Tampereen yliopisto

Jukka Pajarinen

WEB-KÄYTTÖLIITTYMÄN HYVÄKSYMISTESTAUKSEN PRIORISOINTI PAINOTETUN VERKON AVULLA

Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Diplomityö
Joulukuu 2019

TIIVISTELMÄ

Jukka Pajarinen: Web-käyttöliittymän hyväksymistestauksen priorisointi painotetun verkon avulla
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Tietotekniikan DI-ohjelma
Joulukuu 2019

Avainsanat: hyväksymistestaus, painotettu verkko, priorisointi, jatkuva integraatio, web-sovellukset, testiautomaatio

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Jukka Pajarinen: Web User Interface Acceptance Testing Prioritization with a Weighted Graph
Master's Thesis
Tampere University
Degree Programme in Information Technology
December 2019

Keywords: acceptance testing, weighted graph, prioritization, continuous integration, web applications, test automation

ALKUSANAT

Tampereella, 31. joulukuuta 2019

Jukka Pajarinen

SISÄLLYSLUETTELO

KUVALUETTELO

TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

$\mathbb{N}$	Luonnolisten lukujen joukko
A/B	A/B-testaus, kahta eri ohjelmarevisiota vertaileva testaus
API	Application Programming Interface, ohjelmointirajapinta
ATDD	Hyväksymistestausvetoinen kehitys, englanniksi: acceptance test driven development
CI	Continuous Integration, eli jatkuva integrointi
DOM	Document object model, eli html-sivujen dokumenttiobjektimalli
e2e	End-to-end, eli päästä päähän testaus
HTML	Hypertext markup language, eli internetin verkkosivuihin käytetty hypertekstin merkintäkieli
IDE	Integrated Development Environment, ohjelmointiympäristö
MoSCoW	Must, Should, Could, Would; priorisointimenetelmä
SQL	Structured query langauge, eli tietokantoihin kohdistettava haavoittuvuus
UAT	User Acceptance Testing, eli käyttäjän hyväksyttämistestaus
UNIX	Uniplexed Information and Computing Service, yksi suosittu ja vapaa tietokoneen käyttöjärjestelmäperhe
XSS	Cross site scripting, eli verkkosivuihin kohdistettava haavoittuvuus
Xvfb	X virtual framebuffer, X-ikkunointijärjestelmän protokollan toteuttava virtualisointipalvelin

1 JOHDANTO

Tässä luvussa esitetään lyhyesti työn keskeisin sisältö ja rakenne. Lisäksi pohditaan miksi työ on tarpeellinen ja miksi testitapauksien priorisoiminen on ongelmallista.

2 TUTKIMUSASETELMA

Tässä luvussa esitetään diplomityön tausta, tutkimuskysymykset, käytetty tutkimusmenetelmä, tutkimuksen rajaus sekä tavoitteet. Tutkimuskysymykset liittyvät vahvasti yhteiseen hyväksymistestauksen testitapauksien priorisoinnin teemaan, johon tässä työssä erityisesti keskitytään. Tutkimus on soveltavaa ja sen tarkoituksena on muodostaa selvitys tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Tässä työssä se tarkoittaa erityisesti matemaattisen, toistettavissa olevan menetelmän kehittämistä hyväksymistestauksen testitapauksien priorisointiongelman ratkaisemiseksi. Tutkimuskysymyksistä 2.2 itsessään voi päätellä tutkimuksen tarkoitusta ja tavoitteita, mutta tämä esitetään myös yksityiskohtaisemmin tavoitteet luvussa 2.5. Yhtenä diplomityön osana on myös toteutuksellinen osuus **??**, joka on tehty diplomityön asiakasyrityksen tarpeita varten. Toteutuksellisessa osuudessa esitetään hyväksymistestausjärjestelmä, joka mahdollistaa tutkimusongelmaan liittyvien priorisoitavien testitapauksien toteuttamisen.

2.1 Tausta

Diplomityö tehtiin WordDive nimiselle yritykselle. WordDive on vuonna 2009 perustettu, Tampereella toimiva, suomalainen kieltenoppimiseen keskittyvä yritys. WordDivellä oli kirjoitushetkellä kieltenoppimissovellus mobiilialustalle sekä web-alustalle. Tämän diplomityön sisältö koskettaa vain web-alustalla toimivaa sovellusta. Hyväksymistestauksen osalta mobiilisovellukselle oli yrityksessä jo toteutettu testiautomaatio, mutta web-alustalle sitä ei vielä oltu tehty.

Allekirjoittanut aloitti työt kyseisessä yrityksessä 2018 vuoden loppupuolella, jolloin diplomityön aihetta ei vielä ollut. Tarkoituksena oli tuolloin ensin töitä tekemällä tutustua yrityksen web-alustalla toimivaan sovellukseen ja yrityksen ohjelmistotuotantoprosessiin. Diplomityön aihe alkoi muotoutua vasta vuoden 2019 alkupuolella, kun tarvittava tietämys ohjelmistotuotteesta ja prosessista oli saavutettu. Asiakasyrityksessä sai hyvinkin vapaasti löytää itseään kiinnostavan, varsinaisten töiden ohella tehtävän, mutta kaikille osapuolille hyödyllisen aiheen. Aiheen löytämisen taustalla olivat hyvinkin konkreettiset tarpeet, jotka ohjelmistotuotannon työssä tulivat esille.

Uusien ominaisuuksien ja koodimuutoksien tekemisen yhteydessä oli jatkuvasti tarve huolelliselle testaamiselle ja erityisesti asiakkaan näkökulmasta tärkeimpien sovelluksen ominaisuuksien toiminnan varmistamiselle. Tämä sai diplomityön aiheen suuntautumaan testiautomaatioon ja erityisesti hyväksymistestaukseen. Lisäksi yrityksessä oli jo toteu-

tettuna päivittäisessä käytössä oleva hyväksymistestaus mobiilialustalle, joka auttoi hahmottamaan web-sovelluksen testiautomaation integroimista osaksi yrityksen ohjelmistotuotantoprosessia. Mobiilialustalle tehtyä hyväksymistestausta varten oli yrityksessä jo valittu tietyt hyväksi todetut sovelluskehykset ja työkalut testiautomaatiota varten, joten tässä työssä ei enää ollut tarvetta evaluoida eri työkaluja tarvittavan testiautomaation toteuttamiseksi. Web-sovelluksen testiautomaatio toteutettiin käyttäen pääpiirteittäin samoja sovelluskehyksiä ja työkaluja kuin mobiilisovellukselle 4.4. Tästä syystä diplomityön aihetta ja tutkimusongelmaa lähdettiin etsimään muualta.

Tutkimusongelmaan mietittiin aihioita etenkin alkuvaiheessa polkutestauksen ja ohjelmistotestaukseen liittyvien heuristiikkojen osalta. Polkutestaus oli yhtenä vaihtoehtona, mutta siitä luovuttiin, koska sen todettiin olevan paremmin soveltuvampi hyväksymistestausta alemmille testauksen tasoille. Heuristiikkojen hyödyntämistä mietittiin kahteen eri ongelmaan; testitapauksien muodostamiseen sekä kriittisten testitapauksien määrittämiseen.

Lopullisen tutkimusongelman löytämiseen vaikuttivat erityisesti konkreettiset tarpeet, jotka tulivat esiin vasta web-sovelluksen testiautomaation suunnitteluvaiheessa. Hyväksymistestauksen testiautomaatiota varten oli ensin määritettävä mitä testauksen kohteena olevasta sovelluksesta tulisi testata. Testiautomaation rakentamiseen allokoitavia resursseja oli rajallinen määrä, jonka lisäksi testikattavuuden suppeus sekä ylikattavuus nähtiin selkeänä ongelmana. Tämä ongelma voidaan esittää yksinkertaisemmin testitapauksien priorisointiongelmana, joka myös lopulta muotoutui työn tutkimusongelmaksi. Priorisointiongelman valitsemiseen ratkaisevasti johtavia asioita olivat kaksi allekirjoittaneen oivallusta aiheesta. Ensimmäiseksi hyväksymistestattavaa web-sovellusta keksittiin ajatella käyttöliittymän näkymä- ja siirtymätasolla matemaattisena prioriteetein painotettuna verkkona. Toiseksi oivallukseksi keksittiin käyttää lyhimmän polun ongelmaan kehitettyjä algoritmeja prioriteetein painotettuun verkkoon, jolloin kahden solmun välille voitiin löytää prioriteeteiltaan korkein polku. Nämä oivallukset vaikuttivat lopulta varsinaisen tutkimusongelman eli testitapauksien priorisointiongelman valitsemiseen, koska ne loivat järkevän ja mielenkiintoisen pohjan tutkimusongelmaan vastaamiselle. Kokonaisuutena diplomityön aihe saatiin muodostettua sellaiseksi, että se esittää yleishyödyllisen menetelmän tutkimusongelman ratkaisemiseen sekä siihen liittyvän toteutuksen suunnittelemisen ja rakentamisen asiakasyritykselle.

2.2 Tutkimuskysymykset

Tutkimuksen tarkoituksena on pohjimmiltaan tarkoitus löytää ja kehittää toistettavissa oleva menetelmä hyväksymistestauksen testitapauksien priorisoimiseen. Testitapauksien laatimisen yleisenä ongelmakohtana on erityisesti niiden priorisointi, joka usein johtaa liian suppean tai ylikattavan testiautomaation rakentamiseen. Tutkimuskysymykset on laadittu siten, että niihin vastaaminen antaa ratkaisun tähän edellä mainittuun testiautomaation ongelmaan.

Työlle asetettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

- **T1:** *Miten painotettua verkkoa voidaan käyttää testitapauksien priorisoimiseen?*
- **T2:** *Mitkä muuttujat vaikuttavat web-käyttöliittymän hyväksymistestauksen testitapauksien priorisointiin?*
- **T3:** *Kuinka prioriteetein painotetusta verkosta valitaan toteutettavat testitapaukset?*
- **T4:** *Miten painotetun verkon avulla tehty priorisointi liitetään yhteen jatkuvan integraation ja testiautomaation kanssa?*

2.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi työn tutkimusmenetelmäksi valittiin tietotekniikan diplomitöissä yleisesti käytetty Design Science -menetelmä. Menetelmän tarkoituksena on tuottaa teknologiaa hyödyntävä ratkaisu tutkimusongelmaan vastaamiseen. Valittua menetelmää käytettäessä pyritään tutkimaan uusia ratkaisumalleja ratkaisemattomiin ongelmiin tai kehittämään parempia ratkaisumalleja jo aiemmin ratkaistujen ongelmien tilalle. Tietotekniikan tutkimuksessa on aikojen saatossa kehitetty uusia tai parempia tietokonearkkitehtuureja, ohjelmointikieliä, algoritmeja, tietorakenteita ja tiedonhallintajärjestelmiä. Näiden osalta yhteistä on, että niissä on monesti käytetty usein jopa tiedostamatta Design Science -menetelmää.

Tutkimuksen tarkoituksena oli muodostaa uudenlainen ja toistettavissa oleva menetelmä tutkimuksen kohteena olevan ongelman ratkaisemiseksi. Tutkimusidean hahmottelemisen ja ratkaisua kaipaavan ongelman identifioinnin jälkeen, valittua tutkimusmenetelmää käyttäen ensin määriteltiin tutkimuskysymykset 2.2.

Seuraavaksi kartoitettiin ratkaisuvaihtoehto tutkimuskysymyksiin ja työn yleiseen priorisoinnin teemaan vastaamiseksi ja esitetään perustelut painotettua verkkoa hyödyntävään ratkaisumenetelmään päätymiseen 5.1. Tutkimusta varten kerättiin teoreettista aineistoa, jonka tarkoituksena oli tukea menetelmän kehittämistä ja jonka avulla pyrittiin luomaan lukijalle mahdollisimman vahva teoreettinen pohja tutkimuskysymyksiin vastaavan ratkaisumenetelmän ymmärtämiseksi. Asiakasyrityksen ohjelmistotuote ja ohjelmistotuotantoprosessi huomioiden toteutettiin myös testausjärjestelmä, joka mahdollistaa testiautomaation toteuttamisen ja työssä kehitetyn priorisoinnin ratkaisumenetelmän hyödyntämisen.

Lopuksi vielä evaluoitiin menetelmän eli ratkaisun ja sitä hyödyntävän toteutuksen toimivuus ja esitetään yhteenveto tutkimuksesta.

2.4 Tutkimuksen rajaus

Ohjelmistotestauksen tasojen osalta tutkimus rajoittuu hyväksymistestaukseen. Tämä rajaus pohjautuu ohjelmistotuotannon työssä konkreettisesti havaittuun tarpeeseen sekä yhdenmukaisen testiautomaation toteuttamiseen mobiili- ja web-sovelluksille asiakasyrityksessä.

Testitapauksien osalta on olemassa lukuisia eri testausalustoja, joita hyödyntäen testi-

tapauksia voidaan toteuttaa. Tässä työssä testitapauksien toteuttaminen rajataan tietylle ennalta määräytyneelle hyväksymistestaukseen tarkoitetulle Robot Framework -alustalle. Tämä rajaus pohjautuu asiakasyrityksessä jo aiemmin valittuihin testauksen sovelluskehyksiin ja työkaluihin. Lisäksi Robot Framework on alustana yleisesti käytetty ja erityisen hyvin soveltuva etenkin hyväksymistestauksen toteuttamiseen. Robot Framework on soveltuu myös hyvin sellaisiin tilanteisiin, joissa halutaan ohjelmointikielillä määritettyjä testitapauksia korkeampaa abstraktiotasoa.

Jatkuvan integroinnin osalta tutkimus rajoittuu perusteisiin ja tutkimuksen painoarvo pidetään testitapauksien toteuttamisessa ja niiden priorisoinnissa. Jatkuva integrointi on kuitenkin asiakasyrityksessä tärkeä osa testiautomaation ja jatkuvan käyttöönoton toteutuksessa. Jatkuvan integroinnin osalta ei tässä työssä esitetä muuta kuin testiautomaation toteutusosaan kokonaisuutena erityisesti liittyvät käsitteet ja ratkaisu. Tämä rajaus pohjautuu tutkimusongelman tarkempaan spesifioimiseen ja tutkimuksen kokonaislaajuuden hallitsemiseen.

