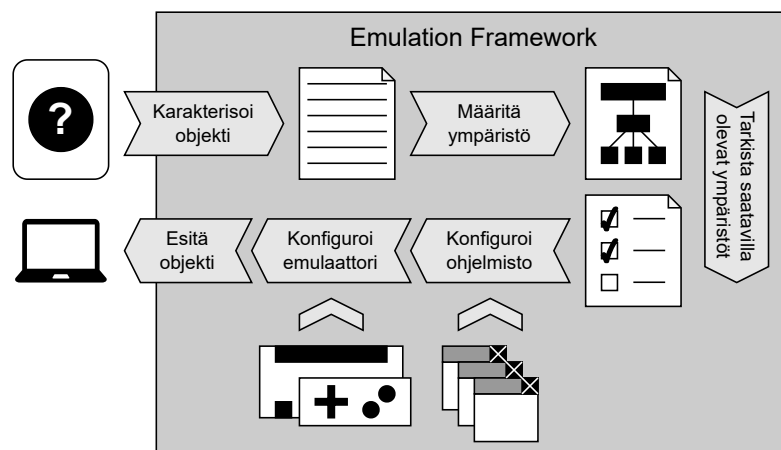
Woodsin ja Brownin kuvailema toteutus on testattu vanhojen CD-ROM-kuvien kokoelmalla. Artikkelissaan he toteavat avustettuun emulaatioon käytettyjen ajettavien ohjelmien sekä lähdekoodin olevan vapaasti saatavilla SourceForgen kautta, mutta kyseistä sivua ei löytynyt artikkelissa annetulla linkillä². Woodsin ja Brownin mukaan heidän toteuttamansa tutkimuksen ei ole tarkoitus ottaa kantaa emulaattorien säilyttämistä tai emulaatioalustan valintaa koskeviin haasteisiin. Sen sijaan se keskittyy demonstroimaan avustetun emulaation toteutettavuutta, erityisesti arkistoille, joilla on maltillinen budjetti ja tekninen osaaminen.

6.3.2 Emulation Framework

Yksi emulaation ongelmista on tiedon puute koskien digitaalisen objektin esittämiseen tarvittavan teknisen ympäristön tunnistamista ja konfigurointia. Ratkaisuksi tähän kehitettiin *Emulation Framework* (EF) osana Euroopan unionin osarahoittamaa KEEP-projektia (Keeping Emulation Environments Portable) (Lohman ym. 2011). Käyttäjän pyytäessä digitaalisesta kokoelmasta kohdetta, jonka esittämiseen tarvitaan vanhentunutta tietokoneympäristöä, EF tarjoaa ratkaisun, joka ei vaadi käyttäjältä syvää tietämystä, seuraten kuviossa 14 esitettyä työnkulkua. EF automatisoi työnkulun vaiheita, joita tarvitaan ennalta tunnistamattoman digitaalisen objektin esittämiseen sen alkuperäisessä ympäristössä. Nämä vaiheet ovat:

1. tunnistamattoman digitaalisen objektin karakterisointi,
2. esitysympäristön määrittäminen tunnistetulle digitaaliselle objektille,
3. laitteisto- ja ohjelmistopinon valmistelu sekä
4. ympäristön konfigurointi digitaalisen objektin esittämistä varten

²SourceForge: <http://sourceforge.net/projects/aemtk/>



Kuvio 14. EF-työnkulku Lohmania ym. (2011) mukailleen.

Digitaalisen objektin karakterisoinnilla tarkoitetaan sen tiedostotyyppin määrittämistä. EF käyttää tähän työkalua nimeltä File Information Tool Set (FITS)³, joka niputtaa yhteen useita avoimen lähdekoodin työkaluja. FITS tunnistaa, validoi ja poimii teknistä metatietoa eri tiedostomuodoista sekä normalisoi, vakauttaa ja raportoi niputettujen työkalujen ilmoittamista virheistä. EF:in kehityksen aikana FITSiin lisättiin tuki joillekin puuttuville formaateille, joita käytetään paljon emulointiyhteisössä, kuten tietokonepeleille, pelimoduuleille ja levykuvatiedostoille. FITS palauttaa useita työkaluja, jotka ovat samaa mieltä määritetystä tiedostoformaattista. Tätä voi käyttää onnistumisen mittarina, ja EF käyttää sitä digitaalisen objektin tiedostomuodon automaattiseen valitsemiseen.

EF määrittää esitys ympäristön vastaavalla tavalla kuin katselupolut. EF käyttää tähän yksinkertaista nelikerroksista mallia, jossa on kerrokset digitaalisen objektin tiedostomuodolle, sovellukselle, käyttöjärjestelmälle ja laitteistoalustalle. Käytännössä on olemassa monimutkaisempiakin tapauksia, joissa kerroksien välillä esiintyy riippuvuuksia tietynlaisista versioista tai laitteistokokoonpanoista, mutta EF ei tue tällaisia monimutkaisempia tapauksia. Kerrokset linkittyvät toisiinsa teknisen metatiedon kautta, jonka EF saa sisäisestä tietokannasta. Metatiedon saamiseksi EF:in voi kuitenkin myös liittää teknisiin rekistereihin, kuten PRONOMiin⁴ tai PCR:ään (Montague ja van Bussel 2010).

³Saatavilla osoitteesta <http://code.google.com/p/fits>. Katsottu 13.11.2024.

⁴PRONOM: <http://www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM>. Katsottu 13.11.2024.

Ympäristön generoinnin voi toteuttaa automaattisella menetelmällä ajon aikana tai valmistelemalla se ennalta. Nykyaikaisissa monimutkaisissa ympäristöissä on niin paljon rajatapauksia ja poikkeuksia, että luotettavan automaattisen menetelmän luomiseen tarvittava työmäärä ylittää saatavat hyödyt suuresti. Ympäristön valmistelu ennalta on mahdollista toteuttaa luotettavasti vain ihmisen aloittamalla, aikaa vievällä prosessilla, joskin tämän tarvitsee tehdä vain kerran jokaiselle ympäristölle. EF käyttää näiden kahden tavan yhdistelmää. Yleisesti digitaalinen objekti (ylin kerros) ja laitteistoalusta (pohjakerros) yhdistyvät toisiinsa löyhästi niiden välissä olevien kerroksien kautta. Sen sijaan nämä väliin jäävät kerrokset (sovellus ja käyttöjärjestelmä) ovat niin vahvasti toisistaan riippuvaisia, että ainoastaan niiden asettaminen ennalta varmistaa niiden oikeanlaisen toiminnan. EF käyttää tätä varten nk. ohjelmistoarkistoa, verkkopalvelua, joka sisältää ennalta valmistellut sovellus- tai OS-levykuvat yhdessä järjestelmä-, sovellus- ja laitteistovaatimuksien kanssa. Vastaavasti erillinen verkkopalvelu, nk. emulaattoriarkisto, sisältää emulaattorit, joilla voidaan edustaa laitteistoa.

Laitteistoalustan konfiguroinnista voi tehdä paljon yksinkertaisemman luomalla sille korkean tason laitteistokomponenttimallin. Kun malli on riittävän geneerinen, sitä voi käyttää useille emulaattoreille. EF käyttää emulaattorikohtaisen konfiguraation generointiin mallipohja-prosessoria (engl. *template processor*), ohjelmistokomponenttia, joka on suunniteltu yhdistämään tietomalli mallipohjan kanssa tulosdokumentin tuottamiseen⁵. Jokainen emulaattorikohtainen mallipohja sisältää kieliopin kyseisen emulaattorin konfigurointiin, joka yhdistettynä emulaattoriagnostiseen tietomalliin luo ohjelmiston vaatiman emulaattorikohtaisen laitteistokokoonpanon. Tämän työvaiheen viimeinen osa on tarjota digitaalinen objekti levykuvalla sijaitsevalle objektille. Tätä ei voi tehdä helposti, koska sovellus ja OS-levykuva on valmisteltu ennen prosessia. Sen voi kuitenkin liittää emuloituun laitteistoon erillisenä levykuvana, joka oikealla konfiguraatiolla antaa sovelluksen käyttää digitaalista objektia.

EF:ia ajetaan Javalla, mikä tekee siitä yhteensopivan valtavirran tietokonealustojen kanssa. Koska vapaasti saatavilla olevia emulaattoreita on paljon, sisällyttämällä niitä EF:iin voidaan emuloida useimpia tietokonealustoja. EF:in käyttämissä verkkoarkisoissa on ainoastaan avoimen lähdekoodin emulaattoreita ja sovelluksia, jotta välttyttäisiin lisenssejä ja patenteja

⁵FreeMarker: Java Template Engine Library: <http://freemarker.sourceforge.net>. Katsottu 13.11.2024.

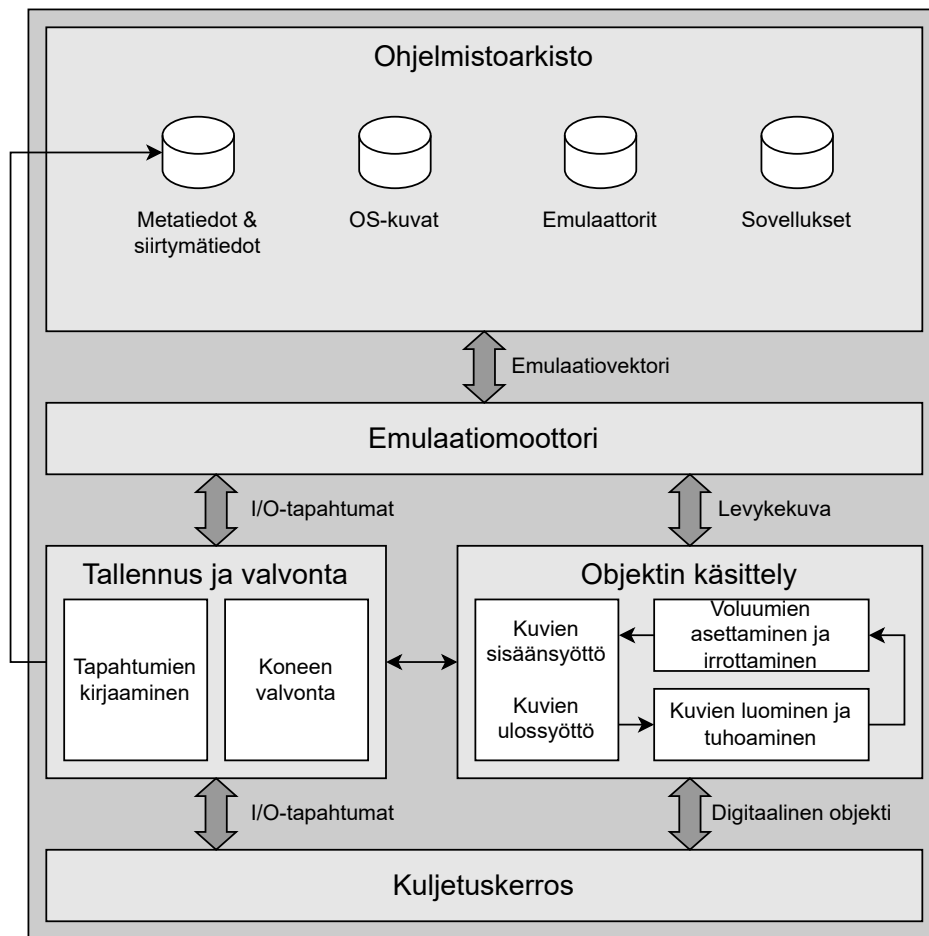
koskevilta rajoituksilta. EF:in viimeisin versio 2.1.0 julkaistiin vuoden 2012 huhtikuussa⁶. Se lähinnä korjasi edellisen version virheitä, joka julkaistiin saman vuoden helmikuussa, juuri ennen KEEP-projektin päättymistä.

6.3.3 PLANETS ja GRATE

Osana Euroopan unionin osarahoittamaa PLANETS-projektia (Preservation and Long-Term Access through NETworked Services) (Farquar ja Hockx-Yu 2007) kehitettiin prototyyppi emulointipalvelusta, joka perustuu Dioscurin kaltaisiin olemassa oleviin emulaattoreihin, ja mahdollistaa niiden ajamisen etänä (von Suchodoletz ja van der Hoeven 2009). Prototyyppi käyttää etänä renderöidyn ympäristön siirtämiseen Freiburgin yliopistossa kehitettyä GRATEa (Global Remote Access to Emulation Services), jolla kuka tahansa käyttäjä voi helposti käyttää emuloituja ympäristöjä etänä verkkoselaimensa kautta. Se todettiin jo alustavissa kokeissa erittäin käyttäjäystävälliseksi ja joustavaksi konfiguraatiossaan. GRATE mahdollistaa useiden ohjelmistoympäristöjen niputtamisen yhteen sovellukseen ja tarjoaa arkiston käyttäjille digitaalisista objekteista riippumattoman abstraktin rajapinnan (Welte 2008; Becker ym. 2009). GRATE käyttää VNC-protokollaa abstrahoidakseen laajan valikoiman erilaisia laitteistoarkkitehtuureja. Käyttämällä abstraktia emulointikerrosta voidaan niputtaa yhteen laaja valikoima emulaattoreita. Tätä lähestymistapaa rajoittaa ainoastaan sopivan emulointiohjelmiston saatavuus ja niiden kyvyt (Welte 2008). GRATE:n yleinen arkkitehtuuri ja sen tärkeimmät osat on esitetty kuviossa 15.

Erottamalla emulaatio-osa arkiston käyttäjän ympäristöstä GRATE saavuttaa etäemulaation tarjoamat edut (Rechert, von Suchodoletz ja Welte 2010). Kuitenkin kehitetty prototyyppi osoitti useita puutteita, kuten vain staattiset alkuperäiset ympäristöt ja erittäin rajoittuneet latauskyvyt (von Suchodoletz, Rechert ja Valizada 2013). Prototyypin seuraava iteraatio GRATE-R vaihtoi lähestymistapaa etäemulaatioon koskien käyttöliittymää. Sen sijaan, että kokonainen isäntäjärjestelmän graafinen käyttöliittymä välitettäisiin ajettavan emulaattorin kanssa, ainoastaan emulaattorin näytön ulostulo sekä hiiren ja näppäimistön syötteet paljastetaan etäasiakkaalle (von Suchodoletz ja Cochrane 2011).

⁶Saatavilla osoitteesta <http://emuframework.sourceforge.net>. Katsottu 13.11.2024.



Kuvio 15. GRATE-arkkitehtuuri Rechertiä, von Suchodoletzia ja Welteä (2010) mukailten.

Integroimalla GRATE:n kehityksessä löytyneen pääideat palvelusuuntautuneeseen digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen kehikseen, tuloksena syntyvien palvelujen tulisi mahdollistaa seuraavat asiat (Rechert, von Suchodoletz ja Welte 2010):

- Ajoittaiset käyttäjät voivat katsoa digitaalisia objekteja sekä vertailla niitä niiden alkuperäisessä ympäristössä.
- Ajoittaiset käyttäjät voivat kokea vanhoja (graafisia) vuorovaikutteisia ympäristöjä.
- Käyttäjien vuorovaikutuksen ja interaktiivisen prosessin vanhoissa käyttöympäristöissä dokumentointi ja säilytys.
- Tiedostojen automatisoitu migraatio emulaatiota käyttämällä.

PLANETS-kehyksessä tällaiset emulointipalvelut voidaan integroida monimutkaisempiin digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen työkulkuihin. Emuloituja järjestelmiä voidaan käyttää migraatiotyönkulun vaihtoehtoisena päätepisteenä digitaalisen objektin interaktiivisen katselun sen alkuperäisessä ympäristössä mahdollistamiseksi. Lisäksi emulaatiota itseään voitaisiin käyttää migraatiopalveluna erilaisessa työkulussa. PLANETS-kehys tarjoaa rajapinnan verkkopalveluille digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen yleisiin tehtäviin, kuten karakterisointiin, validointiin, katselemiseen, vertailuun, muokkaamiseen ja migraatioon. PLANETSin *view*-verkkopalvelurajapinta on suunniteltu digitaalisen objektin esittämiseen. Tämä palvelu mahdollistaa pääsyn valmiiksi konfiguroituihin emulaattoreihin ja ohjelmistokuvaan, joiden avulla käyttäjä voi tutkia ympäristöä sekä käyttää digitaalisia objekteja niiden alkuperäisillä sovelluksilla. PLANETSin *migrate*-verkkopalvelurajapinta tarjoaa keinon käyttää useita palveluita digitaalisen objektin muuntamiseksi valittuun ulostulformaattiin. Tämä on toteutettu MtE-lähestymistavalla.

