

Ohjelmistotuotantomenetelmien kehittyminen 1950-luvulta nykypäivään

Lauri Suomalainen

Kandidaatintutkielma
HELSINGIN YLIOPISTO
Tietojenkäsittelytieteen laitos

Helsinki, 12. tammikuuta 2014

Tiedekunta — Fakultet — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Matemaattis-luonnontieteellinen		Tietojenkäsittelytieteen laitos	
Tekijä — Författare — Author			
Lauri Suomalainen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title			
Ohjelmistotuotantomenetelmien kehittyminen1950-luvulta nykypäivään			
Oppiaine — Läroämne — Subject			
Tietojenkäsittelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level		Aika — Datum — Month and year	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages
Kandidaatintutkielma		12. tammikuuta 2014	12
Tiivistelmä — Referat — Abstract			
Tiivistelmä			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords			
avainsana 1, avainsana 2, avainsana 3			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Additional information			

Sisältö

1	Johdanto	1
2	Peruskäsitteistöä	2
3	Ohjelmistotuotannon alkutaival	4
4	Perinteiset ohjelmistotuotantomenetelmät	5
4.1	Vesiputousmallin rakenne	5
4.2	Vesiputousmallin ongelmia	6
5	Inkrementaaliset ja iteratiiviset menetelmät sekä prototyyppaus	8
5.1	Spiraalimalli	9
6	Ketterät menetelmät	11
7	Ohjelmistojen kehitys nykyään ja tulevaisuudessa	11
	Lähteet	11

1 Johdanto

Tämä kandidaatintutkielma tarkastelee ohjelmistotuotantomenetelmien kehittymistä ohjelmistokehittämisen alkuaajoista nykypäivään ja lähitulevaisuuteen. Se käsittelee erilaisia ohjelmistotuotantomenetelmiä kronologisesti. Jokaisen menetelmän kohdalla pyrin vastaamaan seuraaviin kysymyksiin:

- Mistä ohjelmistotuotantomenetelmässä on kyse?
- Miksi sitä käytetään/käytettiin ja mitä hyötyä siitä on/oli?
- Mitkä olivat sen heikkoudet?

Ohjelmistotuotannon eri osa-alueita tarkastellaan tutkielmassa ohjelmistotuotantomenetelmiä määrittävinä piirteinä. Tämä tarkoittaa sitä, että tarkasteltaessa esimerkiksi miten vaatimusmäärittely toteutetaan jossain tietyssä ohjelmistotuotantomenetelmässä, keskitytään prosessin konkreettisen toteutuksen sijasta sen asemaan ja erityispiirteisiin menetelmän kontekstissa.

Ensimmäiset luvut toimivat pohjustuksena tutkielmalle. Luku 2 esittelee lyhyesti keskeisimmät ohjelmistotuotantoon ja tuotantomenetelmiin liittyvät käsitteet ja Luku 3 käsittelee ohjelmistotuotannon alkuaikoja, jolloin tietokoneet itsessään olivat vielä verrattain uusi ilmiö ja suuret ohjelmistot ja niiden tuottaminen oli vähäistä. Alun alkaen laitteiston rajallisuus sitoi myös ohjelmistojen mahdollisuuksia, mutta laitteiston kehittyessä syntyi tarve organisoidummalle ohjelmistojen kehittämiselle.

Luku 4 käsittelee perinteistä ohjelmistotuotantomallia eli niin sanottua "vesiputousmallia". Tarkastelen mallin peruseriaatteita, sen nousemista aikansa keskeisimmäksi ohjelmistotuotantomenetelmäksi, sen onnistumisia ja epäonnistumisia sekä sen heikkouksia ja siihen kohdistettua kritiikkiä.

Luku 5 tarkastelee inkrementaalisia ja iteratiivisia ohjelmistotuotantomenetelmiä sekä prototyypaamista. Tyypiesimerkkeinä käsittelen RUP:ia eli Rational Unified Processia sekä spiraalimallia, jota voidaan pitää vesiputousmallin kehittyneempänä versiona.

Luvussa 6 otetaan tarkasteluun ketterät ohjelmistotuotantomenetelmät. Vaikka ketterä ohjelmistokehitys on kattokäsitteenä monelle erilaiselle mene-

telmälle kuten XP ja Kanban, käsittelen Scrumia tyyppiesimerkkinä, sillä se on kaikista ketteristä menetelmistä suosituin ja tunnetuin.