Verkkoteorian osalta tutkimus rajoittuu perusteisiin ja painotettua verkkoa sekä kehitettyä menetelmää tukeviin käsitteisiin. Tämä rajaus pohjautuu työn kohdentamiseen ohjelmistotuotantoon ja diplomityön kirjoitusvaiheessa saatuun ohjauspalautteeseen, jossa matematiikan osuus oli kasvanut liiallisen suureksi.

Priorisointiin vaikuttavien muuttujien osalta tutkimus rajoittuu muuttujien kartoittamiseen, mutta niiden määrittäminen jätetään työn ulkopuolelle. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jokainen menetelmää hyödyntävä taho hankkii itse varsinaiset numeeriset arvot muuttujille. Esimerkiksi liiketoiminnallisen vision numeerinen arvo on yksinomaan menetelmää käyttävän tahon harkittavissa.

Lyhimmän polun etsimiseen painotetusta verkosta on olemassa lukuisa määrä erilaisia algoritmeja, mutta tässä työssä hyödynnetään vain perinteistä Dijkstran algoritmia. Tämä rajaus pohjautuu työssä kehitetyn priorisointimenetelmän käyttämisen perimmäiseen tarkoitukseen, jossa ei algoritmin tehokkuudella tai lisäominaisuuksilla ole suurta merkitystä. Lisäksi Dijkstran algoritmi on selkeä, paljon tutkittu ja käytetty ratkaisu lyhimmän polun etsimiseen sekä sitä käytetään tässä työssä vain jo priorisoidussa verkossa tapahtuvaan analysointiin.

2.5 Tavoitteet

Tutkimuksen primäärisenä tavoitteena oli kehittää toistettavissa oleva matemaattinen menetelmä web-käyttöliittymien hyväksymistestauksessa tarvittavien testitapauksien priorisointiongelman ratkaisemiseksi. Kehitetyn menetelmän tavoitteena on tarjota ratkaisua, joka helpottaa ja tehostaa kyseisen hyväksymistestaukseen liittyvän testiautomaation sekä siihen liittyvien testitapauksien suunnittelua ja rakentamista.

Primääritavoitteen lisäksi valmiin diplomityön tavoitteena on myös tarjota selkeä, eheä ja helposti ymmärrettävä kokonaisuus hyväksymistestauksen testitapauksien priorisoimi-

seen, työssä kehitettyä menetelmää käyttäen. Kehitetty priorisointimenetelmä pyritään esittämään siten, että valmiista diplomityöstä olisi mahdollisimman paljon hyötyä sen käyttämistä harkitseville tai käyttäville tahoille.

Tutkimusta ja tutkimusmenetelmää itsessään ajatellen tavoitteena oli tarjota ratkaisumalli ja ratkaisut aiemmin esitettyihin tutkimuskysymyksiin 2.2. Lisäksi tutkimusmielessä tavoitteena oli pystyä todentamaan kehitetyn menetelmän toimivuus käytännössä menetelmää itsessään sekä asiakasyritykselle sen lisäksi tehtyä testausjärjestelmän toteutusta evaluoimalla. Evaluointi esitetään diplomityön lopussa ja se esitetään erikseen menetelmälle sekä toteutukselle.

3 TESTIAUTOMAATIO

Tässä luvussa esitetään perusteet ja tarvittavat tiedot ohjelmistojen testauksesta ja testiautomaatiosta, jotka liittyvät työn laajempaan teoreettiseen kehykseen. Ensin esitetään testiautomaation tarkoitus, jonka jälkeen käydään yksityiskohtaisesti läpi ohjelmistotestauksen tasot ja niiden merkitystä testiautomaatiossa. Ohjelmistojen testaukseen ja erityisesti testiautomaatioon sekä tämän diplomityön aiheeseen liittyvät käsitteet testitapaus ja testikokoelma esitetään omassa kappaleessaan. Lopuksi vielä esitetään tarvittavia jatkuvan integroinnin ja testausvetoisen kehityksen perusteita sekä pyritään luomaan lukijalle ymmärrystä siitä, miten ne liittyvät niitä laajempaan testiautomaation käsitteeseen ja diplomityön tuloksien käyttöönottoon.

Testiautomaation perusteiden ymmärtämistä tarvitaan varsinkin työn myöhemmissä vaiheissa, joissa esitetään testiautomaatioon liittyvien hyväksymistestauksen testitapauksien testausjärjestelmä ja tutkimusongelmaan vastaava varsinainen priorisointi painotetun verkon avulla.

3.1 Testiautomaation tarkoitus

Testiautomaation tarkoitus on pohjimmiltaan mahdollistaa ohjelmistotuotteen jatkuva, tehokas ja vaivaton laadunvarmistus nyt ja tulevaisuudessa. Testiautomaation vastakohtana voidaan ajatella manuaalista testausta, joka vaatii täydellistä ihmisen vuorovaikutusta testauksen suorittamiseen. Testiautomaatiossa käytetään erityisiä ohjelmistotyökaluja ennalta määritettyjen testitapauksien suorittamiseen, ihmisen tekemän manuaalisen testauksen sijaan. Ohjelmistojen testaamisella itsessään pyritään löytämään ohjelmistotuotteesta virheitä ja anomalioita sekä varmistamaan, että se toimii asetettujen vaatimusten sekä suunnitelmien mukaisesti. Testauksen automatisoiminen vapauttaa aikaa, kustannuksia ja henkilöresursseja manuaalisesta testaamisesta muihin tuotantotehtäviin sekä parantaa toistettavien testien luotettavuutta poistamalla manuaalisessa testauksessa tapahtuvat inhimillisen virheet. Testiautomaatiolla, joka kytketään osaksi ohjelmistotuotantoprosessia, voidaan myös löytää ohjelmistokehityksen aikana ohjelmistokoodiin lipsuvia virheitä ja näin ollen saavuttaa mahdollisuus korjata niitä ennen kuin ohjelmisto julkaistaan loppukäyttäjille.

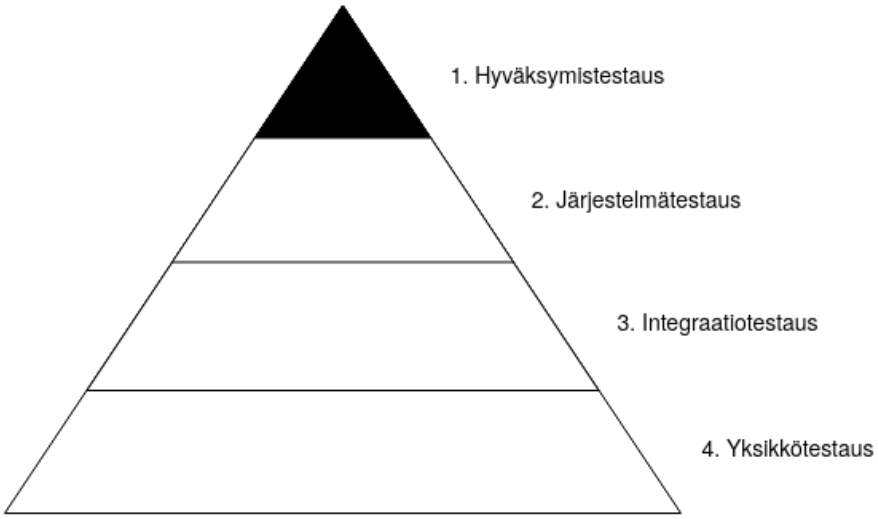
Laadunvarmistuksen osalta ohjelmistokehityksessä on usein käytetty niin sanottuja laadullisia ominaisuuksia, joiden kattamisella voidaan validoida laatua. Laadullisia ominaisuuksia ovat ISO 9126-standardin mukaan [1]:

- toiminnallisuus
- luotettavuus
- käytettävyys
- tehokkuus
- ylläpidettävyys
- siirrettävyys

Näistä laadullisista ominaisuuksista testiautomaatiolla pystytään kattamaan erityisesti toiminnallisia, luetettavuudellisia ja tehokkuudellisia ominaisuuksia. Käytettävyyden, ylläpidettävyyden ja siirrettävyyden validointi puolestaan on vaikeampaa testiautomaation avulla, sillä ne ovat varsin subjektiivisia. Tässä diplomityössä testiautomaation yhteydessä keskitytään hyväksymistestauksen kannalta erityisesti toiminnallisiin laatuominaisuuksiin ja niiden testaamiseen.

3.2 Testauksen tasot

Testauksen tasoja on useita ja usein ohjelmistojen kattavaan testaamiseen on suositeltavaa käyttää ohjelmistotuotantoprosessissa eri tasojen yhdistelmää. Ohjelmistojen testaus usein jaotellaan kolmeen erilaiseen menetelmään, jotka myös vaikuttavat eri testauksen tasojen käyttökelpoisuuteen. Erilaisia menetelmiä ovat mustalaatikkotestaus, harmaalaatikkotestaus ja valkolaatikkotestaus, jotka eroavat toisistaan yleisesti ottaen siinä, otetaanko tieto ohjelmistotuotteen sisäisestä toteutuksesta mukaan itse testaamiseen. Testauksen tasot esitetään kirjallisuudessa usein hieman eri muodoissa, mutta yleisesti ne jaetaan neljään eri tasoon, jotka voidaan kuvata pyramidin tasoavaruuteen projisoituna muotona.



Kuva 3.1. *Testauksen tasot pyramidin muodossa*

Pyramidimuodossa esitetyistä testauksen tasoista kaikkiin on mahdollista soveltaa testi-

automaatiota. Testauksen menetelmien osalta hieman yksinkertaistaen valkolaatikkotestauksen alaisuuteen kuuluvat yksikkötestaus ja integraatiotestaus sekä mustalaatikkotestauksen alaisuuteen kuuluvat järjestelmätestaus ja hyväksyntätestaus. Pyramidimuodossa alimpana kuvataan aina yksikkötestaus, joka on tasoista atomisin ja myös luo vahvan pohjan kokonaisvaltaiselle testaamiselle. Noustessa pyramidissa ylöspäin, atomisuus häviää ja testattavana olevan kohteen laajuus sekä kompleksisuus kasvavat. Ylimpänä pyramidissa on hyväksymistestaus, joka on tarkoituksellista toteuttaa vaatimusmäärittelyn täyttävää valmista järjestelmää vastaan siten, että sen varmistetaan vastaavan loppukäyttäjän tarpeita. Monissa tapauksissa järjestelmätestauksen ja hyväksymistestauksen rajat saattavat olla epäselvät ja häilyvät. Tässä työssä hyväksymistestauksella tarkoitetaan käyttäjän hyväksyttämistestausta (UAT), jotta järjestelmätestauksen ja hyväksymistestauksen väliset eroavaisuudet tulevat lukijalle selkeästi esille.

Hyväksymistestaus on tämän diplomityön keskiössä ja siihen liittyvää teoriaa esitetään vielä laajemmin omassa hyväksymistestaus luvussaan 4. Seuraavissa kappaleissa esitetään vielä yksityiskohtaisemmin jokainen pyramidissa 3.1 esitetty testauksen taso, jotta lukijalle muodostuisi käsitys erityisesti hyväksymistestauksen suhteesta muihin testauksen tasoihin.

3.2.1 Yksikkötestaus

Yksikkötestauksen ajatuksena on testata ohjelmistotuotteen lähdekoodista löytyviä yksiköitä, kuten luokkia, funktioita tai moduuleita. Yksikkötestaus toteutetaan ohjelmiston toteuttavia pienimpiä yksikköjä vastaan ja sen avulla pyritään validoimaan, että jokainen yksikkö toimii siten kuin ne on ohjelmistokehityksen aloitusvaiheessa suunniteltu toimimaan. Yksikkötestaus eroaa muista testauksen tasoista siinä, että sen voi suorittaa ainoastaan ohjelmistokehittäjät tai muut ohjelmiston lähdekoodiin perehtyneet henkilöt. Yksikkötestaus on näin ollen teknisesti valkolaatikkotestausta. Yksikkötestausta tarvitaan, jotta voidaan pyrkiä varmistamaan, että ohjelmiston koostavat pienimmät yksiköt toimivat tarkoituksenmukaisella tavalla.

Yksikkötestauksen toteuttamiseen käytetään pääsääntöisesti jotakin tarkoitusta varten räätälöityä testikirjastoa, joissa on keskenään yleensä hyvin samankaltainen perusperiaate. Yksikkötestaukseen tarkoitetuissa testikirjastoissa löytyy usein yksittäisen testitapauksen kuvaava tietorakenne, esimerkiksi luokka, sekä siihen usein kuuluvat alustus- ja lopetusfunktiot. Näiden lisäksi varsinainen testauskoodi toteutetaan pääsääntöisesti käyttäen niin sanottuja testikirjaston tarjoamia assert-funktioita, joiden avulla voidaan esimerkiksi varmistaa, onko jokin muuttuja tietyssä arvossa.

Yksikkötestausta hyödynnetään usein myös ketterien menetelmien aihepiirissä, jossa ohjelmistotuotantoa voidaan toteuttaa muun muassa niin sanotulla testausvetoisella kehityksellä 3.5. Testausvetoisessa kehityksessä yksikkötestauksen osalta, ohjelmistokehittäjät laativat ensisijaisesti yksiköiden yksikkötestit ennen niiden toteuttamisen aloittamista.

Ohjelmistotestauksen tasojen pyramidissa ja hyvin toteutetussa ohjelmistotestauksen mo-

nitasoisessa testauksessa tämä testauksen taso on usein testitapauksien määrässä kaikista laajin. Monitasoisessa testauksessa yksikkötestaus luo tärkeän pohjan testaamiselle kokonaisuutena ja antaa tietoa ohjelmiston pienimpien yksiköiden toimivuudesta. Yksikkötestaus on myös paljon käytetty ja tärkeä osa testiautomaatiossa, sillä se varmistaa sovelluksen yksiköiden suunniteltua toimintaa.

3.2.2 Integraatiotestaus

Integraatiotestauksen ajatuksena on testata ohjelmistotuotteen toteuttavien eri komponenttien yhteensopivuutta niiden rajapintojen osalta. Integraatiotestaus toteutetaan ohjelmiston suunnitelmaa ja suunniteltua mallia vastaan. Integraatiotestauksen onnistunut toteuttaminen luo validoitavan perustan ohjelmiston toimimiseen ja sen koostamiseen kokonaisena, eri komponenteista koostuvana järjestelmänä. Integraatiotestausta tarvitaan, jotta voidaan varmistaa sovelluksen yksiköiden yhteensopivuus, joka ei pelkällä yksikkötestauksella tulisi muuten katetuksi.