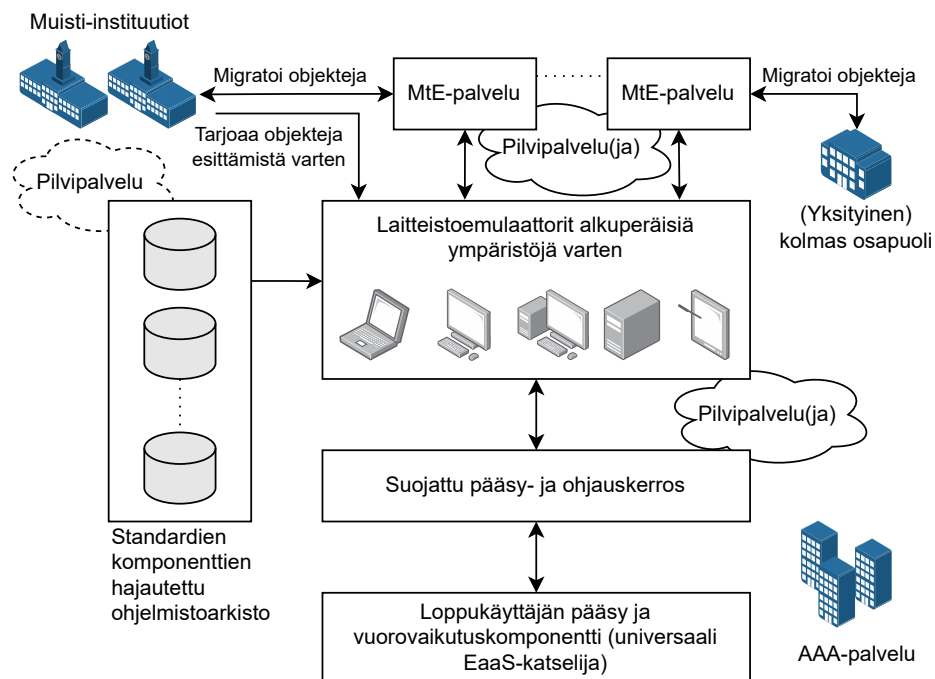
6.3.4 Emulation-as-a-Service

PLANETS-projektissa kehitetty ”Interoperability Framework” (King ym. 2009), joka on verkkopalvelupohjainen arkkitehtuuri monimutkaisten hajautettujen digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen työkulkujen luomiseen ja suorittamiseen teki monimutkaisista säilytyskenaarioista ja yhteistyötä tekevien instituutioiden erikoistumisesta mahdollista (Valizada, Rechert ja von Suchodoletz 2012). Yliopistojen, valtionkirjastojen ja valtionarkistojen yhteisprojekti *bwFLA* (Baden-Württemberg Functional Long-Term Access) omaksuu nämä ideat ja määrittää prosesseja sekä työkulkuja monimutkaisten digitaalisten objektien syöttämiseen ja käyttöön. Tästä syntyi *Emulation-as-a-Service* (EaaS), joka on pilvipalvelupohjainen ohjelmistopaketti, joka yksinkertaistaa erilaisten emulaattoreiden käyttöä digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä. Vuonna 2013 EaaS tuki kahdeksaa eri emulaattoria ja kykeni ajamaan viittätoista vanhaa tietokonealustaa (von Suchodoletz, Rechert ja Valizada 2013; von Suchodoletz ym. 2013). Jokainen emulaatiokomponentti on saatavilla käytettäväksi useissa arkistointityökuluissa yleisen verkkopalvelurajapinnan kautta.

EaaS konseptina perustuu aiempiin aihetta käsitteleviin tutkimusprojekteihin (von Suchodoletz, Rechert ja Valizada 2013). PLANETS (Schmidt ym. 2010; King ym. 2009) kehitti konseptin toisiinsa liitetystä verkkopalveluista, jotka sitovat digitaalisen pitkäaikais säilytyksen eri työkulkuja yhteen kehykseen. Osana PLANETS-projektia kehitettiin GRATE, joka mahdollistaa useiden ohjelmistoympäristöjen niputtamisen yhteen verkkosovellukseen. KEEP (Schmidt ym. 2010) syvensi ymmärrystä emulaatiosta erityisesti sellaisista näkökulmista kuin integraatiosta ja käytettävistä viitekehyksistä. Emulation Frameworkin myötä tuli selväksi, että on haastavaa tarjota useita laitteistoemulaattoreita ja viitekehyspalveluita hyvin erilaisilla laitteistolla lukuisista, lähinnä teknisistä syistä. Arkkitehtuuriset ja tekniset erot tehokkaiden pöytäkoneiden, kannettavien, mobiililaitteiden tai jopa seuraavan sukupolven TV-ruutujen välillä ovat merkittäviä, minkä vuoksi niitä on vaikea yhdistää yhdellä ratkaisulla. Lisäksi käyttäjän puolelta tarvitaan toissijaisia ohjelmistokomponentteja, kuten käyttöjärjestelmiä, laiteohjelmistoja ja ajureita. Muisti-instituutiot eivät myöskään välttämättä kykene antamaan käyttäjälle tämän haluamaa kohdetta kokonaan johtuen laillisista tai tietosuojaan liittyvistä syistä.

Käyttämällä pilvipalvelumallia etäemulaatiolla, EaaS voi hoitaa jotkin edellä mainituista ongelmista varsin tehokkaasti (von Suchodoletz, Rechert ja Valizada 2013):

1. Emulaattorien ja niihin liittyvien säilytyskehyksien keitys ja huolto voitaisiin keskittää vain muutamaasiin nykyaikaisiin arkkitehtuureihin, mikä johtaisi hallittuun ja hyvin ymmärrettyyn ympäristöön. Tämä välttää alustojen välisen kehityksen monimutkaisuudet ja sallii helpomman testauksen.
2. Alkuperäiset ympäristöt ja niiden lukuisat ohjelmistokomponentit, kuten myös käyttäjien pyytämät artefaktit, eivät poistu palveluntarjoajien hallitsemista järjestelmistä. Täten EaaS voi tarjota muisti-instituutioiden käyttäjille sisältöä digitaalisista kokoelmistaan antamatta heille suoraa pääsyä itse varsinaiseen dataan.
3. Standardisoidujen ja vakiintuneiden etäkäyttösovelluksien ja protokollien käyttö mahdollistaa alustariippumattomuuden.
4. Tiettyjen digitaalisten artefaktien tai kokonaisten ympäristöjen käyttöä voidaan hallita tehokkaammin, estäen käyttäjää kopioimasta aineistoa tai analysoimasta sitä ei-halutulla tavalla, mikä vähentää tekijänoikeusongelmia.



Kuvio 16. EaaS:n komponentit ja palvelumoduulit von Suchodoletzia, Rechertiä ja Valizadaa (2013) mukailten.

EaaS:n komponentit ja palvelumoduulit on esitetty kuviossa 16. Muisti-instituutiot voivat päättää ottavatko ne käyttöön yksityisen pilven vai käyttävätkö ne julkista pilveä, joko tarjoamalla palveluja talon sisällä tai käyttämällä tai tarjoamalla kolmannen osapuolen tarjouksia. Keskitetysti saavutettavana, hajautettuna palveluna EaaS kykenee auttamaan muisti-instituutioita päällekkäisyyksien poistamisesta työstä, jota tarvitaan täydellisten alkuperäisten ohjelmistoympäristöjen uudelleen käyttöönottamiseksi, vähentäen kustannuksia. Ydin-komponentit ja emulaattorit sisältävän ohjelmistoarkiston hallintoa voidaan yksinkertaistaa EaaS:n kautta. Verkkopalvelut tukevat erilaisia käyttömalleja, kuten EaaS-palvelun käyttöä yksittäisenä työnkulkukomponenttina tai osana kokonaista työnkulkua, mikä tarjoaa instituutioille mahdollisuuden erikoistua ydinsaamisalueilleen. Säilytyksen suunnittelun ja säilyttämisen kustannukset riippuvat ainoastaan emulaattoreiden ja emuloitujen järjestelmien määrästä. Täten tällainen emulaatiopohjainen lähestymistapa skaalautuu täydellisesti digitaalisten objektien lukumäärän kanssa.

Von Suchodoletz ym. (2013) esittelevät EaaS:n kolme erilaista sovellusta, joita ovat kokonaisten tietokonejärjestelmien säilyttäminen, ympäristöjen ja prosessien säilyttäminen sekä MtE. Tietokonejärjestelmien säilyttämiseen liittyen bwFLA-projektin aikana toteutettiin prototyyppi puoliautomaattisesta työnkulusta, joka pyrkii yksinkertaistamaan lukuisia työvaiheita (Rechert ym. 2012). Työnkulku on jaettu kolmeen vaiheeseen, joita ovat valmistelu ja karakterisointi, järjestelmän kuvantaminen sekä verifikaatio ja tulosten luovuttaminen. Ympäristöjen ja prosessien säilyttämiseen liittyvät digitaalisen objektin riippuvuudet lisäkomponenteista ja konfiguraatioista. Erotuksena koko järjestelmän säilyttämiseen, bwFLA:n järjestelmäympäristön säilyttämisen työnkulku hyödyntää käyttäjän tietoa kaikkien tarvittavien komponenttien tunnistamisessa siten, että esitysympäristö on täydellinen eikä siinä ole riippuvuusristiriitoja. Kolmas EaaS:n sovellus, MtE on jo kuvattu aiemmin tässä luvussa.

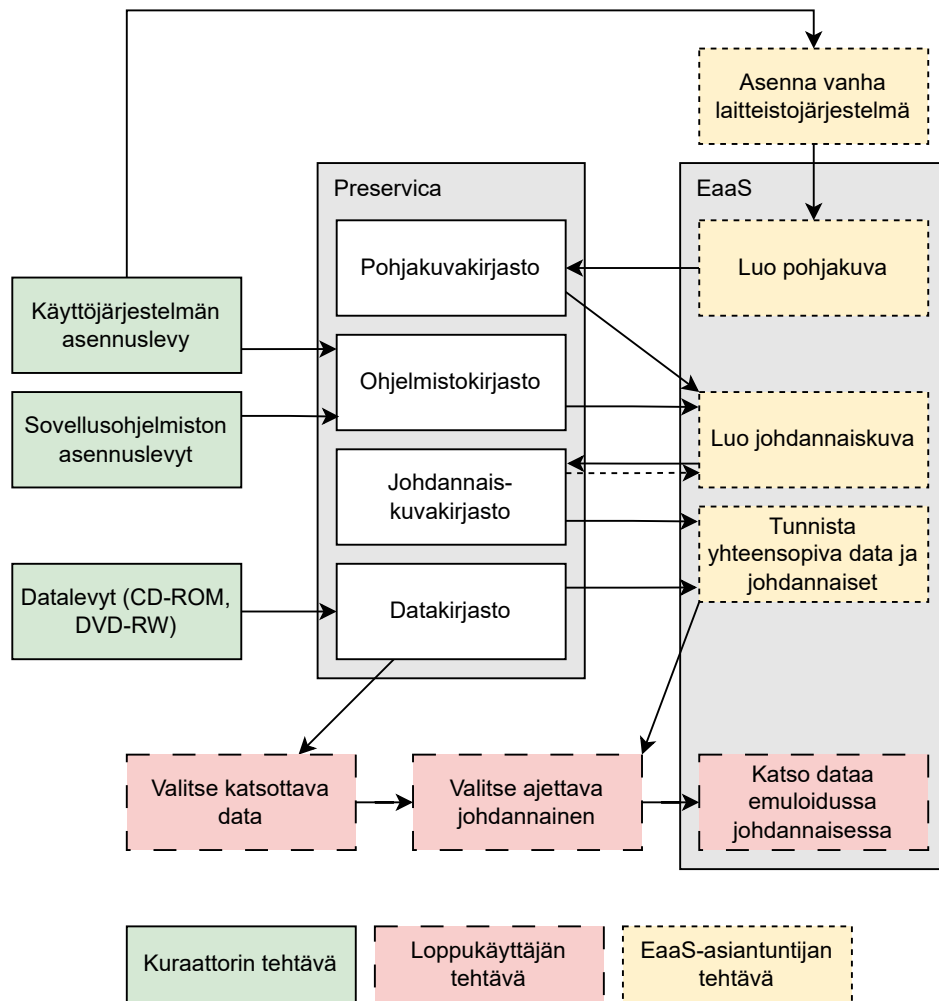
Von Suchodoletz, Rechert ja Valizada (2013) mainitsevat useita EaaS:n liikemallin tuomia etuja. Se sallii uusien sidosryhmien liittymisen markkinoille, kun palveluita voidaan tarjota laajalle ja monipuoliselle asiakasvalikoimalle etänä. Muisti-instituutiot voivat käyttää tietoaan ja vahvuuksiaan digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä maksullisten palveluiden tarjoamisessa kaupallisille tahoille, jotka pyrkivät ratkaisemaan säilytystarpeensa ja noudattamaan lakisääteisiä vaatimuksia. EaaS:ää voidaan ajaa hajautettuna palveluna, mikä mahdollistaa erikoistumisen eri muisti-instituutioiden ja kolmannen osapuolen palveluntarjoajien välillä. Lisäksi EaaS tukee kustannuksen jakamista esimerkiksi emulaattorien ylläpidossa ja tarvittavien komponenttien ohjelmistoarkistossa.

Cochrane, Tilbury ja Stobbe (2017) kuvailevat kuinka EaaS yhdistettiin jo olemassa olevaan digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen infrastruktuuriin. Yalen yliopisto toteutti toiminnallisuuden sen uuden EaaS-toteutuksen yhdistämiseksi Preservicaan, tarjotakseen pääsyn CD-ROMien sisältöön Yalen yliopiston kirjaston (YUL) yleisissä kokoelmissa. Näiden komponenttien linkittämisen prosessi on esitetty kuviossa 17. Preservica⁷ on digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen järjestelmä, joka yhdistää kaikki OAIS-mallin (Open Archival Information System 2012) elementit yhteen järjestelmään.

⁷Preservica: <http://www.preservica.com/>. Katsottu 15.11.2024.

Alustava yhteys Preservican ja EaaS:n välillä on ”kevyt” integraatio käyttämällä joka tuoteelle saatavilla olevia ohjelmointirajapintoja, mikä mahdollistaa käytön emuloidun tietokoneen kautta yhdistämällä emulaattorin, kovalevykuvan käyttöjärjestelmällä, (mahdollisesti) joitain ohjelmistoja sisällön kanssa vuorovaikuttamiseen sekä itse sisällön. Kovalevykuvat eivät tulleet EaaS-ohjelmistopakettin mukana, vaan ne luotiin YULissa kloonamalla tai ”kuvantamalla” ne alkuperäisten tietokoneiden kovalevyiltä. Käyttäjät voivat käyttää EaaS:n graafista käyttöliittymää pohjaympäristöjen konfigurointiin. Kun pohjakuvat on luotu tai kaapattu sekä lisätty EaaS:ään, henkilökunta voi sitten lisätä niihin sovellukset. EaaS-ohjelmistolla organisaatiot voivat valita joko automaattisen, puoliautomaattisen tai manuaalisen työnkulun emuloitavan ohjelmistoympäristön ja kokoelmassa olevien digitaalisten objektien yhteensovittamiseen.

YULin toteuttama puoliiksi kuratoitu lähestymistapa ei olisi kestävä EaaS:n suuren skaalan käytölle yksittäisten tiedostojen käyttöön. Migraatiolla sisältöä voi käyttää uudelleen takkaamalla sen, että se on saatavilla tuetuilla tiedostomuodoilla, ja Preservica tarjoaa jo valmiiksi kattavat työkalut suuren skaalan automaattiseen migraatioon. Kuitenkin emulaatio on joissain tapauksissa välttämätöntä, esimerkiksi kun mukautettua ohjelmistoa on mukana, minkä lisäksi emulaatio minimoi renderöinti- ja vuorovaikutusongelmia. Mukautettujen sisältöympäristöjen luominen manuaalisesti joka tiedostolle miljoonien tiedostojen kokoelmassa ei olisi toteuttamiskelpoista kustannuksien vuoksi. Kuitenkin mahdollinen tulevaisuuden suuren skaalan EaaS:n sovellus olisi toteuttaa se automaattisena nk. universaalina katselijana. Tähän lähestymistapaan voisi kuulua tiedostomuotoja koskevan tiedon tarjoaminen EaaS:ään digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen järjestelmästä, missä EaaS automaattisesti assosioi tiedostot sopivaan ennalta konfiguroituun ympäristöön.