Viimeisessä luvussa käsittelen lyhyesti yhteenvedona tämän hetken vallitsevia ohjelmistotuotantomenetelmiä. Tarkastelen myös mahdollista lähitulevaisuuden trendejä ja mahdollisuuksia

2 Peruskäsitteistöä

Tietojenkäsittelytieteeseen ja ohjelmistotuotantoon liittyy monia alakohtaisia käsitteitä. Kaikkien termien merkitykset eivät ole suoraan johdettavissa itse termistä, sillä osa termistöstä on verrattain vapaita käännoiksi ulkomaisista termeistä ja osa konsepteista on laajoja. Lisäksi joillain termeillä viitataan puhekielessä vapaammin eri asioihin. Esimerkiksi softwarella voidaan puhekielessä viitata niin yksittäiseen tietokoneohjelmaan kuin laajaan ohjelmistoonkin. Tämän takia lyhyt käsitteenmäärittely tulee tarpeeseen.

Software eli ohjelmisto käsittää tietokoneohjelman tai -ohjelmia sekä kaiken niihin liittyvän informaation ja materiaalin kuten tietokannat ja dokumentaation.

Tietokonelaitteisto eli hardware käsittää tietokoneen fyysiset osat kuten prosessorin ja kovalevyn. Laitteistoa tarvitaan ohjelmistojen suorittamiseen, ja laitteisto tarvitsee toimiakseen toimintaohjeet matalan tason tietokoneohjelmina. Käytännössä tietokoneohjelmistot ja -ohjelmat sekä tietokonelaitteisto eivät ole käyttökelpoisia yksinään, vaan kumpaakin tarvitaan toisen järkevään käyttöön.

Termi software engineering, suomeksi ohjelmistotuotanto, alkoi esiintyä kirjallisuudessa 1960-luvun puolivälissä. Termi itsessään on ollut usein keskustelun ja väittelyn kohteena ja ohjelmistotuotannon kuulumista insinööritieteisiin on kyseenalaistettu. [5, 6, 9] Watts S. Humphrey on määritellyt ohjelmistotuotannon tarkoittavan kurinalaista laadukkaiden ohjelmistojen tuottamista hyödyntäen niin luonnontieteellisiä, matemaattisia kuin insinööritieteidenkin periaatteita ja käytänteitä[7]. IEEE Computer Society määrittelee termin viittaavan kurinalaiseen, systemaattiseen ja arvioitavissa olevaan lähestymistapaan ohjelmistojen tuotannossa, käytössä ja ylläpidossa[1]. Ilkka Haikala

ja Jukka Märijärvi tulkitsevat määrittelyjen tarkoittavan ohjelmistotyötä, jonka tuloksena syntyvät järjestelmät täyttävät käyttäjiensä kohtuulliset toiveet ja odotukset ja tämän lisäksi valmistuvat laadittujen aikataulujen ja kustannusarvioiden puitteissa[6].

Ohjelmistotuotantoon kuuluvat kaikki ohjelmistotuotantoprosessin osat alueet. Haikala ja Märijärvi [6] määrittelevät ne seuraavasti:

Määrittely sisältää asiakasvaatimusten analyysin ja niistä johdetaan ohjelmistovaatimukset.

Suunnittelu pitää sisällään ohjelmiston määrittelyssä jäseneltyjen toiminnallisuuden ja ominaisuuksien suunnittelun

Toteutus tarkoittaa ohjelmiston ohjelmointia sekä testauksen toteutusta

Testaus pyrkii karsimaan ohjelmistosta ohjelmointivirheitä ja muita vikoja. Tyypillisiä testaustapoja ovat yksikkö- ja integraatiotestaus.

Dokumentointi käsittää ohjelmistoprojektin aikana tuotettavan kirjallisen materiaalin, kuten projektisuunnitelmat, testaussuunnitelmat ja jopa ohjelmakoodin kommentoinnin.

Käyttöönotto ja **ylläpito** ovat asiakkaan ongelmien ratkomista, virheiden korjaamista ja tarvittaessa uusien ominaisuuksien lisäämistä.