Integraatiotestauksen kohteita voivat olla esimerkiksi luokkien ja moduulien väliset rajapinnat sekä web-sovelluksien api-ohjelmointirajapinnat. Integraatiotestauksen toteutuksen kannalta voidaan usein käyttää myös yksikkötestaukseen tarkoitettuja testikirjastoja ja työkaluja, mutta itse testitapauksien rakenne on silloin yksikkötestauksen testitapauksista merkittävällä tavalla erilainen. Integraatiotestauksessa testitapauksien rakenteeseen tulee assert-funktioiden lisäksi myös usein tarvetta jäljitellä rajapintojen tarjoamaa dataa. Rajapintojen tarjoaman datan jäljittelemiseen on olemassa useita valmiita työkaluja ja kirjastoja, joita integraatiotestauksen tapauksessa voi käyttää testitapauksien rakentamisen apuna.

Integraatiotestauksen yhteydessä puhutaan usein myös niin sanotusta savutestauksesta, jonka tarkoituksena integraatiotestauksen yhteydessä on koostaa toistuva, esimerkiksi päivittäinen, koontiversio ohjelmistosta ja testata sen kriittisten komponenttien yhteensopivuus. Integraatiotestaus on myös tärkeä osa testiautomaatiota, sillä sen avulla voidaan varmistaa sovelluksen yksiköiden, kuten esimerkiksi luokkien, komponenttien tai moduulien yhteensopivuus.

3.2.3 Järjestelmätestaus

Järjestelmätestauksen ajatuksena on testata kokonaista ja toimivaa järjestelmää, yhtenä suurena yksikkönä. Järjestelmätestausta tarvitaan, jotta voidaan varmistaa kokonaisen ohjelmiston toimivuus, jota ei muuten pelkällä yksikkötestauksella ja integraatiotestauksella saataisi täydellisellä varmuudella selville.

Järjestelmätestaukseen liittyy laajasti erilaisia testattavia laadullisia ominaisuuksia kuten toiminnallisuus, luotettavuus, käytettävyys, tehokkuus, ylläpidettävyys ja siirrettävyys [1]. Aiemmin testiautomaation tarkoitus kappaleessa 3.1 esitettiin että, edellä mainituista laadullisista ominaisuuksista kaikki eivät sovellu hyvin testiautomaation avulla testattaviksi.

Esitetyistä syistä johtuen, automatisoidulla järjestelmätestauksella voidaan testata edellä mainituista ominaisuuksista lähinnä ohjelmiston toiminnallisuutta, luotettavuutta ja tehokkuutta. Toiminnallisuutta voidaan testata käyttöliittymätestauksella, joka on mahdollista automatisoida käyttötapauksien muotoon. Luotettavuutta voidaan testata automaattisesti tietoturvaa testaavien käyttötapauksien muodossa. Tehokkuutta voidaan testata automaattisesti lisäämällä aikaleimoihin perustuvaa tarkastelua testitapauksiin, sekä tehdä kuormitusta testaavia testitapauksia. Edellä mainituista muista laadullisista ominaisuuksista voidaan toki kuitenkin ylläpidettävyyttä ja siirrettävyyttä testata manuaalisesti.

Testauksen tasona järjestelmätestaus voi olla testiautomaation teknisen toteutuksen kannalta jopa hyvin samanlainen kuin sitä spesifimpi hyväksymistestaus. Usein kuitenkin hyväksymistestauksessa paneudutaan erityisesti vaatimusmäärittelyyn ja asiakaslähtöiseen testaamiseen, kun taas järjestelmätestauksessa voidaan testata esimerkiksi myös järjestelmän tehokkuutta tai tietoturvaa. Tämä on tosin täysin riippuvainen vaatimusmäärittelystä, joten jos tehokkuus ja tietoturva ovat ohjelmiston asiakasvaatimuksia niin niiltä osin järjestelmätestaus ja hyväksymistestaus lomittuvat. Joissakin yhteyksissä järjestelmätestaus ja hyväksymistestaus esitetään jopa yhteisenä testauksen tasona, etenkin silloin kun testiautomaation kannalta ne esimerkiksi edellä mainitulla tavalla muistuttavat kovasti toisiaan. Järjestelmätestaus osittain hyväksymistestauksen kanssa on erittäin merkittävä osa testiautomaatiosta, sillä sen avulla voidaan testata toteutettavaa järjestelmää kokonaisuutena.

3.2.4 Hyväksymistestaus

Hyväksymistestauksen ajatuksena on varmistaa toteutettavan ohjelmiston vaatimusten toimivuus erityisesti käytännön tilanteissa siten, että voidaan varmistaa vastaako ohjelmisto loppukäyttäjän tarpeita. Hyväksymistestaus toteutetaan ohjelmiston toimintoja kuvaavaa vaatimusmäärittelyä tai loppukäyttäjistä sekä heidän tarpeista laadittuja käyttötapauksia vastaan. Hyväksymistestauksen rooli testiautomaatiossa ja erityisesti jatkuvan integraation yhteydessä on osoittaa, voidaanko järjestelmä sellaisenaan julkaista loppukäyttäjille.

Hyväksymistestaus testaa lähinnä toiminnallisia laatuominaisuuksia ja usein se toteutetaan käyttöliittymätasolla testitapauksien muodossa. Poikkeuksena toiminnallisien ominaisuuksien lisäksi hyväksymistestauksessa voi olla mukana muita laadullisia ominaisuuksia vain jos ne ovat asiakastarpeiden mukaisia, joka on kuitenkin tavallisesta varsin poikkeava tilanne. Samassa asiayhteydessä puhutaan usein myös niin sanotusta e2e-testauksesta, eli päästä päähän -testauksesta. Päästä päähän -testauksessa on tarkoituksena toteuttaa testaaminen siten, että testaus pitää sisällään kaiken siltä väliltä mitä loppukäyttäjä voi tarpeidensa saavuttamiseksi tehdä ja nähdä aloittaessaan ohjelmiston käytön ja lopettaessaan sen käytön.

Testiautomaatio on äärimmäisen hyödyllinen hyväksymistestauksen osalla, koska sillä voidaan automatisoida ohjelmiston validointi ja hyväksyminen, sekä parhaimmillaan es-

tää puutteellisesti toimivan ohjelmiston julkaiseminen. Hyväksymistestausta tarvitaan myös, jotta voidaan testata ja validoida vaatimusten ja loppukäyttäjän tarpeiden mukaisten ominaisuuksien toimivuus kokonaisessa järjestelmässä.

3.3 Testitapaus ja testikokoelmat

Testitapaus on ohjelmistotestauksen automatisoimisen kannalta erittäin tärkeä käsite. Testitapaus kuvaa yhden testattavana olevan asian testaamiseksi suoritettavaa tai suoritettavia toimenpiteitä. Testitapauksen sisältämien toimenpiteiden suorittamisen tarkoituksena on saada selville täyttääkö se toimenpiteiden mukaiset ehdot ja toimiiko testattava asia oikein. Testitapauksella on usein alustusvaihe, varsinainen testausvaihe ja lopetusvaihe. Alustusvaiheessa testitapauksen vaativa ympäristö ja muuttujat alustetaan. Varsinaisessa testitapauksen testausvaiheessa suoritetaan testattavan asian testaukseen liittyvät toimenpiteet. Lopetusvaiheessa testitapauksen ajaksi muodostettu ympäristö usein tuhotaan ja käytetyt resurssit nollataan, jotta ne eivät enää vaikuta muihin testitapauksiin.

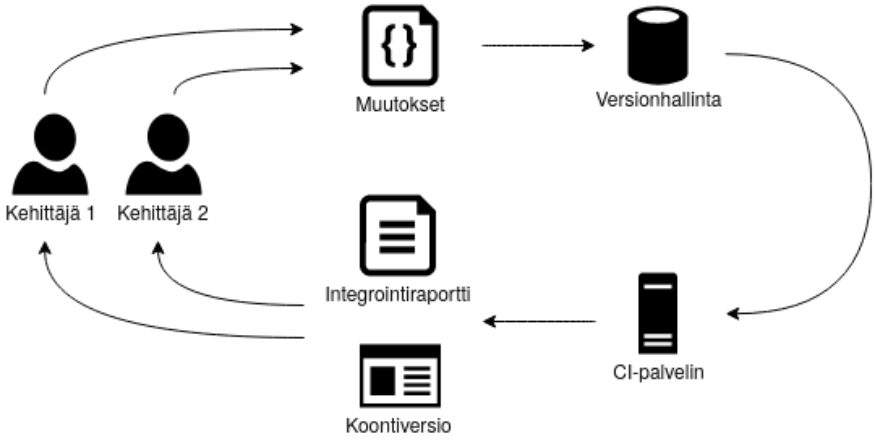
Testikokoelma on yksittäisistä testitapauksista koostuva ryhmitelty testitapauksien joukko. Testikokoelman saattaa kuulua myös sellaisia testitapauksia, joiden suoritusjärjestys on etukäteen määritetty. Suoritusjärjestyksellisissä testikokoelmissa voi esiintyä testitapauksia, jotka toimivat samassa testausympäristössä, muokaten ja jättäen jälkiä omasta suorituksestaan. Myöhemmin suoritusjärjestyksessä tulevat testitapaukset voivat siinä tapauksessa hyötyä tai vaatia testausympäristön ominaisuuksia, jotka aiemmat testitapaukset ovat asettaneet. Testikokoelman sisältämät testitapaukset voidaan kuitenkin luonnollisesti laatia myös sellaisella tavalla, että jokainen testitapaus hoitaa yksityiskohtaiset alustustoimenpiteensä itsenäisesti.

Testitapauksia voidaan ryhmitellä samaan kontekstiin liittyviksi testikokoelmiksi tilanteesta riippuen monilla eri tavoin. Ryhmittelyn perusteen valitsemiseen kannattaa käyttää harkintaa, sillä testikokoelmien laajuus on helpomman hallittavuuden takia tärkeää. Yksi tapa ryhmitellä testitapauksia on käyttää ohjelmistojen laadullisia ominaisuuksia ryhmittelyn perustana. Tällaisessa ryhmittelyssä yksi kokoelma voi olla toiminnallisille testitapauksille ja toinen tehokkuutta mittaaville testitapauksille. Laadullisien ominaisuuksien mukaan tehty testitapauksien ryhmittely saattaa kuitenkin johtaa määrällisesti liian suuriin testitapauksien eroihin testikokoelmien kesken. Hyväksymistestauksen näkökulmasta tarkasteltuna testitapauksia on mahdollista ryhmitellä käyttöliittymän näkymiin perustuviin testikokoelmiin. Näkymäperusteinen ryhmittely on osaltaan looginen tapa jakaa testitapaukset eri testikokoelmiin, sillä jokainen käyttöliittymän näkymä voidaan tarvittaessa testata erikseen suorittamalla kyseisen testikokoelman testitapaukset. Tässä diplomityössä hyödynnetään perustavanlaatuisesti näkymäperusteista testitapauksien ryhmittelyä, koska sen avulla on mahdollista suorittaa testikokoelmien näkymäperusteinen priorisointi työssä myöhemmin esitettävää painotettua verkkoa hyödyntäen.

3.4 Jatkuva integrointi

Testiautomaation rakentaminen manuaalisen testaamisen sijaan mahdollistaa sen liittämisen osaksi jatkuvaa integrointia. Lisäksi useissa ohjelmistotuotannon prosesseissa pelkkä manuaalinen testaus kävisi selkeästi automatisoitujen koonti- tai julkaisuputkien periaatteita vastaan. Testiautomaation tarkoitus kappaleessa 3.1 aiemmin esitettiin testiautomaation ja manuaalisen testauksen eroa hyötyjen ja haittojen näkökulmasta. Testiautomaation toteuttaminen testitapauksien muodossa on jo itsessään testiautomaatiota, mutta käsitettä voidaan kuitenkin laajentaa, että myös jatkuva integrointi liittyy oleellisesti testiautomaation toteuttamiseen varsinkin nykyaikana ja erityisesti ketteriin menetelmiin painottuvassa ohjelmistokehityksessä.

Jatkuvalla integroinnilla tarkoitetaan versiohallintaisessa ohjelmistokehityksessä väistämättömän integrointiprosessin muuntamista luonnostaan jatkuvaksi. Ohjelmistokehityksessä integrointiprosessi tulee vastaan, kun eri ohjelmistokehittäjät tai tiimit toteuttavat muutoksia tai uusia ominaisuuksia kehitettävänä olevaan ohjelmistotuotteeseen. Tällaisessa tilanteessa yksittäiset ohjelmistokehittäjät tai tiimit toteuttavat uutta ohjelmakoodia toisistaan irrallaan siihen asti, kunnes muutokset tai ominaisuudet tulee yhdistää yhdeksi kokonaiseksi kehityksen kohteena olevaksi ohjelmistotuotteeksi, jota prosessina kutsutaan integrointiprosessiksi. Jatkuvan integroinnin tarkoituksena on nopeuttaa integrointiprosessia ja muuttaa ohjelmistokehityksessä käytössä olevia periaatteita siten, että siitä tulee luonnostaan jatkuvaa. Jatkuvan integroinnin toteuttaminen tarvitsee teknisesti sen mahdollistavan versionhallintajärjestelmän ja varsinaisen jatkuvan integroinnin palvelimen.



