

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, 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, test automation

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Tampereella, 31. joulukuuta 2019

Jukka Pajarinen

SISÄLLYSLUETTELO

1	Johdanto	1
2	Tutkimusasetelma	2
2.1	Tausta	2
2.2	Tutkimuskysymykset	3
2.3	Tutkimusmenetelmä	4
2.4	Tutkimuksen rajaus	5
2.5	Tavoitteet	6
3	Testiautomaatio	7
3.1	Testiautomaation tarkoitus	7
3.2	Testauksen tasot	8
3.2.1	Yksikkötestaus	9
3.2.2	Integraatiotestaus	9
3.2.3	Järjestelmätestaus	10
3.2.4	Hyväksymistestaus	11
3.3	Jatkuva integrointi	12
3.4	Testausvetoinen kehitys	13
4	Hyväksymistestaus	15
4.1	Hyväksymistestauksen tarkoitus	15
4.2	Hyväksymistestausvetoinen kehitys	15
4.3	Robot Framework	15
4.4	Testitapauksien määrittäminen	16
4.5	Web-käyttöliittymien erityispiirteet	16
4.6	Priorisointiongelma	16
5	Verkkoteoria	17
5.1	Matemaattisten verkkojen tarkoitus	17
5.2	Perusmerkinnät ja käsitteet	17
5.3	Painotettu verkko	18
5.4	Verkon leikkaaminen	18
5.5	Lyhimmän polun ongelma	18
6	Priorisointi painotetun verkon avulla	19
6.1	Priorisointiin vaikuttavat muuttujat	19
6.2	Painofunktiot priorisointiin	19
6.3	Verkon rakentaminen	20
6.4	Verkon karsiminen	20
6.4.1	Dijkstran algoritmin soveltaminen	20

6.4.2	Leikkauksien tekeminen	21
6.5	Verkon ja testitapauksien yhteys	21
6.6	Testitapauksien muodostaminen verkosta	21
7	Testauksen suunnittelu ja toteutus	22
7.1	Käyttöliittymän näkymät ja siirtymät	22
7.2	Painotetun verkon rakentaminen	22
7.3	Painotetun verkon käyttö priorisointiin	22
7.4	Sovelluskehikset ja työkalut	22
7.4.1	Docker	22
7.4.2	GoCD	22
7.4.3	Robot Framework	22
7.4.4	Selenium	22
7.5	Testitapauksien toteuttaminen	22
7.6	Testitapauksien suorittaminen	22
8	Tulosten tarkastelu ja arviointi	23
8.1	Tutkimuksen konkreettiset tulokset	23
8.2	Menetelmän evaluointi	23
8.3	Toteutuksen evaluointi	23
8.4	Jatkokehitysehdotukset	23
9	Yhteenveto	24
	Lähteet	25
	Liite A Esimerkkiliite	26

KUVALUETTELO

3.1	Testauksen tasot pyramidin muodossa	8
3.2	Jatkuvan integroinnin perusperiaate on iteratiivinen	12
3.3	Testausvetoisen kehityksen vaiheet	13
4.1	Robot framework alustan arkkitehtuuri	16

TAULUKKOLUETTELO

LYHENTEET JA MERKINNÄT

N	Luonnolisten lukujen joukko
A/B	A/B-testaus, kahta eri ohjelmarevisiota vertaileva testaus
ATDD	Hyväksymistestausvetoinen kehitys, englanniksi: acceptance test driven development
CI	Continuous Integration, eli jatkuva integrointi
e2e	End-to-end, eli päästä päähän testaus
UAT	User Acceptance Testing, eli käyttäjän hyväksyttämistestaus

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 taustaa, tutkimuskysymykset, käytetty tutkimusmenetelmä, tutkimuksen rajaus sekä tavoitteet. Tutkimuskysymykset liittyvät vahvasti yhteiseen priorisoinnin teemaan, johon tässä työssä erityisesti paneudutaan. Tutkimus on soveltavaa ja sen tarkoituksena on muodostaa selvitys tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Tässä työssä se tarkoittaa erityisesti matemaattisen, toistettavissa olevan menetelmän kehittämistä tutkimusongelman ratkaisemiseksi. Tutkimuskysymyksistä itsessään voi päätellä tutkimuksen tarkoitusta ja tavoitteita, mutta tämä esitetään myös yksityiskohtaisemmin tavoitteet luvussa 2.5. Lisäksi työn lopussa on myös toteutuksellinen osuus, joka on tehty diplomityön asiakasyrityksen tarpeita varten. Toteutuksellisessa osuudessa on paljon muutakin sisältöä, joka on varsinaisen priorisointiteeman ulkopuolella, mutta pysyy kuitenkin työn kokonaiskontekstissa.