Laatujärjestelmällä ja **laadunvarmistuksella** on tarkoitus taata, että ohjelmisto täyttää käyttäjän ja asiakkaan toiveet ja odotukset.

Projektinhallinta on työkalu ohjelmistotuotantoprojektin organisointiin. Suuret ohjelmistoprojektit koostuvat usein useasta rinnakkain tai peräkkäin etenevistä osaprojekteista ja tällöin niiden järjestelmällinen hallinta voi olla keskeistä koko projektin onnistumisen kannalta.

Tuotteenhallinta: Usein kaupallisella ohjelmistolla on useita eri konfiguraatioita jolloin se voidaan aina räätälöidä yksilöllisesti kullekin asiakkaalle sopivaksi. Tuotteenhallinnan tarkoitus on varmistaa, että asiakkaalla on tarvitsemansa toimiva versio ohjelmistosta.

Ohjelmistotuotantomenetelmä on koko ohjelmistotuotantoprosessin kattava viitekehys, joka ohjaa prosessin osa-alueitten käytännön toteutusta.

3 Ohjelmistotuotannon alkutaival

1940-luvun puolivälistä 1950-luvun lopun ensimmäiset ohjelmoitavat elektronisesti tallentavat tietokoneet olivat nykystandardeilla mitattuna valtavan kokoisia, hitaita ja muistikapasiteetiltaan mitättömiä. Rajoitustensa vuoksi tietokoneohjelmointia pidettiin toissijaisena ja yksinkertaisena toimena verrattuna itse tietokonelaitteiston suunnitteluun ja rakentamiseen. [5] Lähemmin ohjelmoinnin kanssa työskenteleville alkoi selvitä ohjelmoinnin monimutkaisuus ja ongelmat, kuten rajoitetun muistin hallinta ja ohjelmien välinen interaktio. Tarve järjestelmälliselle ohjelmien tuotannolle oli syntymässä.

Edsger Dijkstran mukaan alkukantaisilla tietokoneilla ohjelmointi nähtiin tapana venyttää tietokonelaitteiston rajoja ja kehittyneempien tietokoneitten uskottiin tekevän ohjelmoinnista lähes triviaalia kun rajoja ei enää tarvitsisi venyttää. [3] Niin sanottujen kolmannen sukupolven tietokoneiden tultua markkinoille vuosien 1963 ja 1965 välisenä aikana ohjelmoijat löysivät itsensä kuitenkin uusien ongelmien keskeltä, sillä uusi laitteisto oli myös paljon monimutkaisempi kuin aikaisemmat laitteet. Dijkstra itse summaa suurimpien ongelmien johtuneen kuitenkin tietokonelaitteiston tehokkuuden valtavasta tehokkuuden kasvusta:

Niin kauan kun ei ollut koneita, ohjelmointi ei ollut mikään ongelma; kun meillä oli muutama heikko tietokone, ohjelmointi oli vähäinen ongelma. Nyt kun meillä on gigantisia tietokoneita, on ohjelmoinnista tullut yhtä gigantinen ongelma! [3]

Tietotekniikkayritysten hankkiessa uutta tehokkaampaa laitteistoa seurasi luonnollisesti paine myös hyödyntää niiden kapasiteettia. Sen lisäksi, että ohjelmoijat joutuivat kohtaamaan haasteita ja toteuttamaan ratkaisuja joita oli aikaisemmin vain spekuloitu [3], huomattiin että koulutetusta tietotekniikka-alan työntekijöistä alkoi olla pulaa kysynnän vain kasvaessa. [5] Ohjelmistoprojektit alkoivat kallistua ja yhä useammin ne ylittivät reilusti budjettinsa

ja aikataulunsa mikäli valmistuivat koskaan.[13] Tätä vaihetta tietotekniikan historiassa on myöhemmin kutsuttu nimellä ohjelmistokriisi, software crisis. Dijkstran mukaan ilmiö tunnustettiin avoimesti vuoden 1968 Naton ohjelmistotuotantokonferenssissa Saksan Garmischissa [3]. Tapahtuma oli merkittävä myös siksi, että termi Software Engineering käytettiin tuolloin ensi kertaa suuressa virallisessa yhteydessä. Tapahtumassa käsiteltiin myös ohjelmistojen tuotanto ja laadunvalvontasykliä, koodin uusiokäyttöä sekä insinööritieteiden soveltamista ohjelmistojen tuotantoon. [5]

