

Samppa Hynninen

**Behaviour-driven development mobiiliohjelmistojen
kehityksen tukena**

Tietotekniikan (Ohjelmisto- ja
tietoliikennetekniikka)
pro gradu -tutkielma
31. maaliskuuta 2014

Jyväskylän yliopisto

Tietotekniikan laitos

Jyväskylä

Tekijä: Samppa Hynninen

Yhteystiedot: samppa.hynninen@jyu.fi

Työn nimi: Behaviour-driven development mobiiliohjelmistojen kehityksen tukena

Title in English: Using behaviour-driven development to support software development on mobile platforms

Työ: Tietotekniikan (Ohjelmisto- ja tietoliikennetekniikka) pro gradu -tutkielma

Sivumäärä: 29

Tiivistelmä: Tähän tulee tutkielman tiivistelmä.

Abstract: Here comes the abstract of the thesis.

Avainsanat: bdd, behaviour-driven development, mobiilialustat

Keywords: bdd, behaviour-driven development, mobile platforms

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksesta	3
2.1	Termejä	3
2.2	Kirjallisuuskatsaus	3
2.3	Tutkimusmenetelmistä	3
3	Ketterä ohjelmistokehitys	4
3.1	Taustaa ja ketterien menetelmien kehitys	4
3.1.1	Vesiputousmalli	4
3.1.2	Spiraalimalli	6
3.1.3	Scrum	9
3.2	Laatu	13
3.2.1	Laatu vaiheellisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa	13
3.2.2	Laatu iteratiivisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa	14
3.3	TDD	15
3.4	ATDD	18
4	Behaviour-driven development	19
4.1	BDD:n lähtökohdat ohjelmistokehitystä tukevana menetelmänä . . .	19
4.2	Teknologioista	19
5	BDD:n tarjoamat liiketoiminnalliset edut	20
5.1	Asiakkaan käyttäjätarinoista hyväksymistesteiksi	20
5.2	BDD:n hyödyntäminen mobiilikehityksessä offshore-tiimeillä	20
6	BDD mobiilialustoilla	21
6.1	Natiivisovellukset	21
6.2	HTML5-sovellukset	21
7	Crossplatform-testaaminen eri mobiilialustoilla	22
7.1	iOS BDD-frameworkit	22
7.2	Android BDD-frameworkit	22

7.3	Windows phone BDD-frameworkit	22
7.4	Mahdollisuudet testata kaikki alustat yhdellä testisetillä	22
8	Yhteenveto	23
	Lähteet	24

1 Johdanto

Lähivuosina erilaisten mobiilipäätteiden osuus kuluttajien käyttämistä laitteista on kasvanut räjähdysmäisesti. Perinteisten pöytätietokoneiden, kannettavien tietokoneiden ja matkapuhelinten väliin on syntynyt täysin uusia laiteryhmiä, kuten esimerkiksi tablet-tietokoneet. Ohjelmistoteollisuus on joutunut muuntautumaan uusiin vaatimuksiin, jotka uudenlaiset sovellusalustat ovat tuoneet mukanaan. Palvelujen tulee nykyään monesti olla käytettävissä useilla eri alustoilla ja erilaisia alustoja voivat koskea erilaiset vaatimukset. Ohjelmistokehitysmenetelmiä on jouduttu kehittämään jatkuvasti muuttuvan ympäristön ja uusien tarpeiden myötä. Behaviour-driven development, eli käyttäytymislähtöinen kehitys on yksi viime vuosina kehittyneistä ohjelmistokehitystä tukevista tekniikoista, jossa kehityksen lähtökohtana ovat määrittelyt siitä, kuinka ohjelmiston tulisi toimia ja käyttäytyä.

Ohjelmistotestauksen ollessa kriittinen osa ohjelmistotuotantoprosessia ja erityisesti laadunvarmistusta, sen merkitys korostuu entisestään, kun ohjelmistoja toimitetaan useille eri alustoille. Tässä tutkielmassa käsitellään behaviour-driven developmentia ja sen taustoja niin menetelmällisestä kuin puhtaasti teknologisesta näkökulmasta. Aluksi selvitetään mitä BDD:llä tarkoitetaan ja mistä se on kehittynyt. Taustojen ja historian ohella katselmoidaan ohjelmistokehityksen haasteita ja ongelmakohtia, joita BDD:n avulla pyritään välttämään. Teknologioiden osalta käsitellään erityisesti BDD-testaamista mobiiliohjelmistojen kehityksessä ja sen poikkeavuuksia sekä erityispiirteitä verrattuna BDD-menetelmiin muissa ympäristöissä. Tässä yhteydessä tarkastellaan erikseen eri mobiilialustojen natiivisovelluksia sekä uusiin HTML5-teknologioihin pohjautuvia alustariippumattomia sovelluksia, sillä niiden testaaminen eroaa merkittävästi toisistaan.

Tämän pro gradu -tutkielman tavoitteena on kartoittaa behaviour-driven developmentin tarjoamia mahdollisuuksia helpottaa mobiiliohjelmistojen kehitystä ja erityisesti testausta. Tarkoituksena on selvittää millaisia BDD-testikehyksiä merkittävimmille mobiilialustoille on tällä hetkellä olemassa ja miten eri mobiilialustojen testikehykset poikkeavat toisistaan. Tämä lisäksi tarkoituksena on selvittää, millaisia liiketoiminnallisia etuja BDD:llä voidaan mobiilisovelluskehityksessä saavuttaa. Tutkielma toteutetaan käyttäen konstruktiivista tutkimusotetta ja siinä pyritään lopputuloksena toteuttamaan ympäristö, jossa samaa sovellusta voitaisiin testata eri mobiilialustoilla yhdellä testikokoelmalla. Testiympäristön toteutuksen yhteydessä

tutkitaan millaisia puutteita nykyratkaisuissa on ja miten niitä voitaisiin kehittää, jotta yhden testikokoelman mallia voitaisiin käyttää.

2 Tutkimuksesta

2.1 Termejä

- Apache Cordova: Avoimen lähdekoodin ohjelmisto, johon PhoneGap perustuu.
- BDD: Behaviour-driven development. Käyttäytymislähtöinen kehitys. Ohjelmistokehitysprosessi, jossa vaatimukset pohjautuvat ohjelmiston käyttäytymiseen.
- CI: Continuous Integration, jatkuva integraatio.
- Cucumber: Rubylla kirjoitettu BDD-testikehys.
- HTML5: HTML-merkinäkielen uusin versio ja samalla käsite nykyaikaisille web-teknologioille, kuten JavaScriptille ja CSS3:lle.
- Jasmine: BDD-testikehys JavaScript-ohjelmointikielelle.
- JBehave: Yksi ensimmäisistä BDD-testikehyksistä Java-ohjelmointikielelle.
- Natiivisovellus: Jonkin sovellusalan omalla kehitysympäristöllä ja ohjelmointikielellä toteutettu sovellus.
- PhoneGap: Adoben omistama mobiiliohjelmistokehys, jolla voidaan toteuttaa monialustaisia sovelluksia moderneilla web-teknologioilla.
- RSpec: BDD-testikehys Ruby-ohjelmointikielelle.
- Selenium: Työkalu verkkoselaimen automatisointiin.
- TDD: Test-driven development. Testivetoinen kehitys, ohjelmistokehityksen prosessi, jossa testit kirjoitetaan ennen ohjelmakoodia