Kuvio 17. EaaS-Preservica-työnkulun yleiskatsaus Cochranea, Tilburya ja Stobbea (2017) mukaillen.

7 Pohdinta

Kirjallisuuskatsauksen perusteella lähestymistavat, joihin on keskitytty emulaation käyttöönoton yksinkertaistamisessa digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä ovat työvaiheiden automatisointi sekä emulaation erottaminen käyttäjän ympäristöstä verkkopalvelun avulla. Tämä on lopulta johtanut EaaS:n kehittämiseen, jota on onnistuneesti sovellettu käytännössä. Sen lisäksi, että EaaS tekee emulaation käyttöönotosta yksinkertaisempaa, sen luvataan tarjoavan ratkaisun myös toiseen merkittävään emulaatioon liittyvään haasteeseen eli immateriaalioikeuksiin, jotka voivat rajoittaa digitaalisen aineiston käyttöä. EaaS:n avulla käyttäjille voitaisiin tarjota pääsy vanhentuneisiin ohjelmistoihin, joita muuten voisi käyttää ainoastaan sellaisilla menetelmillä, jotka olisivat käyttöehtojen vastaisia. Tämä vaatii kuitenkin immateriaalioikeuksien omistajilta yhteistyötä sekä halua tarjota vanhoja ohjelmistojaan tätä kautta.

Huolimatta EaaS:n lupaavuudesta, Preservicaa käsittelevää artikkelia (Cochrane, Tilbury ja Stobbe 2017) lukuun ottamatta kirjallisuuskatsauksessa ei löytynyt EaaS:ää käsitteleviä julkaisuja vuoden 2013 jälkeen, jättäen viimeisimpien julkaisujen ja tämän tutkielman kirjoittamisen väliin noin kymmenen vuoden aukon. Tämä voi selittyä sillä, että myöhemmissä artikkeleissa ei enää käsitellä tämän tutkielman tutkimuskysymyksiä samalla tavalla, vaan keskitytään enemmän teknisiin asioihin. Kun tämän tutkielman kirjoittamisen aikana suoritettiin Googlen hakukoneella haun hakusanalla ”emulation-as-a-service”, tarjosi Google ensimmäiseksi hakutulokseksi EaaS-projektin *Emulation-as-a-Service Infrastructure*¹. Se keskittyy teknologian ja palvelujen kehittämiseen EaaS-ohjelmiston skaalan ja kykyjen laajentamiseksi. Alustavassa kirjallisuuskartoituksessa löytyi yksi artikkeli, joka käsitteli EaaS:ta hyödyntävää projektia (Swalwell ym. 2022). Lisäksi suorittamalla Google Scholarissa haun hakusanalla ”eaaS”, löytyy lisää EaaS:hin liittyviä tutkimuksia, mukaan lukien tapaustutkimuksia (esim. Cardoso ja Kaltman 2021; Cochrane, Oberhauser ja Gieschke 2023).

Ainoa kirjallisuuskatsauksessa tunnistettu lähestymistapa, joka vastasi toiseen tutkimuskysymykseen oli MtE. On kuitenkin helppo kuvitella, kuinka joitain luvussa 2 mainittuja menetelmiä voisi käyttää osana emulaatiopohjaista strategiaa, esimerkiksi standardien hyödyntämi-

¹Software Preservation Network - Emulation-as-a-Service Infrastructure: <https://www.softwarepreservativonetwork.org/emulation-as-a-service-infrastructure/>. Katsottu 21.11.2024.

sen emulointiohjelmistoissa, minkä lisäksi Rothenberg (1999) mainitsee mahdollisia rooleja tietokoneuseoille. Tietenkin yksinkertainen tapa hyödyntää useita menetelmiä on rakentaa digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen järjestelmä, joka tarjoaa työkalut useaan lähestymistapaan, esimerkiksi kuinka Preservica, joka liitettiin EaaS:ään tarjoaa myös työkalut migraatioon. Jos tällaiseen järjestelmään toteuttaisi työnkulun, joka automaattisesti valitsisi sopivan työkalun valitun digitaalisen objektin tyyppin perusteella, niin käyttäjältä ei tarvittaisi tietoa siitä, onko tietynlaiseen objektiin parempi soveltaa migraatiota vai emulaatiota.

Vaikka kirjallisuuskatsaus ei onnistunut löytämään lainkaan kirjallisuutta EaaS:stä, voidaan laajojen, emulaatiota digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä koskevien hakulauseiden perusteella olettaa, että merkittävää relevanttia kirjallisuutta ei jäänyt tutkimuksen ulkopuolelle. On kuitenkin mahdollista, että etsimällä emulaatioaiheisia artikkeleita poissuljettiin relevantteja artikkeleja, jotka puhuvat emulaatiosta virtualisointina ja emulaattoreista virtuaalikoneina. Tällaisia tutkimuksia ei luulisi olevan paljoa, koska emulaatio on kuitenkin verrattain yleisesti käytetty termi digitaalista pitkäaikaissäilytystä käsittelevässä kirjallisuudessa. Kuitenkin emulaatio ja virtualisointi muistuttavat niin paljon toisiaan, että vastaavan tutkimuksen tekeminen virtuaalikoneista antaisi hyödyllistä tietoa myös emulaatiota koskevien haasteiden ratkaisemisessa. Tämän lisäksi tutkimuksen tuloksien luotettavuutta voi heikentää se, että ainoastaan yksi henkilö kehitti ja sovelsi tutkimusprosessissa käytettyjä sisällyttämisen ja poissulkemiskriteerejä.

8 Yhteenveto

Tämä pro gradu -tutkielma selvitti kartoittavan kirjallisuuskatsauksen avulla, mitä menetelmiä ja työkaluja on kehitetty digitaaliseen pitkäaikaissäilytykseen, joilla pyritään yksinkertaistamaan emulaation käyttöönottoa tai käyttämään emulaatiota täydentävästi muiden menetelmien kanssa. Verkkopalveluna toteutetun etäemulaation avulla käyttäjän ei tarvitse asentaa omalle koneelleen ohjelmistoja, jolloin vanhojen digitaalisten aineistojen käyttö on riippumaton sekä käyttäjän laitteen järjestelmästä, että käyttäjän maantieteellisestä sijainnista. Automatisoimalla emulaatioon liittyvän työnkulun vaiheita, emulaation käyttöä voidaan helpottaa teknisesti kokemattomillekin käyttäjille. Migration-through-Emulation suorittaa migraatioita emuloiduissa ympäristöissä, jolloin massamigraatio on mahdollista automatisoida huolimatta saatavilla olevien migraatiotyökalujen puutteesta. Nämä kaikki lähestymistavat, sekä niitä hyödyntävät prototyypit, ovat lopulta johtaneet Emulation-as-a-Service-ohjelmiston kehittämiseen, joka yksinkertaistaa erilaisten emulaattorien käyttöä digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä.

On helppo kuvitella, että suurin osa digitaalisista objekteista voidaan säilyttää joko migraatiolla tai emulaatiolla; formaatiltaan yksinkertaisemmat objektit voidaan muuntaa tuettuun muotoon, kun taas monimutkaisempia ja interaktiivisempia objekteja ajettaisiin emuloidussa ympäristössä. Olisi silti syytä tutkia kattavasti riittääkö näitä kahta menetelmää käyttävä strategia kaikkien objektien säilyttämiseen, vai jääkö objekteja, joiden saavutettavuutta ei voida taata kummallakaan menetelmällä. Jälkimmäisessä tapauksessa tulisi löytää sopiva menetelmä tällaisten objektien säilyttämiseen, ja liittää se osaksi koko strategiaa. Lisäksi koska tässä tutkielmassa eri menetelmien hyödyntämistä täydentävästi tutkittiin nimenomaan emulaation näkökulmasta, olisi kokonaisuutta ajatellen hyödyllistä tutkia aihetta yleisest näkökulmasta eli kuinka muita menetelmiä kuin emulaatiota voidaan käyttää yhdessä. Esimerkkinä tästä voidaan mainita migraation ja standardisaation hyödyntäminen yhdessä.

Lopuksi olisi vielä syytä tutkia tarkemmin eri säilytys- ja muisti-instituutioiden käyttämien digitaalisen pitkäaikaissäilytyksen strategioiden valintaperusteita. Huolimatta emulaation todistetuista hyödyistä sekä vahvuuksista sellaisissa tapauksissa, joissa esimerkiksi migraatio itsessään ei sovellu menetelmäksi, on emulaatio tänä päivänäkin vähiten käytettyjen strate-

gioiden joukossa. Mikäli tämä johtuu väitteistä emulaation suurista kustannuksista, mikä on osoitettu vääräksi, sekä emulaation monimutkaisuudesta, mitä vastaan on kehitetty toimivia työkaluja, niin olisi syytä keskittyä siihen, kuinka emulaatiota voisi paremmin saada niiden organisaatioiden tietoisuuteen, jotka siitä voisivat hyötyä. Jos muisti-instituutioilla on joitain muita merkittäviä syitä, jotka toimivat esteinä emulaatiopohjaisten ratkaisujen hyödyntämiselle, olisi syytä keskittyä näihin haasteisiin ja kehittää strategioita niiden osalta.

Lähteet

Acker, Amelia. 2020. “Emulation encounters: Software preservation in libraries, archives, and museums”. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology* 57 (1). <https://doi.org/10.1002/pra2.279>.

———. 2021. “Emulation practices for software preservation in libraries, archives, and museums”. *Journal of the Association for Information Science and Technology* 72 (9): 1148–1160. <https://doi.org/10.1002/asi.24482>.

Ahmad, Rafiq ja Muhammad Rafiq. 2024. “Digital preservation practices for information resources in university libraries of Pakistan”. *Online Information Review* 48 (4): 725–745. <https://doi.org/10.1108/OIR-02-2023-0074>.

Arksey, Hilary ja Lisa O’Malley. 2005. “Scoping studies: towards a methodological framework”. *International Journal of Social Research Methodology* 8 (1): 19–32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>.

Becker, Christoph, Hannes Kulovits, Michael Kraxner, Riccardo Gottardi, Andreas Rauber ja Randolph Welte. 2009. “Adding Quality-Awareness to Evaluate Migration Web-Services and Remote Emulation for Digital Preservation”. *Teoksessa Research and Advanced Technology for Digital Libraries*, 39–50. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. ISBN: 978-3-642-04346-8.

Burda, Daniel ja Frank Teuteberg. 2013. “Sustaining accessibility of information through digital preservation: A literature review”. *Journal of Information Science* 39 (4): 442–458. <https://doi.org/10.1177/0165551513480107>.

Cardoso, Daniel Llach ja Eric Kaltman. 2021. “Emulation of Historical Software as a Tool for Research and Pedagogy: A Case Study in the History of CAD”. *Archiving Conference* 18 (1): 47–47. <https://doi.org/10.2352/issn.2168-3204.2021.1.0.11>.

Carta, Giovanni. 2017. “Metadata and video games emulation: an effective bond to achieve authentic preservation?” *Records Management Journal* 27 (2): 192–204. <https://doi.org/10.1080/RMJ-10-2016-0037>.

- Cochrane, Euan, Jurek Oberhauser ja Rafael Gieschke. 2023. "EaaS Preservation of Mobile Applications: Progress with the long-term preservation of access to mobile applications using the EaaS platform". Teoksessa *Proceedings of the 19th International Conference on Digital Preservation (iPRES 2023)*, 167–70. Champaign-Urbana, IL, US.
- Cochrane, Euan, Jonathan Tilbury ja Oleg Stobbe. 2017. "Adding emulation functionality to existing digital preservation infrastructure". *Journal of Digital Media Management* 6 (3): 255–264.
- Farquar, Adam ja Helen Hockx-Yu. 2007. "Planets: Integrated Services for Digital Preservation". *The International Journal of Digital Curation* 2 (2): 88–99.
- Granger, Stewart. 2000. "Emulation as a digital preservation strategy". *D-Lib Magazine* 6 (10).
- Guttenbrunner, Mark, Christoph Becker ja Andreas Rauber. 2010. "Keeping the Game Alive: Evaluating Strategies for the Preservation of Console Video Games". *The International Journal of Digital Curation* 5 (1): 64–90. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v5i1.144>.
- Guttenbrunner, Mark ja Andreas Rauber. 2012. "A Measurement Framework for Evaluating Emulators for Digital Preservation". *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)* 30 (2): 1–28. <https://doi.org/10.1145/2180868.2180876>.
- Hsu, Aaron ja Geoffrey Brown. 2011. "Dependency Analysis of Legacy Digital Materials to Support Emulation Based Preservation". *The International Journal of Digital Curation* 6 (1): 99–110. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v6i1.175>.
- ISO 14721:2012 Space data and information transfer systems – Open archival information system (OAIS) – reference model*. 2012. Standardi. <https://www.iso.org/standard/57284.html>.
- Jamraj, Darin ja Shihong Huang. 2015. "Developing an Emulation Model Towards the Preservation of Modern Computing Systems". Teoksessa *2015 2nd International Conference on Information Science and Security (ICISS)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ICISSEC.2015.7370996>.

King, Ross, Rainer Schmidt, Andrew N. Jackson, Carl Wilson ja Fabian Steeg. 2009. “The planets interoperability framework”. Teoksessa *Proceedings of the 13th European Conference on Digital Libraries (ECDL09)*.

Kitchenham, Barbara ja Stuart Charters. 2007. *Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering*. Tekninen raportti. Keele University, University of Durham.

Lohman, Bram, Bart Kiers, David Michel ja Jeffrey van der Hoeven. 2011. “Emulation as a business solution: The emulation framework”. Teoksessa *Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES 2011)*, 167–70. National Library Board Singapore & Nanyang Technology University.

Lorie, Raymond. 2001. “Long Term Preservation of Digital Information”. Teoksessa *Proceedings of the 1st ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries*, 346–352. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery.

Montague, Lynne ja Sara van Bussel. 2010. *PLANETS Core Registry: Future Vision Document*. Tekninen raportti. The National Archives, National Library of the Netherlands.

Oltmans, Erik., Raymond J. van Diessan ja Hilde van Wijngaarden. 2004. “Preservation functionality in a digital archive”. Teoksessa *Proceedings of the 2004 Joint ACM/IEEE Conference on Digital Libraries, 2004*. 279–286. Tucson, AZ, USA: IEEE. <https://doi.org/10.1145/996350.996416>.

Peters, Micah DJ, Christina M Godfrey, Hanan Khalil, Patricia McInerney, Deborah Parker ja Cassia Baldini Soares. 2015. “Guidance for conducting systematic scoping reviews”. *JBI Evidence Implementation* 13 (3): 141–146. <https://doi.org/10.1097/XEB.0000000000000050>.

Petersen, Kai, Robert Feldt, Shahid Mujtaba ja Michael Mattsson. 2008. “Systematic Mapping Studies in Software Engineering”. Teoksessa *Proceedings of the 12th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*.

Ponsard, Cristophe. 2021. "Meeting Digital Preservation Requirements for Software through an Emulation Strategy". Teoksessa *Proceedings of the 16th International Conference on Software Technologies - ICSoft*, 318–323. INSTICC, SciTePress. ISBN: 978-989-758-523-4. <https://doi.org/10.5220/0010602903180323>.

Rechert, Klaus, Isgandar Valizada, Dirk von Suchodoletz ja Johann Latocha. 2012. "bwFLA – A Functional Approach to Digital Preservation". *PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation* 35 (4): 259–267. <https://doi.org/10.1515/pik-2012-0044>.

Rechert, Klaus, Dirk von Suchodoletz ja Randolph Welte. 2010. "Emulation based services in digital preservation". Teoksessa *Proceedings of the 10th Annual Joint Conference on Digital Libraries*, 365–368. JCDL '10. Gold Coast, Queensland, Australia: Association for Computing Machinery. ISBN: 9781450300858. <https://doi.org/10.1145/1816123.1816182>.