Kuva 3.2. *Jatkuvan integroinnin perusperiaate on iteratiivinen*

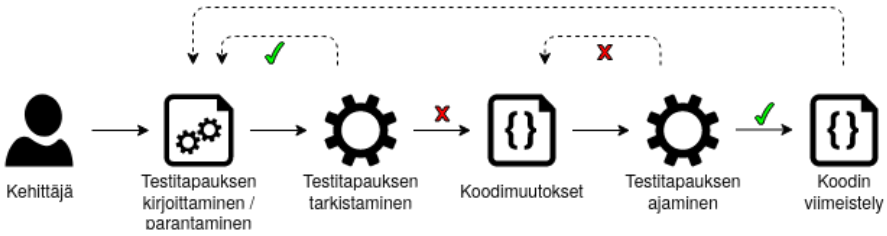
Esimerkkinä versionhallintajärjestelmänä voidaan käyttää nykyaikana suosittua git-ohjelmistoa ja jatkuvan integroinnin palvelimena esimerkiksi GoCD-ohjelmistoa. Perusideana jatkuvassa integroinnissa on konfiguroida jatkuvan integraation mahdollistava palvelinohjelmisto siten, että se kuuntelee versionhallintaan tulevia muutoksia ja suorittaa integrointiprosessin jatkuvasti aina muutoksia huomattuaan. Versionhallintaan tulevat muutokset

voidaan jatkuvan integraation osalta kuunnella ajastetusti tietyin väliajoin tai aidosti jatkuvalla tavalla käyttämällä esimerkiksi web-koukkuja, jotka tiedottavat jatkuvan integraation palvelimelle versionhallintaan saapuneista muutoksista. Jatkuvan integroinnin yhden iteraatiokerran integrointiprosessin tuloksena on tarkoituksena tarjota periaatteeltaan sama lopputulema kuin mitä se olisi manuaalisella integrointiprosessillakin. Jatkuvan integroinnin mahdollistava konfiguraatio sisältää aina jonkinlaisen koontiputken tai useita koontiputkia, joissa rakennetaan koontiversio kehitettävän ohjelmiston lähdekoodeista. Koontiputki voi sisältää esimerkiksi ohjelman lähdekoodien kääntämisen asiaan sopivalla kääntäjällä. Kääntämisen lisäksi koontiputkeen on tässä vaiheessa mahdollista ja erittäin kannattavaa yhdistää testiautomaatiota, kuten esimerkiksi automaattisten yksikkötestien suorittaminen ennen kääntämistä ja hyväksymistestien suorittaminen valmiille koontiversiolle kääntämisen jälkeen.

Jatkuvan integroinnin yhteydessä suoritettavat testikokoelmat 3.3 ja niiden sisältävät testitapaukset ovat erittäin järkeviä toteuttaa, sillä ne esimerkiksi parantavat ohjelmistokehityksen ja lopputuotteen luotettavuutta ja laatua. Jatkuvan integroinnin sisältämästä koontiputkesta saadaan hyödyllistä palautetta ja raportteja integrointiprosessin onnistumisesta, joka voidaan ohjata pääasiassa ohjelmistokehittäjille sekä myös muillekin sidosryhmille. Jatkuvalla integroinnilla itsessään on myöskin paljon sen käyttöönoton antamia hyötyjä, kuten esimerkiksi toteutettujen muutosten tai toimintojen integrointitiheyden kasvattamisen tuomat edut. Jos muutosten tai toimintojen integroiminen on perinteisessä ohjelmistokehityksessä tehty harvoin, kuten esimerkiksi viikoittain, niin jatkuva integroiminen korjaa sen tuomat haasteet turhan laajasta integrointiprosessista ja mahdollisesta ohjelmistokoodin hajoamisesta. Tällaisissa tapauksissa ohjelmakoodi voi sisältää epäyhteensopivia moduuleita tai muita rajapintoja sekä mahdollisuuden käännettävien lähdekoodien kääntämisen onnistumisesta.

3.5 Testausvetoinen kehitys

Perinteisesti testiautomaatio on soveltunut hyvin vain vakaille ohjelmistoille ja niiden regressiotestaamiseen. Nykypäivänä ohjelmistokehitys on siirtynyt suunnitelmapohjaisista prosesseista iteroiviin ketteriin ohjelmistotuotannon prosesseihin. Näihin testiautomaatio on soveltunut huonosti, kun testattavaa ohjelmistoa tai lisättyä toiminnallisuutta ei ole vielä olemassa. Tähän ongelmaan on kehittynyt niin sanottu testausvetoinen kehitys, jossa testitapaukset suunnitellaan ja toteutetaan ennen varsinaisen ohjelmiston tai toiminnon toteutuksen toteuttamista.



Kuva 3.3. *Testausvetoisen kehityksen vaiheet*

Testausvetoinen kehityksen sisältämät vaiheet 3.3 alkavat testitapauksien luomisesta ja niiden tarkastamisesta. Tarkastaminen tapahtuu siten, että testitapaukset suoritetaan sillä oletuksella, että niiden täytyy tässä vaiheessa epäonnistua. Alkuvaiheen testitapauksien luomisen jälkeen ohjelmistokehittäjät kehittävät ohjelmistoa tekemällä siihen muutoksia, ihanteellisesti testitapauksien kokoisia paloja kerrallaan. Kun koodimuutoksia on syntynyt, riippuen ohjelmistotuotannossa käytössä olevasta integrointiprosessista, ajetaan testitapaukset manuaalisesti tai jatkuvan integroinnin avulla. Integrointiprosessista saadaan palautetta, jonka mukaan ohjelmakoodia korjataan tai viimeistellään. Testausvetoisella kehityksellä pyritään nopeuttamaan ohjelmistokehitysprosessia verrattuna perinteisiin ohjelmistotuotannon menetelmiin. Tämän jälkeen testausvetoista kehitystä käyttävässä ohjelmistotuotantoprosessissa siirrytään takaisin testitapauksien luomiseen ja parantamiseen sekä aloitetaan toinen iteraatiokierros mikäli ohjelmisto ei vielä ole valmis.

Testausvetoisessa kehityksessä testitapaukset siis laaditaan jo varhaisessa vaiheessa jolloin niiden tekeminen saattaa usein olla liiketoiminnan näkökulmasta helpommin perusteltavaa liiketoiminnan johdolle. Tämän lisäksi testitapauksien kirjoittaminen etukäteen luo kattavat testikokoelmat jo alusta alkaen, joita voidaan hyödyntää iteratiivisesti ohjelmistotuotteesta riippuen usein hyvinkin pitkään, etenkin jos niihin tehdään tarvittavaa hienosäätöä ohjelmistokehityksen aikana. Ohjelmistokehittäjät voivat kehittää helposti hallittavissa olevia testitapauksien rajaavia kokonaisuuksia, jolloin ohjelmistotuote valmistuu ikään kuin pala kerrallaan. Itse ohjelmistokehitys on testausvetoisessa kehityksessä siis iteratiivista ja näin ollen testitapauksien suorittamisesta saadaan palautetta ja raportointia koko ohjelmistotuotantoprosessin aikana. Testausvetoinen kehitys kuuluu ohjelmistotuotannossa vahvasti ketterien menetelmien alaisuuteen ja on kasvattanut suosiotaan ketterien menetelmien mukana.

4 HYVÄKSYMISTESTAUS

Tässä luvussa esitetään perusteet ja tarvittavat tiedot hyväksymistestauksesta, johon testauksen tasoista tässä diplomityössä keskitytään. Ensin esitetään hyväksymistestauksen tarkoitus, jonka jälkeen keskitytään hyväksymistestausvetoiseen kehitykseen ja sen esittelemiseen ohjelmistotuotannollisena menetelmänä. Hyväksymistestausvetoisen kehityksen jälkeen käydään läpi web-sovelluksien yhteydessä huomioitavia erityispiirteitä hyväksymistestauksen toteuttamisen näkökulmasta. Web-sovelluksien erityispiirteiden jälkeen esitetään erityisesti tässä diplomityössä käytettyjä, mutta kuitenkin yleisiä hyväksymistestauksen työkaluja. Hyväksymistestauksen työkaluista siirrytään esittämään niistä koostuvan testausjärjestelmän rakenne ja sen käyttöönottaminen osaksi ohjelmistotuotantoprosessia. Testausjärjestelmän rakenteen ja käyttöönottamisen lisäksi käydään omassa kappaleessaan läpi myös testitapauksien rakentaminen painottuen testausjärjestelmässä käytettyihin työkaluihin. Lopuksi esitetään yleisestikin ottaen testitapauksiin tärkeästi liittyvä priorisointiongelma, pyritään esittämään miksi sen ratkaiseminen on tärkeää ja esitetään erilaisia menetelmiä sen ratkaisemiseen.

4.1 Hyväksymistestauksen tarkoitus

Hyväksymistestaus on testauksen tasoista tärkeimpiä, sillä sen ollessa kattava, voidaan verifioida ohjelman toiminta korkealla tasolla saaden samalla varmuus siitä, että hyväksymistestausta alemmilla tasoilla testattavat asiat toimivat riittävän oikein. Hyväksymistestauksen tarkoituksena on varmistaa toteutettavan ohjelmiston vaatimusten toimivuus erityisesti käytännön tilanteissa siten, että voidaan varmistaa vastaako ohjelmisto loppukäyttäjän tarpeita. Hyväksymistestaus antaa vastauksen siihen, toimiiko toteutettu järjestelmä loppukäyttäjän tarpeiden mukaisesti ja loppukäyttäjän näkökulmasta oikein. Hyväksymistestauksen sanotaan olevan muodollista testaamista, jossa käyttäjän tarpeet, vaatimukset ja liiketoimintaprosessit otetaan huomioon selvittäessä täyttääkö järjestelmä hyväksymisen kriteerit ja sallii auktorisoidun tahon päättää hyväksytäänkö järjestelmä [2] julkaistavaksi. Ohjelmistotestauksen tekniikoiden näkökulmasta hyväksymistestaus on mustalaatikkotestausta, eli testauskohdetta testataan tietämättä sen teknisestä toteutuksesta. Hyväksymistestauksen painoarvo on asiakasperusteisessa vaatimusmäärittelyssä ja loppukäyttäjän tarpeiden kartoittamisessa. Testiautomaation osalta hyväksymistestausta varten voidaan rakentaa testitapaukset, joiden avulla voidaan keskittyä varmistamaan loppukäyttäjille tarpeellisten toimintojen toteutuminen testitapauksien suorittamisen jälkeen. Hyväksymistestauksen osalta testitapauksia voidaan toteuttaa niin sa-

notulla päästä päähän -periaatteella, jossa testattavaa järjestelmää testataan siten kuin loppukäyttäjä sitä käyttäisi. Hyväksymistestauksessa ei anneta painoarvoa esimerkiksi kosmeettisille tai kirjoitusvirheille, vaan pyritään selvittämään loppukäyttäjille oleellisten ja tarpeellisten toimintojen toteutuminen.

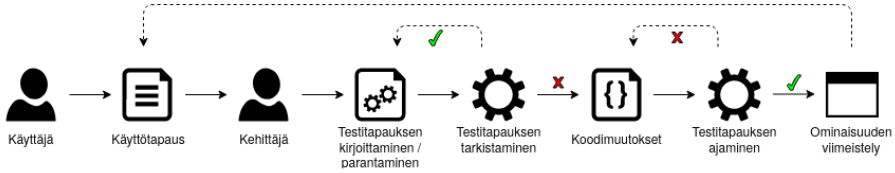
Hyväksymistestaus on aiemmin esitetyistä testauksen tasoista 3.2 viimeinen ja sen suorittamisen jälkeen saadaan tieto, onko järjestelmä toteutuksen osalta sellaisenaan valmis julkaistavaksi. Perinteisesti hyväksymistestauksen lähtökohtia ovat selvät hyväksymisvaatimukset sekä julkaisukelpoinen toteutus joka voi sisältää vain kosmeettisia tai kirjoitusvirheitä. Hyväksymisvaatimukset voivat olla esimerkiksi liiketoiminnallisia käyttötapauksia, prosessivirtauskaavioita sekä vaikkapa ohjelmiston vaatimusmäärittely. Testiautomaatiota varten käytettävästä testialustasta riippuen hyväksymistestauksen käyttötapaukset voidaan muodostaa joko osittain tai suoraan testitapauksiksi. Hyväksymistestaukseen usein pyydetään osallisiksi ohjelmistokehittäjien lisäksi myös muita sidosryhmiä ja toisinaan jopa loppukäyttäjiä. Keskeistä on, että loppukäyttäjiltä hankitaan tieto tarvittavista ja toteutettavista ominaisuuksista, kun taas muut sidosryhmät kuten esimerkiksi johtoryhmä voivat tehdä liiketoiminnallisia päätöksiä hyväksymistestauksen onnistumisen osalta ja esimerkiksi peruuttaa julkaisun. Hyväksymistestaus siis antaa mahdollisuuden korjata usein liiketoiminnallisestakin näkökulmasta merkittävät toiminalliset virheet ennen järjestelmän julkaisua loppukäyttäjille.

Kehittäjien käsitys järjestelmän toiminnallisuudesta ja sen vaatimuksista voi kuitenkin olla usein hyvinkin erilainen kuin loppukäyttäjien. Hyväksymistestauksen avulla voidaan tätä lievittää tätä ongelmaa, ja saada ohjelmistokehittäjät loppukäyttäjien kanssa vaatimusmäärittelyn suhteen samalle aaltopituudelle. Testiautomaation avulla toteutettavalla toistuvalla hyväksymistestauksella varmistetaan, että järjestelmä toteuttaa loppukäyttäjän tarpeet vielä järjestelmään tehtyjen muutoksien jälkeenkin. Hyväksymistestauksen testitapaukset tarkoituksenmukaisesti heijastavat suoraan loppukäyttäjien tarpeita, jonka avulla ohjelmistokehittäjät ja muut sidosryhmät voivat tehokkaasti varmistaa järjestelmän valmiuden ja sen hetkisen tilan. Hyväksymistestauksella siis saadaan katsaus ohjelmiston valmiudesta sen vaatimuksiin ja loppukäyttäjien toiminnallisiin tarpeisiin nähden.

4.2 Hyväksymistestausvetoinen kehitys

Hyväksymistestausvetoisen kehityksen tarkoituksena, kuten testausvetoisessakin kehityksessä 3.5 on toteuttaa ohjelmistotuotannollinen prosessi laatien toistettavasti suoritettavat testitapaukset ennen ohjelmiston varsinaista toteutusta. Hyväksymistestausvetoisessa kehityksessä tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että ennen toteutusta luodaan tarvittavat ohjelmiston asiakasvaatimuksia palvelevat hyväksymistestit, jotka ohjelmiston on tarkoitus läpäistä sen julkaisemisen hyväksymiseksi. Hyväksymistestausvetoisen kehityksen sanotaan olevan yhteistyöhön perustuva lähestymistapa kehitykseen, jossa tiimi ja asiakkaat käyttävät asiakkaiden oman ympäristön kieltä ymmärtääkseen heidän vaatimukset, jotka muodostavat pohjan komponentin tai järjestelmän testaamiseen [2]. Tar-

vittavat ohjelmiston hyväksymistestit suoritetaan iteratiivisesti ohjelmistokehitysprosessin aikana ja se tarkoittaa käytännössä jatkuvan integraation 3.4 ottamista käyttöön ohjelmistokehityksessä. Hyväksymistestausvetoinen kehitys on erittäin hyödyllinen ohjelmistokehityksessä käytetty menetelmä, sillä kehitysvaiheessa on aina tarkasti tiedossa, vastaako ohjelmiston sen hetkinen tila asiakasvaatimuksia ja kuinka hyvin se niiden täyttämisessä onnistuu.