2.2 Kirjallisuuskatsaus

2.3 Tutkimusmenetelmistä

3 Ketterä ohjelmistokehitys

3.1 Taustaa ja ketterien menetelmien kehitys

Niin kauan kuin tietokoneohjelmistoja on kehitetty, on niiden yhteydessä kehitetty myös erilaisia malleja, joiden tarkoituksena on helpottaa ja sujuvoittaa ohjelmistokehitystä. Menetelmät voidaan karkeasti jakaa inkrementaalisiin ja iteratiivisiin menetelmiin [1]. Inkrementaalisisissa malleissa ideana on se, että ohjelmisto kasvaa jatkuvasti kehittyen kohti lopullista valmista tuotetta, kun taas iteratiivisissa malleissa ohjelmistoa kehitetään pienissä osissa lyhyemillä aikaväleillä ja tätä työtä toistetaan useaan otteeseen. Seuraavassa esitelläänkin muutamia tunnettuja ohjelmistotuotannon malleja ja niiden kehitystä kohti ketteriä menetelmiä.

3.1.1 Vesiputousmalli

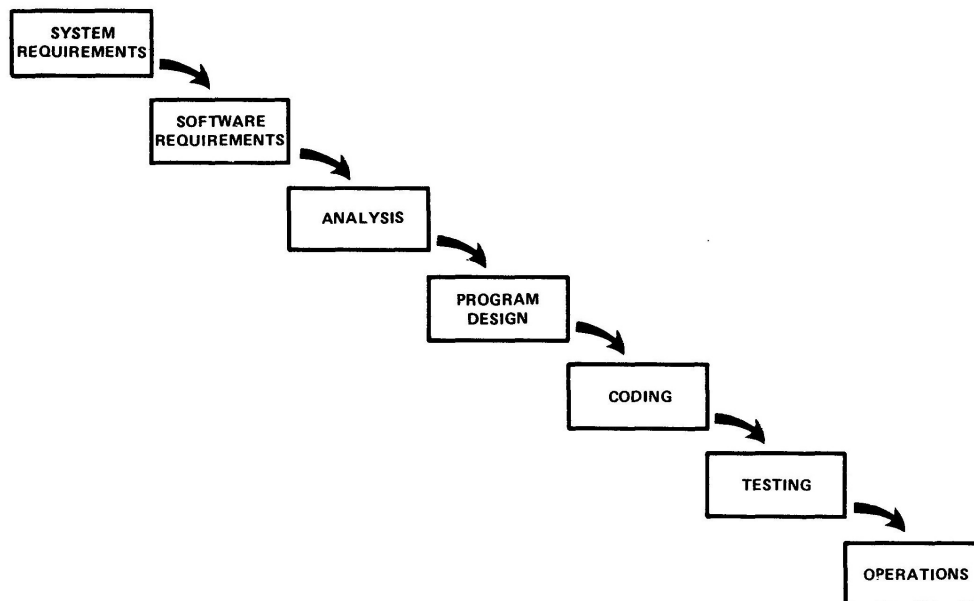
Yksi varhaisista ohjelmistokehityksen malleista on inkrementaalinen vesiputousmalli, jonka perustana toimii hyvin pitkälti Winston Roycen kuvaama malli artikkelissaan *Managing the development of large software systems* [3] vuodelta 1970. Huolimatta siitä, että vesiputousmalli on erittäin vanha ja sen käyttäminen sisältää tunnettuja riskejä, on malli edelleen hyvin suosittu. Roycen malli perustuu ajatukselle, että kaikissa ohjelmistokehitystehtävissä on aina ainakin kaksi vaihetta, analyysivaihe ja itse ohjelmiston koodausvaihe. Vesiputousmallissa luodaan tämän ajatuksen ympärille laajempi malli, jossa edellämäinittuja vaihteita on täydennetty uusilla vaiheilla, jotka ovat kuitenkin täysin erillisiä analyysi- ja koodausvaiheista. Näitä ovat Roycen mallissa [3] kaksi vaatimusmäärittelyvaihetta, ohjelmiston suunnittelu ja koodauksen jälkeinen testausvaihe. Näillä lisäyksillä malli on soveltuvampi suurten ohjelmistoprojektien läpivientiin. Roycen esittämä malli ei kuitenkaan ole täysin se vesiputousmalli, joka on vielä nykyäänkin käytössä, sillä Royce itsekin ehdottaa parhaimpana versiona mallistaan sellaista, jossa eri vaiheiden välillä voidaan liikkua kumpaankin suuntaan, eli myös takaisinpäin edelliseen vaiheeseen.

Royce kuitenkin tiedostaa vesiputousmallin sisältämiä riskejä jo omassa artikkelissaan. Yksi näistä on esimerkiksi vaara, että vasta testivaiheessa huomataan puutteita, jotka johtavat perinpohjaisiin muutoksiin ohjelmiston rakenteessa tai toiminnassa, jolloin käytännössä koko kehitysprosessi joudutaan aloittamaan alusta.

Näitä puutteita voi suurellakin todennäköisyydellä ilmetä, sillä testausvaihe on ensimmäinen kerta, kun järjestelmä toimii kokonaisuutena integroituna muihin järjestelmiin [3]. Toinen merkittävä tekijä, joka monesti jätetään huomioimatta vesiputousmallia käytettäessä, on se, että Royce itsekin suosittelee käymään prosessin läpi kahteen kertaan. Tämä pätee etenkin tilanteisiin, jossa toimitetaan asiakkaalle jokin täysin uusi tuote. Tällöin ensimmäisellä kerralla luodaan pilotti tuotteesta lyhyessä ajassa. Tämän pilotin tarkoituksena on tuoda esiin kehitettävän tuotteen erityiset haasteet, löytää suunnittelun mahdolliset puutteet sekä luoda eri vaihtoehtoja näiden ratkaisemiseen [3]. Tällöin lyhyessä ajassa kehitetty pilottituote toimii ikään kuin koko projektin simulaationa, jolloin vaikeisiin tilanteisiin osataan varautua paremmin.

Royce ei itsekään pitänyt malliaan parhaana mahdollisena suurten ohjelmistojen kehitykseen, vaan Larmanin ja Basilin artikkelissa [1] kerrotaankin, kuinka hän itsekin toteaa vesiputousmallin olevan kaikista yksinkertaisin malli, joka ei kuitenkaan todennäköisesti tule toimimaan kuin kaikkein yksinkertaisimpien ja suoraviivaisimpien projektien yhteydessä. Ensimmäiset maininnat ja kehotukset iteratiiviseen ohjelmistokehitykseen ovatkin jo ajalta ennen Roycen mallin julkaisua. Jo vuonna 1969 IBM:n tutkimuskeskuksessa M.M Lehman kuvasi iteratiivista mallia, jossa erotettiin suunnittelu, arviointi ja dokumentointi [1]. Tässä mallissa suunnittelu tuotti jo toimivan mallin, jota sitten iteratiivisesti kehitettiin eteenpäin.