Rechert, Klaus, Dirk von Suchodoletz, Randolph Welte, Maurice van den Dobbelen, Bill Roberts, Jeffrey van der Hoeven ja Jasper Schroder. 2009. "Novel Workflows for Abstract Handling of Complex Interaction Processes in Digital Preservation". Teoksessa *Proceedings of the 6th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2009)*, 155–161. San Francisco, CA, USA. <https://escholarship.org/uc/item/8jf067f6>.

Rothenberg, Jeff. 1999. *Avoiding Technological Quicksand: Finding a Viable Technical Foundation for Digital Preservation*. Council on Library / Information Resources.

———. 2000a. *An experiment in using emulation to preserve digital publications*. Koninklijke Bibliotheek.

———. 2000b. *Using Emulation to Preserve Digital Documents*. Citeseer.

Schmidt, Rainer, Ross King, Andrew Jackson, Carl Wilson, Fabian Steeg ja Peter Melms. 2010. "A Framework for Distributed Preservation Workflows". *International Journal of Digital Curation* 5 (1). <https://doi.org/10.2218/ijdc.v5i1.154>.

Swalwell, Melanie, Helen Stuckey, Denise de Vries, Cynde Moya, Candice Cranmer, Sharon Frost, Angela Goddard, Steven Miller, Carolyn Murphy ja Nick Richardson. 2022. "Archiving Australian Media Arts: A Project Overview". *Preservation, Digital Technology & Culture* 51 (4): 155–166. <https://doi.org/10.1515/pdte-2022-0026>.

- Takhteyev, Yuri ja Quinn DuPont. 2013. "Retrocomputing as preservation and remix". *Library Hi Tech* 31 (2): 355–370. <https://doi.org/10.1108/07378831311329103>.
- Tynnyrinen, Mikko. 2022. "Emulointi digitaalisessa pitkäaikaissäilytyksessä". Kandidaatintutkielma, Jyväskylän yliopisto.
- Valizada, Isgandar, Klaus Rechert ja Dirk von Suchodoletz. 2012. "Emulation-as-a-Service – Requirements and Design of Scalable Emulation Services for Digital Preservation". *Beiträge zu Anwenderprojekten und Infrastruktur im bwGRiD 2012*, 103–115.
- van der Hoeven, Jeffrey, Bram Lohman ja Remco Verdegem. 2007. "Emulation for Digital Preservation in Practice: The Results". *The International Journal of Digital Curation* 2 (2): 123–132. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v2i2.35>.
- van der Hoeven, Jeffrey ja Hilde van Wijngaarden. 2005. "Modular emulation as a long-term preservation strategy for digital objects". Teoksessa *5th International Web Archiving Workshop (IWA05)*, 153–176. Citeseer.
- van der Hoeven, Jeffrey, Hilde van Wijngaarden, Remco Verdegem ja Jacqueline Slats. 2005. "Emulation – a viable preservation strategy", https://doi.org/10.1007/11551362_47.
- Welte, Randolph. 2008. "Funktionale Langzeitarchivierung digitaler Objekte : Entwicklung eines Demonstrators zur Internetnutzung emulierter Ablaufumgebungen". Väitöskirja, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.
- Verdegem, Remco ja Jeffrey van der Hoeven. 2006. "Emulation: To be or not to be". Teoksessa *Proceedings IS&T Archiving Conference*, 56–60. Ottawa, Canada: Society for Imaging Sciences / Technology.
- Wheatley, Paul. 2001. "Migration: A Camileon Discussion Paper". *Ariadne*, numero 29, ISSN: 1361-3200. <http://www.ariadne.ac.uk/issue/29/camileon/>.
- von Suchodoletz, Dirk ja Euan Cochrane. 2011. "Replicating installed application and information environments onto emulated or virtualized hardware". Teoksessa *Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011)*. National Library Board Singapore & Nanyang Technology University.

von Suchodoletz, Dirk, Klaus Rechert ja Isgandar Valizada. 2011. "Remote emulation for migration services in a distributed preservation framework". Teoksessa *Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011)*, 158–166. National Library Board Singapore & Nanyang Technology University.

———. 2013. "Towards Emulation-as-a-Service: Cloud Services for Versatile Digital Object Access". *International Journal of Digital Curation* 8 (1). <https://doi.org/10.2218/ijdc.v8i1.250>.

von Suchodoletz, Dirk, Klaus Rechert, Isgandar Valizada ja Annette Strauch. 2013. "Emulation as an alternative preservation strategy – use-cases, tools and lessons learned". Teoksessa *INFORMATIK 2013 – Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt*, 592–606. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V. ISBN: 978-3-88579-614-5.

von Suchodoletz, Dirk ja Jeffrey van der Hoeven. 2009. "Emulation: From Digital Artefact to Remotely Rendered Environments". *International Journal of Digital Curation* 4 (3). <https://doi.org/10.2218/ijdc.v4i3.118>.

Woods, Kam ja Geoffrey Brown. 2010. "Assisted Emulation for Legacy Executables". *International Journal of Digital Curation* 5 (1). <https://doi.org/10.2218/ijdc.v5i1.150>.

Liitteet

A Seulottujen julkaisujen lähdetietokannat

Alla on listattu seulottujen julkaisujen lähdetietokannat ja verkkosivustot, joista tutkimuksessa käytetyt hakukoneet hakivat julkaisut. Jokaisen tietokannan kohdalla on tieto siitä, montako julkaisua sieltä löydettiin. Sekä Google Scholarissa että JYKDOKissa hakutuloksen lähdetietokannat ja -sivustot on mainittu hakutuloksen yhteydessä. Moni julkaisuista löytyi useasta eri tietokannasta samanaikaisesti.

Tietokanta	Lkm.
IEEE Xplore	40
ProQuest	39
ACM Digital Library	28
CiteseerX	28
ResearchGate	27
Academia.edu	26
CORE	20
PHAIDRA	20
Directory of Open Access Journals	19
ScienceDirect	19
planets-project.eu	10
Semantic Scholar	10
PubMed	9
Taylor & Francis Online	8
tuwien.ac.at (Wienin teknillinen yliopisto)	8
Pascal and Francis Bibliographic Databases	7
SpringerLink	6
Infona	5
Ingenta Connect	5
International Conference on Digital Preservation	5
Wiley Online Library	5
brighton.ac.uk (Brightonin yliopisto)	4
EconPapers	4
IDEAS	4
port.ac.uk (Portsmouthin yliopisto)	4

Tietokanta	Lkm.
timbusproject.net	4
American Physical Society Journals	3
De Gruyter	3
EBSCOhost	3
IEEE Computer Society Digital Library	3
International Journal of Digital Curation	3
osti.gov (Office of Scientific and Technical Information)	3
ASIS&T Digital Library	2
cornell.edu (Cornellin yliopisto)	2
DiGRA Australia	2
Edinburgh University Press	2
Gale Literature Resource Center	2
HeinOnline	2
indiana.edu (Indianan yliopisto)	2
IOPscience	2
Korea Science	2
Ovid	2
eprints.rclis.org	2
sciserver.at	2
Society for Imaging Science and Technology	2
stanford.edu (Standfordin yliopisto)	2
yorp.nl	2
accesson.kr	1
AIC and FAIC Resource Hub	1
amazonaws.com	1
Archives & Museum Informatics	1
Archivio Istituzionale della Ricerca	1
arXiv	1
bathspa.ac.uk (Bath Span yliopisto)	1
Carolina Digital Repository	1
Council on Library & Information Resources	1
CSEAS	1
Deutsche National Bibliothek	1
dglab.gov.pt	1
digiPres Commons	1
Digital Games Research Association	1

Tietokanta	Lkm.
Digitala Vetenskapliga Arkivet	1
Digitale Bibliothek	1
eLIBRARY.RU	1
Emerald Insight	1
emustudio.net	1
ERIC Institute of Education Sciences	1
eScholarship	1
Europe PMC	1
ezisraelc.com	1
Fermilab Technical Publications	1
FORTH Institute of Computer Science	1
Gale Academic OneFile	1
gla.ac.uk (Glasgow'n yliopisto)	1
harvard.edu (Harvardin yliopisto)	1
HSTalks	1
inspire HEP	1
International Journal of Digital Preservation	1
JAMA Network	1
Journal of Global Economic Analysis	1
JSTOR Arts and Sciences III	1
Knowledge Commons	1
kyoto-u.ac.jp (Kioton yliopisto)	1
LEKYTHOS	1
missouri.edu (Missourin yliopisto)	1
mit.edu (Massachusettsin teknillinen korkeakoulu)	1
Nature Communications	1
nist.gov (Yhdysvaltain standardisointi- ja teknologiainstituutti)	1
NSF Public Access Repository	1
nyu.edu (New Yorkin yliopisto)	1
Optica	1
Oxford Journals 2021 Current Collection	1
Project Muse Standard Collection	1
PubPub Platform	1
LNEC's Scientific Repository	1
RERO DOC Digital Library	1
rwth-aachen.de (RWTH Aachen)	1

Tietokanta	Lkm.
Sage Publications	1
Santa Clara Law Digital Commons	1
SBA Research	1
SciTePress Digital Library	1
Software Preservation Network	1
tate.org.uk	1
theseus.fi	1
tudelft.nl (Delftin teknillinen yliopisto)	1
uni-freiburg.de (Albert-Ludwigs-Universität Freiburg)	1
USENIX	1
valkyrie22.com	1
Virginia Tech	1
waldenu.edu (Walden-yliopisto)	1
wgtn.ac.nz (Wellingtonin Victoria-yliopisto)	1
Wikimedia	1
wvu.edu (Länsi-Virginian yliopisto)	1
yonsei.elsevierpure.com (Yonsein yliopisto)	1

B Tutkimukseen hyväksytyt julkaisut

1. Bram Lohman, Bart Kiers, David Michel, Jeffrey van der Hoeven. 2011. Emulation as a business solution: The Emulation Framework. 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011), 425–428, National Library Board Singapore and Nanyang Technology University.
2. Dirk von Suchodoletz, Jeffrey van der Hoeven. 2009. Emulation: From Digital Artefact to Remotely Rendered Environments. *International Journal of Digital Curation* 2009-12, Vol.4 (3), 146–155. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v4i3.118>.
3. Dirk von Suchodoletz, Klaus Rechert, Isgandar Valizada. 2011. Remote emulation for migration services in a distributed preservation framework. *Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011)* 158–166.
4. Dirk von Suchodoletz, Klaus Rechert, Isgandar Valizada. 2012. Emulation-as-a-Service – Requirements and Design of Scalable Emulation Services for Digital Preservation. *Beiträge zu Anwenderprojekten und Infrastruktur im bwGRiD 2012*: 103–115.
5. Dirk von Suchodoletz, Klaus Rechert, Isgandar Valizada, Annette Strauch. 2013. Emulation as an alternative preservation strategy — use-cases, tools and lessons learned. *INFORMATIK 2013 – Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt*. Bonn: Gesellschaft für Informatik e.V.. PISSN: 1617-5468. ISBN: 978-3-88579-614-5. 592–606. *Regular Research Papers*. Koblenz. 16.-20. Syyskuu 2013
6. Euan Cochrane, Jonathan Tilbury, Oleg Stobbe. 2018. Adding emulation functionality to existing digital preservation infrastructure. *Journal of digital media management (London)* 2018-03, Vol.6 (3), 255–264.
7. Isgandar Valizada, Klaus Rechert, Dirk von Suchodoletz. 2013. Towards Emulation-as-a-Service – Cloud Services for Versatile Digital Object Access. *International Journal of Digital Curation*, 8:131–142. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v8i1.250>.
8. Kam Woods, Geoffrey Brown. 2010. Assisted Emulation for Legacy Executables. *International Journal of Digital Curation* 2010-07, Vol.5 (1), 160–171. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v5i1.150>.
9. Klaus Rechert, Dirk von Suchodoletz, Randolph Welte. 2010. Emulation based services in digital preservation. 10th annual joint conference on Digital libraries (JCDL '10). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 365–368. <https://doi.org/10.1145/1816123.1816182>.
10. Klaus Rechert, Dirk von Suchodoletz, Randolph Welte. 2009. Novel workflows for abstract handling of complex interaction processes in digital preservation. *Proceedings of the 6th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2009)*, 155–161. <https://escholarship.org/uc/item/8jf067f6>.

C Lukuvaiheessa hylätyt julkaisut

Alla on listattu julkaisut, jotka otettiin tutkimukseen mukaan seulomisen perusteella, mutta hylättiin niiden lukemisen jälkeen. Jokaisen julkaisun perään on kursiivilla kirjoitettu perustelu hylkäämiselle.

1. Christoph Becker, Hannes Kulovits, Michael Kraxner, Riccardo Gottardi, Andreas Rauber, Randolph Welte. 2009. Adding quality-awareness to evaluate migration web-services and remote emulation for digital preservation. Research and Advanced Technology for Digital Libraries: 13th European Conference, ECDL 2009, Corfu, Greece, September 27-October 2, 2009. Proceedings 13 (pp. 39-50). Springer Berlin Heidelberg. *Artikkeli liittyy verkkopalvelupohjaisiin menetelmiin kuten EaaS ja MtE, mutta aihe ei liity tutkimuskysymyksiin.*
2. Dan Pinchbeck, David Anderson, Janet Delve, Getaneh Alemu, Antonio Ciuffreda, Andreas Lange. 2009. Emulation as a strategy for the preservation of games: the KEEP project. DiGRA 2009: Breaking New Ground: Innovation in Games, Play, Practice and Theory. *Artikkeli esittelee KEEP-projektin, jonka tavoitteena on luoda avoin emulaationkäyttöalusta. Ei käsittele tutkimuskysymyksiä.*
3. Darin Jamraj, Shihong Huang, Perambur Neelakanta, Bassem Alhalabi. 2017. Applications of an emulation model towards the preservation of modern computing systems. 2017 Annual IEEE International Systems Conference (SysCon), Montreal, QC, Canada, 2017, 1–8. <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2017.7934711>. *Artikkeli esittelee vaatimus pohjaisen mallin, jonka avulla järjestelmän ja sen ominaisuudet voi säilyttää emulaation avulla. Malli ei vastaa tutkimuskysymykseen emulaation käyttöönoton yksinkertaistamisesta, vaan pikemminkin tukee emulaattorin kehittämistä.*
4. Rafael Gieschke, Klaus Rechert. 2022. A Generic Emulator Interface for Digital Preservation. iPres 2022 Glasgow 12—16 September 2022 www. iPres2022. Scotland. *Artikkeli esittää tekniset perustat, joilla parannetaan emulaattoreiden portattavuutta ja uudelleen käyttöä, eikä siis varsinaisesti liity kumpaakaan tutkimuskysymykseen.*
5. Thomas Reichherzer, Geoffrey Brown. 2021. Emulation of Multi-Inverter Integrated Weak Grid via Interaction-Preserved Aggregation. IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics 2021-08, Vol.9 (4), 4153–4164. *Artikkeli käsittelee ohjelmistotyökaluja ja strategioita, joilla automaattisesti analysoidaan Microsoft Office -dokumenttien riippuvuuksia ohjelmistoresursseista ja tukevista tiedostoista. Näitä on tarkoitus käyttää osana emulaatiostrategiaa, mutta voi myöskin hyödyntää migraatiossa. Kuitenkaan ei käsittele kumpaakaan tutkimuskysymystä.*

D Seulomalla hylätyt julkaisut

Alla on listattu julkaisut, jotka suljettiin tutkimuksen ulkopuolelle seulomisvaiheessa. Julkaisujen perään on kirjoitettu kursiivilla perustelu hylkäämiselle. Jos syyksi on sanottu ”ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista”, se tarkoittaa sitä, että kyseinen julkaisu on löytynyt alunperin tutkimukseen hyväksytyin artikkelin lähdeluettelosta, mutta kyseistä julkaisua ei löytynyt, kun sitä haettiin. Jos syytä hylkäämiselle ei ole annettu, julkaisu on silloin hylätty abstraktin perusteella.