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 toteutettuna päivittäisessä käytössä oleva hyväksymistestaus mobiilialustalle, joka auttoi hah-

mottamaan 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 sovelluskehysjä ja työkaluja 7.4 kuin mobiilisovellukselle. Tästä syystä diplomityön aihetta ja tutkimusongelmaa lähdettiin etsimään muualta.

Tutkimusongelmaan miettiin 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. Näistä kahdesta, tässä työssä sivutaan heuristiikkojen käyttämistä testitapauksien muodostamiseen luvussa 4.4, mutta sitä ei käsitellä tutkimusongelmana.

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 prioriteetin painotettuna verkkona. Toiseksi oivallukseksi keksittiin käyttää lyhimmän polun ongelmaan kehitettyjä algoritmeja prioriteetin painotetun verkon karsimiseen, jolloin alhaisen prioriteetin solmuja saatiin leikattua pois. 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 sitä hyödyntävän 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 ongelmanakohtana 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 diplomaatioissa yleisesti käytetty Design Science menetelmä. Menetelmän tarkoituksena on tuottaa teknologiaa hyödyntävä ratkaisu tutkimusongelmaan vastaamiseen. Design Science menetelmää käyttäessä 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.

Design Science menetelmän vaiheet ovat yksinkertaistettusti seuraavat:

1. Tutkimusongelman tai kysymyksen määrittäminen
2. Ratkaisuvaihtoehtojen kartoittaminen ja perusteltu valitseminen
3. Ratkaisun toteuttaminen tai prototyyppi
4. Ratkaisun toimivuuden evaluointi

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

Seuraavaksi kartoitettiin ratkaisuvaihtoehto tutkimuskysymyksiin ja työn yleiseen priorisoinnin teemaan vastaamiseksi ja esitetään perustelut matemaattiseen toistettavissa olevaan ratkaisumenetelmään päätymiseen. 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 ohjelmistotuotetta ja ohjelmistotuotantoprosessi huomioden toteutettiin myös kokonaisratkaisu jossa toteutettiin testiautomaatio hyödyntäen kehitettyä priorisoinnin ratkaisumenetelmää.

Lopuksi vielä evaluoitiin menetelmän eli ratkaisun ja sitä hyödyntävän toteutuksen toimivuus käytännössä 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 testitapauksia voidaan toteuttaa. Tässä työssä testitapauksien toteuttaminen rajataan tietylle ennalta määräytyneelle Robot Framework alustalle. Tämä rajaus pohjautuu asiakasyrityksessä jo aiemmin valittuihin testauksen sovelluskehyksiin ja työkaluihin. Lisäksi Robot Framework on alustana yleisesti käytetty etenkin hyväksymistestauksen toteuttamiseen. Robot Framework on myös erityisen hyvin soveltuva tilanteissa, joissa halutaan koodia 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 arvo on yksinomaan menetelmää käyttävän tahon päätettävissä.

Painotetun verkon lyhimmän polun etsimiseen on olemassa lukuisia määriä 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, joka tekee siitä ihanteellisen tässä työssä muodostettavaan painotettuun verkkoon tehtävien leikkauksien identifioimista ajatellen.

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 priorisoimiseen, 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 avulla tehtyä 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 pohditaan niiden merkitystä testiautomaatiossa. Lopuksi vielä esitetään tarvittavia jatkuvan integroinnin ja testausvetoisen kehityksen perusteita sekä pyritään luomaan lukijalle ymmärrystä siitä miten ne liittyvät niitä laajempaan testiautomaation käsitteeseen. Testiautomaation perusteiden ymmärtämistä tarvitaan varsinkin työn myöhemmässä vaiheessa, jossa esitetään testiautomaatioon liittyvien testitapauksien varsinainen priorisointi painotetun verkon avulla.

