

# Työnkulkumallit ja BPEL-koneiden suorituskyky

Jarkko Virtanen

19.5.2008

Joensuun yliopisto  
Tietojenkäsittelytiede  
Pro gradu -tutkielma

## Tiivistelmä

Palvelukeskeinen arkkitehtuuri on yleensä web-palvelutekniikan avulla toteutettava hajautettu arkkitehtoninen malli. BPEL mahdollistaa web-palveluympäristössä toimivien liiketoimintaprosessien määrittämisen ja prosessien suorittamisen eri toimittajien tarjoamissa BPEL-koneissa. Työnkulkumallit ovat kirjallisuudessa esitetty työnkulunhallintajärjestelmien ja erilaisen mallinnus- ja prosessinmäärittelykielten arviointiin tarkoitettu kehys. Tässä tutkielmassa tarkastellaan kolmen BPEL-koneen suorituskyyä työnkulkumalleihin pohjautuvan aineiston ja erikokoisten tietomäärien avulla. Ohjausvuon rakenteeseen perustuvien työnkulkumallien suorituksessa havaittiin eroja rinnakkaisuusrakenteiden suorituskyyssä. Tietomäärää kasvatettaessa merkittävimmät erot suorituskyyssä liittyivät vastauksen käsittelyyn ja XML:n sarjallistamistekniikkaan.

*ACM-luokat* (ACM Computing Classification System, 1998 version): C.2.4, C.4, D.3.3, H.4.1

*Avainsanat:* BPEL, työnkulkumallit, suorituskyy, web-palvelutekniikka

# Sisältö

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1 Johdanto.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>2 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri ja web-palvelutekniikka.....</b> | <b>3</b>  |
| 2.1 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri.....                              | 3         |
| 2.2 Web-palvelutekniikka.....  | 7         |
| 2.3 Web-palvelu.....   | 9         |
| 2.4 Web-palvelutekniikasta tehdyt suorituskykytutkimukset.....       | 10        |
| <b>3 BPEL.....</b>   | <b>14</b> |
| 3.1 BPEL-prosessi.....   | 14        |
| 3.2 Partnerilinkit.....  | 16        |
| 3.3 Perustoiminnot.....  | 17        |
| 3.4 Rakenteiset toiminnot.....                                       | 20        |
| 3.5 Korrelaatio.....   | 24        |
| 3.6 Näkyvyysalueet.....  | 25        |
| 3.7 BPEL-koneista tehdyt suorituskykytutkimukset.....                | 27        |
| <b>4 Työnkulkumallit.....</b>  | <b>29</b> |
| 4.1 Yleistä työnkulkumalleista.....                                  | 29        |
| 4.2 Testiaineiston työnkulkumallit.....                              | 31        |
| 4.2.1 Sekvenssi.....   | 34        |
| 4.2.2 Rinnakkainen jakautuminen.....                                 | 34        |
| 4.2.3 Synkronointi.....  | 35        |
| 4.2.4 Poissulkeva valinta.....                                       | 36        |
| 4.2.5 Yksinkertainen yhdistäminen.....                               | 37        |
| 4.2.6 Monivalinta.....   | 38        |
| 4.2.7 Synkronoiva yhdistäminen.....                                  | 38        |
| 4.2.8 Implisiittinen päätyminen.....                                 | 39        |
| <b>5 BPEL-koneiden vertailu.....</b>                                 | <b>40</b> |
| 5.1 Menetelmä.....   | 40        |
| 5.1.1 Suorituskyvyn selvittäminen työnkulkumalliaineistolla.....     | 41        |
| 5.1.2 Tietomäärän suorituskykyvaikutusten selvittäminen.....         | 41        |
| 5.2 Vertailuympäristö.....   | 42        |
| 5.3 Asiakassovellus.....   | 43        |
| 5.3.1 Työnkulkumallien suoritusaikojen mittaaminen.....              | 43        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.3.2 Tietomäärän suorituskykyvaikutuksen mittaaminen.....   | 44        |
| 5.4 Tulokset.....  | 45        |
| 5.4.1 Työnkulkumallien suoritusajat.....                     | 45        |
| 5.4.2 Tietomäärän vaikutus suorituskykyyn.....               | 47        |
| 5.5 Tarkastelu.....  | 50        |
| 5.5.1 Työnkulkumallien suoritusajat.....                     | 50        |
| 5.5.2 Tietomäärän vaikutus suorituskykyyn.....               | 50        |
| <b>6 Yhteenveto.....</b>                                     | <b>52</b> |
| <b>Viitteet.....</b>   | <b>54</b> |
| <b>Liite 1: Mittaustulokset.....</b>                         | <b>58</b> |
| <b>Liite 2: Synkronoivan yhdistämisen BPEL-toteutus.....</b> | <b>64</b> |

# 1 Johdanto

*Liiketoimintaprosessi* (business process) kuvaa liiketoiminnan toiminnot ja toimintojen ja liiketoiminnan resurssien välisen vuorovaikutuksen prosessin tavoitteen saavuttamiseksi (Eriksson ja Penker, 2000). Liiketoimintaprosessien tukemiseksi voidaan laatia ohjelmistoja, jotka voivat automatisoida koko prosessin suorittamisen tai joitakin prosessin osia. Liiketoimintaprosessien automatisointia varten on kehitetty useita kieliä, joihin kuuluu muun muassa Microsoftin XLANG-kieleen ja IBM:n WSFL-kieleen (Web Services Flow Language) pohjautuva BPEL (Business Process Execution Language for Web Services, BPEL4WS). BPEL:in avulla toteutettuja liiketoimintaprosesseja voidaan suorittaa eri toimittajien tarjoamissa *BPEL-koneissa* (BPEL engine).