4 Perinteiset ohjelmistotuotantomenetelmät

Perinteisillä ohjelmistotuotantomenetelmillä viitataan suunnitelmavetoisiin tuotantomenetelmiin, joita määrittää projektin alussa suoritettava laaja vaatimusmäärittely ja yksityiskohtainen suunnittelu ja niitä sarjallisesti seuraavat toteutus-, testaus- ja käyttöönottovaiheet. Menetelmien lineaarisen etenemisen ja 'soljuminen' vaiheesta toiseen vuoksi niitä kutsutaan myös kattotermillä 'vesiputousmalli'. Ensimmäisen kerran mallin dokumentoi H.D. Benington vuonna 1956 artikkelissaan *Production of large computer programs*. [11, 2] Tohtori Winston Royce julkaisi vuonna 1970 paljon keskustelua herättäneen tekstinsä *Managing the Development of Large Software Systems*. Artikkelissa Royce esittelee yksinkertaisen vesiputousmallin, mutta esittää sitä kohtaan kritiikkiä esittäen siitä iteratiivisempia versioita. Siitä huolimatta, että Roycen oma suositus oli tehdä vesiputousmallin vaiheet kahdesti aluksi tuottaen prototyypin ja myöhemmin varsinaisen tuotteen, artikkeliin on viitattu vesiputousmallin keskeisenä hahmotelmana.

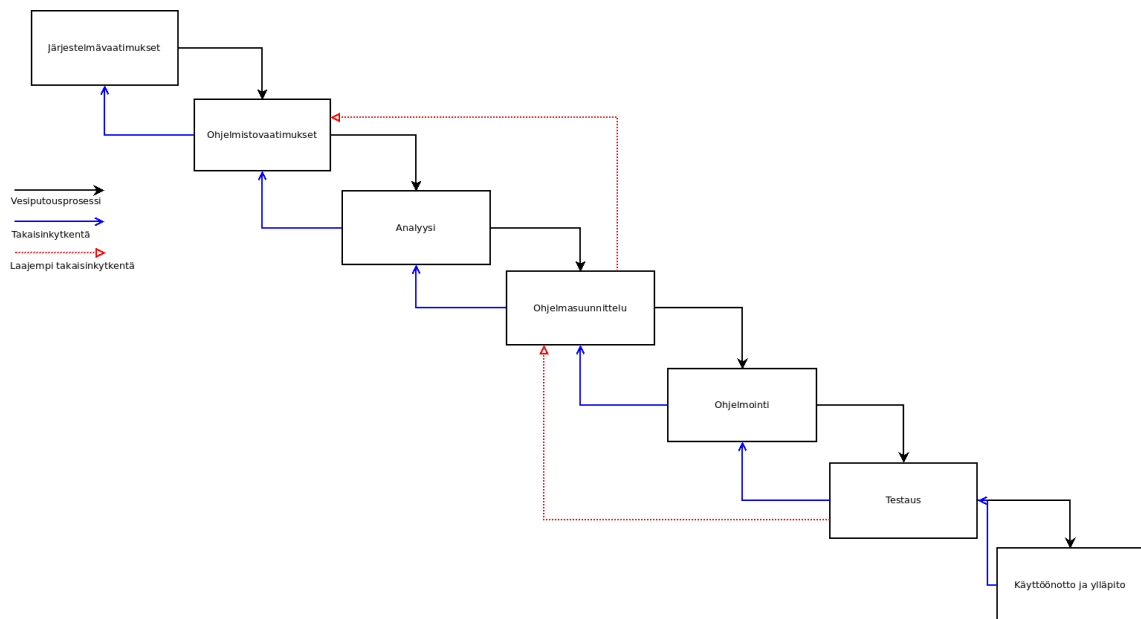
4.1 Vesiputousmallin rakenne

Vesiputousmalli koostuu toisiaan seuraavista työvaiheista, joista seuraava aloitetaan aina edellisen valmistuttua. Ajalleen tyypillisesti malli muistuttaa insinööritieteiden suunnitteluprosessia, jossa ennen projektin konkreettista toteuttamista tehdään perinpohjaiset suunnitelmat dokumentointineen. Niin Beningtonin kuin Roycenkin mallin ensimmäiset askeleet liittyvät projektin