3.1 Testiautomaation tarkoitus

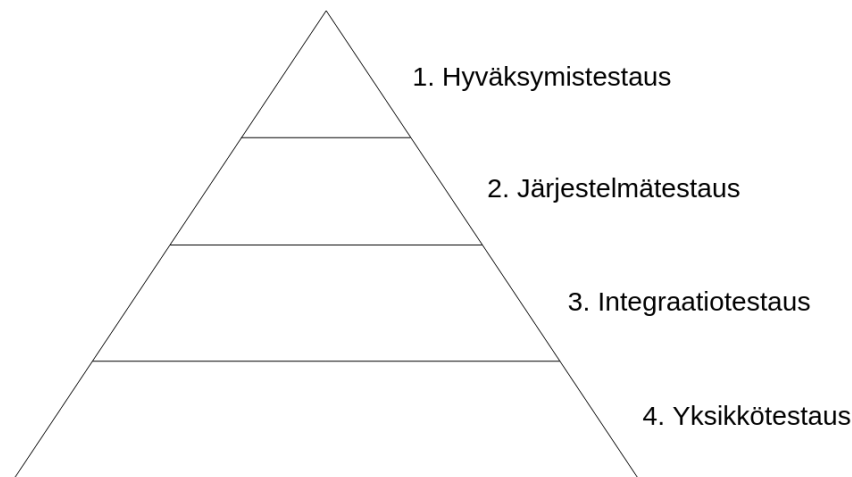
Testiautomaation tarkoitus on pohjimmiltaan mahdollistaa ohjelmistotuotteen jatkuva, tehokas ja vaivaton laadunvarmistus, nyt ja tulevaisuudessa. Testiautomaation vastakohtana voidaan ajatella manuaalista testausta, joka vaatii täydellistä ihmisen interaktiota testauksen suorittamiseen. Testiautomaatiossa käytetään erityisiä ohjelmistotyökaluja ennalta määritettyjen testitapauksien suorittamiseen, ihmisen tekemän manuaalisen testauksen sijaan. Ohjelmistojen testaamisella itsessään pyritään löytämään ohjelmistotuotteesta virheitä, anomalioita ja 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 (UAT).

Laadunvarmistuksen osalta ohjelmistokehityksessä on usein käytetty niin sanottuja laadullisia ominaisuuksia, joiden kattamisella voidaan validoida laatua. Laadullisia ominaisuuksia ovat ISO 9126-standardin mukaan: toiminnallisuus, luotettavuus, käytettävyys, tehokkuus, ylläpidettävyys ja siirrettävyys (ISO:9126-1 2001). Näistä laadullisista ominaisuuksista testiautomaatiolla pystytään kattamaan erityisesti toiminnallisia, luotettavuudellisia ja tehokkuudellisia ominaisuuksia. Käytettävyyden, ylläpidettävyyden ja siirrettävyyden validointi puolestaan on vaikeampaa testiautomaation avulla, sillä ne ovat varsin sub-

jektiivisia. Tässä diplomityössä testiautomaation yhteydessä keskitytään 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, harmaalaa-tikkotestaus ja valkolaatikkotestaus, jotka eroavat toisistaan yleisesti ottaen siinä, ote-taanko tieto ohjelmistotuotteen sisäisestä toteutuksesta mukaan itse testaamiseen. Tes-tauksen 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 valkolaatikkotes-tauksen alaisuuteen kuuluvat yksikkötestaus ja integraatiotestaus sekä mustalaatikkotes-tauksen alaisuuteen kuuluvat järjestelmätestaus ja hyväksyntätestaus. Pyramidimuodos-sa alimpana kuvataan aina yksikkötestaus, joka on tasoista atomisin ja myös luo vahvan pohjan kokonaisvaltaiselle testaamiselle. Noustessa pyramidissa ylöspäin, atomisuus hä-viää ja testattavana olevan kohteen laajuus sekä kompleksisuus kasvaa. Ylimpänä py-ramidissa on hyväksymistestaus, joka on tarkoituksellista toteuttaa vaatimusmäärittelyn täyttävää valmista järjestelmää vastaan siten, että sen varmistetaan vastaavan loppu-käyttäjän tarpeita. Monissa tapauksissa järjestelmätestauksen ja hyväksymistestauksen rajat saattavat olla epäselvät ja häilyvät. Tässä työssä hyväksymistestauksella tarkoitetaan käyttäjien hyväksyttämistestausta (UAT), jotta järjestelmätestauksen ja hyväksymis-testauksen väliset eroavaisuudet tulevat lukijalle selkeästi esille.

Hyväksymistestaus on tämän diplomityön keskiössä ja siihen liittyvää teoriaa esitetään vielä laajemmin hyväksymistestaus-luvussa 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 moduleita. Yksikkötestaus toteutetaan ohjelmiston toteuttavia pienimpiä yksiköjä 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 pienimmät yksiköt toimivat tarkoituksenmukaisella tavalla.