1. A. Castelletti, S. Galelli, M. Ratto, R. Soncini-Sessa, P. C. Young. 2012. A general framework for Dynamic Emulation Modelling in environmental problems. *Environmental modelling & software : with environment data news* 2012-06, Vol.34, p.5-18.
2. A. Castelletti, S. Galelli, M. Restelli, R. Soncini-Sessa. 2012. Data-driven dynamic emulation modelling for the optimal management of environmental systems. *Environmental modelling & software : with environment data news* 2012-06, Vol.34, p.30-43.
3. Aaron Hsu, Geoffrey Brown. 2011. Dependency Analysis of Legacy Digital Materials to Support Emulation Based Preservation. *International Journal of Digital Curation* 2011-03, Vol.6 (1), p.99-110.
4. Adam Farquhar, Helen Hockx-Yu. 2007. Planets: Integrated services for digital preservation. *International Journal of Digital Curation* 2(2), 2007. *Hylättiin johdantoluvun perusteella.*
5. Alain Bonardi, Jérôme Barthélemy. 2008. The preservation, emulation, migration, and virtualization of live electronics for performing arts: An overview of musical and technical issues. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)* 1.1 (2008): 1-16. <https://doi.org/10.1145/1367080.1367086>.
6. Alejandro I. Maass, Dragan Nesić, Romain Postoyan, Peter M. Dower, Vineeth S. Varma. 2017. Emulation-based stabilisation of networked control systems over WirelessHART. 2017 IEEE 56th Annual Conference on Decision and Control (CDC), Melbourne, VIC, Australia, 2017, pp. 6628-6633, <https://doi.org/10.1109/CDC.2017.8264657>.
7. Alex Kinnaman, Corinne Guimont. 2020. Preserving DH Projects: Creating an Environment for Emulation. <http://hdl.handle.net/10919/100640>. *Videoluento.*
8. Alexander Eggemeier, Benjamin Camacho-Quevedo, Andrea Pezzotta, Martin Croce, Román Scocimarro, Ariel G. Sánchez. 2023. COMET: Clustering Observables Modelled by Emulated perturbation Theory. *Monthly notices of the Royal Astronomical Society* 2023-02, Vol.519 (2), p.2962-2980.
9. Alina Buzachis, Daiana Boruta, Massimo Villari, Josef Spillner. 2021. Modeling and Emulation of an Osmotic Computing Ecosystem using OsmoticToolkit. 2021 Australasian Computer Science Week Multiconference (ACSW '21). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 9, 1–9. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/3437378.3444366>.

10. Amelia Acker. 2024. Accessing Software: Emulation in Information Institutions. *Information & culture* 2024-01, Vol.59 (1), p.1-19.
11. Amelia Acker. 2020. Emulation encounters: Software preservation in libraries, archives, and museums. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology* 57 (1). <https://doi.org/10.1002/pra2.279>..
12. Amelia Acker. 2021. Emulation practices for software preservation in libraries, archives, and museums. *Journal of the Association for Information Science and Technology* 72.9 (2021): 1148-1160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/asi.24482>..
13. Andrew M. Moore, Jérôme Fiechter, Christopher A. Edwards. 2022. A linear stochastic emulator of the California Current system using balanced truncation. *Ocean modelling (Oxford)* 2022-06, Vol.174, p.102023, Article 102023.
14. Andrew Malone, Sean Gallagher, Jemil Saidi, Gina Rizq, Enda O’Dowd, Derek Vallence, Aamir Hameed. 2022. In vitro benchtop mock circulatory loop for heart failure with preserved ejection fraction emulation. *Frontiers in cardiovascular medicine* 2022-07, Vol.9, p.910120-910120.
15. Andrew N. Jackson. 2011. Using Automated Dependency Analysis To Generate Representation Information. *Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011)*, sivut 89-92, 2011.
16. Andrew Stawowczyk Long. 2009. Long-term preservation of web archives—experimenting with emulation and migration methodologies. National Library of Australia, International Internet Preservation Consortium (2009). *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
17. Angela Dappert, Sbastien Peyrard, Janet Delve, Carol C. H. Chou. 2012. Describing Digital Object Environments in PREMIS. 9th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2012), sivut 69-76. University of Toronto, 2012.
18. Anshunkang Zhou, Yikun Hu, Xiangzhe Xu, Charles Zhang. 2024. ARCTURUS: Full Coverage Binary Similarity Analysis with Reachability-guided Emulation. *ACM transactions on software engineering and methodology* 2024-04, Vol.33 (4), p.1-31, Article 96.
19. Anton V. Proskurnikov. 2020. Does sample-time emulation preserve exponential stability?. 23rd International Conference on Hybrid Systems: Computation and Control (HSCC ’20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 19, 1–8. <https://doi.org/10.1145/3365365.3382221>.
20. Avinash Malik, Partha S. Roop, Nathan Allen, Theo Steger. 2018. Emulation of Cyber-Physical Systems Using IEC-61499. *IEEE transactions on industrial informatics* 2018-01, Vol.14 (1), p.380-389.
21. B. Aitken, S. Ross, A. Lindley, E. Michaeler, A. Jackson, M. van der Dobbelen. 2010. The planets testbed - a collaborative research environment for digital preservation. *Research and Advanced Technology for Digital Libraries, 14th European Conference, ECDL 2010, Glasgow, UK, September 6-10, 2010- Proceedings*, volume 6273 of *Lecture Notes in Computer Science*, sivut 401-404, Springer, 2010.

22. B. Moulik, D. Söffker. 2015. Modeling, Control, and Powermanagement Optimization for an Emulated Multi-Source Hybrid Drivetrain. IFAC-PapersOnLine Volume 48, Issue 1, 2015, Pages 657-658. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.05.026>.
23. Barry Fagin, Dale Skrien. 2011. IASSim: a programmable emulator for the princeton IAS/Von Neumann machine. 42nd ACM technical symposium on Computer science education (SIGCSE '11). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 359–364. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/1953163.1953271>.
24. Benedikt B. Brandt, Constantine Yannouleas, Uzi Landman. 2017. Bottom-up configuration-interaction emulations of ultracold fermions in entangled optical plaquettes: Building blocks of unconventional superconductivity. Physical review. A 2017-04, Vol.95 (4), Article 043617.
25. Benjamin Farrand. 2012. Emulation is the Most Sincere Form of Flattery: - Retro Videogames, ROM Distribution and Copyright. IDP : revista de internet, derecho y política 2012-11 (14), p.5.
26. Bo Yao, Haoran Wang, Qian Wang, Huai Wang. 2023. A Unified Capacitor Stress Emulation Method for High-Power Converter Applications. IEEE transactions on power electronics 2023-08, Vol.38 (8), p.10213-10226.
27. Bo Yao, Xing Wei, Yichi Zhang, Shuai Zhao, Huai Wang. 2023. A Mission Profile based Stress Emulation Method for Capacitors in High-power Converter Systems. 2023 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Nashville, TN, USA, 2023, pp. 6516-6520, <https://doi.org/10.1109/ECCE53617.2023.10362274>..
28. Bong-Hwan Lee, Hui-Jeong Han, Cheolyong Jo, Ho-Sung Wang, Dongmin Yang. 2019. A Study on Long-Term Electronic Records Preservation Using Cloud-Based Emulation Strategy. Journal of Korean Society of Archives and Records Management 19.4 (2019): 1-33. <https://doi.org/10.14404/JKSARM.2019.19.4.001>. *Ei englanninkielinen*.
29. Bukun Son, ChangU Kim, Changmuk Kim, Dongjun Lee. 2020. Expert-Emulating Excavation Trajectory Planning for Autonomous Robotic Industrial Excavator. 2020 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), Las Vegas, NV, USA, 2020, pp. 2656-2662, <https://doi.org/10.1109/IROS45743.2020.9341036>..
30. C. Becker, A. Rauber. 2011. Decision criteria in digital preservation: What to measure and how. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 62, 1009-1028. <http://dx.doi.org/10.1002/asi.21527>.
31. C. Becker, R. Neumayer, A. Rauber, S. Strodl. 2007. How to choose a digital preservation strategy: Evaluating a preservation planning procedure. Proceedings of the 7th ACM/IEEE-CS Joint Conference on Digital Libraries, 29-38 (Vancouver, BC, Canada, kesäkuu 18 - 23, 2007). JCDL '07. ACM, New York, NY.

32. C. J. Fidge. 2006. Formal change impact analyses for emulated control software. *International journal on software tools for technology transfer* 2006-08, Vol.8 (4-5), p.321-335.
33. C. J. Fidge. 2003. Verifying emulation of legacy mission computer systems. *International symposium of formal methods Europe (Pisa 2003-09-08)*.
34. C. Tebaldi, A. Armbruster, H. P. Engler, R. Link. 2020. Emulating climate extreme indices. *Environmental research letters* 2020-07, Vol.15 (7), p.74006.
35. Calvin Mercer. 2015. Whole Brain Emulation Requires Enhanced Theology, and a “Handmaiden”. *Theology and science* 2015-04, Vol.13 (2), p.175-186.
36. Camilla Johansson. 2023. Video Game Preservation and Emulation from Three Perspectives: Developers, Archivists and Gamers. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:sh:diva-52581>.
37. Cem Kaptan, Burak Kantarci, Tolga Soyata, Azzedine Boukerche. 2018. Emulating Smart City Sensors Using Soft Sensing and Machine Intelligence: A Case Study in Public Transportation. 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kansas City, MO, USA, 2018, pp. 1-7, <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422969>.
38. Chong Sheng, Rivka Bekenstein, Hui Liu, Shining Zhu, Mordechai Segev. 2016. Wavefront shaping through emulated curved space in waveguide settings. *Nature communications* 2016-02, Vol.7 (1), p.10747-10747, Article 10747. <https://doi.org/10.1038/ncomms10747>.
39. Christoph Becker, Hannes Kulovits, Michael Kraxner, Riccardo Gottardi, Andreas Rauber, Randolph Welte. 2009. Adding quality-awareness to evaluate migration web-services and remote emulation for digital preservation. https://www.planets-project.eu/docs/presentations/Becker_AddingQuality_ECDL_2009.pdf. *Esityksen kalvot*.
40. Christophe Ponsard. 2021. Meeting Digital Preservation Requirements for Software through an Emulation Strategy. *Proceedings of the 16th International Conference on Software Technologies - ICSOFT*, 318–323. INSTICC, SciTePress. ISBN: 978-989-758-523-4. <https://doi.org/10.5220/0010602903180323>.
41. Claudio Barberato, Peter E. Strazdins, Eric McCreath, Muhammad Atif. 2018. Efficient Evaluation of Scheduling Metrics Using Emulation: A Case Study in the Effect of Artefacts. *Workshop Proceedings of the 47th International Conference on Parallel Processing*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.
42. Commission on Preservation, Access, and The Research Libraries Group. 1996. Report of the Taskforce on Archiving of Digital Information. <http://www.clir.org/pubs/reports/pub63watersgarrett.pdf>, 1996. [online; last accessed 10.06.2013]. *Julkaistu ennen vuotta 2000*.
43. Consultative Committee for Space Data Systems. 2002. Reference model for an Open Archival Information System (OAIS). CCSDS 650.0-B-1 Blue Book, Issue 1, January 2002, <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0b1.pdf> (katsottu 27.5.2010). *Rikkinäinen linkki*.

44. Cynde Moya, Helen Stuckey, Melania Swalwell, Denise de Vries. 2023. Preserving and Emulating Australian Made Videogames of the 1990s. Abstract Proceedings of DiGRA 2023 Conference: Limits and Margins of Games.
45. D. A. Aragon, E. Unamuno, A. Gil de Muro, S. Ceballos, J. A. Barrena. 2024. Second-order Filter-based Inertia Emulation (SOFIE) for Low Inertia Power Systems. IEEE transactions on power delivery 2024-02, Vol.39 (1), p.1-12.
46. D. Anderson, J. Delve, D. Pinhbeck, L. Konstantelos, A. Lange, W. Bergmeyer. 2010. D3.3 final document analyzing and summarizing metadata standards and issues across Europe. Technical report, KEEP project, syyskuu 2010. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista.*
47. D. Atienza. 2009. Emulation-based transient thermal modeling of 2D/3D Systems-On-Chip with active cooling. 2009 15th International Workshop on Thermal Investigations of ICs and Systems, Leuven, Belgium, 2009, pp. 50-55.
48. D. Bearman. 1999. Reality and chimeras in the preservation of electronic records. D-Lib Magazine, Vol.5, No. 4. *Julkaistu ennen vuotta 2000.*
49. D. P. Woodruff. 2006. Lower Bounds for Additive Spanners, Emulators, and More. 2006 47th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS'06), Berkeley, CA, USA, 2006, pp. 389-398, <https://doi.org/10.1109/FOCS.2006.45>.
50. D. von Suchodoletz. 2010. Das Softwarearchiv - Eine Erfolgsbedingung für die Langzeitarchivierung digitaler Objekte. Mitteilungen der Vereinigung Österreichischer Bibliothekarinnen und Bibliothekare, (63):38-55. 2010. *Ei englanninkielinen.*
51. D. von Suchodoletz. 2008. Emulation bridging the past to the future. Planets and CASPAR Third Annual Conference: Costs, Benefits and Motivations for Digital Preservation. Nice, Italy. <http://slideshare.net/DigitalPreservationEurope/emulation-bridging-the-past-to-the-future-dirk-von-suchodoletz-presentation> (katsottu 1.8.2008). *Esityskalvot.*
52. D. von Suchodoletz. 2009. Funktionale Langzeitarchivierung digitaler Objekte - Erfolgsbedingungen für den Einsatz von Emulationsstrategien. Cuvillier Verlag Göttingen, 2009. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista.*
53. D. von Suchodoletz, J. van der Hoeven. 2008. From Digital Artefact to Remotely Rendered Environments. Proceedings of the Fifth International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2008), sivut 93-98, The British Library, St. Pancras, London, 2008. The British Library. *Duplikaatti.*
54. D. von Suchodoletz, K. Rechert, A. N. Tchayep. 2011. QEMU - A Crucial Building Block in Digital Preservation Strategies. 1st International QEMU Users' Forum - DATE 2011 Workshop, Grenoble, France, 2011.

55. Daisuke Miyamoto, Toshiyuki Miyachi, Yuzo Taenaka, Hiroaki Hazeyama. 2013. PhishCage: reproduction of fraudulent websites in the emulated internet. 6th International ICST Conference on Simulation Tools and Techniques (SimuTools '13). ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), Brussels, BEL, 242–247.
56. Daniel Burda, Frank Teuteberg. 2013. Sustaining accessibility of information through digital preservation: A literature review. *Journal of Information Science*, 2013. *Kirjallisuuskatsaus*.
57. Daniele Astolfi, Giacomo Casadei, Romain Postoyan. 2018. Emulation-based semiglobal output regulation of minimum phase nonlinear systems with sampled measurements. 2018 European Control Conference (ECC), Limassol, Cyprus, 2018, pp. 1931-1936, <https://doi.org/10.23919/ECC.2018.8550049>.
58. Darin Jamraj, Shihong Huang. 2015. Developing an Emulation Model Towards the Preservation of Modern Computing Systems. 2nd International Conference on Information Science and Security (ICISS), Seoul, Korea (South), 2015, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/ICISSEC.2015.7370996>. *Ei pääsyä JYUn tunnuksilla*.
59. David Anderson. 2012. Emulation as a preservation strategy. The Trusted Online Technical Environment Metadata Database–TOTEM (pp. 9-24). Verlag Dr. Kovač. *Ei pääsyä JYUn tunnuksilla*.
60. David Anderson, Janet Delve, Dan Pinchbeck. 2010. Toward a workable emulation-based preservation strategy: Rationale and technical metadata. *New Review of Information Networking*, 15(2), 110–131. <https://doi.org/10.1080/13614576.2010.530132>.
61. David Anderson, Janet Delve, Dan Pinchbeck. 2010. Towards a workable, emulation-based preservation strategy: rationale and technical metadata. *New reviewe of information networking*, (15):110-131, 2010.
62. David Rosenthal. 2015. Emulation & virtualization as preservation strategies. Andrew W. Mellon Foundation. *Rikkinäinen linkki*.
63. Dennis Wehrle, Thomas Liebetaut, Klaus Rechert. 2014. Preservation of Web Content-An Emulation-based Case Study. iPRES.
64. Dianne Dietrich, Jason Kovari, Michelle Paolillo. 2014. Accessing Digital Art: Emulation and Preservation of Complex Digital Art Objects. <https://core.ac.uk/download/pdf/79045609.pdf>. *Esityksen kalvot*.
65. Dianne Dietrich, Madeleine Casad, Jason Kovari. 2015. Preserving and Emulating Digital Art Objects. *Archiving Conference (Vol. 12, pp. 44-48)*. Society for Imaging Science and Technology.
66. Diego Gonzalez Morin, Manuel J. Lopez-Morales, Pablo Perez, Ana Garcia Armada, Alvaro Villegas. 2023. FikoRE: 5G and Beyond RAN Emulator for Application Level Experimentation and Prototyping. *IEEE network 2023-07, Vol.37 (4), p.48-55*.
67. Dihan Dai, Yekaterina Epshteyn, Akil Narayan. 2021. Non-Dissipative and Structure-Preserving Emulators via Spherical Optimization. *arXiv.org 2021-08*.