Kuitenkin vielä nykypäivänäkin suuriakin ohjelmistoprojekteja toteutetaan käyttäen vesiputousmallia, sillä sen koetaan sisältävän joitain etuja tietyissä ohjelmistoprojektin vaiheissa verrattuna ketteriin menetelmiin. Monesti nämä ratkaisevat edut liittyvät erityisesti projektien myyntiin tarjousvaiheessa tehtyjen tarjousten muotoiluun. Vesiputousmallilla myytävissä ratkaisuissa on helpompaa myydä asiakkaalle kiinteällä hinnalla yksi tarkasti määritelty kokonaisuus, jonka myötä asiakas kokee tietävänsä tarkalleen, millaisen tuotteen hän on saamassa ja mihin hintaan. Ketteriä projekteja myytäessä asiakas käytännössä ostaa vain työtä, eikä kiinteästi määritettyä lopputulosta [2]. Tällöin asiakkaalle jää jatkuvasti mahdollisuus vaikuttaa siihen, että tehty työ on juuri sitä, mistä hänelle on eniten hyötyä, eikä ohjelmistoon toteuteta esimerkiksi täysin turhia tai vanhentuneita vaatimuksia. Kuitenkin tästä huolimatta monesti ainoastaan lopullinen kiinteä hinta ja myyntivaiheessa määritetty lopputulos ratkaisevat ostopäätöstä tehdessä, jolloin edelleen nykyään saatetaan päätyä toteuttamaan projekteja vesiputousmallia käyttäen.



Kuva 3.1: Vesiputousmalli [3]

3.1.2 Spiraalimalli

Spiraalimalli on Barry Boehmin kehittämä [4] malli vuodelta 1986, joka on ensimmäisiä tunnettuja iteratiivisia malleja ohjelmistokehityksessä. Spiraalimallin tärkeimpänä ajatuksena on se, että siinä otetaan riskit entistä paremmin huomioon verrattuna esimerkiksi perinteiseen vesiputousmalliin. Spiraalimallissa jokainen iteraatio sisältää neljä merkittävää osaa, jotka ovat [4]:

- Iteraation tavoitteiden, vaihtoehtojen ja rajoitteiden määrittely
- Eri vaihtoehtojen arviointi sekä riskien tunnistaminen ja arviointi
- Kehitystyö ja seuraavan tason tuotteen määrittely
- Seuraavan iteraation suunnittelu

Mallissa jokaisessa iteraatiossa toteutetaan riskianalyysin jälkeen prototyyppi-malli, josta sitten lähdetään kehittämään valmista tuotetta, aivan kuten Roycen [3] ehdottamassa pilottituotemallissa. Lisäksi spiraalimallissa merkittävää on se, että jokainen iteraatiokierros sillä hetkellä valmiina olevan tuotteen arviointiin, johon osallistuvat kaikki tärkeimmät henkilöt, jotka tulevat käyttämään tuotetta [4]. Boehmin malli toimiikin pohjana hyvin monille nykyisille ketterille menetelmille, joissa hyödynnetään samankaltaisia iteraatioita. Esimerkiksi seuraavana käsiteltävässä

Scrumissa sprintit vastaavat hyvin pitkälle spiraalimallin iteraatioita, eli Scrum käytännössä sisältää spiraalimallin prosessit, joiden päälle on vielä vain lisätty muuta.

Spiraalimallissa käytetään erittäin paljon riskiä määrittämään tehtäviä asioita. Boehmin mukaan [4] esimerkiksi eri työvaiheisiin käytettävä aika määräytyy sen perusteella, miten ne vaikuttavat olemassaolevaan riskiin. Jos esimerkiksi testaukseen käytetty aika pienentää projektin kokonaisriskiä, siihen kannattaa käyttää aikaa mieluummin kuin esimerkiksi uuden sovelluskehityksen käyttöön vanhan tutun sovelluskehityksen sijaan, sillä tällainen valinta vain lisäisi projektin riskiä ja epäonnistumisen mahdollisuutta. Tämän lisäksi Boehmin mukaan projektiryhmä käyttää riskin arviointia siihen, kuinka yksityiskohtaisella tasolla asioita kannattaa projektissa tehdä [4]. Esimerkiksi projektin dokumentointi voisi olla yksi osa-alue, johon tätä voidaan soveltaa. Projektiryhmän tulee tällöin tehdä päätös, milloin projektin dokumentaatio on riittävällä tasolla siten, että sen tarkentamisesta ja edelleen kehittämisestä ei saada enää mitään hyötyä, vaan se voi johtaa vain kasvavaan riskiin, kuten esimerkiksi julkaisun myöhästymiseen.

Uudemmassa julkaisussaan vuodelta 2000 Boehm [5] vielä erikseen listaa merkkejä, jotka erottavat projektin spiraalimallista ja ovat ennenkaikkea haitallisia projektin onnistumisen edellytyksille. Käytännössä nämä merkit ovat sellaisia, joista voidaan huomata käytettävän oikeasti vesiputousmallia, jota vain nimitetään spiraalimalliksi. Tällaisia merkkejä ovat Boehmin mukaan seuraavat kuusi olettamusta [5]:

- Vaatimukset tunnetaan ennen ohjelmiston toteutusta
- Vaatimuksissa ei ole epäselviä olettamuksia
- Vaatimusten luonne ei muutu kehitystyön ja projektin etenemisen myötä
- Vaatimukset täyttävät kaikkien sidosryhmien edustajien oletukset
- Oikea arkkitehtuuri vaatimusten täyttämiseen on hyvin ymmärretty ja omaksuttu
- Tarpeeksi kalenteriaikaa on varattu, jotta voidaan edetä peräkkäisessä järjestyksessä vaihe kerrallaan

Boehm määrittelee myös erilaisia invariantteja, jotka tulee olla olemassa spiraalimallin toimimisen edellytyksenä [5]. Nämä invariantit käytännössä määrittelevät vain tarkemmin spiraalimallin eri osa-alueet ja niiden sisällöt. Näihin Boehmin invariantteihin kuuluu esimerkiksi edellämainitut käytettävän panoksen määrittely

riskin perusteella sekä työvaiheen toteutuksen yksityiskohtaisuuden tason arviointi riskin perusteella. Näiden lisäksi Boehmin määrittelemiin invariantteihin lasketaan myös keskittyminen järjestelmään ja sen elinkaareen sen sijaan, että ainoastaan mietittäisiin ohjelmiston kehittämistä teknisestä näkökulmasta [5].