Liiketoimintaprosessin automatisointia tai sen avustamista tietokoneen avulla kutsutaan *työnkuluksi* (workflow). *Työnkulunhallintajärjestelmä* (workflow management system) on järjestelmä, joka määrittelee, hallitsee ja suorittaa työkulkuja hyödyntämällä ohjelmistoa, jonka suoritus perustuu ohjelmiston ymmärtämässä muodossa esitettyyn työnkulun logiikkaan. Yksittäisen työnkulun elinkaaren pituus voi vaihdella minuuteista useisiin päiviin (Hollingsworth, 1995). Pitkäkestoisten työkulujen tapauksessa työnkulunhallintajärjestelmän suorituskyvylle ei välttämättä tarvitse asettaa merkittäviä vaatimuksia. BPEL-koneiden suorituskykyyn on kuitenkin kiinnitetty kirjallisuudessa huomiota jo siitäkin syystä, että BPEL:in käyttökohteet eivät rajoitu pelkästään perinteisiin liiketoimintaprosesseihin. Reynoldsin (2006) mukaan BPEL-prosessien avulla toteutetuissa työkuluisissa on havaittu suorituskykyongelmia joissakin todellisissa järjestelmissä. Emmerich et al. (2006) ovat tarkastelleet BPEL-koneen suorituskykyä ja BPEL:iä osana tieteellisen laskennan sovelluksia, joilta edellytetään hyvää suorituskykyä. Yuan et al. (2007) ovat puolestaan vertailleet BPEL:in ja Java-pohjaisten ratkaisujen suorituskykyä tietoliikennepalveluiden koostamisessa. Mobiililaitteille suunnatun BPEL-koneen suorituskykyä on arvioitu Hackmannin et al. (2006) vertailussa.

Tässä tutkielmassa selvitetään empiirisesti kolmen BPEL-koneen suorituskykyä van der Aalstin et al. (2003) esittämiin *työnkulkumalleihin* (workflow patterns) pohjautuvan aineiston avulla. Työnkulkumalleja BPEL-koneiden suorituskykyvertailussa on aiemmin sovellettu Hackmannin et al. (2006) vertailussa. Tässä tutkielmassa testiaineistona käytetään osajoukkoa Hackmannin et al. (2006) vertailussa mukana olleista työnkulkumalleista. Tutkielmassa ver-

taittavat BPEL-koneet ovat avoimen lähdekoodin ActiveBPEL (Active Endpoints, 2008) ja BSOA Orchestra (OW2 Consortium, 2008) sekä kaupallinen Oracle BPEL Process Manager (Oracle, 2008).

BPEL:in teknologia-alustana on XML-teknologioihin (Extensible Markup Language) pohjautuva *web-palvelutekniikka* (Web services). Web-palvelutekniikka on todettu suorituskyvyltään useita muita *väliohjelmistoja* (middleware) heikommaksi (esim. Gray, 2004; Juric et al., 2006). Työnkulkumalleilla suoritettavien mittausten ohella tässä tutkielmassa tarkastellaan web-palvelutekniikassa keskeisessä osassa olevan XML:n käsittelyn vaikutusta BPEL-koneiden suorituskykyyn erikokoisilla tietomäärillä. Suoritusajoista erotellaan eri vaiheet prosessin suorittamisessa ja pyritään tunnistamaan suoritusaikaan merkittävimmin vaikuttava käsittely.

Tutkielman luvussa 2 luodaan katsaus web-palvelutekniikkaan. Laajempaan käsitteeseen esitellään aluksi palvelukeskeinen arkkitehtuuri, jossa liiketoimintaprosessien koostaminen on olennainen sovellusten kehittämiseen liittyvä toiminto. Palvelukeskeinen arkkitehtuuri on mahdollista toteuttaa web-palvelutekniikan avulla. Luvussa 3 esitellään BPEL nojautumalla pääasiassa kielen määrittelyyn ja esimerkkeihin. Luvussa 4 tarkastellaan tutkielman suorituskykyvertailun testiaineistona käytettyjä ohjausvuon rakenteeseen perustuvia työnkulkumalleja. Työnkulkumallien toteutusta silmällä pitäen luvussa esitetään mallien toteutusmahdollisuudet BPEL:in tarjoamin keinoin. Tutkielman luvussa 5 esitellään suorituskykyvertailussa käytetty menetelmä, vertailuympäristö, tulokset keräävä asiakassovellus ja vertailun tulokset. Tutkielman päättää lukuun 6 koottu yhteenveto.

## 2 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri ja web-palvelutekniikka

BPEL:in avulla määritellyt liiketoimintaprosessit toimivat vuorovaikutuksessa prosessiin osallistujien kanssa web-palvelutekniikan avulla. Web-palvelutekniikka on laaja ja useita XML-perustaisia määrittelyitä käsittävä hajautettujen järjestelmien alusta. Tässä luvussa perehdytään aluksi palvelukeskeiseen arkkitehtuuriin, joka toteutetaan yleensä web-palvelutekniikan avulla. Web-palvelutekniikan ja *web-palveluiden* (Web service) esittelemisen jälkeen käsitellään web-palvelutekniikasta tehtyjä suorituskykytutkimuksia ja web-palvelutekniikan suorituskykyyn vaikuttavia tekijöitä.