68. Dirk von Suchodoletz. 2010. A Future Emulation and Automation Research Agenda. Automation in Digital Preservation, number 10291 in Dagstuhl Seminar Proceedings, Dagstuhl, Germany, 2010. Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, Germany.
69. Dirk von Suchodoletz. 2009. Emulation Workflows and Requirements in Long-term Preservation. <http://eprints.rclis.org/14733>. *Sivu ei vastannut*.
70. Dirk von Suchodoletz. 2009. Requirements for emulation as a long-term preservation strategy. <https://api.core.ac.uk/oai/oai:eprints.rclis.org:14860>.
71. Dirk von Suchodoletz, Euan Cochrane. 2011. Replicating Installed Application and Information Environments onto Emulated or Virtualized Hardware. Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011), sivut 148-157, 2011. National Library Board Singapore & Nanyang Technology University. *Hylättiin yhteenvetoluvun perusteella*.
72. Dirk von Suchodoletz, Klaus Rechert, Bram van der Werf. 2012. Long-term Preservation in the Digital Age—Emulation as a Generic Preservation Strategy. PIK-Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation, 35(4), 225-226. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
73. Dirk von Suchodoletz, Klaus Rechert, Jeffrey van der Hoeven, Jasper Schroder. 2010. Seven Steps for Reliable Emulation Strategies - Solved Problems and Open Issues. 7th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2010), volume 262, sivut 373-381. Austrian Computer Society, 2010.
74. Dongsheng Yu, Xuanqi Zhao, Tingting Sun, Herbert H. C. Iu, Tyrone Fernando. 2020. A Simple Floating Mutator for Emulating Memristor, Memcapacitor, and Meminductor. IEEE transactions on circuits and systems. II, Express briefs 2020-07, Vol.67 (7), p.1334-1338.
75. Douglas C. Youvan. 2024. Quantum Consciousness Storage: Speculating on the Emulation and Preservation of Human Consciousness as a Quantum Dataset. https://www.researchgate.net/profile/Douglas-Youvan/publication/384729822_Quantum_Consciousness_Storage_Speculating_on_the_Emulation_and_Preservation_of_Human_Consciousness_as_a_Quantum_Dataset/links/670554e2f246af1243561731/Quantum-Consciousness-Storage-Speculating-on-the-Emulation-and-Preservation-of-Human-Consciousness-as-a-Quantum-Dataset.pdf.
76. E. Cochrane. 2012. Rendering matters - report on the results of research into digital object rendering. <http://www.archives.govt.nz/rendering-matters-report-results-research-digital-objectrendering> (katsottu 31.3.2027). *Rikkinäinen linkki*.
77. E. Conway, S. Lambert, B. Matthews. 2011. Managing preservation networks: Issues of scale for scientific research assets. Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011). National Library Board Singapore & Nanyang Technology University.
78. E. Genev. 2010. VNC Interface for Java X86-Emulator Dioscuri. <http://hdl.handle.net/10760/15102>, lokakuu 2010. *Rikkinäinen linkki*.

79. E. Oltmans, R. van Diessen, H. van Wijngaarden. 2004. Preservation functionality in a digital archive. JCDL '04: Proceedings of the 4th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital libraries, 279-286. New York, NY, USA: ACM Press.
80. Elodie Blanc. 2017. Aggregation of Gridded Emulated Rainfed Crop Yield Projections at the National or Regional Level. *Journal of Global Economic Analysis* 2017-01, Vol.2 (2), p.112-127.
81. Enver Solan, Karlheinz Ochs. 2017. Generic Wave Digital Emulation of Memristive Devices. arXiv.org 2017-09.
82. Enver Solan, Karlheinz Ochs. 2018. Wave digital emulation of general memristors. *International journal of circuit theory and applications* 2018-11, Vol.46 (11), p.2011-2027.
83. Euan Cochrane, Dirk von Suchodoletz, Mick Crouch. 2013. Database Preservation Using Emulation - A Case Study. *Archifacts*, (April):80-95, 2013. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
84. Evangelos Vlachos, Haimeng Zhang, Vivek Mauyra, Jeffrey Marshall, Tameem Albash, E. M. Levenson-Falk. 2022. Master equation emulation and coherence preservation with classical control of a superconducting qubit. *Physical Review A*, 106(6), 062620.
85. Feifei Dong, Jincheng Li, Chao Dai, Jie Niu, Yan Chen, Jiacong Huang, Yong Liu. 2022. Understanding robustness in multiscale nutrient abatement: Probabilistic simulation-optimization using Bayesian network emulators. *Journal of cleaner production* 2022-12, Vol.378, p.134394, Article 134394.
86. Frank Padberg, Daniel Irrgang, Philipp Tögel, Martin Häberle. 2016. A Case Study on Emulation-based Preservation in the Museum: Flusser Hypertext. *Proceedings of the 13th International Conference on Digital Preservation* (pp. 149-158).
87. FrontPageAfrica Monrovia Abeokuta, Nigeria. 2017. Retiring Presidents Must Emulate Obasanjo's Initiative in Africa' - Pres. Sirleaf. *AllAfrica.com* 2017. *Epärelevantti uutisartikkeli*.
88. Gary Hoppenworth. 2023. Simple Linear-Size Additive Emulators. arXiv.org 2023-10.
89. Geoffrey Brown. Virtualizing the CIC Floppy Disk Project: an Experiment in Digital Preservation Using Emulation. <https://legacy.cs.indiana.edu/~geobrown/jcdl.pdf>.
90. Geoffrey Brown. 2006. Virtualizing the CIC Floppy Disk Project: an Experiment in Digital Preservation Using Emulation (Draft). <https://legacy.cs.indiana.edu/~geobrown/fdp.pdf>. *Luonnosversio jo hylätystä artikkelista*
91. Giovanni Carta. 2017. Metadata and video games emulation: an effective bond to achieve authentic preservation?. *Records Management Journal* 27 (2): 192–204. <https://doi.org/10.1108/RMJ-10-2016-0037>.
92. Greg Bodwin, Michael Dinitz, Yasamin Nazari. 2021. Vertex Fault-Tolerant Emulators. arXiv.org 2021-11.

93. Greg Bodwin, Virginia Vassilevska Williams. 2021. Very Sparse Additive Spanners and Emulators. arXiv.org 2021-06.
94. Heiko Tjaslma. 2000. Jeff Rothenberg, An experiment in using emulation to preserve digital documents (Koninklijke Bibliotheek, The Hague, 2000). ISBN 9-06259144-2. <https://doi.org/10.3366/hac.2000.12.3.374>. *Duplikaatti jo hylätystä artikkelista*.
95. Heiko Tjaslma. 2000. Jeff Rothenberg, Using emulation to preserve digital documents (Koninklijke Bibliotheek, The Hague, 2000). ISBN 9-06259145-0. <https://doi.org/10.3366/hac.2000.12.3.374>. *Kirjallisuuskatsaus*.
96. Helen Stuckey, Cynde Moya, Melanie Swalwell, Denise de Vries. 2024. Preserving and Emulating Australian Made Videogames of the 1990s. Proceedings of DiGRA Australia 2024. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
97. Henrique Machado dos Santos, Daniel Flores. 2015. Preservation of digital archival documents: reflections on the strategies of emulation. *Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação*, [S. l.], v. 20, n. 43, p. 3–19, 2015. <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2015v20n43p3>. *Ei englanninkielinen*.
98. Hossein Beikzadeh, Horacio J. Marquez. 2013. Dissipativity of nonlinear multirate sampled-data systems under emulation design. *Automatica (Oxford)* 2013-01, Vol.49 (1), p.308-312.
99. Hsien-Chih Chang, Paweł Gawrychowski, Shay Mozes, Oren Weimann. 2018. Near-Optimal Distance Emulator for Planar Graphs. arXiv.org 2018-07.
100. Hsien-Chih Chang, Robert Krauthgamer, Zihan Tan. 2022. Almost-linear ϵ -emulators for planar graphs. the 54th Annual ACM SIGACT Symposium on Theory of Computing (STOC 2022). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 1311–1324. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/3519935.3519998>.
101. Hsien-Chih Chang, Robert Krauthgamer, Zihan Tan. 2022. Near-Linear ϵ -Emulators for Planar Graphs. arXiv.org 2022-06.
102. Hyun-Ho Jo, Jung-Han Seo, Dong-Gyu Sim, Doo-Hyun Kim, Joon-Ho Song, Do-Hyung Kim, Shihwa Lee. 2013. Bitstream parsing processor with emulation prevention bytes removal for H.264/AVC decoder. 2013 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA, 2013, pp. 27-28, <https://doi.org/10.1109/ICCE.2013.6486780>.
103. Ian Welch, Niklas Rehfeld, Euan Cochrane, Dirk von Suchodoletz. 2012. A Practical Approach to System Preservation Workflows. *PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation*, 35(4):269-280, 2012.
104. Ioannis Kargakis. 2013. Conversion and Emulation-aware Dependency Reasoning for the Needs of Digital Preservation. PhD Thesis. Foundation for Research and Technology-Hellas.

105. Irene E. Taylor. 2004. Museum or Emulation?: Exploring Preservation Strategies of Video Games. https://miap.hosting.nyu.edu/program/student_work/2004fall/04f_1805_taylor_a3_y.pdf. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
106. Itziar Zabaleta, Mateo Camara, Cesar Diaz, Trevor Canham, Narciso Garcia, Marcelo Bertalmio. 2020. Retinal Noise Emulation: A Novel Artistic Tool for Cinema That Also Improves Compression Efficiency. IEEE access 2020, Vol.8, p.67263-67276.
107. J. Arellano-Padilla, G. M. Asher, M. Sumner. 2006. Control of an AC Dynamometer for Dynamic Emulation of Mechanical Loads With Stiff and Flexible Shafts. IEEE transactions on industrial electronics (1982) 2006-06, Vol.53 (4), p.1250-1260.
108. J. Barateiro, D. Draws, M. A. Neumann, S. Strodl. 2012. Digital preservation challenges on software life cycle. Conference on Software Maintenance and Engineering (CSMR). Szeged, Hungary.
109. J. R. van der Hoeven, B. Lohman, R. Verdegem. 2008. Requirements for applying emulation as a preservation strategy. The Archiving 2008 Final Program and Proceedings, IS&T Archiving Conference. Switzerland: Bern. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
110. J. v. d. Hoeven, S. Sepetjan, M. Dindorf. 2010. Legal Aspects Of Emulation. iPRES 2010 proceedings, July 2010.
111. James J. O'Donnel, Lee L. Zia, Thomas Baker, Carol Hansen Montgomery, Stewart Granger. 2000. LC21-Hopes and Cautions for the Library of Congress; The NSF National Science, Mathematics, Engineering, and Technology Education Digital Library (NSDL) Program: A Progress Report; A Grammar of Dublin Core; Measuring the Impact of an Electronic Journal Collection on Library Costs: A Framework and Preliminary Observations; Emulation As a Digital Preservation Strategy. <http://www.dlib.org/dlib/october00/10contents.html>. *Kokoelma sekalaisia artikkeleita*.
112. James Newman. 2019. Saving (and re-saving) videogames: rethinking emulation for preservation, exhibition and interpretation. The International Journal of Creative Media Research, 1. <http://dx.doi.org/10.33008/IJCMR.2019.08>.
113. Janet Delve and David Anderson. 2012. The Trustworthy Online Technical Environment Metadata Database - TOTEM. Number 4 in Kölner Beiträge zu einer geisteswissenschaftlichen Fachinformatik. Verlag Dr. Kovač, Hamburg, 2012. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
114. Javier García-Alba, Javier F. Bárcena, Carlos Ugarteburu, Andrés García. 2019. Artificial neural networks as emulators of process-based models to analyse bathing water quality in estuaries. Water research (Oxford) 2019-03, Vol.150, p.283-295. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.063>.
115. Jeff Rothenberg. 1995. Ensuring the longevity of digital information. Scientific American, 272(1):42-47, 1995. *Julkaistu ennen vuotta 2000*.

116. Jeff Rothenberg. 2000. Using emulation to preserve digital documents. ISBN 906259145-0. Koninklijke Bibliotheek, Netherlands. *Kirja*.
117. Jeffrey van der Hoeven, Hilde van Wijngaarden. 2005. Modular emulation as a viable preservation strategy. International Conference on Theory and Practice of Digital Libraries (pp. 485-486). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
118. Jeffrey van der Hoeven. 2007. Dioscuri: Emulator for Digital Preservation. D-Lib Magazine, 13(11/12), 2007. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
119. Jeffrey van der Hoeven, Bram Lohman, Remco Verdegem. 2007. Emulation for digital preservation in practice: The results. The International Journal of Digital Curation 2 (2): 123–132. <https://doi.org/10.2218/ijdc.v2i2.35>.
120. Jeffrey van der Hoeven, Hilde van Wijngaarden. 2005. Modular emulation as a long-term preservation strategy for digital objects. 5th International Web Archiving Workshop (IWAW05). 2005.
121. Jennifer Junghan Kim. 2007. Art in the Age of Emulation: Preservation Case Study-Jaime Davidovich's Foam TV. https://resources.culturalheritage.org/anagpic-student-papers/wp-content/uploads/sites/11/2020/04/2007ANAGPIC_Kim.pdf. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
122. Jessica M. Miller, Moustafa H. Meki, Ahmed Elnakib, Qinghui Ou, Riham R. E. Abouleisa, Xian-Liang Tang, Abou Bakr M. Salama, Ahmad Gebreil, Cindy Lin, Hisham Abdeltawab, Fahmi Khalifa, Bradford G. Hill, Najah Abi-Gerges, Roberto Bolli, Ayman S. El-Baz, Guruprasad A. Giridharan, Tamer M. A. Mohamed. 2022. Biomimetic cardiac tissue culture model (CTCM) to emulate cardiac physiology and pathophysiology ex vivo. Communications biology 2022-09, Vol.5 (1), p.934-14, Article 934.
123. Jessica Miller, Moustafa H. Meki, Ahmed Elnakib, Qinghui Ou, Riham Abouleisa, Abou Bakr M. Salama, Ahmad Gebreil, Cindy Lin, Hisham Abdeltawab, Fahmi Khalifa, Bradford G. Hill, Najah Abi Gerges, Roberto Bolli. Ayman El-Baz, Guruprasad Giridharan, Tamer Mohamed. 2022. Abstract 12829: Biomimetic Cardiac Tissue Culture Model to Emulate Cardiac Physiology and Pathophysiology Ex Vivo. Circulation (New York, N.Y.) 2022-11, Vol.146 (Suppl_1).
124. Jiaqi Yan, Dong Jin. 2015. A Virtual Time System for Linux-container-based Emulation of Software-defined Networks. 3rd ACM SIGSIM Conference on Principles of Advanced Discrete Simulation (SIGSIM PADS '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 235–246. <https://doi.org.ezproxy.jyu.fi/10.1145/2769458.2769480>.
125. JMESS. 2017. JMESS readme. <https://github.com/jsmess/jsmess> (katsottu 31.3.2017). *README-tiedosto*
126. Jochem Verrelst, Juan Rivera Caicedo, Jordi Muñoz-Marí, Gustay Camps-Valls, José Moreno. 2017. SCOPE-Based Emulators for Fast Generation of Synthetic Canopy Reflectance and Sun-Induced Fluorescence Spectra. Remote sensing (Basel, Switzerland) 2017-09, Vol.9 (9), p.927.