vaatimusten määrittelyyn ja kartoitukseen. Roycen mallin ensimmäiset askeleet ovat järjestelmävaatimukset ja ohjelmistovaatimukset[10]. Benington esittää vaiheet vähän laajemmin aloittaen korkeatasoisella ja yleisluontoisella toimintasuunnitelmavaiheella. Vaiheeseen kuuluu asiakasvaatimukset sekä projektin ajalliset ja budjetilliset vaatimukset. Toimintasuunnitelmavaihetta seuraa toiminnalliset määrittelyt ja laitteistospesifikaatiot. [2] Näiden pohjalta määritellään itse ohjelmiston toiminnalliset-, tehokkuus-, käyttö- ja laatuvaatimukset. Royce painotti dokumentaation tärkeyttä projektin onnistumisen kannalta ja alkuvaiheiden valmistuttua tuloksena tulisi olla määrittelydokumentti ja alustava suunnitteludokumentti. Kun vaatimukset on määritelty siirrytään analyysivaiheeseen, jossa selvitetään vaatimusten tekniset yksityiskohdat. Analyysin perusteella suunnitellaan lopulta itse ohjelmiston yksityiskohdat, joihin kuuluvat muun muassa ohjelmiston arkkitehtuuri, rajapinnat, käyttöliittymä ja testaus. Roycen mukaan suunnitteluvaiheen lopuksi dokumentoituna tulisi olla ohjelmiston lopullinen suunnitelma, käyttöliittymäsuunnitelma sekä ohjelmiston testaussuunnitelma. Ohjelmointivaihe toteutetaan suunnitelmien pohjalta ja niitä seuraten. Ohjelmointivaiheen ollessa ohitse siirrytään testausvaiheeseen, jossa ohjelman eri moduulit testataan yhdessä ja erikseen testaussuunnitelman pohjalta. Lopputuotoksena saadaan dokumentti testauksen tuloksista. Viimeinen vaihe on ohjelmiston käyttöönotto ja ylläpito. Tähän vaiheeseen kuuluu mahdollisten käytössä löydettyjen virheiden korjaaminen ja ohjelmiston muuttaminen tai siihen ominaisuuksien lisääminen mikäli tarve sille syntyy.

4.2 Vesiputousmallin ongelmia

Koska vesiputousmallille on haettu vaikutteita insinööritieteistä, muistuttaa se paljolti esimerkiksi rakennussuunnitteluprosessia [12] Siltaa rakentaessa ennen itse rakentamisen aloittamista suunnitellaan sillan arkkitehtuuri, tehdään lujuuslaskelmat, allokoidaan tarvittavat resurssit ja dokumentoidaan suunnitelmat tarkasti. Tarkasti dokumentoiduilla suunnitelmilla itse rakentamisvaihe voitaisiinkin siirtää ulkopuolisen tahon vastuulle ja näin rakennusallalla usein tehdäänkin. [4] Rakentaminen nähdään triviaalina ja mekaanisena



Kuva 1: Wilson Roycen näkemystä mukaileva vesiputousmalli

ohjeiden seuraamisena. Martin Fowlerin mukaan menetelmän ongelmana ohjelmistotuotannossa on se, että suunnitelmien virheet ja heikkoudet ilmenevätkin juuri ohjelmointi- ja testausvaiheissa jolloin ohjelmiston toteutus ei olekaan enää kovin suoraviivaista. Juuri suunnittelun korostamisessa piilee myös yksi vesiputousmallin kritisoiduimmista piirteistä. Vesiputousmalli nojaa kokonaisvaltaiseen suunnitteluun ja suunnitelman noudattamiseen, mutta ohjelmistojen kehittäminen tapahtuu usein nopeasti muuttuvassa liiketoimintaympäristössä. Käytännössä on usein mahdotonta selvittää kaiken kattavia ja ulkoisille muutospaineille immuuneja järjestelmä- ja ohjelmistovaatimuksia. [12]