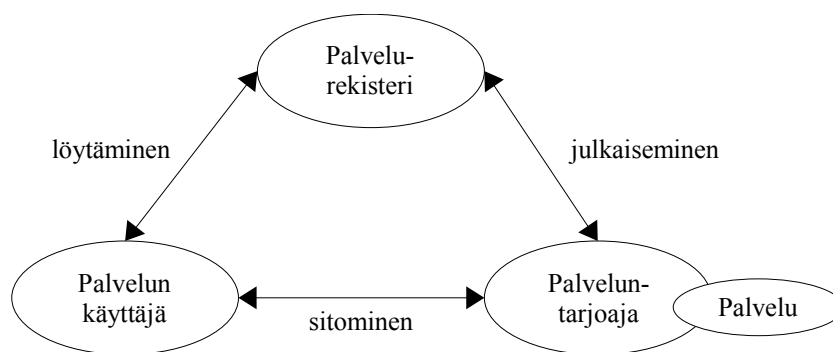
### 2.1 Palvelukeskeinen arkkitehtuuri

Erlin (2008) mukaan *palvelukeskeinen tietotekniikka* (Service-Oriented Computing, SOC) on uuden sukupolven hajautettu alusta, joka rakentuu aiempien hajautettujen alustojen varaan. Curbera et al. (2003) esittävät palvelukeskeisen tietotekniikan nousseen esiin vastauksena yritysten toimintatapojen muutokseen. Perinteisiä yhden yrityksen hallinnoimia tietotekniikka-infrastruktuureita korvataan sovelluksista muodostuvilla verkostoilla, joita hallinnoivat useat liiketoimintaan osallistuvat tahot. Erl (2008) esittää palvelukeskeisen tietotekniikan tavoitteina parantuneen yhteentoimivuuden ja tietoteknisen ympäristön yhtenäisyyden, lisääntyneen mahdollisuuden hyödyntää eri toimittajien tuotteita ja teknologioita sekä parantuneen liiketoiminnan ja teknologian yhteensovittamisen. Tavoitteiden saavuttamisella voidaan aikaansaada hyötyjä, joita ovat investointien tuoton kasvaminen, tietotekniikan varsinaiselle liiketoiminnalle aiheuttaman rasituksen aleneminen ja organisaation ketteryyden lisääntyminen.

W3C:n (World Wide Web Consortium) määritelmän mukaan *palvelukeskeinen arkkitehtuuri* (Service-Oriented Architecture, SOA) on joukko ohjelmistokomponentteja, joita voidaan kutsua ja joiden liittymien kuvaukset voidaan julkaista ja löytää. Löytämällä tarkoitetaan palveluun liittyvän resurssin ohjelmallisesti käsiteltävissä olevan kuvauksen paikallistamista (W3C, 2004a). Erlin (2008) mukaan palvelukeskeinen arkkitehtuuri on arkkitehtoninen malli, joka pyrkii parantamaan yrityksen tehokkuutta, ketteryyttä ja tuottavuutta palveluina esitetyn liiketoimintalogiikan avulla. *Palvelukeskeisyydellä* (service-orientation) tarkoitetaan tiettyjä suunnitteluperiaatteita käsittävää suunnitteluparadigmaa. Suunnitteluperiaatteiden soveltamisen

seurauksena tuotetaan palvelukeskeistä ratkaisulogiikkaa, jonka perusyksikkönä on palvelu. *Palvelu* on itsenäinen ohjelmisto, joka tukee palvelukeskeisen tietotekniikan tavoitteiden saavuttamista. W3C (2004a) puolestaan määrittelee palvelun abstraktina resurssina, joka kykenee suorittamaan tehtäviä, jotka muodostavat yhtenäisen toiminnallisuuden palvelun tarjoajien ja palvelun käyttäjien näkökulmasta.

Kuvassa 1 on havainnollistettu palvelukeskeisen järjestelmän käsitteellistä arkkitehtuuria. Palveluntarjoajan tehtävänä on määrittellä palvelun liittymä ja toteuttaa palvelun sisältämä toiminnallisuus. Palvelun käyttäjä sitoo palvelun toteuttamaansa sovellukseen. Käyttäjän sovellus sisältää toiminnallisuuden, joka kutsuu palvelua ja käsittelee palvelun palauttaman vastauksen. Palveluntarjoaja lisää palvelurekisteriin tietoa palvelusta ja sen toiminnasta, jotta ulkoisilla palvelun käyttäjillä on mahdollisuus hyödyntää palvelua (Sommerville, 2007).