127. John D. Pizzo. 2014. A Court by Any Other Name: Preserving the Right of Diversity Removal from State Administrative Agencies that Emulate Courts. *W. Va. L. Rev.*, 117, 471. *Hylättiin johdantoluvun perusteella.*
128. Joonas Timonen. 2024. Game console emulation: functionality, legality and helpfulness in preserving software. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024060320347>.
129. Jorge Vicent Servera, Juan Pablo Rivera-Caicedo, Jochem Verrelst, Jordi Munoz-Mari, Neus Sabater, Beatrice Berthelot, Gustau Camps-Valls, Jose Moreno. 2022. Systematic Assessment of MODTRAN Emulators for Atmospheric Correction. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing* 2022-01, Vol.60, p.1-17.
130. José Antonio A. Antolínez, Fernando J. Méndez, Paula Camus, Sean Vitousek, E. Mauricio González, Peter Ruggiero. 2016. A multiscale climate emulator for long-term morphodynamics (MUSCLE-morpho). *Journal of geophysical research. Oceans* 2016-01, Vol.121 (1), p.775-791.
131. Jun Dong, Miao Xu, Xian-jun Zhang, Yan-qing Gao, Yun-he Pan. 2008. The Creation Process of Chinese Calligraphy and Emulation of Imagery Thinking. *IEEE intelligent systems* 2008-11, Vol.23 (6), p.56-62.
132. K. H. Lee, R. Lu, V. McCrary, O. Slattery, X. Tang. 2002. The State of Art and Practice in Digital Preservation. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 107, 93-106.
133. K. Narayanan, S. Shan, L. Umanand. 2018. A Novel RLC Load Emulation for Anti-Islanding Test Bench for Inverter and Machine Based Distributed Generation. 2018 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Portland, OR, USA, 2018, pp. 25-30, <https://doi.org/10.1109/ECCE.2018.8557867>..
134. K. Rechert, D. von Suchodoletz. 2010. Tackling the problem of complex interaction processes in emulation and migration strategies. *ERCIM News*, (80):22-23, 2010. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista.*
135. K. Rechert, I. Valizada, D. von Suchodoletz. 2012. bwFLA - A functional approach to digital preservation. *PIK - Praxis der Informationsverarbeitung und Kommunikation*, Vol. 35, No. 4, pp. 259-267. *Ei pääsyä JYUn tunnuksilla.*
136. K. Rechert, I. Valizada, D. von Suchodoletz. 2012. Future-proof preservation of complex software environments. *Proceedings of the 9th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2012)*.
137. K. Thornton, E. Cochrane. 2016. Wikidata as a digital preservation knowledgebase. <http://openpreservation.org/blogs/wikidata-as-a-digital-preservationknowledgebase/> (katsottu 31.3.2017). *Rikkinäinen linkki.*
138. Kaidi Li, Ningying Ding, Yuyang Xu, Chenglin Guo, Chengwu Liu, Jiandong Mei, Lunxu Liu. 2022. Synchronous resection of 12 small pulmonary nodules guided by a noninvasive 3D printed emulation model: A case report. *Thoracic cancer* 2022-08, Vol.13 (15), p.2260-2263.

139. Karlheinz Ochs, Enver Solan, Dennis Michaelis, Leon Schmitz. 2019. Towards a Self-Organizing Deciphering System based on a Wave Digital Emulator. 2019 IEEE 62nd International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS), Dallas, TX, USA, 2019, pp. 662-665, <https://doi.org/10.1109/MWSCAS.2019.8885279>..
140. Kaveh Khodadadi Sadabadi, Prashanth Ramesh, Punit Tulpule, Yann Guezennec, Giorgio Rizzoni. 2021. Model-based state of health estimation of a lead-acid battery using step-response and emulated in-situ vehicle data. *Journal of energy storage* 2021-04, Vol.36, p.102353, Article 102353.
141. Kenneth Thibodeau. 2002. Overview of technological approaches to digital preservation and challenges in coming years. *The State of Preservation: An International Perspective*, Conference Proceedings, sivut 4-31, 1755 Massachusetts Avenue, NW, Suite 500, 2002. Council on Library and Information Resources. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
142. Kenton L. Sparks. 2007. "Enūma Elish" and Priestly Mimesis: Elite Emulation in Nascent Judaism. *Journal of Biblical literature* 2007-12, Vol.126 (4), p.625-648.
143. Khor Kheng-Kia. 2016. A METHOD OF EMULATING THE PLAUSIBLE VISUAL OF MALAYSIAN SHADOW PLAY WITH COMPUTER-GENERATED IMAGERY (CGI). Penang: European Alliance for Innovation (EAI). doi:<https://doi.org/10.4108/eai.27-2-2017.152254> .
144. Klaus Rechert, Patricia Falcao, Tom Ensom. 2016. Introduction to an emulation-based preservation strategy for software-based artworks. <https://www.tate.org.uk/documents/1184/tate-report-sba-emulation.pdf>.
145. Klaus Rechert, Patricia Falcao, Tom Ensom. 2016. Towards a Risk Model for Emulation-based Preservation Strategies: A Case Study from the Software-based Art Domain. *Proceedings of the 13th International Conference on Digital Preservation* (pp. 139-148).
146. L. Kafka, M. Danek, O. Novak. 2007. A Novel Emulation Technique that Preserves Circuit Structure and Timing. 2007 International Symposium on System-on-Chip, Tampere, Finland, 2007, pp. 1-4, <https://doi.org/10.1109/ISSOC.2007.4427437>..
147. L. Montague, S. v. Bussel. PLANETS Core Registry: Future Vision Document. Technical report, The National Archives, National Library of the Netherlands, toukokuu 2010. PLANETS project, PC3-D24. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
148. Lee Chang-Ock, Youngkyu Lee, Jongho Park. 2021. Parareal Neural Networks Emulating a Parallel-in-time Algorithm. *arXiv.org* 2021-03.
149. Liu Peng, Xiang Chunchang, Wang Xiaohang, Xia Binjie, Liu Yangfan, Wang Weidong, Yao Qingdong. 2009. A NoC Emulation/Verification Framework. 2009 Sixth International Conference on Information Technology: New Generations, Las Vegas, NV, USA, 2009, pp. 859-864, <https://doi.org/10.1109/ITNG.2009.197>..

150. Luis M. Vaquero, Luis Rodero-Merino, Juan Caceres, Maik Lindner. 2009. A break in the clouds: towards a cloud definition. *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, 39(1), 50-55. <http://dx.doi.org/10.1145/1496091.1496100>.
151. M. Avvenuti, A. Vecchio. 2006. Application-level network emulation: the EmuSocket toolkit. *Journal of network and computer applications* 2006-11, Vol.29 (4), p.343-360.
152. M. S. E. O. Hussien. 2012. Porting TRU64 UNIX™ on Avanti™ emulator. 2012 International Conference on Engineering and Technology (ICET), Cairo, Egypt, 2012, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2012.6396162>..
153. M. van den Dobbelen, D. von Suchodoletz, K. Rechert. 2010. Software archives as a vital base for digital preservation strategies. <http://hdl.handle.net/10760/14732>, heinäkuu 2010. *Rikkinäinen linkki*.
154. Maarten J. G. Leening, Eric Boersma. 2024. The perpetual need of randomized clinical trials: challenges and uncertainties in emulating the REDUCE-AMI trial. *European journal of epidemiology* 2024-04, Vol.39 (4), p.343-347.
155. Mark Guttenbrunner, Andreas Rauber. 2012. A Measurement Framework for Evaluating Emulators for Digital Preservation. *ACM transactions on information systems* 2012-05, Vol.30 (2), p.1-28, Article 14.
156. Mark Guttenbrunner, Andreas Rauber. 2011. Design Decisions in Emulator Construction: A Case Study on Home Computer Software Preservation. *iPRES*. 2011.
157. Mark Guttenbrunner, Chirstoph Becker, Andreas Rauber. 2010. Keeping the game alive: Evaluating strategies for the preservation of console video games. *International Journal of Digital Curation* 5(1), 2010.
158. Mark J. Swails. 2019. Conceptions of Emulation, Migration, and Related Concepts in Digital Preservation Literature. <https://doi.org/10.17615/j3wz-jy62>.
159. Marwan Katurji, Jovanka Nikolic, Shiyang Zhong, Scott Pratt, Lejiang Yu, Warren E. Heilman. 2015. Application of a statistical emulator to fire emission modeling. *Environmental modelling & software : with environment data news* 2015-11, Vol.73, p.254-259.
160. Mary J. Loftus. 2010. The Author's Desktop. *Emory Magazine*, 85(4):22-27, 2010. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
161. Maryam Rahnemoonfar, Younghyun Koo. 2024. Graph Neural Networks as Fast and High-fidelity Emulators for Finite-Element Ice Sheet Modeling. *arXiv.org* 2024-02.
162. Matz A. Haugen, Michael L. Stein, Ryan L. Sriver, Elisabeth J. Moyer. 2019. Future climate emulations using quantile regressions on large ensembles. *Advances in statistical climatology, meteorology and oceanography* 2019-04, Vol.5 (1), p.37-55.
163. METS Editorial Board. 2010. Metadata encoding and transmission standard. <https://www.loc.gov/standards/mets/> (katsottu 31.3.2027). *Verkkosivusto*.

164. Miguel A. Hernán, Wei Wang, David E. Leaf. 2022. Target Trial Emulation: A Framework for Causal Inference From Observational Data. *JAMA : the journal of the American Medical Association* 2022-12, Vol.328 (24), p.2446-2447. <https://doi.org/10.1001/jama.2022.21383> .
165. Ming Su, Rong-Cai Zhao, Zong-Yu Song. 2006. Predicate removing technique in machine emulation for IA-64 architecture. 2006 7th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design, Hangzhou, China, 2006, pp. 1-5, <https://doi.org/10.1109/CAIDCD.2006.329437..>
166. Mohammadreza Momenifar, Enmao Diao, Vahid Tarokh, Andrew D. Bragg. 2021. Emulating Spatio-Temporal Realizations of Three-Dimensional Isotropic Turbulence via Deep Sequence Learning Models. *arXiv.org* 2021-12.
167. Moustafa Meki, Jessica Miller, Qinghui Ou, Ahmad Gebreil, Abou Bark Salama, Xiangliang Tang, Riham Abouleisa, Ayman S. El-Baz, Guruprasad Giridharan, Tamer Mohamed. 2021. Abstract 11204: Emulating the Cardiac Mechanical and Humoral Cues to Prolong Human Heart Slice Culture. *Circulation (New York, N.Y.)* 2021-11, Vol.144 (Suppl_1).
168. Myung-Hun Kim, Myung-Jin Oh, Jae-Hong Lee, Jin-Hee Yim. 2013. An analysis of cases of emulation for long term electronic records preservation strategy. *The Korean Journal of Archival Studies*, (38), 265-309. <https://doi.org/10.20923/kjas.2013.38.265>. *Ei englanninkielinen*.
169. N. A. Androustos, H. E. Nistazakis, W. Gappmair, A. N. Stassinakis, G. S. Tombras. 2020. Pointing errors influence at the performance of a multi-hop terrestrial FSO link emulated by a dual-hop scheme. *Optics communications* 2020-11, Vol.475, p.126223, Article 126223.
170. N. Tiwari, S. C. Reddy. 2010. Performance measurement of a fully pipelined JPEG codec on emulation platform. 2010 IEEE 2nd International Advance Computing Conference (IACC), Patiala, India, 2010, pp. 167-171, <https://doi.org/10.1109/IADCC.2010.5423018..>
171. N. Zeldovich, R. Chandra. 2005. Interactive performance measurement with vncplay. *ATEC '05: Proceedings of the annual conference on USENIX Annual Technical Conference*. Sivut 54-64, Berkeley, CA, USA, 2005. USENIX Association.
172. Naomi Wellington. 2014. Whole Brain Emulation: Invasive vs. Non-Invasive Methods. *Intelligence Unbound : The Future of Uploaded and Machine Minds*, edited by Russell Blackford, and Damien Broderick, John Wiley & Sons, Incorporated, 2014. *Kirjan luku*.
173. Nasir Ali Shah, Luciano Lavagno, Mihai T. Lazarescu, Roberto Quasso, Salvatore Scarpina. 2022. FPGA Acceleration of 3GPP Channel Model Emulator for 5G New Radio. *IEEE access* 2022, Vol.10, p.1-1.
174. Nathan Allen, Sidharta Andalam, Partha Roop, Avinash Malik, Mark Trew, Nitish Patel. 2016. Modular code generation for emulating the electrical conduction system of the human heart. 2016 Design, Automation & Test in Europe Conference & Exhibition (DATE), Dresden, Germany, 2016, pp. 648-653.

175. Oliver Peters. 2012. EMULSION EMULATION. Digital Video 2012, Vol.20 (12), p.52.
176. Oya Y. Rieger, Tim Murray, Madeleine Casad, Desiree Alexander, Dianne Dietrich, Jason Kovari, Michelle Paolillo, Danielle K. Mericle. 2015. Preserving and emulating digital art objects. <https://hcommons.org/deposits/objects/hc:12634/datastreams/CONTENT/content>. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
177. Ozgur Akarsu, Nihan Katirci, Anjan A. Sen, J. Alberto Vazquez. 2020. Scalar field emulator via anisotropically deformed vacuum energy: Application to dark energy. arXiv.org 2020-04.
178. P. Konghot, H. Che. 2003. Removing cell demultiplexing performance bottleneck in ATM pseudo wire emulation over MPLS networks. 12th International Conference on Computer Communications and Networks (IEEE Cat. No.03EX712), Dallas, TX, USA, 2003, pp. 617-620, <https://doi.org/10.1109/ICCCN.2003.1284236>..
179. P. Mellor. 2003. CaMiLEON: Emulation and BBC Doomsday. RLG DigiNews, 7 (2). *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
180. P. Sweazey, T. Kalker, C. Thill. 2011. Digital emulation of consumer-ownable products. 2011 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), Las Vegas, NV, USA, 2011, pp. 357-358, <https://doi.org/10.1109/ICCE.2011.5722625>.. *Hylättiin johdantoluvun perusteella*.
181. Pablo G. Del Valle, David Atienza. 2011. Emulation-based transient thermal modeling of 2D/3D systems-on-chip with active cooling. Microelectronics 2011-04, Vol.42 (4), p.564-571.
182. Panagiotis Papageorgiou. 2015. Toward a Conceptual Emulation Framework for the Preservation of Archaeological 3D Visualizations. New Review of Information Networking, 20(1-2), 214-218. <https://doi.org/10.1080/13614576.2015.1110399>.
183. Pawel Wozniak. 2019. Software Emulation of a Hardware Voice Synthesiser. Fields (Huddersfield) 2019-03, Vol.5 (1).
184. Peter Jakubčo, Liberios Vokorokos. 2010. Preserving host independent emulation speed. CSE'2010 International Scientific Conference on Computer Science and Engineering, Department of Computers and Informatics, FEEI, Technical University of Košice (Vol. 171).
185. R. Diessen, J. Steenbergen. 2002. Long Term Preservation Study of the DNEP Project. Technical report, IBM, National Library of the Netherland, joulukuu 2002. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
186. R. J. van Diessen. 2002. Preservation Requirements in a Deposit System. IBM Netherlands, Amsterdam, PO Box 90407., 2509 LK The Hague, The Netherlands, 2002. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
187. R. J. van Diessen, J. R. van der Hoeven, K. van der Meer. 2005. Development of a Universal Virtual Computer (UVC) for long-term preservation. Journal of Information Science, 31(3) Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

188. R. S. Whitt. 2017. Through a glass, darkly: technical, policy, and financial actions to avert the coming digital dark ages. *Santa Clara High Technology Law Journal*, Vol. 33, No. 2.
189. R. Sauter, R. Figura, O. Saukh, P. J. Marron. 2011. Boreas: Efficient Synchronization for Scalable Emulation of Sensor Networks. 2011 IEEE Eighth International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems, Valencia, Spain, 2011, pp. 470-479, <https://doi.org/10.1109/MASS.2011.53..>
190. R. Schmidt, R. King, A. Jackson, C. Wilson, F. Steeg, P. Melms. 2010. A Framework for Distributed Preservation Workflows. *International Journal of Digital Curation* 5(1), 205-217. <http://dx.doi.org/10.2218/ijdc.v5i1.154>.
191. R. Welte. 2009. Funktionale Langzeitarchivierung digitaler Objekte - Entwicklung eines Demonstrators zur Internet-Nutzung emulierter Ablaufumgebungen. Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, 2009. *Ei englanninkielinen*.
192. Rainer Schmidt, Matthias Rella. 2011. An approach for processing large and non-uniform media objects on mapreduce-based clusters. *Lecture Notes in Computer Science*, volume 7008/2011, sivut 172-181. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-24826-9_23.
193. Ratnam Kamala Sarojini, Palanisamy Kaliannan. 2021. Inertia Emulation Through Supercapacitor for a Weak Grid. *IEEE access* 2021, Vol.9, p.30793-30802.
194. Raymind van Diessen, Johan F. Steenbakkens. 2002. The Long-Term Preservation Study of the DNEP project - an overview of the results. IBM Netherlands, Amsterdam, PO Box 90407,, 2509 LK The Hague, The Netherlands, 2002. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
195. Remco Verdegem, Jeffrey van der Hoeven. 2006. Emulation: To be or not to be. *IS&T Conference on Archiving 2006*, Ottawa, Canada, May 23-26, sivut 55-60, 2006.
196. Riccardo Fassone. 2015. Archiver les jeux d'arcade : rhétorique et idéologie de l'émulation vidéo-ludique. *Tracés (Lyons, France)* 2015-06, Vol.28 (28), p.61-79. <https://doi.org/10.4000/traces.6178>. *Ei englanninkielinen*.
197. Riccardo Rusca, Alex Carluccio, Diego Gasco, Paolo Giaccone. 2023. Privacy-Aware Crowd Monitoring and WiFi Traffic Emulation for Effective Crisis Management. 2023 International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management (ICT-DM), Cosenza, Italy, 2023, pp. 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICT-DM58371.2023.10286944..>
198. Rose A. Zimbardo. 2015. *Emulation: The Early Eighteenth Century*. Zimbardo, Rose A. *A Mirror to Nature : Transformations in Drama and Aesthetics 1660-1732*, University Press of Kentucky, 2021. *Kirjan luku*.
199. Ross King, Orit Edelstein, Michael Factor, Thomas Risse, Eliot Salant, Philip Taylor. 2011. Evolving domains, problems and solutions for long term digital preservation. *Proceedings of the 8th International Conference on Preservation of Digital Objects (iPRES2011)*, sivut 194-204, 2011.