Joskus todelliset vaatimuksetkin selviävät vasta ohjelmistoa oikeassa ympäristössä käytettäessä. Teoriassa hyvä suunnitelma voi osoittautua huonoksi myöhemmissä konkreettemmissä työvaiheissa, mutta vesiputousmallin rakenne vaikeuttaa muutoksien tekemistä suunnitelmiin. Managing the Development of Large Software Systems -artikkelissa Royce esittääkin, että vaiheiden välillä tulisi olla takaisinkytkentöjä, jolloin uutta tietoa saadessa voitaisiin palata korjaamaan aikaisempien työvaiheiden virheitä. [10] Lisäksi Royce ehdotti,

että prosessi kannattaisi suorittaa kahdesti. Esimerkiksi neljäkymmenen kuukauden projektissa ensimmäiset kymmenen kuukautta voisi Roycen mukaan käyttää prototyypin rakentamiseen, jonka pohjalta loput kolmekymmentä kuukautta käytettäisiin varsinaisen ohjelmiston kehittämiseen.

Toisaalta mikäli ohjelmiston vaatimukset pystytään määrittelemään tarpeeksi tarkasti, esimerkiksi ohjelmiston ollessa sidoksissa johonkin valmiiseen laitteistoon, voi vesiputousmalli olla hyvinkin toimiva ratkaisu suuren työryhmän työskentelyn ohjaukseen.

5 Inkrementaaliset ja iteratiiviset menetelmät sekä prototyypaus

Inkrementaalisia ja iteratiivisia ohjelmistotuotantomenetelmiä pidetään yleensä vastauksena vesiputousmallin ongelmiin. Ominaista inkrementaalisille ja iteratiivisille malleille onkin dokumenttijohtaisen lineaarisesti etenevän tuotantoprosessin välttäminen hyödyntäen muun muassa aikaan sidottuja iteraatioita, evolutiivista kehittämistä ja palautteen mukaan ohjautuvaa kehittämistä. [8] Menetelmät perustuvat ohjelmiston vaiheittaiseen kehittämiseen, jossa joka kehitysvaihetta arvioidaan ja arvioiden pohjalta kehitetään paranneltu versio kunnes vaadittu järjestelmä on valmis. [12] Tunnettuja inkrementaalisia ja iteratiivisia ohjelmistokehitysmenetelmiä ovat muun muassa Extreme Programming eli XP, Rapid Application Development eli RAD, Spiraalimalli ja Rational Unified Process eli RUP. Kahta jälkimmäistä tarkastelen lähemmin vielä myöhemmin.

Iteratiiviset ja inkrementaaliset menetelmät nousivat suuren yleisön tietoisuuteen joulukuussa 1994 kun Yhdysvaltain puolustusministeriö julkaisi uuden standardin Mil-Std-498, jonka keskeisin muutos aikaisempaan oli iteratiivisten ja inkrementaalisten ohjelmistokehitysmenetelmien salliminen vesiputousmallin lisäksi. Kuitenkin malleja oli tunnettu ja käytetty paljon aikaisemmin. Basil ja Larman siteeraavat artikkelissaan *Iterative and Incremental Development: A Brief History* NASAn Project Mercuryssa vuonna 1957 työskennellyttä Gerald M. Weinbergia, jonka mukaan projektissa hyödynnettiin