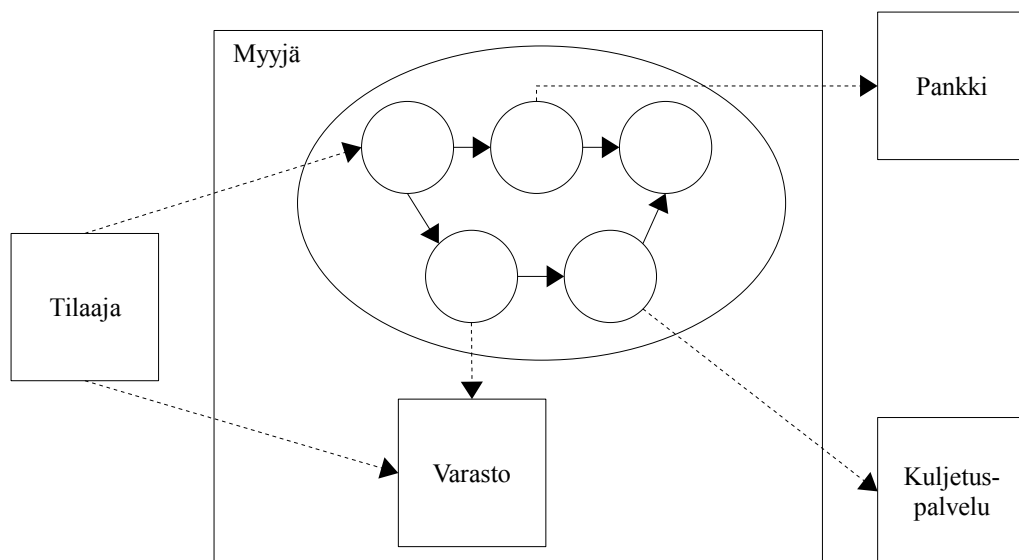


Kuva 1: Palvelukeskeisen järjestelmän käsitteellinen arkkitehtuuri (Sommerville, 2007).

Palvelukeskeisten järjestelmien toteuttaminen ei kuitenkaan ole täysin ongelmaton. Huhnsin ja Singhin (2005) mukaan palvelukeskeisen arkkitehtuurin toteuttamiseen liittyy useita ongelmia, jotka tulisi ratkaista, jotta arkkitehtuuri olisi toteuttamiskelpoinen laajemmassa mittakaavassa. Tehokas julkaiseminen edellyttää tarkkaa palveluiden kuvaamista. Palvelua voivat käyttää myös muihin hallinta-alueisiin kuuluvat tahot, jolloin erilaiset oletukset palvelun merkityksestä voivat olla vahingollisia. Palvelurekisterin tulisi kyetä sertifoimaan palveluntarjoajat, jotta palvelurekisteri voi suositella palveluntarjoajia rekisterin käyttäjille. Palvelun käyttäjien tulisi löytää luotettava palvelurekisteri. Kun sopiva palvelu on löytynyt palvelurekisteristä, palvelun käyttäjän ja palveluntarjoajan tulee kyetä osallistumaan pitkäkestoisiin joustaviin tapahtumiin tavalla, jossa on mahdollista asettaa palvelutasosopimus ja sitä voidaan valvoa.



Erlin (2008) mukaan yksi palvelukeskeisyyden suunnitteluperiaatteista on palveluiden *koostettavuus* (composability). *Palvelukooste* (service composition) on joukko palveluita, jotka on koottu yhteen tarjoamaan liiketoimintaprosessin automatisoimiseksi vaadittu toiminnallisuus. Curbera et al. (2003) esittävät palveluiden koostamisen olevan keskeinen palvelukeskeisen tietotekniikan sovellusten kehittämiseen liittyvä toiminto. Palvelukoosteet voivat muodostaa palveluita, jolloin koostamisesta tulee rekursiivinen operaatio. Huhnsin ja Singhin (2005) mukaan palveluiden koostaminen on keskeisessä asemassa, koska koostaminen mahdollistaa olemassa oleviin osiin perustuvan lisäarvon tuottamisen. Perinteisessä ohjelmistotuotannossa uudelleenkäyttö on arvossa pidetty käsite, mutta uudelleenkäyttö ei ole pakollista. Palveluiden tapauksessa uudelleenkäyttö on välttämätöntä, koska palvelut voivat ylittää organisaatorajoja. Perinteisessä ohjelmistotuotannossa on voitu toteuttaa esimerkiksi oma tietorakenne- tai grafiikkakirjasto, mutta ei ole mahdollista toteuttaa omaa vakuutusyhtiö- tai lentoyhtiöpalvelua, jolloin olemassa olevia palveluita joudutaan koostamaan.

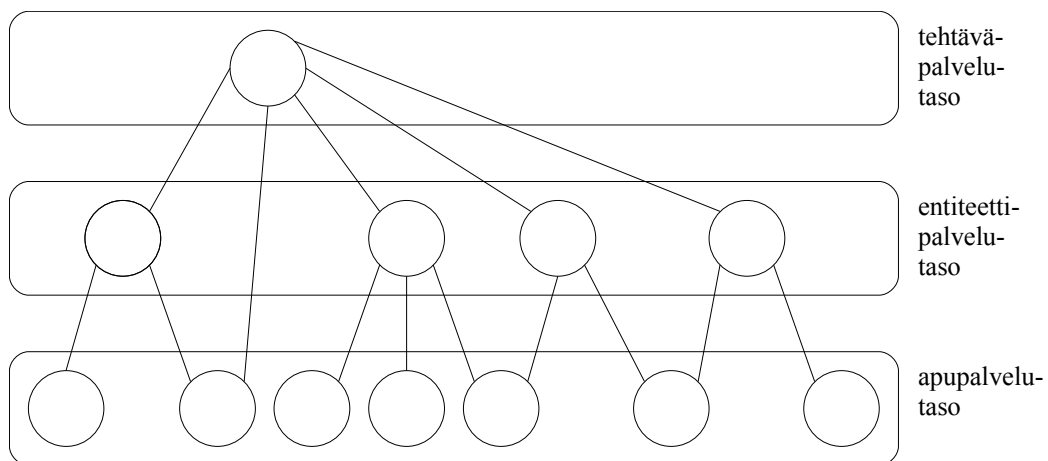


Kuva 2: Esimerkki palvelukoosteesta (Khalaf et al., 2006; mukailten).