3.1.3 Scrum

Scrum on moderni iteratiivinen ohjelmistokehityksen viitekehys, jota ovat kehittäneet pääasiallisesti yhdysvaltalaiset Ken Schwaber ja Jeff Sutherland aina 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Kuten termi viitekehys antaa ymmärtää, ei Scrum tarjoa mitään yksityiskohtaista prosessia ohjelmistoprojektin toteuttamiseen, vaan ennemminkin juuri kehityksen, jonka puitteissa voidaan hallita monimutkaisten tuotteiden kehitystä [6]. Scrum tarjoaa käytännön työkalut ohjelmistojen kehittämiseen iteratiivisesti siten, että riski on jatkuvasti mahdollisimman pieni ja työn tulokset optimoituja, eli käytännössä tehdään aina sitä, mikä on juuri sillä hetkellä asiakkaalle kaikkein hyödyllisintä. Tämä saavutetaan, kun työskennellään nojautuen Scrumin kolmeen lähtökohtaan, jotka ovat läpinäkyvyys, tarkastelu ja sopeutuminen [6].

Läpinäkyvyys tulee Scrumissa ilmi erityisesti esimerkiksi siinä, että kaikki eri sidosryhmät ovat jatkuvasti tietoisia toteutettavan projektin tilanteesta. Käytännön työssä tämä on toteutettu monin eri tavoin [6]:

- Työtä suoritetaan kiinteän pituisissa jaksoissa, joita kutsutaan sprinteiksi. Usein sprinttien kesto on yhdestä kolmeen viikkoa. Näihin sprintteihin projektitiimi ottaa mukaan työtä niin paljon kuin he arvioivat kykenevänsä toteuttamaan. Tässä kohtaa ainoastaan projektitiimi voi määritellä mitä he tekevät, sillä heillä on ainoana henkilöinä tieto siitä, mitä he tiiminä pystyvät toteuttamaan. Tämä sprinttiin otettu työ muodostaa sprintin backlogin, johon voidaan sprintin suunnittelun jälkeen ainoastaan projektitiimin luvalla ottaa lisää työtä. Tällöin asiakas ja projektin muut sidosryhmät tietävät aina mitä seuraavan sprintin aikana on tarkoituksena saada toteutetuksi [6].
- Koko projektin seurantaan ja läpinäkyvyyteen Scrumissa on olemassa tuotteen backlog, joka sisältää kaikki tulevaisuudessa toteutettavaksi toivotut ominaisuudet ja tehtävät asiakkaan puolelta. Tätä tuotebacklogia asiakas priorisoi yhdessä Scrum-tiimiin kuuluvan tuoteomistajan kanssa. Tämä tarkoittaa sitä, että backlogilla nostetaan prioriteetiltaan tärkeimmät tehtävät ensimmäisiksi. Tämä on tärkeää, sillä projektitiimi ottaa sitten tuotebacklogilta jokaiseen sprinttiin niin paljon työtä kuin he kokevat pystyvänsä tekemään. Työtä ote-

taan tuotebacklogilta mukaan sprinttiin siinä järjestyksessä, mihin asiakas on tehtävät yhdessä tuoteomistajan kanssa priorisoinut.

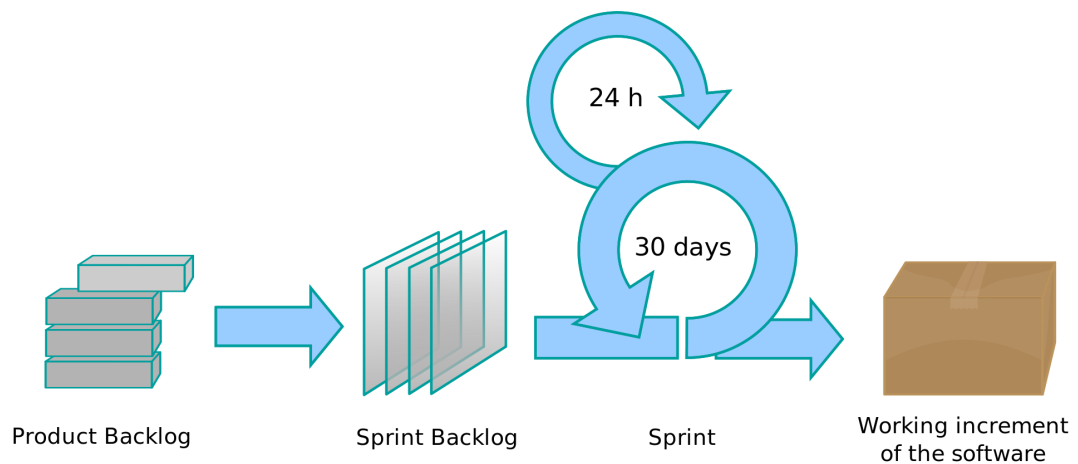
- Projektissa toteutettavan tuotteen tila on koko ajan selvillä kaikille sidosryhmille, sillä Scrumissa on tavoitteena, että jokaisen valmiin sprintin jälkeen projektiryhmä voisi toimittaa asiakkaalle käytännössä toimivan inkrementin toteutettavaan ohjelmistoon, jolloin jokaisen sprintin työn tulos olisi heti nähtävillä. Käytännössä toimivan inkrementin toimitus ei kuitenkaan aina ole esimerkiksi projektin luonteen vuoksi mahdollista, jos toteutettavana tuotteena on jokin laaja tietojärjestelmä, jossa käytetään useita sprinttejä esimerkiksi pelkästään back endin tai tietokantojen toteuttamiseen. Tällöin inkrementti voi olla kuitenkin toimiva, vaikkei asiakas siitä heti suoraa hyötyä saisikaan.

Tehtyä työtä, työtapoja ja projektia kokonaisuudessa arvioidaan ja tarkastellaan Scrumin puitteissa jatkuvasti. Erityistä tässä on se, että näitä asioita ei ole arvioimassa vain yksi taho, vaan työn ja tulosten tarkastelua tehdään jatkuvasti kaikkien toimesta, jotka liittyvät projektiin millään tapaa.

Päivittäin työtä arvioidaan ns. daily-palaverissa, joissa jokainen projektitiimin jäsen pääsee kertomaan mitä on tehnyt, mitä aikoo tehdä ja samalla hän voi kertoa, jos työssä on ilmennyt jotain ongelmia. Tällaisen lyhyen kiinteästi 15-minuuttiseksi ajoitetun palaverin myötä koko tiimi on joka päivä selvillä siitä, mitä muut tekevät ja mahdollisesti pystyvät näin ollen esimerkiksi auttamaan muita ja tehostamaan omaa työtään sillä, etteivät he tee päällekkäisiä tai toisistaan riippuvia tehtäviä.

Jokaisen sprintin päättyessä järjestetään niin kutsuttu sprintin arviointi, jossa projektitiimi yhdessä asiakkaan kanssa käy product ownerin johdolla läpi sprintin aikana toteutettuja ominaisuuksia ja tehtäviä. Samassa tilaisuudessa käydään läpi ne sprinttiin mukaan otetut työt, joita projektitiimi ei ole ehtinyt saada valmiiksi. Sprintin arviointi onkin hyvä tilaisuus sekä projektitiimille, että asiakkaalle, sillä tällöin kummatkin pääsevät yhdessä keskustelemaan siitä, mitä tiimi on tehnyt. Tällöin asiakkaalla on mahdollisuus esittää kysymyksiä ja toteuttava tiimi pääsee myös kertomaan mahdollisista ongelmista ja niiden ratkaisuksista, eli tilaisuudessa pystytään viimeistään oikomaan mahdollisia väärinkäsityksiä tai näkemyseroja.