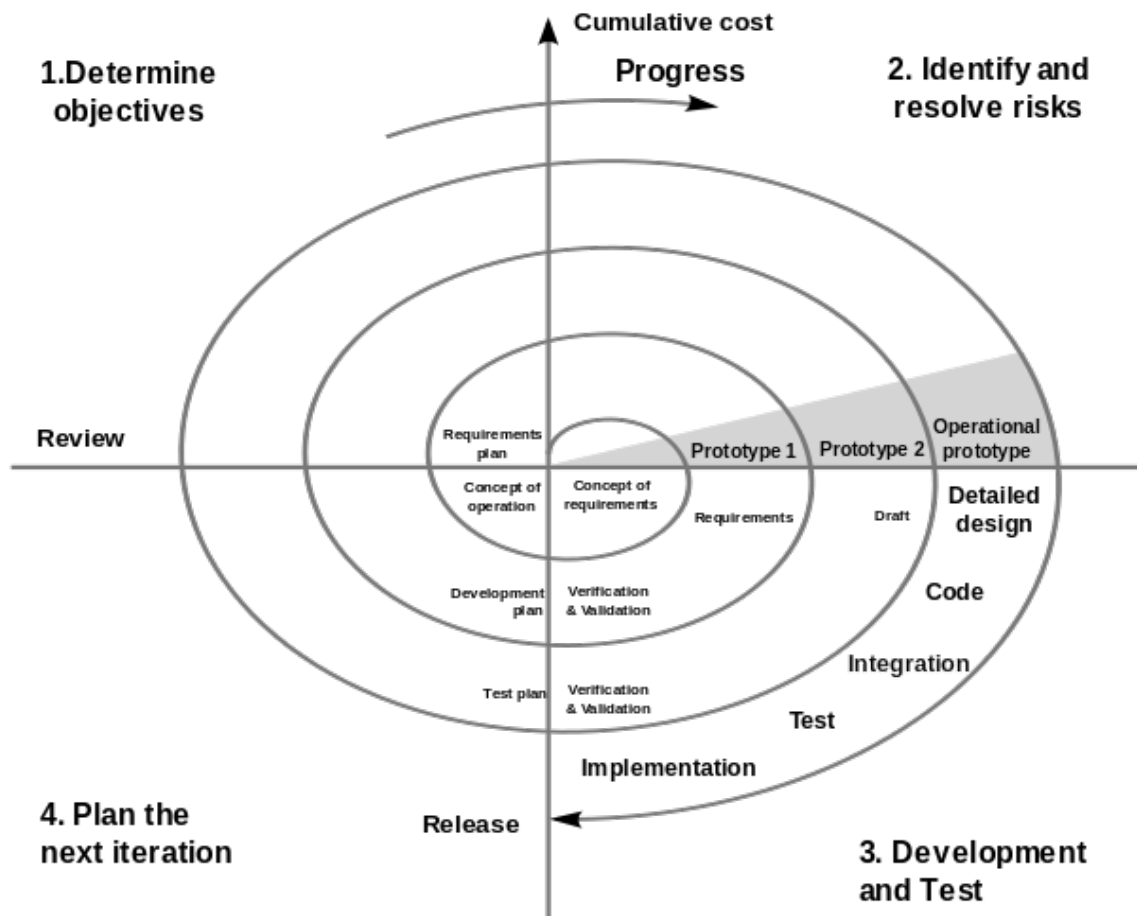
erottamattomasti XP:n kaltaista iteratiivista ohjelmistotuotantomenetelmää. Yhdysvaltain puolustusministeriön projektien ulkopuolella muun muassa IBM ja TRW hyödynsivät inkrementaalisia ja iteratiivisia menetelmiä menestyksekkäästi esimerkiksi NASAn suurissa projekteissa 70-luvulla.[8] 80-luvun alun tekoälyprojektit hyödynsivät laajalti evolutiivista prototyypaamista. Eräänä 80-luvun keskeisimmistä merkkipaaluista iteratiivisten ja inkrementaalisten ohjelmistotuotantomenetelmien kannalta pidetään Barry Boehmin vuonna 1986 julkaisemaa artikkelia *A Spiral Model of Software Development and Enhancement* jossa spiraalimalli esiteltiin ja jossa formalisoitiin konsepti riskien ohjaamista iteraatioista. 90-luvulla formalisoitiin monia muitakin tunnettuja iteratiivisia ja inkrementaalisia ohjelmistotuotantomenetelmiä, kuten DSDM, XP ja Scrum josta tuli 2000-luvulla ketterän ohjelmistokehityksen keskeisimpiä menetelmiä.

5.1 Spiraalimalli

Barry Boehmin spiraalimalli on iteraatioittain etenevä ohjelmistotuotantomenetelmä. Spiraalimallille ominaista on kehittämisen ohjautuminen riskien ja niiden hallinan mukaan, kun esimerkiksi vesiputousmallissa kehitys ohjautuu suunnitelmien ja määrittelyjen mukaan. Spiraalimalli on siitakin erikoinen menetelmä, että sen puitteissa pystyy käyttämään niin lineaarisia, inkrementaalisia kuin evolutiivisia työprosesseja riippuen ohjelmiston sen hetkisestä tilasta ja siihen liittyvistä riskeistä ja suunnitelmista.