Kuvassa 2 on esitetty esimerkki palvelukoosteena toteutetusta liiketoimintaprosessista. Kuvassa katkoviivoitus esittää viestiliikennettä. Ellipsin sisään suljettu suunnattu verkko esittää liiketoimintaprosessin työnkulkua. Esimerkissä myyjän tarjoama hankintapalvelu on toteutettu liiketoimintaprosessina, joka hyödyntää sekä myyjän sisäisiä palveluita, kuten tuotteen merkitsemistä poistetuksi varastopalvelussa, että ulkoisia palveluita, kuten pankki- ja kuljetuspalveluita (Khalaf et al., 2006).

Benatallahin et al. (2005) mukaan palveluiden koostamiseksi on olemassa kaksi tapaa. *Koreografia* kuvaa palveluiden välisen yhteistyön jonkin tavoitteen saavuttamiseksi. Koreografia ei keskity tiettyyn palveluun, vaan ohjauslogiikka on hajautettu koreografiassa mukana olevien palveluiden kesken. *Orkestrointi* puolestaan kuvaa palvelun tarjoajan toteuttaman palvelun käyttäytymisen. Orkestrointi keskittyy kuvaamaan tiettyä palvelua ja ohjauslogiikka on keskitetty kyseiseen palveluun. Orkestroinnit on tarkoitettu suoritettaviksi *orkestrointikoneissa* (orchestration engine). BPEL:in avulla määriteltävät suoritettavat prosessit ovat orkestrointimäärittelyksiä.

Palvelukoosteeseen sisältyvät palvelut eivät ole samanarvoisessa asemassa palvelukoosteen näkökulmasta tarkasteltuna. Erlin (2008) mukaan palvelut voivat toimia koosteen ohjaajina tai koosteen jäseninä. Koosteen ohjaaja on muiden palveluiden tarjoamaa toiminnallisuutta hyödyntävä palvelu, ja koosteen jäsen on palvelu, jonka toiminnallisuutta jokin toinen palvelu hyödyntää. Erityisesti koosteen jäsenenä toimivilta palveluilta edellytetään muun muassa suorituskykyä. Koska koosteen ohjaaja voi toimia laajemman koosteen jäsenen roolissa, on suorituskykyä koskevat erityisvaatimukset otettava huomioon myös koosteen ohjaajan suunnittelussa.



Kuva 3: Palvelukerrokset (Erl, 2008).

Palvelut voidaan jaotella niiden koosteroolin ohella muun muassa toiminnallisuuden tyyppin ja uudelleenkäyttöpotentiaalin perusteella. Erl (2008) luokittelee palvelut tehtävä-, entiteetti- ja apupalveluihin, joiden muodostamaa kerrosrakennetta on havainnollistettu kuvassa 3. Tehtäväpalvelu on rajattu koskemaan tiettyä tehtävää tai liiketoimintaprosessia. Tehtäväpalveluilla on taipumus olla vähemmän uudelleenkäytettäviä, ja yleensä ne toimivat koosteen ohjaajan roolissa. Entiteettipalvelu on liiketoimintakeskeinen palvelu, jonka toiminnallinen raja käsit-

tää yhden tai useamman toisiinsa liittyvän liiketoimintaentiteetin. Esimerkiksi työntekijän tietoja käsittelevä palvelu voi olla entiteettipalvelu. Entiteettipalvelut ovat uudelleenkäytettäviä, koska yleensä ne eivät ole riippuvaisia mistään tietystä liiketoimintaprosessista. Apupalveluiden tarkoituksena on tarjota uudelleenkäytettäviä aputoimintoja, joihin voi kuulua esimerkiksi tapahtumalokin ylläpito.

## 2.2 Web-palvelutekniikka

Erlin (2008) mukaan web-palvelutekniikka on tällä hetkellä palvelukeskeisen arkkitehtuurin toteutuksessa yleisimmin hyödynnetty teknologia-alusta. Web-palvelutekniikan kehittymisessä voidaan erottaa kaksi sukupolvea. Ensimmäinen sukupolvi on pohjautunut avoimiin teknologioihin ja määrittelyihin, joita ovat WSDL (Web Services Description Language), XML-skeema (XML Schema Definition Language, XSD), SOAP, palvelurekisterinä toimiva UDDI (Universal Description, Discovery & Integration) ja WS-I-perusprofiili (WS-I Basic Profile). Seuraavassa esitellään lyhyesti nämä teknologiat ja niiden keskinäiset suhteet.

Web-palvelutekniikassa WSDL mahdollistaa palveluiden liittymien määrittelemisen. W3C:n (2001) mukaan WSDL on XML-perustainen formaatti, jolla voidaan kuvata viesteillä operoivia verkkopohjaisia palveluita. Palvelun operaatiot ja viestit kuvataan abstraktisti, ja ne sidotaan konkreettiseen yhteyskäytäntöön ja viestiformaattiin *päätepisteeseen* (endpoint) määrittelemiseksi. Laajennettavuutensa ansiosta WSDL:n avulla voidaan kuvata päätepiestet ja niiden käsittelemät viestit riippumatta käytetyistä viestiformaateista ja yhteyskäytännöistä. WSDL:n versio 1.1 määrittelee sidonnan SOAP- ja HTTP-yhteyksikäytännöille (Hypertext Transfer Protocol).