Yksikkötestauksen toteuttamiseen käytetään pääsääntöisesti jotakin tarkoitusta varten räätälöityä testikirjastoa, joissa on keskenään yleensä hyvin samankaltainen rakenne. Yksikkötestaukseen tarkoitetuissa testikirjastoissa löytyy usein yksittäisen testitapauksen kuvaava tietorakenne, esimerkiksi luokka, sekä siihen usein kuuluvat alustus- ja lopetus-funktiot (setUp ja tearDown). 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 3.4. Testausvetoisessa kehityksessä yksikkötestauksen osalta, ohjelmistokehittäjät laativat ensisijaisesti yksiköiden yksikkötestit ennen niiden toteuttamisen aloittamista. Ohjelmistotestauksen tasojen pyramidissa ja hyvin toteutetussa ohjelmistotestauksen monitasoisessa testauksessa tämä testauksen taso on usein 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 yhteentoimivuutta niiden rajapintojen osalta. Integraatiotestaus toteutetaan ohjelmiston suunnitelmaa ja mallia vastaan. Integraatiotestauksen onnistuminen luo validoitavan perustan ohjelmiston toimimiseen ja sen koostamiseen kokonaisuutena, eri kom-

ponenteista koostuvana järjestelmänä. Integraatiotestausta tarvitaan, jotta voidaan varmistaa sovelluksen yksiköiden yhteentoimivuus, joka ei pelkällä yksikkötestauksella tulisi muuten katetuksi.

Integraatiotestauksen kohteita voivat olla esimerkiksi luokkien ja modulien 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 merkittäväällä tavalla erilainen. Integraatiotestauksessa testitapauksien rakenteeseen tulee assert-funktioiden lisäksi myös tarvetta jäljitellä (englanniksi: mocking) rajapintojen tarjoamaa dataa. Rajapintojen datan jäljittelyyn 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 yhteentoimivuus. Integraatiotestaus on myös tärkeä osa testiautomaatiota, sillä sen avulla voidaan varmistaa sovelluksen yksiköiden, kuten esimerkiksi luokkien, komponenttien tai modulien yhteentoimivuus.

3.2.3 Järjestelmätestaus

Järjestelmätestauksen ajatuksena on testata kokonaista ja toimivaa järjestelmää, yhtenä suurena yksikkönä. Järjestelmätestaus toteutetaan usein eräänlaisena tulikokeena, erityisesti ohjelmiston vaatimuksia vastaan. 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 (ISO:9126-1 2001).

<TODO: kirjoita tämä kappale paremmin...>

Aiemmin testiautomaation tarkoitus kappaleessa 3.1 esitettiin, edellä mainituista laadullisista ominaisuuksista kaikki eivät sovellu hyvin testiautomaation avulla testattaviksi. Esi-tetyistä syistä johtuen, automatisoidulla järjestelmätestauksella voidaan testata edellä mainituista ominaisuuksista lähinnä ohjelmiston toiminnallisuutta, luotettavuutta ja tehokkuutta. Sen myötä testauksen tasona se 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 tietoturva. Tämä on tosin täysin riippuvainen vaatimusmäärittelystä, ja 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 muistuttavat kovasti toisiaan esimerkiksi edellä maini-

tulla tavalla.

Järjestelmätestaus, osittain hyväksymistestauksen kanssa on erittäin merkittävä osa testiautomaatiosta, sillä sen avulla voidaan varmistaa kokonaisen järjestelmän vaadittu toiminnallisuus.

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 ja loppukäyttäjistä sekä heidän tarpeista laadittuja käyttötapauksia vastaan. Samassa asiayhteydessä puhutaan usein myös niin sanotusta päästä päähän testauksesta (englanniksi: e2e, end-to-end). Päästä päähän testauksessa on tarkoituksena toteuttaa testaaminen siten, että polkuina ajateltuna, se sisältää kaiken siltä väliltä mitä loppukäyttäjä voi tarpeidensa saavuttamiseksi tehdä ja nähdä aloittaessaan ohjelmiston käytön ja lopettaessaan sen käytön. Testiautomaatio on erittäin hyödyllinen myös hyväksymistestauksen osalla, koska sillä voidaan automatisoida ohjelmiston validointi ja hyväksyminen, sekä estää puutteellisesti toimivan ohjelmiston julkaiseminen. Hyväksymistestausta tarvitaan myös, jotta voidaan testata ja validoida vaatimusten mukaisen ominaisuuksien toimivuus.