Daily-palaverien ja sprintin arvioinnin lisäksi projektitiimi käy jokaisen sprintin jälkeen läpi retrospektiivin, jossa jokaisella tiimin jäsenellä on mahdollisuus arvioida, mikä tiimin työssä meni hyvin ja millä alueilla on vielä kehitettävää. Nämä onnistumiset liittyvät yleensä ennemminkin tiimin sisäisiin asioihin kuin mihinkään muuhun, eli ennenkaikkea asioihin, joihin tiimi itse voi vaikuttaa. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi:



Kuva 3.3: Scrum [7]

- Kuinka hyvin Scrumin periaatteita on noudatettu?
- Onko tiimin sisäisessä dynamiikassa jotain ongelmia?
- Voisiko työtapoja parantaa jotenkin?
- Onko jotain projektiin liittymättömiä ongelmia, jotka haittaavat työtä?

Kolmas Scrumin peruseriaate, eli sopeutuminen, tulee myös esille monissa eri yhteyksissä ja toimintatavoissa. Edellämainituissa daily-palavereissa yksi tärkeä asia on se, että kaikki projektitiimin jäsenet pääsevät kertomaan mahdollisista ongelmistaan, joita ovat työssään kohdanneet. Tällöin tiimillä on mahdollisuus puuttua näihin ongelmiin heti ja ratkaista ne yhdessä sen sijaan, että tiimin jäsen jäisi yksin ongelmiansa kanssa ja töiden eteneminen mahdollisesti hidastuisi, jolloin myöskään sprintin tavoite ei välttämättä täyttyisi.

Jokaisen sprintin päätteeksi läpikäytävä retrospektiivi on työn ja työtapojen tarkastelun ohella erittäin hyvä tilaisuus tiimille sopeutumiseen, sillä tilaisuudessa ei ole tarkoitus tuoda esiin vain huonoja toimintatapoja tai ongelmia, vaan ennenkaikkea näihin esille tuleviin kehityskohteisiin yritetään koko tiimin voimin löytää ratkaisuja heti [8]. Tällöin ongelmat eivät jää kenenellekään yksin hoidettaviksi, vaan niihin voidaan heti puuttua useamman henkilön voimin. Myös toisessa sprintin päätteeksi läpikäytävässä tapahtumassa, eli sprintin arvioinnissa, on eri sidosryhmillä hyvät mahdollisuudet sopeutumiseen. Tässä tilaisuudessa tilaisuudessa asiakas voi antaa palautetta kehitystiimin suuntaan, kuten myös toisinpäin. Tällöin esi-

merkiksi kehitystiimi voi ottaa oppia, jos vaikkapa joitain asiakkaan pyyntöjä on ymmärretty väärin ja vastaavasti asiakas voi saada hyvää kokemusta siitä, millä tavalla asiat kannattaa kehitystiimille esittää.

Ylipäänsä Scrumin sprinttiajattelu tarjoaa jatkuvaan sopeutumiseen erittäin hyvät mahdollisuudet. Kun käytännön työssä työn alle otettavat tehtävät lukitaan vain yhdeksi sprintiksi kerrallaan, tiimin on helppo sopeutua muuttuviin vaatimuksiin ja asiakkaan toiveisiin. Esimerkiksi asiakkaalle tärkeä uusi ominaisuus voidaan ottaa heti seuraavassa alkavassa sprintissä työn alle, jos sen prioriteetti on niin tärkeä, että se menee muiden tuotteen backlogin tehtävien edelle. Muutenkin sprintit tarjoavat tiimille mahdollisuuden muuttua tarpeen mukaan nopeasti. Tiimin kokoa voidaan helposti tarpeen mukaan muokata, uusia toimintatapoja käydä retrospektiiveissä läpi sekä suuriakin suunnanmuutoksia projektissa voidaan tehdä helposti verrattuna esimerkiksi vanhaan vesiputousmalliin.

Edellämainittujen tilaisuuksien ohella Scrum-tiimissä on määritelty henkilö, joka mahdollistaa tiimin sopeutumista. Tälle henkilöllä on Scrum-tiimissä oma erityinen roolinsa, aivan kuten tuoteomistajalla ja kehitystiimin jäsenellä. Tätä kutsutaan scrummasteriksi, jonka tehtävänä on toimia palvelevana johtajana. Käytännön tasolla tämä tarkoittaa sitä, yksi kehitystiimin jäsenistä toimii mahdollisten omien tehtäviensä ohella scrummasterin roolissa tai mahdollisesti hänellä ei ole mitään muita tehtäviä kuin scrummasterin tehtävät. Scrummasterin tehtävänä on toimia kehitystiimille mahdollistajana, eli hän ratkaisee kehitystiimin puolesta sellaisia ongelmia, joita esimerkiksi daily-palaverissa tulee esille, jotka haittaavat heidän työntekoaan. Scrummasterin tehtävänä on myös valvoa, että Scrumin käytänteitä toteutetaan ja niistä pidetään kiinni. Tämä tarkoittaa sitä, että scrummaster toimii fasilitaattorina, eli pitää huolen siitä, että esimerkiksi daily-palaverit pidetään, sprintien suunnittelut pidetään ja kaikista määrätyistä aikamääreistä pidetään kiinni. Scrummasterin tehtävänä on huolehtia näille tapahtumille paikat, joissa ne voidaan järjestää. Hän myös toimii yhteydenpitäjänä kehitystiimin ja muiden sidosryhmien välillä siten, että itse kehitystiimin jäsenten työ ei häiriinny turhaan. Täten scrummaster voi esimerkiksi selittää Scrumin periaatteita muille sidosryhmille, jotta päästäisiin mahdollisimman hyvään ymmärrykseen siitä, miksi asioita tulee tehdä Scrumin toimintaperiaatteiden mukaan, jolloin kehitystiimin ei tarvitse huolehtia tämänkaltaisten asioiden selittämisestä muille tahoille.

3.2 Laatu

Tietokoneohjelmistojen laadun merkitys on jatkuvasti yhä suuremmassa roolissa, kun monet yhteiskunnan tärkeistä toiminnoista digitalisoituvat. Tämä tarkoittaa myös sitä, että yhä suuremmassa määrin yhteiskunnan toiminnan kannalta kriittiset palvelut nojaavat ohjelmistojen toimintavarmuuteen. Tämä sama ilmiö on tapahtunut myös teollisuudessa, eikä nykypäivänä oikeastaan ole mitään alaa, jossa tietotekniikka ei tarvittaisi. Laadunvarmistus ja suhtautuminen laadun käsitteeseen poikkeaa hyvin paljon vaiheellisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa verrattuna iteratiivisesti toimiviin prosesseihin. Seuraavassa käsitelläänkin näiden erityispiirteitä ja eroavaisuuksia.