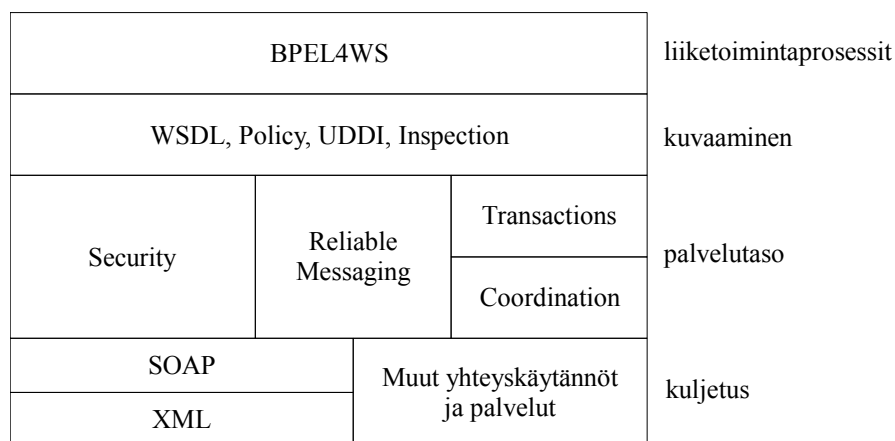
XML-skeema on kieli, joka mahdollistaa XML-dokumenttien rakenteen kuvaamisen ja rajoittamisen (W3C, 2004b). Esimerkiksi WSDL-dokumenteissa kuvatuissa viesteissä käytetyt tyytit voidaan määrittellä XML-skeeman avulla. WSDL hyödyntää XML-skeemaa sisäisenä tyyppijärjestelmänä ja suosittelee XML-skeeman käyttämistä tyyppien määrittelemisessä yhteentoimivuuden ja alustariippumattomuuden vuoksi (W3C, 2001).

Web-palveluiden välinen kommunikointi toteutuu SOAP:in avulla. W3C:n (2007) mukaan SOAP on yhteyskäytäntö, joka on tarkoitettu rakenteisen tiedon välittämiseen hajautetussa ympäristössä. SOAP hyödyntää XML-teknologioita ja määrittelee laajennettavan viestintäke-

hyksen ja viestirakenteen, jota voidaan kuljettaa eri yhteyskäytäntöjen yli. SOAP:in suunnittelussa päätavoitteina ovat olleet yksinkertaisuus ja laajennettavuus, joihin on pyritty jättämällä viestintäkehysten määrittelyn ulkopuolelle hajautettuihin järjestelmiin usein liitettyjä ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi luotettavuus ja tietoturva. Poisjätetyt ominaisuudet on ajateltu toteutettavaksi muissa määrittelyissä kuvattavien laajennusten avulla.

Palvelukeskeiseen arkkitehtuuriin liittyy palvelurekisteri, joka web-palvelutekniikassa perustuu OASIS-organisaation (Organization for the Advancement of Structured Information Standards) UDDI-standardiin. OASIS:in (2004) mukaan UDDI määrittelee joukon palveluita, jotka tukevat yritysten, organisaatioiden ja muiden web-palveluiden tuottajien sekä näiden tarjoamien palveluiden ja palveluiden teknisten liittymien kuvaamista ja löytämistä. UDDI perustuu yleisiin teollisuusstandardeihin kuten HTTP, XML, XML-skeema ja SOAP, joiden avulla UDDI tarjoaa yhteentoimivan web-palvelupohjaisen ohjelmistoympäristön sekä julkisesti saatavilla oleville että organisaation sisäiseen käyttöön tarkoitetuille palveluille.

WS-I-perusprofiili on WS-I-organisaation (Web Services Interoperability Organization) julkaisema määrittely, joka koostuu joukosta web-palvelutekniikkaan liittyviä määrittelyitä sekä näiden tarkennuksista ja selvennyksistä. Profiilin tarkoituksena on edistää yhteentoimivuutta (WS-I, 2006). WS-I-perusprofiili käsittelee WSDL-, SOAP-, XML-skeema-, UDDI- ja HTTP-määrittelyitä ja erittelee vaatimuksia, jotka liittyvät määrittelyiden käyttämiseen.



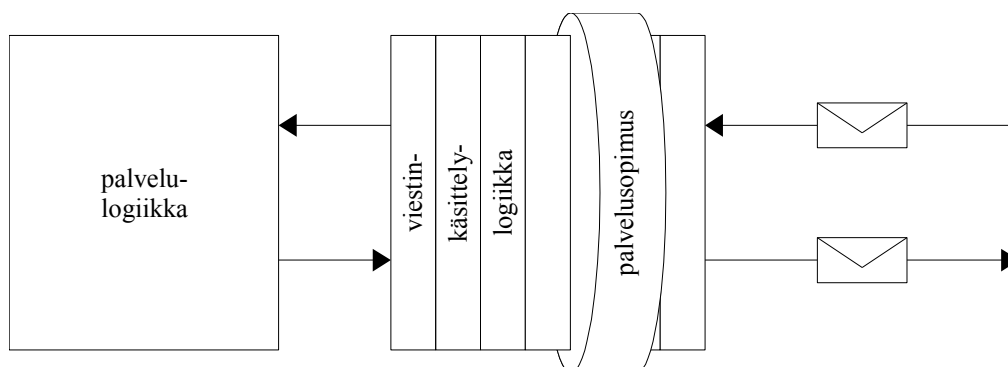
Kuva 4: Web-palvelutekniikan arkkitehtuuripino (Curbera et al., 2003).