Edellisessä kappaleessa käytiin jo hieman läpi järjestelmätestauksen ja hyväksymistestauksen samankaltaisuutta. Tässä on asiaa toisinpäin tarkasteltuna, osittainen lista ohjelmistotuotannossa havaittavista järjestelmätestauksen ja hyväksymistestauksen eroista, järjestelmätestauksen näkökulmasta:

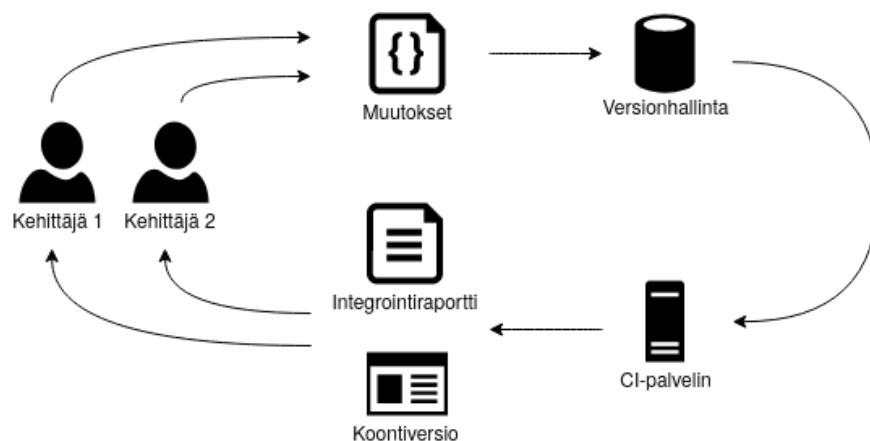
- Painoarvo vaatimusmäärittelyssä
- Ohjelmistokehittäjien ja testaajien lisäksi myös sidosryhmät ja asiakkaat
- Testaus on vain lähinnä toiminnallista
- Testauksen syötteet tulevat suoraan käyttäjältä
- Testaus keskittyy arvioimaan täyttääkö ohjelmisto käyttäjän tarpeet
- A/B testaamisen mahdollisuus
- Hyväksymistestaus tapahtuu järjestelmätestauksen jälkeen
- Virheet käsitellään epäonnistumisina

Hyväksymistestaus, osittain järjestelmätestauksen kanssa on äärimmäisen hyödyllinen osa testiautomaatiosta, sillä sen avulla voidaan varmistaa kokonaisen järjestelmän toiminnallisuus ja verifioida, että se vastaa vaatimusmäärittelyä. Hyväksymistestauksen rooli testiautomaatiossa ja erityisesti jatkuvan integraation yhteydessä on indikoida voidaanko järjestelmä sellaisenaan julkaista loppukäyttäjille.

3.3 Jatkuva integrointi

Testiautomaation rakentaminen manuaalisen testaamisen sijaan mahdollistaa sen liittämisen osaksi jatkuvaa integrointia. Lisäksi useissa yritysmaailman 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 ketteriin menetelmiin painottuvassa ohjelmistokehityksessä.

Jatkuvalla integroinnilla tarkoitetaan versiohallintaisessa ohjelmistokehityksessä väistämättömän integrointiprosessin muuntamista 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 versiohallintajärjestelmän ja varsinaisen jatkuvan integroinnin palvelimen.



Kuva 3.2. Jatkuvan integroinnin peruseriaate on iteratiivinen

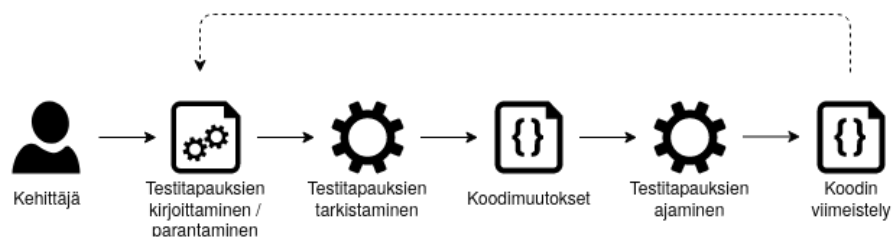
Esimerkkinä versiohallintajärjestelmänä voidaan käyttää nykyaikana suosittua git versiohallintaohjelmistoa ja jatkuvan integroinnin palvelimena esimerkiksi Jenkins ohjelmistoa. Perusideana jatkuvassa integraatiossa on konfiguroida jatkuvan integraation mahdollistava ohjelmisto siten, että se kuuntelee versiohallintaan tulevia muutoksia ja suorittaa integrointiprosessin jatkuvasti sellaisia huomattuaan. Versiohallintaan tulevat muutokset voidaan jatkuvan integraation osalta kuunnella ajastetusti tietyin väliajoin tai oikeasti