3.2.1 Laatu vaiheellisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa

Vaiheellisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa, kuten esimerkiksi vesiputousmallissa, testaus ja laadunvarmistus on erotettu omaksi erilliseksi vaiheekseen, joka tapahtuu vasta toteutusvaiheen jälkeen [3]. Tällöin tilanne on se, että koko projekti on toteutettu valmiiksi asti kiinteillä muuttumattomilla vaatimuksilla, jotka on lukittu ennen toteutustyön aloittamista. Testausvaiheessa toteutettua ohjelmisto testataan näitä vaatimuksia vasten, eli pidetään huolta, että nämä vaatimukset täyttyvät.

Monesti ongelmallista onkin, että asiakas saa toimivan tuotteen vasta tämän testausvaiheen jälkeen ensimmäistä kertaa itselleen testattavaksi, jolloin kyseessä on mahdollisesti alkuperäisten vaatimusten mukaisesti toimiva tuote, mutta käytännössä asiakkaan näkemys ja tarve on voinut muuttua jo monilta osin sinä aikana, kun ohjelmisto on toteutettu. Näin ollen valmiin tuotteen laatu voikin olla asiakkaan mielestä huonompi kuin projektin toteuttajien näkemys on. Kuitenkin teknisellä tasolla vaiheellisissa prosesseissa voidaan panostaa laatuun aivan samalla tapaa kuin iteratiivisissakin prosesseissa. Implementaatiota tehdessä yksikkötestauksen merkitys laadunvarmistuksessa on aivan yhtä suuri kuin iteratiivisissakin prosesseissa.

Kaikenkaikkiaan vaiheellisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa testaukseen ja laadunvarmistukseen on hyvät ja kehittyneet keinot, sillä tämä osa-alue on aina ollut mukana omana vaiheenaan prosesseissa [9]. Ongelmaksi näissä prosesseissa laadun kohdalla muodostuukin lähinnä eri osapuolten käsitys laadusta ja mahdolliset asiakkaan muuttuneet tarpeet.

3.2.2 Laatu iteratiivisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa

Iteratiivisista ohjelmistotuotantoprosesseista tässä keskitytään erityisesti Scrumiin ja sen suhtautumiseen laatuun. Iteratiivisissa prosesseissa jokaisen sprintin voidaan ajatella toimivan ikäänkuin samalla tavoin kuin kokonaisen vesiputousmallin projektin kaikki vaiheet, sprintin sisältä ei kuitenkaan välttämättä voida selvästi näitä vaihteita erottaa [9]. Kuitenkin toteutustyössä tärkeitä laadunvarmistuksen välineitä ovat esimerkiksi yksikkötestit, joita käytetään aivan samalla tavoin kuin vaiheellisissa prosesseissa. Erona vaiheellisiin prosesseihin, iteratiivisissa prosesseissa testaus tehdään pohjautuen sprintiin valittuihin tehtäviin, joka tarkoittaa sitä, että sprintiin valituille töille on määritetty hyväksymiskriteerit, joissa määritellään milloin haluttu ominaisuus on valmis. Sprintin aikana valmistuvia tehtäviä testataan sitten asetettuja hyväksymiskriteerejä vasten, jotka määritellään yhdessä asiakkaan kanssa.

Sprinteissä tapahtuvan testauksen ja laadunvarmistuksen ohella Software Quality and Methods -julkaisu [9] listaa muutamia muita iteratiivisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa yleisesti käytössä olevia toimintatapoja, joiden voidaan katsoa parantavan ohjelmiston laatua:

- Jatkuvalle integraatiolle tarkoitetaan käytäntöä, jossa ohjelmistoon tehtyjä muutoksia integroidaan jatkuvasti ja muutosten myötä automaattisesti testataan ohjelmiston toiminta ja integraatiot [10]. Tällaisella käytännöllä kehitystiimillä on jatkuvasti toimiva ohjelmisto, ja kehitystiimi pääsee eroon suuresta riskistä, joka syntyy, kun suuri määrä muutoksia ohjelmistoon otetaan käyttöön samaan aikaan. Kun tehdyt muutokset integroidaan heti valmistumisen jälkeen muuhun järjestelmään, voidaan mahdollisiin virheisiin tai suurempiin ongelmiin puuttua heti.
- Jatkuvan integraation palvelimet, kuten esimerkiksi yksi suosituimmista avoimeen lähdekoodiin perustuvista ratkaisuista, Jenkins [11], toimivat jatkuvan integraation mahdollistajina. Käytännössä nämä palvelimet aina versiohallinnassa tapahtuvien muutosten yhteydessä buildaavat sovelluksen automaattisesti, ajavat sille kirjoitetut testit ja ottavat sen mahdollisesti käyttöön sovelluspalvelimella. Jatkuvan integraation palvelimet antavat siten heti viestin, mikäli ohjelmiston buildaaminen ei onnistu tai testeissä on virheitä, jolloin kehittäjät tietävät virheistä lähes heti commitin jälkeen [10].
- Usein iteratiivisissa prosesseissa, kuten Scrumissa, on kommunikaatiolla ja yhdessä asiakkaan kanssa työskentelyllä tärkeä rooli, jonka voidaan nähdä pa-

rantavan ohjelmiston laatua. Tällä tavoin asiakkaaseen saadaan helposti yhteyttä ja hänen kanssaan voidaan jatkuvasti kommunikoida, mikä edistää esimerkiksi epäselvien vaatimusten selvityksessä ja niiden jatkuvaa parantamista [9]. Myös esimerkiksi Scrum-tiimin tuoteomistaja on usein asiakkaan edustaja, jolloin asiakkaalla on jatkuvasti todella hyvä näkyvyys siihen, mitä ollaan tekemässä, kun tuoteomistaja vastaa tuotebacklogin priorisoinnista. Tällöin asiakas voi varmistaa sen, että kehitystiimi työskentelee jatkuvasti sellaisten töiden parissa, jotka ovat asiakkaalle kaikkein hyödyllisimpiä. Tilanne, jossa tuoteomistaja on nimetty asiakkaan puolesta, on kommunikaatiomahdollisuuksiensa puolesta lähes ihanteellinen, sillä Scrumissa tuoteomistaja on henkilö, jolla tulisi olla jatkuvasti kaikkein paras visio siitä, mitä ollaan tekemässä ja mitä ohjelmistoon seuraavaksi halutaan tehdä [6].

Ketterissä menetelmissä kehittäjillä on enemmän vastuuta ohjelmiston laadusta kuin perinteisissä vaiheellisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa. Tämä ei tule varsinaisesti esille suoraan iteratiivisissa ohjelmistotuotantoprosesseissa, mutta tämä johtuu hyvin pitkälti siitä, että näissä prosesseissa pelkän suunnittelun määrä on usein minimoitu ja jonkinlaista toteutusta lähdetään tekemään lähes heti. Tällöin laadunvarmistusta joudutaan tekemään paljon jo kehittäjien toimesta ohjelmistoa implementoidessa [9]. Nopeisiin sykleihin, jatkuvaan integraatioon ja tuotteen toimituksiin on ohjelmistotalalla iteratiivisissa prosesseissa sopeuduttu ohjelmistokehityksen toimintatapoja on muokkaamalla siten, että ohjelmoinnissa käytetään menetelmiä, joiden voidaan katsoa edistävän laadunvarmistusta. Yksi tärkeistä laatua edistävästä ohjelmistokehityksen malleista on TDD, jota käsitellään seuraavassa.