Jokainen kierros spiraalissa edustaa yhtä vaihetta ohjelmistoprosessissa. Yksi kierros koostuu neljästä järjestyksessä toistuvasta työvaiheesta [12]:

1. **Tavoitteen määrittely:** Työvaiheen tavoitteet määritellään, vaiheeseen ja tuotteeseen kohdistuvat rajoitteet ja riskit tunnistetaan. Laaditaan toimintasuunnitelma sekä riskeistä riippuen vaihtoehtoisia suunnitelmia.
2. **Riskien arviointi ja minimointi:** Jokainen tunnistettu riski analysoidaan yksityiskohtaisesti ja toimitaan riskien uhkien pienentämiseksi. Esimerkiksi, jos riskinä on ohjelmiston vaatimusten epätarkkuus, voidaan



Kuva 2: Barry Boehmin spiraalimalli

riskien minimoimiseksi alkaa kehittää ohjelmiston prototyypimallia.

3. **Kehitys ja validointi:** Riskien arvioinnin jälkeen valitaan järjestelmälle tuotantomalli. Jos esimerkiksi käyttöliittymään liittyvät riskit ovat hallitsevia, voi hyvä malli kehittämiselle olla evolutiivinen prototyypaus kun taas tilanteessa, jossa alijärjestelmien integrointi pääohjelmistoon on suurin riskien lähde, voi vesiputousmalli olla paras lähestymistapa.

4. **Seuraavan vaiheen suunnittelu:**

6 Ketterät menetelmät

7 Ohjelmistojen kehitys nykyään ja tulevaisuudessa

Lähteet

- [1] Abran, Alain, Moore, James W., Bourque, Pierre, Dupuis, Robert ja Tripp, Leonard L.: *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK)*. IEEE, 2004. <http://www.swebok.org/>, ISO Technical Report ISO/IEC TR 19759.
- [2] Benington, H. D.: *Production of Large Computer Programs*. Teoksessa *Proceedings of the 9th International Conference on Software Engineering, ICSE '87*, sivut 299–310, Los Alamitos, CA, USA, 1987. IEEE Computer Society Press, ISBN 0-89791-216-0. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=41765.41799>.
- [3] Dijkstra, E.: *Classics in software engineering*. luku The humble programmer, sivut 111–125. Yourdon Press, Upper Saddle River, NJ, USA, 1979, ISBN 0-917072-14-6. <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1241515.1241525>.
- [4] Fowler, Martin: *The New Methodology*. 2005. <http://martinfowler.com/articles/newMethodology.html>.
- [5] Grier, David Alan: *Software Engineering: History*. Teoksessa *Encyclopedia of Software Engineering*, sivut 1119–1126. 2010.
- [6] Haikala, I. ja Märijärvi, J.: *Ohjelmistotuotanto*. Korkeakoulu-sarja. Satak, 2003, ISBN 9789521404863. <http://books.google.fi/books?id=xIVaAAAAACAAJ>.
- [7] Humphrey, W. S.: *The software engineering process: definition and scope*. Teoksessa *Proceedings of the 4th international software process*

- workshop on Representing and enacting the software process*, ISPW '88, sivut 82–83, New York, NY, USA, 1988. ACM, ISBN 0-89791-314-0. <http://doi.acm.org/10.1145/75110.75122>.
- [8] Larman, C. ja Basili, V.R.: *Iterative and Incremental Development: A Brief History*. IEEE Computer, 36(6):47–56.
 - [9] Mahoney, Michael S.: *Finding a History for Software Engineering*. IEEE Annals of the History of Computing, (1):8–19, ISSN 1058-6180. <http://ieeexplore.ieee.org/search/wrapper.jsp?arnumber=1278847>.
 - [10] Royce, Winston W.: *Managing the development of large software systems: concepts and techniques*. Teoksessa *Proc. IEEE WESTCON*. IEEE Press, August 1970. Reprinted in *Proc. Int'l Conf. Software Engineering (ICSE)* 1989, ACM Press, pp. 328-338.
 - [11] Ruparelia, Nayan B.: *Software Development Lifecycle Models*. SIGSOFT Softw. Eng. Notes, 35(3):8–13, toukokuu 2010, ISSN 0163-5948. <http://doi.acm.org/10.1145/1764810.1764814>.
 - [12] Sommerville, Ian: *Software Engineering*. Addison-Wesley, Harlow, England, 9 painos, 2010, ISBN 978-0-13-703515-1.
 - [13] The Standish Group: *Chaos Report*, 1995. <http://www.cs.nmt.edu/~cs328/reading/Standish.pdf> – last visited 15th of June, 2008.