jatkuvasti 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. Jatkuva integroinnin mahdollistava konfiguraatio sisältää jonkinlaisen koontiputken tai koontiputkia, joissa rakennetaan koontiversio kehitettävän ohjelmiston lähdekoodista. Koontiputki voi sisältää esimerkiksi ohjelman lähdekoodien kääntämisen asiaan sopivalla kääntäjällä. Kääntämisen lisäksi koontiputkeen on tässä vaiheessa erittäin kannattavaa yhdistää testiautomaatiota, kuten esimerkiksi automaattiset yksikkötestit ennen kääntämistä ja hyväksymistestit kääntämisen jälkeen.

Jatkuvan integroinnin yhteydessä suoritettavat testikokoelmat ja niiden sisältävät testitapaukset ovat erittäin järkevää 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 esimerkiksi viikoittain, niin jatkuva integroiminen korjaa sen tuomat haasteet turhan laajasta integrointiprosessista ja mahdollisesta ohjelmistokoodin hajoamisesta. Tällaisissa tapauksissa ohjelmistokoodi voi sisältää epäyhteensopivia moduleita tai muita rajapintoja sekä mahdollisuuden käännettävien lähdekoodien kääntämisen onnistumisesta.

3.4 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 kehitetty 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 ajetaan 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. 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 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..

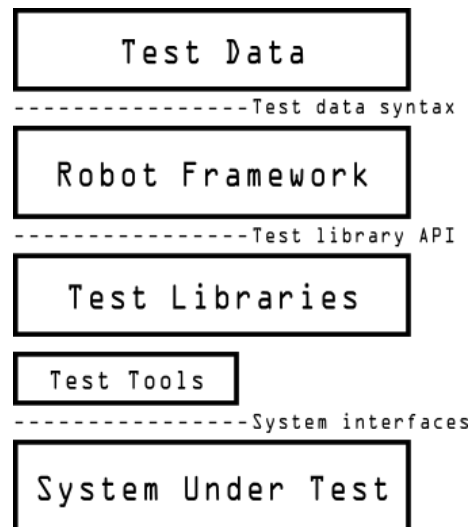
4.1 Hyväksymistestauksen tarkoitus

4.2 Hyväksymistestausvetoinen kehitys

Hyväksymistestausvetoinen kehityksen (englanniksi: ATDD, acceptance test driven development) tarkoituksena, kuten testausvetoisessakin kehityksessä on toteuttaa ohjelmistotuotannollinen prosessi testaaminen edellä. Tämä tarkoittaa käytännössä, sitä että ohjelmistokehittäjät laativat ohjelmiston vaatimusten ja suunnitelman mukaisia iteratiivisesti suoritettavia testitapauksia, ennen niitä käyttävän varsinaisen ohjelmakoodin toteuttamista. Hyväksymistestausvetoisessa kehityksessä luodaan ennen toteutusta tarvittavat ohjelmiston asiakasvaatimuksia palvelevat hyväksymistestit, joiden ohjelmiston on tarkoitus läpäistä. Tarvittavat ohjelmiston hyväksymistestit suoritetaan iteratiivisesti ohjelmistokehitysprosessin aikana, ja se tarkoittaa käytännössä jatkuvan integraation ottamista käyttöön ohjelmistokehityksessä. Hyväksymistestausvetoinen kehitys on erittäin hyödyllinen ohjelmistokehityksessä käytetty menetelmä, sillä kehitysvaiheessa on aina tarkasti tiedossa vastaako ohjelmiston silloinen tila asiakasvaatimuksia ja kuinka hyvin. Hyväksymistestausvetoisessa kehityksessä toteutettavat hyväksymistestit testaavat ohjelmistoa kokonaisuutena järjestelmänä tarkoituksen mukaisesti, siten kuten se esiintyy loppukäyttäjille.

4.3 Robot Framework

Robot framework on geneerinen avoimen lähdekoodin testausalusta hyväksymistestaukseen, hyväksymistestausvetoiseen kehitykseen ja robotisten prosessien automaatioon.