3.3 TDD

TDD, eli Test-driven development, tarkoittaa testivetoista ohjelmistokehitystä. TDD poikkeaa edellä esitetyistä malleista siinä, että siinä missä edellä esitellyt mallit kattavat koko ohjelmistokehitysprosessin, ottaa TDD kantaa ainoastaan edeltävissä malleissa esiintyneisiin käytännön toteutus- ja testausvaiheisiin. Käytännössä siis nykyään ohjelmistoprojekteissa valitaan jokin koko ohjelmistokehitysprosessin kattava malli, kuten Scrum, jossa sitten hyödynnetään TDD:tä ja sen ohjelmointikäytänteitä. Seuraavassa esitelläänkin TDD:n keskeisimmät ideat ja toimintaperiaatteet, joita käytännön ohjelmistokehityksessä usein noudatetaan.

Yksinkertaistettuna testivetoisessa ohjelmistokehityksessä ideana on se, että testit kirjoitetaan ennen kuin kirjoitetaan riviäkään koodia. Käytännössä tämä tarkoit-

taa sitä, että ennen ohjelmointia testeillä määritellään se, mitä seuraavaksi kirjoitettavan metodin olisi tarkoitus tehdä. Työvaiheet tässä prosessissa ovat seuraavanlaiset [19]:

- Kirjoitetaan testi, joka ei mene läpi.
- Kirjoitetaan koodi, joka läpäisee testin. Tässä vaiheessa ei ole vaatimuksia koodin optimoinnille tai laadulle.
- Ajetaan testit ja todetaan niiden menevän läpi.
- Refaktorointi. Refaktoroidaan kohdassa kaksi kirjoitettua koodia, eli esimerkiksi poistetaan siitä kaikenlaiset epäloogisuudet, siirretään metodi loogisesti oikeaan paikkaan ja nimetään se järkevästi.
- Aloitetaan prosessi alusta.

TDD:n voidaan katsoa edistävän työskentelyä ainakin neljästä eri näkökulmasta [12]. Ensiksikin kehittäjä saa jatkuvaa palautetta työstään viiveettä. Hän näkee heti toimiiko tekemänsä koodi oikein ja rikkooko se mahdollisesti muita toiminnallisuuksia ja niiden testejä. Tällöin kehittäjä pystyy heti korjaamaan virheensä, eikä niitä ehdi kasaantua kerralla paljoa.

Samalla tämä yhteen metodiin keskittyminen kerrallaan ohjaa ja jaksottaa kehittäjän työskentelyä. Tämä tarkoittaa sitä, että kehittäjä keskittyy yhteen tehtävään kerrallaan, kunnes saa valmiiksi toimivan testatun kokonaisuuden. Tämän myötä kehittäjien on välttämätöntä myös pilkkoa työtään pienempiin osiin siten, että tällainen tehtävä kerrallaan läpiviety kehitys on edes mahdollista [12]. Kun tehtävät pilkotaan riittävän pieniksi, kehittäjien on helpompi arvioida niihin kuluva aikaa, heillä on parempi käsitys siitä, mitä jonkin asian valmistuminen vielä vaatii ja he kykenevät hallitsemaan omia työn alla olevia töitään helpommin.

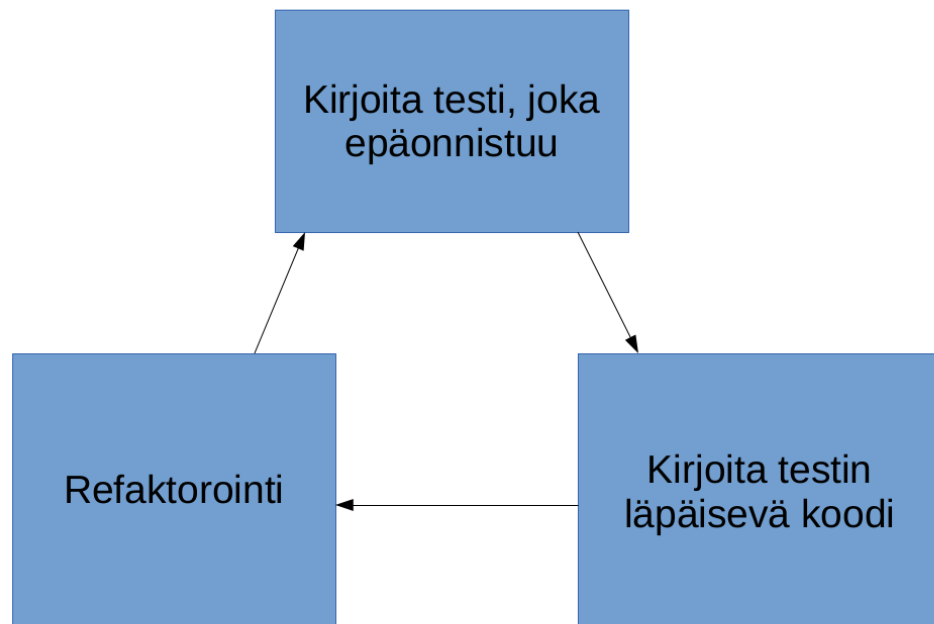
Kolmantena TDD tarjoaa omalta osaltaan yhden keinon laadunvarmistukseen. Kun ohjelmistoa kehitetään TDD:n keinoin, on jatkuvasti olemassa setti testejä, jotka parhaassa tapauksessa kattavat koko ohjelmiston, jos se on alusta alkaen kehitetty TDD:llä [12]. Sen lisäksi, että TDD:n myötä syntyvä testisetti on kattava, sitä myös ajetaan usein, sillä kaikkien uusien ominaisuuksien yhteydessä tulisi tarkistaa aina kaikkien testien toimivuus, jotta välttyään mahdollisilta uusien ominaisuuksien luomilta sivuvaikutuksilta.

Viimeiseksi TDD:ssä keskitytään ennen kaikkea matalalla tasolla koodin testaamiseen. Kun liikutaan yksittäisten metodien tasolla, on ohjelmoijalla usein hyvä näkemys siitä, mitä kirjoitettavan metodin olisi tarkoitus tehdä. Tällöin koodin laatu

paranee ainakin tällä matalalla tasolla, mutta TDD ei ota kantaa, eikä auta ohjelmoijaa ymmärtämään korkeamman tason toiminnallisia vaatimuksia tai suurempia kokonaisuuksia [19]. Tähän ongelmaan ratkaisuksi on lähivuosina kehitetty toimintatapoja, joilla pystytään hallitsemaan paremmin edellämainittujen korkeamman tason vaatimusten täyttymistä. Näitä menetelmiä ovat muun muassa Acceptance Test-Driven Development (ATDD) sekä Behaviour-Driven Development (BDD), joita käsitellään tarkemmin jäljempänä.