Kuva 4.1. *Hyväksymistestausvetoisen kehityksen vaiheet*

Hyväksymistestausvetoinen kehitys voidaan luokitella ketteräksi ohjelmistokehitysmenetelmäksi, kuten sen yläkäsitteenä oleva testausvetoinen kehityskin 3.5. Hyväksymistestausvetoinen kehitys on testausvetoisen kehityksen kanssa perusperiaatteeltaan samanlainen, mutta ennen ohjelmistokehityksen aloitusta asiakasvaatimukset kartoitetaan ja ohjelmiston hyväksyttävyys määritellään. Hyväksymistestitapaukset kirjoitetaan testausvetoisen kehityksen mukaisesti ennen toteutusta ja ohjelmistokehitys itsessään noudattaa iteratiivisesti testausvetoista kehitystä, vaikkakin hyväksymistestaus on perinteisesti vaatinut lähes valmista järjestelmää. Asiakasvaatimukset määritetään usein käyttötapauksien muodossa ja hieman testialustasta riippuen ne voidaan kirjottaa suoraan testitapauksien muotoon. Hyväksymistestausvetoisessa kehityksessä ohjelmistokehitystä ohjaavat asiakasvaatimukset ja loppukäyttäjien tarpeiden toteutuminen, jotka ovat hyvin usein toiminallisia vaatimuksia. Hyväksymistestausvetoisessa kehityksessä mitataan jatkuvasti käyttötapauksien muodossa validoitavien haluttujen ominaisuuksien toteutumista. Perusperiaate on kirjoittaa asiakasvaatimus tai käyttötapaus testitapauksen muotoon, toteuttaa testitapaus, ajaa testitapaus läpäisemättömänä, toteuttaa ominaisuus, ajaa testitapaus läpäisevänä, refaktoroida toteutus ja siirtyä takaisin seuraavaan käyttötapaukseen. Käyttötapaus koostuu rakenteellisesti usein tilanteesta, motivaatiosta ja halutusta lopputuloksesta. Esimerkki käyttötapauksesta voi olla: *käyttäjänä, haluan sisäänkirjautumisen jälkeen voida avata premium ominaisuudet tekemällä sovelluksensisäisen oston*.

Hyväksymistestausvetoisessa kehityksessä hyväksymistestit ovat hyödyllistä pilkkoa pieniin hallittaviin kokonaisuuksiin, jolloin voidaan iteratiivisesti toteuttaa valmiiksi tietyn testitapauksen mukainen ominaisuus, joka vastaa jotakin käyttötapausta tai loppukäyttäjän tarvetta. Hyväksymistestauksessa testitapaus voi olla esimerkiksi käyttäjän tietojen muuttumisen varmistaminen, kuten tason läpäiseminen pelisovelluksessa, joka muuttaa käyttäjän edistystä. Menetelmänä hyväksymistestausvetoisen kehityksen tarkoituksena on onnistua vastaamaan loppukäyttäjän tarpeisiin tehokkaasti ja hyvin ottamalla tarpeet huomioon jo ennen toteutuksen aloittamista. Menetelmän avulla myös luodaan ymmärrystä ohjelmistotuotteen valmiuden määritelmästä, kun eri sidosryhmän voidaan saada sen suhteen samalle aaltopituudelle. Hyväksymistestausvetoinen kehitys on lisäksi erit-

täin hyödyllistä, sillä jatkuva testaaminen antaa mahdollisuuden haluttujen ominaisuuksien toteutumisen validoimiselle menetelmän jokaisen iteraation koontiversiossa.

4.3 Web-sovelluksien erityispiirteet

Web-sovelluksilla on omia erityispiirteitä, jotka vaikuttavat testitapauksien laatimiseen. Nykypäivänä web-sovellukset ovat kasvaneet kompleksisuudessa ja front-end puolen toteutuksia tarkasteltaessa web-sovellukset usein muistuttavat jo perinteisiä dynaamisia työpöytäsovelluksia. Web-sovelluksia päivitetään usein tiheään tahtiin, jolloin niille on suuri tarve luoda testiautomaatiota, jota hyödyntäen voidaan varmistaa, että ne toimivat oikein muutoksien jälkeenkin.

Hyväksymistestauksen priorisoimisen osalta tärkeä web-sovelluksien erityispiirre liittyy käyttöliittymiin ja DOM-dokumenttiobjektimalliin. Dokumenttiobjektimallin avulla verkkoselaimet esittävät käyttöliittymän ja siinä näkyvän sisällön. Tämän lisäksi dokumenttiobjektimalli mahdollistaa käyttöliittymässä olevien elementtien valitsemisen, jota hyödynnetään vahvasti testitapauksien kirjoittamisessa.

Navigointi ja navigointiketjut ovat myös yksi web-sovelluksien erityispiirre. Historiallisesti verkkosivuilla navigointi tapahtuu niin sanottujen hyperlinkkien avulla, verkkosivujen itse ollessa hypertekstiä. Tämä historiallinen lähestymistapa on edelleen käytössä ja web-sovelluksissa on lähes poikkeuksetta useita hyperlinkkejä joiden avulla navigoiminen luo navigointiketjuja, joissa edelliseen sivuun tiedetään palata. Hyperlinkkien avulla tapahtuva navigointi ja navigointiketjut ovat sellainen erityispiirre, joka on hyvä tiedostaa myös hyväksymistestauksen testitapauksia rakentaessa.

Web-sovelluksien syötteet ja niiden yhteyteen liittyvä tietoturva ovat sellainen erityispiirre joka vaatii suurta huomiota. Web-sovelluksien syötteisiin on perinteisesti liittynyt paljon haavoittuvuuksia, kuten esimerkiksi XSS-hyökkäykset ja SQL-injektiot. Web-sovelluksien hyväksymistestauksen testitapauksiin on hyvä sisällyttää syötteisiin liittyvää testaamista, joissa tietoturva pidetään mielessä.

Erilaisia web-sovelluksen loppukäyttäjien asiakasympäristöjä on huikean paljon, joka kannustaa moniselaimellisen testauksen rakentamiseen. Näissä ympäristöissä on omat verkkoselaimensa, näyttöresoluutiot ja selainasetukset, jotka saavat saman web-sovelluksen toimimaan eri tavoilla eri ympäristöissä ja luovat siten usein jopa päänvaivaa ohjelmistokehittäjille. Etenkin web-käyttöliittymiin keskittyessä testitapauksiin on hyvä sisällyttää erilaisia näyttöresoluutioita, kuvankaappauksien ottamista ja selainasetuksista esimerkiksi JavaScript-ominaisuuksien estäminen.

Web-sovelluksien käyttöliittymien testaaminen ja yleisesti ottaen kaikenlaisien käyttöliittymien testaaminen on perinteisesti tapahtunut manuaalisesti. Nykyään web-sovelluksia voidaan testata niin sanotun päätteettömän testauksen keinoin. Web-sovelluksien päätteettömässä testauksessa verkkoselaimen, näyttöresoluution ja selainasetuksien muodostama asiakasympäristö rakennetaan virtualisoinnin avulla. Virtualisoinnista vastaa jo-

ko verkkoselaimet itse tai voidaan käyttää käyttöjärjestelmätasolla näyttöpalvelimen protokollan toteuttavaa virtualisointiratkaisua. Virtualisoitu asiakasympäristö rakennetaan siten, että se päätteettömänä vastaa täysin päätteellistä vaihtoehtoa ja siitä voidaan ottaa esimerkiksi kuvankaappauksia, vaikka mitään ihmisen aistittavaa ei olisikaan näkyvillä.

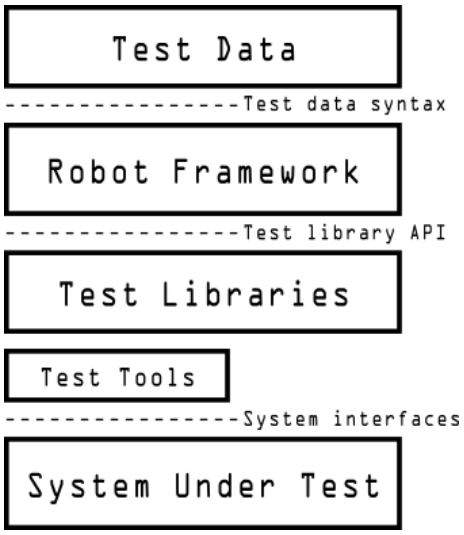
4.4 Hyväksymistestauksen työkaluja

Tässä kappaleessa esitetään diplomityötä tehdessä käytettyjä ja osin myös varsin yleisiä testiautomaation mahdollistavia työkaluja, kukin omassa alakappaleessaan. Ensin esitetään hyväksymistestauksen automatisoimisen kannalta kaikista tärkeimmät työkalut, eli testialustana käytettävä Robot Framework ja web-sovelluksien kanssa vuorovaikuttamisen automatisoimisen mahdollistava Selenium-kirjasto. Lisäksi esitetään kolme muuta tärkeää työkalua, joiden avulla voidaan rakentaa kokonainen ohjelmistotuotannon prosessiin integroitavissa oleva hyväksymistestausjärjestelmä. Toteutuksessa GoCD vastaa jatkuvan integroinnin tarjoamisesta, Xvfb vastaa päätteettömän testauksen tarjoamisesta ja Docker vastaa työkalujen virtualisoimisesta ja säiliöinnistä, jolloin työkaluista saadaan rakennettua yhtenäinen kokonaisuus. Tämän diplomityön tuloksena syntynyt hyväksymistestausjärjestelmä koostuu samoista työkaluista kuin seuraavissa kappaleissa on esitetty.

4.4.1 Robot Framework

Robot Framework on geneerinen avoimen lähdekoodin testialusta hyväksymistestaukseen, hyväksymistestausvetoiseen kehitykseen ja robottisten prosessien automaatioon [3]. Robot Framework:in avainsanaperustainen syntaksi on helposti ymmärrettävä, luettava ja selkeä. Testialustan etuna on helppo lähestyttävyys, eikä sen päälle rakennettujen testitapauksien ymmärtäminen vaadi ohjelmointikielien ymmärtämistä. Robot Framework on Python-perustainen testialusta ja se on helppo asentaa, sitä on helppo ymmärtää, sillä on kattava dokumentaatio ja se on helppoa ottaa käyttöön.

Robot Framework:issa on sisäänrakennettu tuki ulkoisille kirjastoille ja sen kattavasta dokumentaatiosta löytyy tietoa omien avainsanojen ja omien kirjastojen tekemiseen. Lisäksi Robot Framework on todella suosittu, joka näkyy muun muassa siitä, että sisäänrakennettujen ominaisuuksien lisäksi ulkoisia kolmansien osapuolien kirjastoja löytyy alustalle paljon. Robot Framework tukee muuttujien käyttöä testitapauksien rakentamisessa, joilla voi hieman lisätä kompleksisuutta ja logiikkaa omiin testitapauksiin. Robot Framework:ista löytyy myös tuki dataperustaisien testitapauksien rakentamiseen, joille annetaan eri syötteitä sisältävää testidataa. Testitapauksia voi myös ryhmitellä testikokoelmiin käyttämällä tägejä testitapauksien sisällä.



Kuva 4.2. *Robot Framework alustan arkkitehtuuri*

Robot Framework:illä rakennettuja testitapauksia voidaan ajaa komentoriviltä robot-komennolla. Testitapauksien ajaminen tulostaa komentoriville yksinkertaisen raportin testitapauksen onnistumisesta ja lisäksi tallettaa varsin yksityiskohtaisen ja selkeän testitaportin ajetuille testitapauksille. Testiraportit ovat erittäin hyvin tehtyjä ja html-pohjaisia, joka tarkoittaa, että ne voidaan helposti integroida osaksi jatkuvan integraation koontiputkia.

Yhtenä heikkoutena Robot Framework:issa on tuen puuttuminen ohjelmistokieliä hyödyntävillä testialustoilla löytyville kontrollirakenteille, joita esiintyy esimerkiksi yksikkötestaukseen tarkoitetuissa testialustoilla. Robot Framework on selkeästi vain hyväksymistestauksen testitapauksien rakentamista varten tarkoitettu testialusta ja siinä se on erinomainen vaihtoehto testitapauksien rakentamiseen.

4.4.2 Selenium

Selenium on suosittu avoimen lähdekoodin Apache 2.0 lisensoitu työkalu ja kirjastokokoelma verkkoselainten automatisoimiseen. Ensisijaisesti se on tarkoitettu web-sovelluksien automatisoimiseen testaustarpeita varten. Erityisen hyvin Selenium soveltuu hyväksymistestauksen testiautomaation rakentamiseen, sillä sen avulla automatisoidaan websovelluksien käyttöliittymissä tehtäviä toimenpiteitä. Selenium on ThoughtWorks yhtiön kehittämä verkkoselainten automatisoimiseen tarkoitettu työkalujen ja kirjastojen kokoelma ja se on saatavilla Windows, Linux ja MacOS alustoille. Sama yhtiö on toteuttanut myös tässä diplomityössä myöhemmin esitettävän GoCD-ohjelmiston, jota voidaan käyttää jatkuvan integroimisen ja julkaiseminen rakentamiseen 4.4.5.

Selenium tuoteperheeseen kuuluvat Selenium WebDriver, Selenium IDE ja Selenium Grid komponentit. Selenium WebDriver on varsinainen web-sovelluksien automatisoimiseen käytettävä ohjelmisto, jota myös tässä diplomityössä Selenium tuotteista käytetään. Selenium IDE on kehitysympäristö ohjelmistokehittäjille ja testaajille, jota voidaan halutessaan käyttää testitapauksien rakentamiseen. Selenium Grid on järjestelmä, jonka

avulla voidaan Selenium pohjaisten testitapauksien suorittaminen skaalautuvasti hajauttaa useille eri etäkoneille. Tässä diplomityössä ei ole käytetty Selenium Grid -järjestelmää vaan testitapauksien suorittamiseen tarvittavat ohjelmistot on säiliöity Docker-työkalua käyttäen, joka mahdollistaa tarvittaessa skaalautuvuuden 4.4.4.