Kuva 4.1. Robot framework alustan arkkitehtuuri

4.4 Testitapauksien määrittäminen

Yleisiä testitapauksien määrittämiseen käytettäviä heuristiikkoja ovat muun muassa:

4.5 Web-käyttöliittymien erityispiirteet

Web-käyttöliittymillä on myös omia erityispiirteitä, jotka vaikuttavat testitapauksien laatimiseen.

- Navigointi
- Syötteet
- Syntaksi
- Selainasetukset
- Moniselaimellinen testaus
- Selenium

4.6 Priorisointiongelma

Testitapauksien priorisointi on kustannussyistä tai resurssien optimoinnin kannalta erittäin tärkeää. Ohjelmistotestauksessa on hyvä tiedostaa, että ohjelmistotuotetta ei usein voida testata täydellisesti, joka nostaa esiin tarpeen tärkeimpien testitapauksien löytämisestä. Testitapauksia voidaan priorisoida monella tavalla, joihin tämä diplomityö tuo yhden uudenlaisen painottua verkkoa hyödyntävän lähestymistavan.

- Painotetun verkon hyödyntäminen
- Muut priorisointitavat

5 VERKKOTEORIA

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

5.1 Matemaattisten verkkojen tarkoitus

Matemaattisten verkkojen tarkoituksena on mallintaa parittaisia riippuvuuksia verkko-
maisessa 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.

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 paino-
matriisina.

$$M_G = (a_{ij})_{3 \times 3} = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

Verkkoteoriassa käytetään myös muun muassa seuraavia käsitteitä:

- Solmun asteluku, $d_G(x)$, eli solmuun liittyvien *kaarten* määrä.
- Surkastunut verkko, $E = \emptyset$, eli verkko jossa ei ole *kaaria*.
- Täydellinen verkko, eli jokaista solmuparia $v_1 \neq v_2$ yhdistää ainakin yksi *kaari*.

- 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, $\{v_0, v_1, \dots, v_n\}, v_0 \rightarrow v_n$, eli *suunnattu solmujono* jota pitkin voidaan kulkea *solmusta* v_0 *solmuun* v_n .
- 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*.

5.3 Painotettu verkko

- $\alpha := V(G), E(G) \rightarrow \mathbb{N}$ Painofunktion yleinen kuvaus.

5.4 Verkon leikkaaminen

5.5 Lyhimmän polun ongelma

- $d_G^\alpha(v_1, v_2) = \min\{\alpha(P) \mid P : v_1 \rightarrow v_2 \mid v_1, v_2 \in V(G)\}$ Lyhimmän polun ongelma.
- Ongelman ratkaiseminen Dijkstran algoritmilla

6 PRIORISOINTI PAINOTETUN VERKON AVULLA

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen tärkein sisältö ja kokonaisuutena vastaus tutkimuskysymykseen *T1*, eli toistettavissa oleva menetelmä testitapauksien priorisoimiseen. Priorisointiin vaikuttavat muuttujat luvussa 6.1 esitetään myös suora vastaus tutkimuskysymykseen *T2*. Lisäksi painofunktiot 6.2 ja verkon karsiminen 6.4 esittää vastaukset tutkimuskysymykseen *T3*. Testitapauksien muodostaminen verkosta 6.6 antaa osittaisen vastauksen myös tutkimuskysymykseen *T4*.

Priorisointia varten esitetään harkintaa käyttäen lähdeaineistosta suodatetut priorisointiin vaikuttavat muuttujat, painofunktio, testitapauksien näkymäperusteinen koostaminen ja painotetun verkon laatiminen. Lisäksi menetelmää käyttäen tuotetun painotetun verkon sisältämää informaatiota käytetään prioriteeteiltaan tärkeiden polkujen löytämiseen ja testikattavuuden arviointiin.

6.1 Priorisointiin vaikuttavat muuttujat

- Liiketoiminnallinen arvo
- Liiketoiminnallinen visio
- Käyttäjäpalaute
- Riski
- Projektin muuttumisen volatiliteetti
- Kehittämisen kompleksisuus
- Vaatimusten taipumus virheellisyyteen

6.2 Painofunktiot priorisointiin

Painofunktion yleinen kuvaus verkossa G , solmuille V ja kaarille E .

$$\alpha := V(G), E(G) \rightarrow \mathbb{N}$$

Painofunktio yksittäiselle solmulle v , eli näkymälle.

$$\alpha(v) = value + vision \pm feedback - volatility - complexity - errorness$$