Vuonna 2005 julkaistussa tutkimuksessa [12] suurimpana kysymyksenä oli selvittää TDD:n vaikutusta tuottavuuteen. Tutkimuksessa todettiin testilähtöisen kehityksen todella lisäävän kehittäjien tuottavuutta. Tähän löydettiin tutkimuksessa [12] useita syitä. Yksi näistä oli jo edelläkin mainittu tehtävien pilkkominen ja sen myötä niihin keskittyminen. Näillä toimenpiteillä tehtävät ovat helpommin ymmärrettäviä kokonaisuuksia, jotka voidaan helposti toteuttaa kerralla. Tutkimus myös toteaa [12], että testivetoisessa kehityksessä huonot ja tehottomat toimintatavat hylätään verrattain nopeasti ja ne korvataan paremmilla. Useimmissa prosessimalleissa tällaiset päätökset tekevät kehittäjät itse, eli näitä parannuksia ei osoiteta mistään ylemmältä taholta. Esimerkiksi Scrumissa kehitystiimi itse käy jokaisen sprintin jälkeen retrospektiivissa läpi omaa toimintaansa ja yrittää löytää siitä kehityskohteita [6]. Tämä jatkuva toimintatapojen tehostaminen johtaa myös nopeaan oppimiseen. TDD laskee myös kynnystä asioiden uudelleen tekemiselle ja refaktoroinnille [12]. Kun ohjelmisto on toteutettu pienistä erikseen testatuista osista, on helppoa lähteä korjaamaan yhtä hajonnutta testiä, sillä hajoamisen syy on usein helppo löytää, kun testi kattaa vain yhden pienen osan ohjelmistosta, esimerkiksi yhden metodin, jonka tehtävän pitäisi olla helposti selitettävä.

Kaikenkaikkiaan vuoden 2005 tutkimuksessa [12] päädyttiin tulokseen, jonka mukaan testivetoinen kehitys todellakin parantaa työn tuottavuutta edellämainittujen seikkojen myötä. Samalla tutkimuksessa kuitenkin todetaan, että testivetoinen ohjelmistokehitys ei suoranaisesti paranna ohjelmistojen laatua. Tämä johtui siitä, että vaikka ohjelmistokehittäjät kirjoivat TDD:tä käyttäessään määrällisesti enemmän testejä, testien laatu riippui hyvin paljon kehittäjän kokemuksesta tehdä töitä testivetoisesti [12]. Testivetoisessa kehityksessä testeillä osaltaan ohjataan kehittäjän työtä, eli kehittäjä kertoo testeillä itselleen mitä hänen pitäisi seuraavaksi tehdä. Taito kirjoittaa hyviä testejä, jotka testaavat oikeita asioita syntyy vain testejä kirjoittamalla, eli tässä tilanteessa kokemus ja työskentelytapaan tottuminen tuovat lisää tehokkuutta työskentelyyn. Toisaalta myös matalan tason yksikkötesteistä saatavan hyödyn voitiin katsoa häviävän siinä, että kehittäjät pystyivät monissa tilanteissa ohjelmaa tarkastelemalla helposti toteamaan saman asian kuin mitä yksikkö-



Kuva 3.4: TDD-työvaiheet

testi testaa [12].

3.4 ATDD

4 Behaviour-driven development

4.1 BDD:n lähtökohdat ohjelmistokehitystä tukevana menetelmänä

4.2 Teknologioista

5 BDD:n tarjoamat liiketoiminnalliset edut

5.1 Asiakkaan käyttäjätarinoista hyväksymistesteiksi

5.2 BDD:n hyödyntäminen mobiilikehityksessä offshore-tiimeillä

6 BDD mobiilialustoilla

6.1 Natiivisovellukset

6.2 HTML5-sovellukset

7 Crossplatform-testaaminen eri mobiilialustoilla

7.1 iOS BDD-frameworkit

7.2 Android BDD-frameworkit

7.3 Windows phone BDD-frameworkit

7.4 Mahdollisuudet testata kaikki alustat yhdellä testisetillä

8 Yhteenveto

Yhteenveto tähän

Lähteet

- [1] Craig Larman ja Victor Basili, *Iterative and incremental developments. a brief history*, IEEE Computer Society, Volume: 36, Issue: 6, 2003.
- [2] Valtiokonttori, Valtion IT-palvelukeskus, *Ketterän palvelukehityksen ostaminen*, 2013.
- [3] Winston Royce, *Managing the development of large software systems*, Proceedings of IEEE WESCON, 1970.
- [4] Barry Boehm, *A spiral model of software development and enhancement*, ACM SIG-SOFT Software engineering notes vol 11 no 4, 1986.
- [5] Barry Boehm, *Spiral Development: Experience, Principles and Refinements*, Spiral Development Workshop, February 9, 2000.
- [6] Ken Schwaber ja Jeff Sutherland, *The Scrum Guide*, Scrum.org, 2013.
- [7] *Scrum process*, saatavilla WWW-muodossa <URL: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Scrum_process.svg>, viitattu 24.03.2014.
- [8] David Starr, *Effective Sprint Retrospectives*, 2012, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj620912.aspx>>, viitattu 26.03.2014.
- [9] Ming Huo, June Verner, Liming Zhu ja Muhammad Ali Babar, *Software Quality and Agile Methods*, Computer Software and Applications Conference, 2004. COMPSAC 2004. Proceedings of the 28th Annual International
- [10] Martin Fowler, *Continuous Integration*, 2006, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://martinfowler.com/articles/continuousIntegration.html>>, viitattu 26.03.2014.
- [11] *Jenkins - An extendable open source continuous integration server*, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://jenkins-ci.org/>>, viitattu 27.03.2014.

- [12] Hakan Erdogmus, Maurizio Morisio ja Marco Torchiano, *On the Effectiveness of the Test-First Approach to Programming*, IEEE Transactions On Software Engineering, Vol. 31, No. 3, 2005
- [13] *Agile Manifesto*, 2001, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://agilemanifesto.org/>>, viitattu 12.02.2013.
- [14] Matt Wayne ja Aslak Hellesøy, *The Cucumber Book, Behaviour-Driven Development for Testers and Developers*, Pragmatic Programmers LLC, 2012.
- [15] Carlos Solís ja Xiaofeng Wang, *A Study of the Characteristics of Behaviour Driven Development*, 37th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications, 2011.
- [16] Dan North, *Introducing BDD*, 2006, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://dannorth.net/introducing-bdd/>>, viitattu 27.01.2013.
- [17] Gojko Adzic, *Specification by Example*, Manning Publications Co, 2011.
- [18] Gojko Adzic, *Bridging the Communication Gap, Specification by Example and Agile Acceptance Testing*, Neuri Limited, 2009.
- [19] Susan Hammond ja David Umphress, *Test driven development: the state of the practice*, ACM-SE '12 Proceedings of the 50th Annual Southeast Regional Conference, s. 158-163, 2012.
- [20] Chris Rimmer, *Introduction, Behaviour-Driven Development*, 2010, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://behaviour-driven.org/Introduction>>, viitattu 27.01.2013
- [21] IBM developerWorks: <http://www.ibm.com/developerworks/java/library/j-cq09187/index.html>
- [22] RSpec, Cucumber, JBehave, Robotium, Selenium jne.