Erlin (2008) mukaan web-palvelutekniikan ensimmäisen sukupolven hyödyntämät määrittelyt ovat olleet puutteellisia palvelutasoon liittyviltä ominaisuuksiltaan. Määrittelyiden suurimmat

ongelmat liittyvät viestitason tietoturvaan, palvelurajan ylittäviin tapahtumiin ja luotettavaan viestintään. Toisen sukupolven web-palvelualusta ratkaisee nämä ongelmat ja sisältää useita muita laajennuksia, jotka rakentuvat ensimmäisen sukupolven määrittelemän viestintäkehyksen varaan. Toisen sukupolven määrittelyitä kutsutaan yleensä WS-\*-määrittelyiksi, ja niihin kuuluu esimerkiksi WS-Policy, joka Curberan et al. (2003) mukaan laajentaa WSDL:n mahdollisuuksia lisäämällä palveluihin palvelutasoon liittyvää tietoa. Kuvassa 4 on esitetty eri teknologioiden sijoittuminen web-palvelutekniikan arkkitehtuuripinossa.

## 2.3 Web-palvelu

W3C:n (2004a) mukaan web-palvelu on ohjelmisto, joka on suunniteltu tukemaan yhteentöimivää tietokoneiden välistä vuorovaikutusta verkon yli ja jolla on ohjelmallisesti käsiteltävissä muodossa määritelty liittymä. Muut järjestelmät ovat vuorovaikutuksessa web-palvelun kanssa hyödyntämällä SOAP-viestejä, jotka sarjallistetaan XML-dokumenteiksi ja kuljetetaan HTTP:n avulla. Erlin (2008) mukaan web-palveluun kuuluu tyypillisesti tekninen *palvelusopimus* (service contract), joka koostuu palvelun WSDL-määrittäyksestä, XML-skeemamäärittäyksestä ja mahdollisesta WS-Policy-määrittäyksestä. Palvelusopimus sisältää kuvauksen julkisista funktioista, joita kutsutaan WSDL:ssä operaatioiksi. Palvelusopimus on verrattavissa perinteiseen sovellusliittymään eli ohjelmointirajapintaan. Palvelusopimuksen ohella web-palveluun liittyy ohjelmoitua käsittelyä, joka on voitu kehittää erikseen palvelua varten tai se voi olla web-palvelun hyödyntämää *perinnejärjestelmään* (legacy system) sisältyvää logiikkaa. Varsinaisen käsittelyn lisäksi web-palvelu sisältää viestinkäsittelylogiikan, joka voi käsitellä viestiä lähettämisen jälkeen tai ennen vastaanottoa. Web-palvelun osat on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5: Palveluntarjoajan roolissa toimiva web-palvelu (Erl, 2008).

Kuva 6 havainnollistaa palvelun liittymän kuvaavan WSDL-dokumentin rakennetta esimerkin avulla. Palvelu toteuttaa operaation `GetLastTradePrice`, joka sidotaan HTTP-yhteyden päällä kuljetettaviin SOAP-viesteihin. Operaatio ottaa parametrinaan merkkijonon ja palauttaa hintatiedon liukulukumuodossa. Yleisesti palvelun WSDL-määrittelyn juurielementtinä on `definitions`-elementti, jonka lapsielementteinä voi olla `documentation`-, `types`-, `message`-, `portType`-, `binding`- ja `service`-elementtejä. `Documentation`-elementti mahdollistaa dokumentaation lisäämisen WSDL-kuvaukseen. Käytetyt tietotyypit määritellään `types`-elementillä jonkin tyyppi-järjestelmän kuten XML-skeeman mukaisesti. Kommunikoinnissa käytettävät viestit ja niiden tietotyypit määrätään `message`-elementeillä. Palvelun tarjoamat operaatiot ja niiden suorittamisessa tarvittavat viestit määritellään `portType`-elementillä. Käytettävä viestiformaatti ja yhteyskäytäntö sidotaan `binding`-elementillä operaatioihin ja viesteihin, jotka on kuvattu `portType`-elementillä. Varsinaiset sidontaan liittyvät seikat määritellään `binding`-laajennuselementtien avulla. `Service`-elementti kokoaa yhteen joukon portteja. Portti määrittelee yksittäisen päätepisteen kuvaamalla osoitteen käytetylle sidonnalle. Portin osoite määritellään sidonnasta riippuvan laajennuselementin avulla (W3C, 2001).

## 2.4 Web-palvelutekniikasta tehdyt suorituskykytutkimukset

Web-palvelutekniikan on useissa tutkimuksissa havaittu olevan suorituskyvyltään muita teknologioita heikompi. Juric et al. (2006) ovat vertailleet web-palvelutekniikan ja etäkutsut Java-alustalla mahdollistavan Java RMI:n (Remote Method Invocation) suorituskykyä sekä salaamattoman että salatun liikenteen osalta. Vertailun web-palveluiden toteutuksessa hyödynnettiin JAX-RPC-rajapintaa (Java APIs for XML based RPC). Microsoft Windows -käyttöjärjestelmässä paikallisesti ilman verkkoyhteyttä suoritetuissa testeissä (kuva 7) web-palvelutekniikka oli perustietotyypeillä noin 12,3 kertaa RMI:tä hitaampi ja merkkijonojen käsittelyssä noin 11 kertaa hitaampi. SSL-tekniikalla (Secure Sockets Layer) salatun yhteyden yli RMI oli keskimäärin noin 40 % hitaampi kuin salaamaton RMI. WS-Security-tekniikalla salattu web-palvelu oli noin 100 kertaa hitaampi kuin salaamaton web-palvelu. Salattu web-palvelu oli perustietotyypeillä noin 975 kertaa hitaampi ja merkkijonoilla noin 830 kertaa hitaampi kuin salattu RMI. Kuvassa 7 on esitetty myös instantiointiaika, jolla tarkoitetaan aikaa, joka kuluu asiakkaalta yhteyden luomiseen etäoliioon tai palveluun. Instantiointi oli web-palveluilla salaamattomana RMI:tä 8 % nopeampi ja salattuna noin 23 % nopeampi. Linux-käyttöjärjestelmässä suoritettujen paikallisten testien tulokset olivat samansuuntaisia, mutta yleisesti ottaen paikallinen suorituskyky oli Linuxissa Microsoft Windowsia parempi. Verkkoyhteyden yli