Selenium on todella tärkeä osa web-sovelluksien testiautomaation rakentamista, sillä se pohjimmiltaan mahdollistaa web-sovelluksien käyttöliittymien käsittelemisen automatisoidusti. Selenium-työkalua voidaan käyttää erityisesti hyväksymistestauksen testitapauksien automatisoimiseen suoraan Selenium IDE:n avulla nauhoittaen testitapauksia tai kirjoittaen ne Selenium-skriptauskielellä. Selenium on joustava työkalu ja se tarjoaa Selenium Client API -rajapinnan, jonka avulla sitä voidaan käyttää muistakin ohjelmointikielistä, kuten C#, JavaScript tai Python.

Tässä diplomityössä Selenium työkalua käytetään Robot Framework:in yhteyteen integroituna ulkoisena kirjastona. Robot Framework:ille on saatavilla SeleniumLibrary niminen kirjasto, josta löytyy Robot Framework:in syntaksin mukaisesti määritellyt avainsanat verkkoselainten ohjaamiseen Selenium-pohjaisesti.

4.4.3 Xvfb

Xvfb, eli X virtual framebuffer, on X-näyttöpalvelimen protokollan toteuttava virtuaalinen X-näyttöpalvelin. X-näyttöpalvelimen tehtävä on mahdollistaa graafisten ohjelmien toiminta käyttöjärjestelmän ytimen päällä, jossa X-palvelin ja X-asiakasohjelmat kommunikoivat keskenään sekä X-palvelin hoitaa ytimen kautta näytön ja syöttölaitteiden käsittelyn. Xvfb ei tulosta mitään näytölle, vaan kaikki näytölle normaalisti tulostuva graafisia käyttöliittymiä sisältävä sisältö on ajonaikaisessa tietokoneen muistissa. Xvfb toimii aivan kuten tavallinenkin X-näyttöpalvelin, eli vastaa X-ohjelmien pyyntöihin ja hoitaa niihin liittyvän tapahtumien ja virheiden käsittelyn.

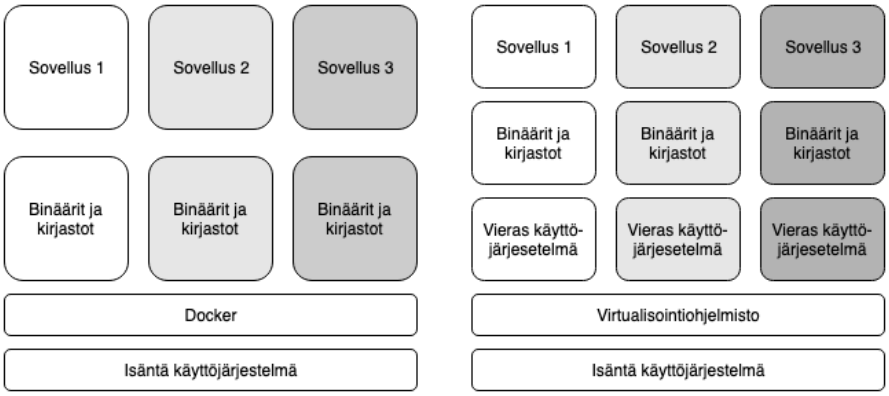
Xvfb soveltuu web-sovelluksien hyväksymistestauksen automatisointiin mahdollistaen päätteettömän testaamisen testitapauksille. Päätteetöntä testausta voidaan toteuttaa myös verkkoselaimiin rakennettujen ominaisuuksien avulla, mutta Xvfb:n suurena etuna niihin on se, että sitä voidaan käyttää mihin tahansa graafiseen ohjelmaan. Päätteettömän testauksen mahdollistaminen on erittäin tärkeää, sillä se mahdollistaa myös käyttöliittymätestauksen suorittamisen jatkuvan integroinnin palvelimilla, jossa ei graafista ympäristöä ajon aikana muuten olisi.

Yhtenä Xvfb:n heikkoutena on, että se on saatavilla vain UNIX-pohjaisiin käyttöjärjestelmiin, kuten Linux ja MacOS. Näin ollen esimerkiksi Windows-alustalla toimivaa Internet Explorer -selainta ei voida natiivisti testata.

Robot Framework:ille on saatavilla XvfbRobot niminen kirjasto, jota tämän diplomityön toteutuksessa käytettiin. XvfbRobot on kirjasto, josta löytyy Robot Framework:in syntaksin mukaisesti määritellyt avainsanat Xvfb-palvelimen kanssa kommunikoimiseen.

4.4.4 Docker

Docker on säiliöintityökalu, jonka avulla on mahdollista määrittää, rakentaa ja ajaa säiliöiden muotoon konfiguroituja sovelluksia. Docker muistuttaa virtuaalikoneita, mutta se on kevyempi ja optimaalisempi, sillä se jakaa käyttöjärjestelmän ytimen eri säiliöiden kesken ja virtualisoi vain sovellusympäristön jonka säiliön määrittävä konfiguraatio sisältää. Säiliöiden sisään voidaan paketoida kaikki kokonaisen sovelluksen tarvitsemat ohjelmistot, kirjastot, ympäristöt, riippuvuudet ja itse sovelluksen ohjelmakoodi. Rakentamalla säiliön ja käynnistämällä sen, voidaan sitä käyttää konfiguraatioltaan samanlaisena eri ympäristöissä joissa Docker-ohjelmisto on saatavilla.



Kuva 4.3. *Dockerin ja virtuaalikoneen eroavaisuus*

Dockerfile:n avulla voidaan luoda räätälöity säiliö, josta voidaan rakentaa yksi tai useampia instansseja. Räätälöidyn säiliön etuna on etenkin se, että sen avulla saadaan aikaan sovellus joka on periaatteessa alustariippumaton. Sovelluskehittäjät voivat käyttää samaa Docker-konfiguraatiota rakentaakseen identtisiä säiliöitä sovelluskehityksen ajaksi, tarviten vain Docker-ohjelmiston. Tämän lisäksi Docker mahdollistaa saman Docker-konfiguraation käyttämisen sovelluksen pystyttämiseen ja julkaisemiseen nopeasti, helposti sekä jopa kustannustehokkaasti eri paikkoihin. Docker-compose on tapa rakentaa Docker-verkko, joka koostuu palveluista jotka ovat joko valmiiksi tehtyjä Docker-kuvia tai itse Dockerfile:n avulla tehtyjä Docker-kuvia. Docker-verkkoon voidaan myös lisätä yhteisiä tietosäilöjä, joita verkkoon kuuluvat palvelut voivat yhteisesti hyödyntää. Yksittäisen säiliön konfiguraation sisältämä Dockerfile ja kokonaisen Docker-verkon konfiguraation sisältämä docker-compose -tiedosto kirjoitetaan yaml-kielellä.

Tässä diplomityössä Docker:ia käytettiin hyväksymistestauksen testitapauksien automatisoimiseen tarvittavien työkalujen säiliöinnissä. Olemassa olevaan Docker-verkkoon lisättiin hyväksymistestauksen testitapauksia varten tarkoitettu säiliö, joka hyödyntää Robot Framework:iä, Selenium:ia, Xvfb:ää ja sisältää muun muassa testauksessa tarvittavat verkkoselaimet. Docker:ia käyttämällä siis pystyttiin luomaan monistettava ja uniikki hyväksymistestauksen automatisointiympäristö, jota voidaan käyttää jatkuvan integraation yhteydessä testitapauksien suorittamiseen.

4.4.5 GoCD

GoCD on avoimen lähdekoodin Apache 2.0 lisensoitu jatkuvan integroinnin ja jatkuvan julkaisemisen mahdollistava palvelinohjelmisto. Ohjelmisto mahdollistaa koko koonti-testaus-julkaisu putkiryhmän tai vain sen osien automatisoimisen. GoCD-palvelinta mainostetaan soveltuvan hyvin erityisesti jatkuvan julkaisemisen rakentamiseen. GoCD on saman ThoughtWorks yhtiön kehittämä ohjelmisto, kuten aiemmin esitetty Selenium työkalukin 4.4.2.

Koonti-testaus-julkaisu putkiryhmän voi rakentaa GoCD-palvelimen graafisen käyttöliittymän kautta tai koodina käyttäen yaml tai json-syntaksia. Teknisesti GoCD-ohjelmisto koostuu itse palvelimesta ja agenteista, jotka voivat suorittaa palvelimen pyytämänä ennalta määritettyjä koonti-testaus-julkaisu putkiryhmän tehtäviä. Agentit ovat tarkoituksenmukaista sijoittaa eri järjestelmään kuin missä itse palvelin sijaitsee ja agenteille voi määrittää resurssiominaisuuksia, jotka kertovat palvelimelle mitä tehtäviä agenteilla voi teettää. GoCD-ohjelmiston terminologia on hieman tavallisesta poikkeavaa ja erilainen esimerkiksi todella suositun Jenkins-ohjelmiston vastaavista. GoCD-terminologiassa ylin käsite on putkiryhmä, jonka avulla yhteen kuuluvat putket voidaan järjestää samaan kokonaisuuteen. GoCD-terminologiassa yksittäinen putki vastaa esimerkiksi koontivaihetta tai testausvaihetta. Yksittäisen putken alaisuudessa on vaiheita, jotka antavat GoCD-palvelimen käyttöliittymässä tiedon vaiheen onnistumisesta. Vaiheet itsessään sisältävät vielä tehtäviä, jotka ovat yksittäisiä komentoja tai sellaisia suoritettavia tehtäviä, jotka agentit pystyvät käsittelemään. GoCD-ohjelmiston terminologiaan kuuluvat vielä vahvasti artefaktit, jotka ovat sellaisia tiedostoja mitä tehtävien suorittamisen yhteydessä syntyy ja jotka on merkitty säästettäväksi. Esimerkkejä artefakteista ovat ohjelman koontiversiot tai testiraportit.

Jatkuvan integraation yhteydessä tapahtuvan testiautomaation puolesta ei välttämättä ole suurta merkitystä mikä jatkuvan integraation mahdollistava palvelinohjelmisto on käytössä. Tämä havainto tuli esiin, kun tätä diplomityötä varten testiautomaatioon tarvittavat ohjelmistot säiliöitiin aiemmin esitetyllä Docker-työkalulla, jota voidaan yhden testausvaiheen tehtävän aikana kutsua komentorivipohjaisesti.

4.5 Testitapauksien rakentaminen

Testitapaus on testiautomaation näkökulmasta määritelty toimenpiteiden, ehtojen ja muuttujien joukko, joka suorittamalla voidaan verifioida jokin osa, ominaisuus tai toiminnallisuus ohjelmistosta. Testitapauksien rakentaminen on järkevää järjestää testikokoelmiksi, jotka tarkoittavan samaan kontekstiin kuuluvista testitapauksista muodostettua joukkoa. Tässä diplomityössä keskityttyyn hyväksymistestaukseen liittyen testitapaukset kirjoitetaan usein käyttötapauksien muodossa. Hyväksymistestauksen tapauksessa testitapauksien määrittäminen testiautomaatiota varten voidaan toteuttaa Robot Framework:illä ja apuna käyttää muita aiemmin mainittuja työkaluja 4.4. Lisäksi hyväksymistestauksen

priorisoimiseen painotetun verkon avulla on välttämätöntä suunnitella ja rakentaa testitapaukset näkymä ja siirtymäperusteisesti, koska menetelmä hyödyntää matemaattisia näkymä ja siirtymäperusteisesti laadittuja painotettuja verkkoja.

Testitapauksen perusformaatti koostuu lähtötilanteesta, laukaisijasta ja verifikaatiosta. Lähtötilanteessa oletetaan jotakin ja seuraavassa vaiheessa seurataan, kun jokin ehto tapahtuu, jonka jälkeen voidaan tarkistaa seuraus ja verifioida onko se oletuksen mukainen. Testitapauksien yleisiä tavoitteita ovat: yksinkertaisuus, läpinäkyvyys, käyttäjätietoisuus, epätoistuvuus, olettamattomuus, kattavuus, tunnistettavuus, jälkensä puhdistava, toistettava, syvyyttömyys ja atomisuus.

Robot Framework:in perustaja on kirjoittanut laajan ohjeistuksen siitä, miten Robot Framework:iä käyttäen luodaan hyviä testitapauksia [4]. Klärckin ohjeistuksen pohjalta on huomioitavaa erityisesti testikokoelmien, testitapauksien ja avainsanojen nimeäminen jonka kuuluisi olla selkeää, kuvaavaa ja ytimekästä. Dokumentaation määrää testitapauksissa tulisi rajoittaa, sillä hyvin kirjoitetut testitapaukset ovat Robot Framework:iä käyttäen selkeitä jo sellaisenaan. Dokumentaatiota kuuluisi lisätä lähinnä vain testikokoelmiin yleisellä tasolla. Testikokoelmat kuuluisi sisältää vain toisiinsa liittyviä testejä ja testitapauksien sekä avainsanojen tulisi olla sellaisinaan selkeästi ymmärrettäviä. Muuttujien käytöllä suositellaan kapseloimaan pitkiä ja kompleksisia arvoja, mutta arvojen syöttäminen ja palauttaminen muuttujia hyödyntäen tulisi pitää pois testitapauksien tasolta.

4.6 Priorisointiongelma

Testitapauksien priorisointi on kustannussyistä tai resurssien optimoinnin kannalta erittäin tärkeää. Ohjelmistotestauksessa on myös hyvä tiedostaa, että ohjelmistotuotetta ei usein voida testata täydellisesti, joka nostaa esiin tarpeen tärkeimpien testitapauksien priorisoimisesta. Priorisoinnin toteuttamisen tärkeys korostuu erityisesti silloin kun kohdejärjestelmä on kompleksinen ja toiminnallisia ominaisuuksia on paljon. Priorisointi vaatii kuitenkin priorisointimenetelmästä riippumatta ylimääräistä työtä ohjelmistokehittäjiltä ja testaajilta.