Painofunktio yksittäiselle kaarelle e , eli siirtymälle.

$$\beta(e) = \text{value} - \text{volatility} - \text{complexity} - \text{erroriness}$$

Painofunktion polulle P solmusta v_1 solmuun v_2 .

$$\gamma(P) = \sum_{v \in P} \alpha(v) + \sum_{e \in P} \beta(e)$$

6.3 Verkon rakentaminen

$$M_G = (a_{ij})_{3 \times 3} = \begin{matrix} & \begin{matrix} v_1 & v_2 & v_3 \end{matrix} \\ \begin{matrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}$$

6.4 Verkon karsiminen

Painotetun verkon karsiminen eli leikkaaminen on prioriteeilla painotetun verkon tärkeä ominaisuus. Verkkoteorian soveltaminen prioriteettien avulla painotettuun verkkoon on erityisen hyödyllistä, kun verkon kaarissa korkea paino tarkoittaa suurta prioriteettia. Tällaisessa tapauksessa on mahdollista soveltaa lyhimmän polun ongelman ratkaisemiseen kehitettyjä algoritmeja, jolloin ne toimivat etsien alhaisimman prioriteetin polkuja. Lyhimmän polun etsimiseen on tarkoituksenmukaista valita aina aloitus ja lopetuspisteet, joiden välille lyhin polku verkossa voidaan etsiä. Prioriteetin painotetun verkon karsimistarkoitukseen olisi järkevää valita sellaiset aloitus- ja lopetuspisteet, joiden välillä ei näyttäisi olevan korkean prioriteetin solmuja. Voidaan kuitenkin menetellä myös siten, että valitaan aloitus- ja lopetuspisteeksi sellaiset solmut, jotka ovat painoltaan verkon alhaisimmat $v_1 = \min(V)$ ja $v_2 = \min(V \setminus \{v_1\})$ ja esimerkiksi verrata niiden lyhimmän polun kokonaisprioriteettia muuhun verkkoon.

6.4.1 Dijkstran algoritmin soveltaminen

- Pienimmän prioriteetin solmuparin etsiminen, eli $v_1 = \min\{\alpha(V)\}$ ja $v_2 = \min\{\alpha(V \setminus \{v_1\})\}$.
- Dijkstran algoritmin käyttö lyhimmän (prioriteetiltaan pienimmän) polun löytämiseen, eli $s = \min(\gamma(P)), P \in G$.
- Leikkauksien tekeminen ja toistaminen n -kertaa.

6.4.2 Leikkauksien tekeminen

- Poistetaan yhden yksittäiseen solmuun johtavat sillat, jossa $\alpha(v) < \textit{aivanliianalhainen}$.
- Poistetaan kaikki yksittäiset eristetyt solmut, eli asteluku on nolla $d_G(X) = 0$.
- Poistetaan Dijkstran lyhimmän polun kaaret, jossa $\beta(e) < \textit{liianalhainen}$.

6.5 Verkon ja testitapauksien yhteys

6.6 Testitapauksien muodostaminen verkosta

7 TESTAUKSEN SUUNNITTELU JA TOTEUTUS

Tässä luvussa esitetään työn perusteella tehty esimerkkitoteutus sekä käytännön sovelluskehityksen ja työkalut. Tämän luvun tarkoituksena on todistaa menetelmän toimivuus oikeassa ohjelmistotuotannon ympäristössä toteuttaen samalla testiautomaatio asiakasyritykselle.

7.1 Käyttöliittymän näkymät ja siirtymät

7.2 Painotetun verkon rakentaminen

7.3 Painotetun verkon käyttö priorisointiin

7.4 Sovelluskehitykset ja työkalut

7.4.1 Docker

7.4.2 GoCD

7.4.3 Robot Framework

7.4.4 Selenium

7.5 Testitapauksien toteuttaminen

7.6 Testitapauksien suorittaminen

Tässä kappaleessa esitetään vastausta tutkimuskysymykseen *T4*, keskittyen jatkuvaan integroinnin ja testitapauksien priorisoinnin yhteyteen.

8 TULOSTEN TARKASTELU JA ARVIOINTI

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

8.1 Tutkimuksen konkreettiset tulokset

8.2 Menetelmän evaluointi

8.3 Toteutuksen evaluointi

8.4 Jatkokehitysehdotukset

9 YHTEENVETO

Tässä kappaleessa esitetään yhteenveto tehdystä työstä.

LÄHTEET

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

A ESIMERKKILIITE