200. Ross King, Rainer Schmidt, Andrew N. Jackson, Carl Wilson, Fabian Steeg. 2009. The planets interoperability framework. Proceedings of the 13th European Conference on Digital Libraries (ECDL09), sivut 424-428, 2009.
201. Ruben Grigoryan, Tobias Lindstrøm Jensen, Torben Larsen. 2017. Computational complexity reduction in nonuniform compressed sensing by multi-coset emulation. Signal processing 2017-02, Vol.131, p.492-501.
202. Rudolf Mayer, Andreas Rauber, Martin Alexander Neumann, John Thomson, Gonçalo Antunes. 2012. Preserving Scientific Processes from Design to Publication. Proceedings of the 15th international Conference on Theory and Practice of Digital Libraries (TPDL 2012), Cyprus, September 23-29 2012. Springer.
203. S. Paul-Choudhury. 2011. Digital legacy: Respecting the digital dead. New Scientist Online, <http://www.newscientist.com/article/dn20445-digital-legacy-respecting-the-digital-dead.html>. *Hylättiin silmäilyn perusteella*.
204. S. v. Bussel, F. Houtman. GAP analysis: a survey of PA tool provision. Technical report, Planets project. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista*.
205. Sabarudin Akhmad, Anis Arenda, Mu'alim, Kukuh Winarso, Rachmad Hidayat. 2020. Design of the mBatik, textile hot wax applicator to emulate hand drawn batik using CNC plotter machine and characterization of wax plotting parameters. Journal of physics. Conference series 2020-07, Vol.1569 (3), p.32026.
206. Sadegh Esfandiari, Masoud Davari, Weinan Gao, Yongheng Yang, Kamal Al-Haddad. 2024. A Novel Converter-Based PV Emulator Control Using Lambert W Method and Fractional-Order Fuzzy Proportional-Integral Controller Trained by Harris Hawks Optimization. IEEE journal of emerging and selected topics in industrial electronics (Print) 2024-05, p.1-15.
207. Sen Wang, Yirong Yang, Grant M. Stevens, Zhye Yin, Adam S. Wang. 2024. Emulating Low-Dose PCCT Image Pairs with Independent Noise for Self-Supervised Spectral Image Denoising. IEEE transactions on medical imaging 2024-08, Vol.PP, p.1-1.
208. Sergiu Mosanu, Joshua Fixelle, Kevin Skadron, Mircea Stan. 2023. FreezeTime: Towards System Emulation through Architectural Virtualization. 2023 ACM/SIGDA International Symposium on Field Programmable Gate Arrays. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. *Poster*.
209. Shuhan Liao, Meng Huang, Xiaming Zha, Josep M. Guerrero. 2021. Emulation of Multi-Inverter Integrated Weak Grid via Interaction-Preserved Aggregation. IEEE journal of emerging and selected topics in power electronics 2021-08, Vol.9 (4), p.4153-4164.
210. Spencer L. Bevis. 2020. Software Emulation and the Video Game Community: A Web Content Analysis of User Needs. North Carolina libraries 2020-04, Vol.78 (1), p.32. *Rikkinäinen linkki*

211. Stefan Farfeleder, Andreas Krall, Niglerl Horspool. 2005. Ultra fast cycle-accurate compiled emulation of in-order pipelined architectures. *Embedded computer systems: architectures, modeling, and simulation. International workshop (5 ; Samos 2005-07-18)*.
212. Stefan Farfeleder, Andreas Krall, Niglerl Horspool. 2007. Ultra fast cycle-accurate compiled emulation of in-order pipelined architectures. *Journal of systems architecture 2007-08, Vol.53 (8), p.501-510*.
213. Stephan Strodl, Petar Petrov, Andreas Rauber. 2011. Research on digital preservation within projects co-funded by the European Union in the ICT programme. Vienna University of Technology, Tech. Rep, 1-52.
214. Stewart Granger. 2001. Digital Preservation & Emulation: From Theory to Practice. *ICHIM (2) (pp. 289-296)*.
215. Susan E. Spaulding, David E. Rothstein. 2009. How well does Kirtland's warbler management emulate the effects of natural disturbance on stand structure in Michigan jack pine forests?. *Forest ecology and management 2009-11, Vol.258 (11), p.2609-2618*.
216. T. Richardson. 2009. The RFB Protocol. <http://www.realvnc.com/docs/rfbproto.pdf>, 2009.
217. Tabea Lurk, Dragan Espenschied, Juergen Enge. 2012. Emulation in the context of digital art and cultural heritage preservation: Requirements, Approaches and yet so much more to do. *PIK-Praxis Der Informationsverarbeitung Und Kommunikation, 35(4), 245-254*.
218. Technical Committee: ISO/TC 20/SC 13 Space Data and Information Transfer Systems. 2012. ISO 14721:2012 Spacedata and information transfer systems - Open archival information system (OAIS) - Reference model. <https://www.iso.org/standard/57284.html> (katsottu 31.3.2017).
219. The National Archives. 2007. The technical registry pronom. <http://www.nationalarchives.gov.uk/pronom> (katsottu 10.1.2008). *Duplikaatti*.
220. The NEWS Monrovia. 2017. President Sirleaf Says Obasanjo's Presidential Initiative in Africa Will Spur Strong Legacy for Successful, Retiring Presidents to Emulate - Cuts Ribbons to Oopl. *AllAfrica.com 2017. Epärelevantti uutisartikkeli*.
221. Tim Brody, Leslie Carr, Jessie M. N. Hey, Adrian Brown. 2007. PRONOM-ROAR: Adding Format Profiles to a Repository Registry to Inform Preservation Services. *International Journal of Digital Curation, 2(2), 2007*.
222. Tobias Lenz. 2012. Spurred Emulation: The EU and Regional Integration in Mercosur and SADC. *West European politics 2012-01, Vol.35 (1), p.155-173*.
223. Tobias Reinhart, Benjamin Engel, Gemma De les Coves. 2024. The Structure of Emulations in Classical Spin Models: Modularity and Universality. *arXiv.org 2024-08*.
224. University of Illinois at Urbana-Champaign, NCSA. 2011. Towards a universal file format converter. <http://isda.ncsa.uiuc.edu/NARA/conversion.html>, 2011. *Hylättiin silmäilyn perusteella*.

225. V. Delwardia, S. Marshall, I. Welch. 2009. Experiments in Remote Mobile Gaming. AUIC: Australasian User Interface Conference. 2009. *Ei löytynyt Google Scholarista tai JYKDOKista.*
226. V. V. Baran, D. R. Nichita. 2023. Reduced basis emulation of pairing in finite systems. Physical review. B 2023-04, Vol.107 (14), Article 144503.
227. Valerie Kyriakopoulos. 2009. Digital Preservation Through Emulation. <http://www.valkyrie22.com/library/Portfolio%20Files/759/Kyriakopoulos%20-%20Emulation%20Paper.pdf>. *Hylättiin johdantoluvun perusteella.*
228. Valerio Martini, Francesco Mocera, Aurelio Somà. 2023. Design and Experimental Validation of a Scaled Test Bench for the Emulation of a Hybrid Fuel Cell Powertrain for Agricultural Tractors. Applied sciences 2023-08, Vol.13 (15), p.8582.
229. Vijaya Ramachandran, Brian Grayson, Michael Dahlin. 2003. Emulations between QSM, BSP and LogP: a framework for general-purpose parallel algorithm design. Journal of parallel and distributed computing 2003-12, Vol.63 (12), p.1175-1192.
230. Viorel Mînză, Iulan Arama, Eugen Rusu. 2024. Machine Learning Algorithms That Emulate Controllers Based on Particle Swarm Optimization—An Application to a Photobioreactor for Algal Growth. Processes 2024-05, Vol.12 (5), p.991.
231. Virgil V. Baran, Denis R. Nichita. 2022. Reduced basis emulation of pairing in finite systems. arXiv.org 2022-12.
232. VMware, Inc. 2009. The VMware VIX API. <http://www.vmware.com/support/developer/vix-api/> (katsottu 20.6.2009). *Rikkinäinen linkki.*
233. W. Chang. 2006. NIST Data Preservation and Migration Strategy: Virtualization. http://www.itl.nist.gov/div8965/gipwog/Feb-2-06/NIST_DPMTTest-Bed_at_GPO.pdf (katsottu 6.20.2009). *Rikkinäinen linkki.*
234. Wei Wang, Dragan Nešić, Romain Postoyan. 2015. Emulation-based stabilization of networked control systems implemented on FlexRay. Automatica (Oxford) 2015-09, Vol.59, p.73-83.
235. Wenqiang Zhu, Ambe Harrison, Jean de Dieu Nguimfack-Ndongmo, Sheeraz Iqbal, Njimboh Henry Alombah, Wulfran Fendzi Mbasso, Haitham A. Mahmoud, Bilal Naji Alhasnawi. 2024. A novel simplified buck power system control algorithm: Application to the emulation of photovoltaic solar panels. Computers & electrical engineering 2024-05, Vol.116, p.109161, Article 109161.
236. Wikipedia. Emulator. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Emulator> (katsottu 31.3.2017). *Wikipedia-artikkeli*
237. Wim Hertog, Aleix Llenas, Jesús M. Quintero, Charles E. Hunt, Josep Carreras. 2014. Energy efficiency and color quality limits in artificial light sources emulating natural illumination. Optics express 2014-12, Vol.22 Suppl 7 (S7), p.A1659-A1668.

238. Xi Liu, Horacio J. Marquez. 2007. Preservation of input-to-state stability under sampling and emulation: multi-rate case. *International journal of control* 2007-12, Vol.80 (12), p.1944-1953.
239. Xiao Nie, Peter Chien, Dane Morgan, Amy Kaczmarowski. 2019. A Statistical Method for Emulation of Computer Models With Invariance-Preserving Properties, With Application to Structural Energy Prediction. *Journal of the American Statistical Association*, 115(532), 1798–1811. <https://doi.org/10.1080/01621459.2019.1654876>.
240. Xiaowen Zhang, Patrick Lachange, Ankita Dasgupta, Rupert A. C. Croft, Tiziana Di Matteo, Yueying Ni, Simeon Bird, Yin Li. 2024. AI-assisted super-resolution cosmological simulations IV: An emulator for deterministic realizations. *arXiv.org* 2024-08.
241. Xiaoyang Gong, Dan Negrut. 2021. CryptoEmu: An Instruction Set Emulator for Computation Over Ciphers. *arXiv.org* 2021-01.
242. Yale University Library. 2014. Yale University Library’s digital preservation policy framework. <http://web.library.yale.edu/sites/default/files/files/YUL%20Digital%20Preservation%20Policy%20Framework%20V1%200.pdf> (katsottu 31.3.2017). *Rikkinäinen linkki*.
243. Yameen Ajani, Krish Mangalorkar, Yohann Nadar, Mahendra Mehra, Dhananjay Kalbande. 2021. College Project Preservation and Emulation Using Containerization Over Private Cloud. *Information and Communication Technology for Competitive Strategies (ICTCS 2020)*. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 190. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0882-7_46.
244. Yang Wei, Huang Liusheng, Shen Yao. 2016. CAE: Collusion Attack Emulator for Privacy-Preserving Data Aggregation Schemes. 2016 13th Annual IEEE International Conference on Sensing, Communication, and Networking (SECON) (pp. 1-9). IEEE.
245. Yi Zhang, Qiuye Sun, Jianguo Zhou, Rui Wang, Josep M. Guerrero, Abderezak Lashab. 2023. ADP-based intelligent frequency control via adaptive virtual inertia emulation. *Journal of control and decision* 2023-07, Vol.10 (3), p.423-432.
246. Younghyun Koo, Maryam Rahneemoonfar. 2024. Graph Neural Networks for Emulation of Finite-Element Ice Dynamics in Greenland and Antarctic Ice Sheets. *arXiv.org* 2024-06.
247. Youngkyu Lee, Jongho Park, Chang-Ock Lee. 2024. Parareal Neural Networks Emulating a Parallel-in-Time Algorithm. *IEEE transaction on neural networks and learning systems* 2024-05, Vol.35 (5), p.6353-6364.
248. Yue Liu, Herbert HO-Ching Iu, Zhang Guo, Gangquan Si. 2021. The Simple Charge-Controlled Grounded/Floating Mem-Element Emulator. *IEEE transactions on circuits and systems. II, Express briefs* 2021-06, Vol.68 (6), p.2177-2181.
249. Zahra Tarkhani, Geoffrey Brown, Steven A. Myers. 2017. Trustworthy and Portable Emulation Platform for Digital Preservation. *iPRES*. 2017.

250. Zhou Hangjun, Fu Sha. 2011. A multi-layered emulation platform to verify the effectiveness of consistency control approaches about message ordering. 2011 IEEE 3rd International Conference on Communication Software and Networks, Xi'an, China, 2011, pp. 115-118, <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2011.6013789>..
251. Zhuoying Li, Bohua Wan, Cong Mu, Ruzhang Zhao, Shushan Qiu, Yan Chao. 2024. AD-Aligning: Emulating Human-like Generalization for Cognitive Domain Adaptation in Deep Learning. arXiv.org 2024-05.
252. Zoltán Nagy, Zsolt Vörösházi, Péter Szolgay. 2006. Emulated digital CNN-UM solution of partial differential equations. International journal of circuit theory and applications 2006-07, Vol.34 (4), p.445-470.
253. Dioscuri - the modular emulator. <http://dioscuri.sourceforge.net/> (katsottu 1.9.2011). *Verkkosivusto*.
254. Emulation Expert Meeting Statement. http://www.kb.nl/hrd/dd/dd_projecten/projecten_emulatie_eem_statement-en.html (katsottu 1.9.2011). *Rikkinäinen linkki*.
255. Emulation Framework. <http://emuframework.sourceforge.net> (katsottu 1.9.2011). *Verkkosivusto*.
256. File Information Tool Set (FITS). <http://code.google.com/p/fits> (katsottu 1.9.2011). *Verkkosivusto*.
257. FreeMarker - Java Template Engine Library. <http://freemarker.sourceforge.net> (katsottu 1.9.2011). *Verkkosivusto*.
258. KEEP project. <http://www.keep-project.eu/> (katsottu 1.9.2011). *Sivu ei vastannut*.
259. Open Planets Foundation. <http://www.openplanetsfoundation.org> (1.9.2011). *Verkkosivusto*.
260. Planets project. <http://www.planets-project.eu/> (9.9.2011). *Verkkosivusto*.
261. PRONOM - the online registry of technical information. <http://www.nationalarchives.gov.uk/PRONOM> (1.9.2011). *Verkkosivusto*.
262. Safety Deposit Box. <http://www.digital-preservation.com/solution/safety-deposit-box> (katsottu 1.9.2011). *Sivu ei vastannut*.
263. What is Emulation?. http://www.kb.nl/hrd/dd/dd_projecten/projecten_emulatiewis-en.html (katsottu 1.9.2011). *Rikkinäinen linkki*.