Priorisointiongelmaa voidaan ajatella sen laiminlyömisestä seuraavien haittojen näkökulmasta. Ilman testitapauksien priorisointia voi esiintyä muun muassa seuraavia haittoja. Prioriteettien puuttumisen seurauksena tärkeät ongelmat voidaan havaita vasta liian myöhään. Testitapauksia ei voida järjestää prioriteettien mukaan suoritettaviksi. Prioriteettijärjestyksen puuttumisesta johtuen epäoleellisten testitapauksien mukaan katkeava testaus voi piilottaa oleellisia testitapauksia. Tämän lisäksi myös prioriteettien puolesta epäoleellisetkin testitapaukset toteutetaan. Epäoleellisten testitapauksien toteuttaminen puolestaan kuluttaa resursseja ja lisää kustannuksia. Ajan myötä ohjelmistot ja niiden testaukseen toteutetut testitapaukset muuttuvat ja vanhenevat. Prioriteettien puuttuminen poistaa mahdollisuuden varautua oleellisten testitapauksien huolellisempaan ja aikaa kestävään suunnitteluun. Lisäksi testikattavuutta ei voida optimoida vähentämällä täysin epäoleellisia testitapauksia, jos niitä varten ei ole tehty priorisointia ennen toteutusta.

Priorisointiongelman ratkaisemiseen on olemassa useita erilaisia lähestymistapoja ja menetelmiä, kuten esimerkiksi heuristinen priorisointi tai MoSCoW-menetelmä. Tässä diplomityössä esitetään ja käytetään priorisointiin kuitenkin vain matemaattista painotettuihin verkkoihin perustuvaa lähestymistapaa, joka on uudenlainen tämän diplomityön tuotteena kehittynyt matemaattinen menetelmä priorisointiongelman ratkaisemiseen.

5 PRIORISOINTI PAINOTETUN VERKON AVULLA

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tärkein sisältö ja kokonaisuutena vastaus tutkimuskysymykseen *T1*, eli esitetään ratkaisuna toistettavissa oleva menetelmä testitapauksien priorisoimiseen. Priorisointiin vaikuttavat muuttujat luvussa 5.3 esitetään myös suora vastaus tutkimuskysymykseen *T2*. Lisäksi painofunktiot 5.4 ja verkon karsiminen 5.6 esittää vastaukset tutkimuskysymykseen *T3*. Verkon ja testitapauksien yhteys 5.8 antaa vastaukset myös tutkimuskysymyksiin *T3* ja *T4*.

Tässä luvussa käsitellään ensin työhön keskeisesti kuuluvan verkkoteorian perusteita ja käydään huolellisesti läpi niistä tässä työssä käytettävät osat. Työssä sovelletaan erityisesti verkkoteorian painotettua verkkoa sekä verkkoteoriassa esiintyvän lyhimmän polun ongelmaan kehitettyä Dijkstran algoritmia. Verkkoteoria itsessään on osa diskeettiä matematiikkaa.

Verkkoteorian jälkeen tässä luvussa esitetään vaiheittain työn tuloksena kehitetty priorisointimenetelmä. Priorisointia varten esitetään harkintaa käyttäen valitut priorisointiin vaikuttavat muuttujat, niitä käyttävät painofunktiot, verkon rakentaminen ja karsiminen sekä verkon ja testitapauksien yhteys. Lisäksi käydään läpi miten menetelmää käyttäen tuotetun painotetun verkon sisältämää informaatiota voidaan hyödyntää prioriteeteiltaan tärkeimmän polun löytämiseen 5.7.

5.1 Matemaattisten verkkojen tarkoitus

Matemaattisten verkkojen tarkoituksena on mallintaan parittaisia riippuvuuksia verkkomaisessa objektijoukossa. Verkkoteoriassa peruskäsitteitä ovat itse *verkko* eli *graafi*, joka muodostuu *solmuista* ja niiden välisiä riippuvuuksia esittävistä *kaarista* tai *nuolista*. Verkkoteorialla on lukuisia käytännön sovellutuksia. Verkkoteoriaa sovelletaan muun muassa tietokonetieteissä, kielitieteissä, fysiikan ja kemian sovellutuksissa, sosiaalisissa tieteissä ja biologiassa. Alun perin verkkoteoria katsotaan syntyneen 1700-luvulla esiintyneestä niin sanotusta Königsbergin siltaongelmasta, johon Leonhard Euler esitti todistuksensa.

Matemaattisten verkkojen käyttöön päädyttiin tässä työssä siksi, että niiden avulla on hyväksymistestauksen kohteena oleva käyttöliittymä mahdollistaa mallintaa verkoksi. Käyttöliittymän verkkomuotoiseen esitykseen voidaan vielä lisätä painot, jotka tässä tapauksessa kuvaavat prioriteetteja, mahdollistaen testikokoelmien priorisoinnin.

5.2 Perusmerkinnät ja käsitteet

Verkkoteoriassa käytetään seuraavia perusmerkintöjä:

- $V := \{v_1, v_2, v_3\}$ Solmujoukko joka sisältää *solmut* v_1, v_2 ja v_3.
- $E := \{e_1, e_2, e_3\}$ Kaarijoukko joka sisältää *kaaret* e_1, e_2 ja e_3.
- $\phi(e_1) := \langle v_1, v_2 \rangle$ Kaariparin v_1 ja v_2 yhdistävän *kaaren* e_1 kuvaaja.

Verkkojen solmujen välisiä yhteyksiä, eli kaaria esitetään usein myös yhteys- tai painomatriisina:

$$M_G = \begin{array}{c} G \\ v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} v_1 & v_2 & v_3 \end{array} \\ \begin{pmatrix} \infty & 1 & 2 \\ 1 & \infty & 0 \\ 2 & 0 & \infty \end{pmatrix} \end{array}$$

Verkkoteoriassa käytetään myös muun muassa seuraavia käsitteitä:

- Solmun asteluku, $d_G(x)$, eli solmuun liittyvien *kaarten* määrä.
- Aliverkko, $G_2 \subset G_1$, eli *verkko* G_2 joka koostuu osasta *verkon* G_1 *solmuja* ja *kaaria*.
- Verkon komplementti, G', eli sellainen *verkko*, jossa on kaikki ne *kaaret* joita *verkossa* G ei esiinny.
- Verkon yhtenäisyys, $v_1 \neq v_2, v_1 \rightarrow v_2$, eli jokaiselle solmuparille $v_1 \neq v_2$ on olemassa niitä yhdistävä *kaari*.
- Polku, $P = \{v_0, v_1, ..., v_n\}, v_0 \rightarrow v_n$, eli *suunnattu solmujono* jota pitkin voidaan kulkea *solmusta* v_0 *solmuun* v_n.
- Sykli, $P = \{v_0, v_1, ..., v_n | e \in E_P, e \notin \{E_P \setminus \{e\}\}\}$ eli *polku*, jonka aloitus v_0 ja lopetussolmu v_n on sama, mutta polun jokaista kaarta e kuljetaan vain kerran.
- Eristetty solmu, $d_G(v_1) = 0$, eli *solmu* jonka *asteluku* on nolla.
- Silta, $v_1 \rightarrow v_2, d_G(v_1) = 1 \vee d_G(v_2) = 1$, eli *kaari* johon yhdistyvän *solmun asteluku* on yksi ja jonka poistaminen epäyhteinäistää *verkon*.
- Silmukka, $v_x \rightarrow v_x$, eli *kaari* jonka *aloitussolmut* ja *lopetussolmu* ovat sama *solmu*.
- Nuoli, $\rightarrow$, eli *suunnatussa verkossa* esiintyvä *suunnattu kaari*.
- Painofunktion yleinen kuvaus $\alpha := V(G), E(G) \rightarrow \mathbb{N}$ verkossa G, solmuille V ja kaarille E.
- Lyhimmän polun ongelma $d_G^{\alpha}(v_1, v_2) = min\{\alpha(P) | P : v_1 \rightarrow v_2 | v_1, v_2 \in V(G)\}$.

5.3 Priorisointiin vaikuttavat muuttujat

Näkymä- ja siirtymäperustaiseen priorisointiin vaikuttavat monet eri asiat, joista osa kasvattaa prioriteettia ja osa laskee sitä. Prioriteettia kasvattava muuttuja on esimerkiksi liike-

toiminnallinen arvo ja laskeva muuttuja on esimerkiksi projektin muutosherkkyys. Muuttujat ovat kuitenkin hyvin kontekstiriippuvaisia, joten yleispätevää ja kaikkiin tilanteisiin soveltuvaa listaa muuttujista on hankala antaa. Kontekstiriippuvaisuuden takia muuttujiin ja myöhemmin esitettäviin painofunktioihin on varattu paikka omille lisämuuttujille.

Tässä diplomityössä esiteltävää priorisointimenetelmää varten jokainen priorisointiin vaikuttava muuttuja arvioidaan asteikolla 1-10, paria poikkeusta lukuun ottamatta. Numeerisella asteikolla on tarkoitus antaa korkea numero, jos muuttuja on prioriteetiltaan tärkeä kyseisen näkymän, eli verkon solmun kohdalla. Jos jokin muuttuja ei ole kelpoinen siinä kontekstissa, jossa menetelmää yritetään hyödyntää, tulee muuttujan arvo asettaa nollaksi, jolloin se sivuutetaan painofunktiossa 5.4.

Poikkeukselliset muuttujat ovat käyttötapauksien määrä ja siirtymien määrä, joissa numeerisen asteikon sijaan käytetään kyseisten muuttujien määrää suhteessa koko verkkoon. Esimerkiksi siirtymien määrää ilmaiseva suhde määritetään laskemalla solmun asteluku $d_G(v)$, eli solmuun liittyneiden kaarien määrä, jaettuna kaikilla verkossa olevien kaarien määrällä. Lisäksi siirtymien määrän suhde vielä kerrotaan luvulla 10, jotta se saadaan skaalautumaan muiden muuttujien kanssa samalle tasolle.

Taulukko 5.1. *Priorisointiin vaikuttavat muuttujat*

m	**Muuttuja**	**Etumerkki**	**Asteikko**
1	Liiketoiminnallinen arvo	$+$	1 - 10
2	Liiketoiminnallinen visio	$+$	1 - 10
3	Negatiivinen käyttäjäpalaute	$+$	1 - 5
4	Käyttötapauksien määrä	$+$	10 · suhde
5	Siirtymien määrä	$+$	10 · suhde
6	Positiivinen käyttäjäpalaute	$-$	1 - 5
7	Muutosherkkyys	$-$	1 - 10
8	Toteuttamisen kompleksisuus	$-$	1 - 5
9	Toteutuksen virheherkkyys	$-$	1 - 5
10	Omat lisämuuttujat	$\pm$	1 - 10

5.4 Painofunktiot priorisointiin

Painofunktioiden määrittäminen on tärkeä osa painotetun verkon avulla priorisointia, sillä niiden avulla määritetään verkon solmujen ja kaarien prioriteetit. Tavanomaisesti numeerinen prioriteetti usein mielletään olevan korkea, jos priorisoitu muuttuja on tärkeä. Painotettujen verkkojen tapauksessa on kuitenkin järkevää vaihtaa numeerisen prioriteetin suuntaa, jotta painotettuun verkoon sovellettavat lyhimmän polun algoritmit toimisivat etsien prioriteetiltaan tärkeitä polkuja. Ennen prioriteetin suunnanvaihtoa, voidaan koko-

naisprioriteetti p yksittäiselle solmulle v, eli näkymälle määrittää seuraavasti.

$$p(v) = \sum_{i=1}^{5} m_i - \sum_{j=6}^{9} m_j \pm m_{10}$$

Prioriteetin suunnan vaihtamiseksi suuresta pieneen, säilyttäen kuitenkin prioriteetin sisältämän informaation, voi hoitaa käänteislukujen avulla. Ennen käänteisluvuksi muuttamista, prioriteettiin vaikuttavien muuttujien yhteenlaskettu summa voi olla ongelmallisesti negatiivinen tai nolla. Negatiiviset arvot eivät ole painotetun verkon kannalta erityisen järkeviä, sillä tässä diplomityössä hyödynnettävää Dijkstran algoritmia ei voida käyttää negatiivisien painojen kanssa. Dijkstran algoritmin toiminta nollan tapauksessa voi myös kuulostaa epäilyttävältä, kuten esimerkiksi tilanne, jossa painotetun verkon kaikki painot olisivat nollia. Dijkstran algoritmin tapauksessa tällainen verkko on kuitenkin sallittu, koska silloin lyhimmän polun ratkaisu on verkon kaikki solmut. Lyhimmän polun ongelman erityisvaatimusten lisäksi käänteislukua varten nolla on huono arvo siinä mielessä, että sille ei ole olemassa lainkaan käänteislukua. Tämä johtuu siitä, että jos nollalle yrittäisi etsiä käänteislukua, tulisi eteen nollalla jakaminen jota ei voi tehdä. Nämä molemmat ongelmatapaukset voidaan kuitenkin painofunktiossa ratkaista siten, että käänteisfunktiota ei etsitä, vaan korvataan painofunktion tulos yhdellä.

Painofunktio yksittäiselle solmulle v, eli näkymälle saadaan solmun kokonaisprioriteetin $p(v)$ käänteislukuna.

$$\alpha(v) = \begin{cases} p^{-1}(v) & p(v) > 0 \\ 1 & p(v) \leq 0 \end{cases}$$

Painofunktio yksittäiselle solmut v_x ja v_y yhdistävälle kaarelle e_{xy}, eli siirtymälle saadan myös käänteislukuna. Kaaren painofunktiota varten pitää kuitenkin huomioida, että sen kokonaisprioriteetti on kaaren solmujen kokonaisprioriteetin summa $p(v_x)+p(v_y)$. Kaaren kokonaisprioriteetti $p(v_1) + p(v_2)$ pitää laskea ennen käänteisluvuksi muuttamista.

$$\beta(e_{xy}) = \begin{cases} (p(v_x) + p(v_y))^{-1} & p(v_x) + p(v_y) > 0 \\ 1 & p(v_x) + p(v_y) \leq 0 \end{cases}$$

5.5 Verkon rakentaminen

Tässä diplomityössä on aiemmin moneen otteeseen kerrottu näkymä ja siirtymäperusteisesta testiautomaation toteuttamisesta ja priorisoinnista. Painotetun verkon rakentamista varten tulee tarvittavat näkymät ja niiden väliset siirtymät muodostaa testauskohteen käyttöliittymästä. Web-sovelluksen käyttöliittymän näkymiä ovat muun muassa sivut, sivujen sisältämät säiliö-elementit ja dialogit. Siirtymät ovat sivujen välisiä linkkejä tai jotakin sellaista toiminnallisuutta, joka muuttaa nykyisen näkymän tai osan siitä toiseksi

näkymäksi.

Seuraavassa taulukossa on esitetty kuvitteellisen web-sovelluksen mukainen näkymien ja siirtymien mukaan laadittu esimerkki 5.2. Taulukossa esitetään näkymät kirjautumisnäkymästä ohjenäkymään ja jokaisen näkymän siirtymät eli yhteydet toisiin näkymiin. Näkymät ja siirtymät luovat matemaattisen verkon laatimisen perusedellytykset, eli datan jonka avulla myöhemmin esitettävä painomatriisi voidaan laatia. Taulukossa on lisäksi esitetty jokainen näkymään liittyvä ja priorisointiin vaikuttava muuttuja. Priorisointiin vaikuttavien muuttujien arvot on laadittu subjektiivisesti kuvitteellisen esimerkin muodossa. Priorisointiin vaikuttavien muuttujien yhteen laskettu prioriteetti yksittäiselle näkymälle on laskettu taulukkoon valmiiksi käyttäen aiemmin esitettyä prioriteettifunktiota $p(n)$, jossa n tarkoittaa sitä näkymää jolle prioriteetti lasketaan.

Taulukko 5.2. *Esimerkkiverkon näkymät, siirtymät ja priorisointimuuttujat*

n	**Näkymä**	**Siirtymät**	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	m_9	$p(n)$
A	Kirjautuminen	B	10	10	0	2	1	0	5	5	5	8
B	Pelivalikko	A, C, D, G	8	10	1	2	4	4	5	5	5	6
C	Asetukset	A, B	4	6	5	2	2	2	5	5	5	2
D	Peli	B, E, G	10	10	4	2	3	4	4	5	5	11
E	Tulokset	B, D, F	6	8	0	2	3	5	5	4	5	2
F	Onnittelu	B, E	1	8	0	0	2	2	5	2	5	-3
G	Ohje	B, D	1	10	2	0	2	0	8	0	0	7

- <TODO: Kirjoita teksti esimerkkille painomatriisista, jota käytetään priorisoinnin syötteenä>

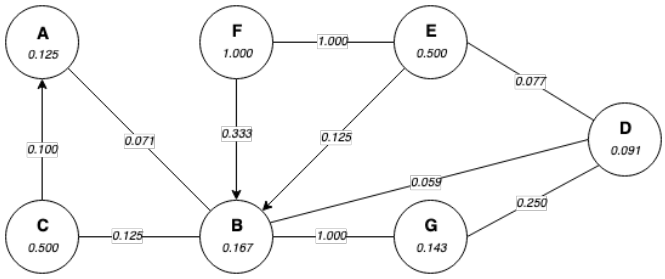
Painomatriisin painot on laskettu käyttäen aiemmin esitettyjä painofunktioita α ja β.

$$\beta(e_{AB}) = (p(v_A) + p(v_B))^{-1} = (8+6)^{-1} = \frac{1}{14} \approx 0.071$$

$$M_G \approx \begin{array}{c} G \\ v_A \\ v_B \\ v_C \\ v_D \\ v_E \\ v_F \\ v_G \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccccccc} v_A & v_B & v_C & v_D & v_E & v_F & v_G \end{array} \\ \begin{pmatrix} \infty & 0.071 & 0.100 & 0.053 & 0.100 & 0.200 & 0.067 \\ 0.071 & \infty & 0.125 & 0.059 & 0.125 & 0.333 & 1.000 \\ 0.100 & 0.125 & \infty & 0.077 & 0.250 & 1.000 & 0.111 \\ 0.053 & 0.059 & 0.077 & \infty & 0.077 & 0.125 & 0.250 \\ 0.100 & 0.125 & 0.250 & 0.077 & \infty & 1.000 & 0.111 \\ 0.200 & 0.333 & 1.000 & 0.125 & 1.000 & \infty & 0.250 \\ 0.067 & 1.000 & 0.111 & 0.250 & 0.111 & 0.250 & \infty \end{pmatrix} \end{array}$$

- <TODO: Kirjoita teksti esimerkille painotetusta verkosta, jota käytetään priorisoinnin syötteenä>

- <TODO: Kirjoita teksti, että painomatriisin lisäksi jokaiselle solmulle annetaan $\alpha(v)$ mukainen paino lopulliseen graafiin>



Kuva 5.1. *Esimerkki painotetusta verkosta ennen leikkauksia*

5.6 Verkon karsiminen

Painotetun verkon karsiminen eli leikkaaminen on prioriteeillä painotetun verkon tärkeä ominaisuus. Verkkoteorian soveltaminen prioriteettien avulla painotettuun verkkoon on erityisen hyödyllistä, kun verkon kaarissa alhainen paino tarkoittaa suurta prioriteettia. Verkon karsimista varten valitaan kattavuus, joka vastaa minimirajaa ja jonka jälkeen karsiminen lopetetaan. Kattavuus tarkoittaa myös testikattavuutta testikokoelmien näkökulmasta, sillä painotetussa verkossa jokainen solmu, eli näkymä vastaa näkymän mukaan kategorisoitua testikokoelmaa.

Verkkoon tehtäviä leikkauksia varten tarvitsee määrittää haluttu kattavuus $0 \leq c \leq 100$, joka on prosentuaalinen luku siitä kuinka suuri osa verkon solmuista eli näkymistä tai testikokoelmista täytyy verkkoon jäädä karsimisen jälkeenkin. Leikkauksien tekeminen ja toistaminen suoritetaan käyttäen seuraavia toimenpiteitä n-kertaa, niin kauan kunnes karsittu aliverkko on suurempi kuin kattavuuden mukaan laskettu osuus alkuperäisestä verkosta tai jos iteraatiokerralla ei enää löydy toimenpiteillä poistettavia solmuja.

$$|V(G_s)| > c \cdot \frac{|V(G)|}{100}, G_s \subset G$$

Tässä verkon karsimisen esimerkissä kattavuutena käytetään $c = 80$, joka tarkoittaa esimerkin solmujen määrän 7 karsimista $80 \cdot \frac{7}{100} = 5.6$, eli lukumäärään 5 asti.

1. Poistetaan verkosta löytyvä eristetty solmu, eli solmu jonka asteluku on nolla.

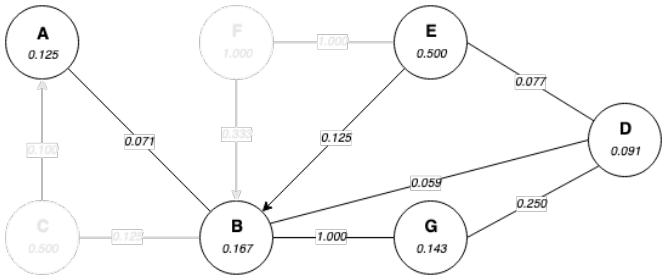
$$d_G(v) = 0$$

2. Poistetaan verkosta löytyvä sillattu solmu, eli solmu jonka asteluku on yksi ja paino on pienempi kuin solmujen painojen keskiarvo.

$$d_G(v) = 1 \wedge \alpha(v) > \frac{1}{|V(G)|} \cdot \sum_{v \in V(G)} \alpha(v)$$

3. Poistetaan verkosta sellainen alhaisimman prioriteetin solmu, jonka asteluku on pienempi kuin solmujen astelukujen keskiarvo ja paino on pienempi kuin solmujen painojen keskiarvo.

$$d_G(v) < max\{d_G(x)|x \in V(G)\} \wedge \alpha(v) > \frac{1}{|V(G)|} \cdot \sum_{v \in V(G)} \alpha(v)$$



Kuva 5.2. *Esimerkki painotetusta verkosta leikkauksien jälkeen*

5.7 Dijkstran algoritmin hyödyntäminen

Priorisointimenetelmän mukaan karsittuun painotettuun verkkoon on mahdollista soveltaa lyhimmän polun ongelman ratkaisemiseen kehitettyjä algoritmeja, jolloin ne toimivat etsien alhaisimman, eli korkeimman prioriteetin polkuja. Lyhimmän polun etsimiseen on tarkoituksenmukaista valita aina aloitus ja lopetuspisteet, joiden välille lyhin polku verkossa voidaan etsiä.

- <TODO: Kirjoita tämän kappaleen teksti paremmin>
- Valitaan $min\{\alpha(v_1)|v_1 \in V(G)\}$ ja $min\{\alpha(v_2)|v_2 \in V(G), v_1 \neq v_2\}$ sekä etsitään Dijkstran algoritmin avulla niiden välinen lyhin polku.
- Dijkstran algoritmi kahdelle painoltaan pienimmälle, eli prioriteetiltaan korkeimmalle antaa tuloksena v_1 ja v_2 solmuja yhdistävän polun, jonka sisältävät solmut eli näkymät ovat prioriteetiltaan tärkeimmät.

5.8 Verkon ja testitapauksien yhteys

Ennen testitapauksien suunnittelua tehtävä priorisointi kuvainnollistaa käyttöliittymän näkymiä, niiden osanäkymiä ja niiden välisiä siirtymiä. Tällaisesta painotetusta verkosta saadaan priorisoitua näkymät ja siirtymät, mutta lopulliset testitapauksien prioriteetit ovat testitapaukseen kuuluvien näkymien tai siirtymien prioriteetteja. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että kun näkymät ja siirtymät on priorisoitu, on esimerkiksi yhden yksittäisen tarkasteltavana olevan näkymän toiminnoilla sama keskenään prioriteetti.

6 TULOSTEN TARKASTELU JA ARVIOINTI

Tässä kappaleessa esitetään yhteenveto tutkimuksen tuloksista ja muun muassa pohditaan kuinka hyvin soveltuva ja toistettavissa oleva kyseinen kehitetty menetelmä on.

6.1 Tutkimuksen konkreettiset tulokset

- Web-käyttöliittymien hyväksymistestauksen automatisoimisen mahdollistava järjestelmä
- Näkymäperustainen painotettua verkkoa hyödyntävä toistettvissa oleva priorisointimenetelmä

6.2 Menetelmän evaluointi

- Priorisointimenetelmän toistettavuus
- Menetelmän avulla on mahdollista priorisoida näkymiä ja siirtymiä
- Dijkstran algoritmin avulla voidaan selvittää verkosta prioriteetiltaan korkein polku, eli näkymät joiden testikokoelmat tulisi suorittaa ensimmäisenä.
- Painotettu verkko voidaan piirtää, joka kasvattaa ymmärrystä järjestelmästä
- Testikattavuuden päättäminen näkymä- ja siirtymäperusteisesti voi olla haastavaa
- Ei välttämättä ainakaan muokkauksia tekemättä geneerinen menetelmä
- Menetelmän käyttö soveltuu testikokoelmien, ei testitapauksien, priorisointiin
- Menetelmän käyttö on tehokkainta kun testitapaukset kategorisoidaan näkymittäin testikokoelmiin
- Priorisointimenetelmän käyttö voi olla turhan aikaa vievää jos käyttöliittymä on yksinkertainen

6.3 Toteutuksen evaluointi

- Docker säiliönnin avulla tuki myös manuaaliselle testitapauksien ajamiselle
- Docker säiliönnin avulla sovelluskehittäjät saavat valmiin hyväksymistestausjärjestelmän helposti käyttöönsä
- Docker säiliöinnin takia toteutus ei ole sidottu CI palvelimeen

- Xvfb virtualisoinnin avulla voidaan uusia verkkoselaimia lisätä helposti
- Xvfb virtuallisoinnin avulla ei voida testata vain Windows ympäristöön saatavia GUI-ohjelmia
- Robot Framework takaa helpon luettavuuden kenelle tahansa, mutta ohjelmistokehittäjälle rajatun tuntuinen
- Hyvä skaalautuvuus, Docker-säilöitä on helppo rakentaa ja GoCD agentteja lisätä

6.4 Jatkokehitysehdotukset

- Xvfb:lle vastineen löytäminen Window ympäristöön
- Parempi priorisointi muuttamalla näkymäperusteisuus käyttötapausperustaiseksi
- Näkymägraafien visualisointi ja muu priorisointiohjelman jatkokehittely

7 YHTEENVETO

Tässä kappaleessa esitetään yhteenveto tehdystä työstä.

LÄHTEET

[1] ISO:9126-1. *ISO/IEC 9126-1:2001*. en. 2001. URL: http://www.iso.org/cms/render/live/en/sites/isoorg/contents/data/standard/02/27/22749.html.

[2] *ISTQB Glossary*. 2019. URL: https://glossary.istqb.org/en.

[3] *Robot Framework User Guide*. URL: https://robotframework.org/robotframework/3.1.2/RobotFrameworkUserGuide.html.

[4] Klärck, P. *How to write good test cases using Robot Framework*. 2019. URL: https://github.com/robotframework/HowToWriteGoodTestCases/blob/master/HowToWriteGoodTest
rst.

A ESIMERKKI TESTITAPAUKSESTA ROBOT FRAMEWORK:ILLÄ

```
1  *** Settings ***
2  Library     SeleniumLibrary
3  Library     XvfbRobot
4
5  *** Test Cases ***
6  Search TUNI from Google
7      Start Virtual Display    1920    1080
8      Open Browser    https://www.google.com/    firefox
9      Set Window Size    1920    1080
10     Input Text xpath://input[@title='search']    TUNI
11     Click Button xpath://input[@value='Google Search']
12     Capture Page Screenshot    firefox_1920_1080.png
13     [Teardown]    Close BROWSER
```

B DIJKSTRAN ALGORITMI PSEUDOKOODINA

```
1  function Dijkstra(Graph, source):
2    // Distance from source to source
3    dist[source]  := 0
4    // Initializations
5    for each vertex v in Graph:
6      if v != source
7        // Unknown distance function from source to v
8        dist[v]  := infinity
9        // Previous node in optimal path from source
10       previous[v]  := undefined
11     end if
12     // All nodes initially in Q
13     add v to Q
14   end for
15
16   // The main loop
17   while Q is not empty:
18     // Source node in first case
19     u := vertex in Q with min dist[u]
20     remove u from Q
21
22     // where v has not yet been removed from Q.
23     for each neighbor v of u:
24       alt := dist[u] + length(u, v)
25       // A shorter path to v has been found
26       if alt < dist[v]:
27         dist[v]  := alt
28         previous[v]  := u
29       end if
30     end for
31   end while
32   return dist[], previous[]
33 end function
```