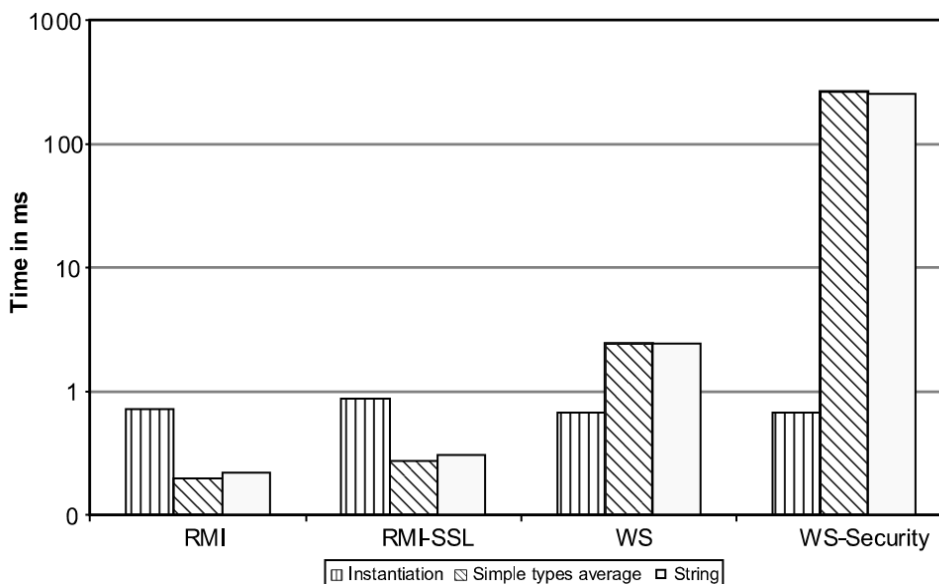
```

<?xml version="1.0"?>
<definitions name="StockQuote"
  targetNamespace="http://example.com/stockquote.wsdl"
  xmlns:tns="http://example.com/stockquote.wsdl"
  xmlns:xsd="http://example.com/stockquote.xsd"
  xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/"
  xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/">
  <types>
    <schema targetNamespace="http://example.com/stockquote.xsd"
      xmlns="http://www.w3.org/2000/10/XMLSchema">
      <element name="TradePriceRequest">
        <complexType>
          <all>
            <element name="tickerSymbol" type="string"/>
          </all>
        </complexType>
      </element>
      <element name="TradePrice">
        <complexType>
          <all>
            <element name="price" type="float"/>
          </all>
        </complexType>
      </element>
    </schema>
  </types>
  <message name="GetLastTradePriceInput">
    <part name="body" element="xsd:TradePriceRequest"/>
  </message>
  <message name="GetLastTradePriceOutput">
    <part name="body" element="xsd:TradePrice"/>
  </message>
  <portType name="StockQuotePortType">
    <operation name="GetLastTradePrice">
      <input message="tns:GetLastTradePriceInput"/>
      <output message="tns:GetLastTradePriceOutput"/>
    </operation>
  </portType>
  <binding name="StockQuoteSoapBinding"
    type="tns:StockQuotePortType">
    <soap:binding style="document"
      transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
    <operation name="GetLastTradePrice">
      <soap:operation
        soapAction="http://example.com/GetLastTradePrice"/>
      <input>
        <soap:body use="literal"/>
      </input>
      <output>
        <soap:body use="literal"/>
      </output>
    </operation>
  </binding>
  <service name="StockQuoteService">
    <documentation>My first service</documentation>
    <port name="StockQuotePort" binding="tns:StockQuoteBinding">
      <soap:address location="http://example.com/stockquote"/>
    </port>
  </service>
</definitions>

```

Kuva 6: Esimerkki WSDL-dokumentista (W3C, 2001).

suorituskyky oli Windows-käyttöjärjestelmässä Linuxia parempi perustietotyypeillä ja merkijonoilla sekä salaamattoman että salatun RMI:n osalta. Muissa testeissä Linux-käyttöjärjestelmällä oli parempi suorituskyky verkkoyhteyden yli.



Kuva 7: Suorituskyky paikallisesti Windows-käyttöjärjestelmässä (Juric et al., 2006).

Salaamattomat SOAP-viestit olivat kooltaan keskimäärin noin 4,3 kertaa suurempia kuin salaamattomat RMI:n käyttämät JRMP-viestit (Java Remote Method Protocol), ja salatut SOAP-viestit olivat yli 27 kertaa suurempia kuin salatut JRMP-viestit. Salattu RMI lisäsi verkkoliikennettä noin 8 % salaamattomaan RMI:hin verrattuna, kun taas web-palvelutekniikassa salaus lisäsi verkkoliikennettä noin 690 % salaamattomaan liikenteeseen verrattuna (Juric et al., 2006).

Grayn (2004) vertailussa web-palvelutekniikka oli sekä RMI- että CORBA-teknologiaa (Common Object Request Broker Architecture) hitaampi sekä kulutti enemmän muistia, verkko-kaistaa ja suoritinaikaa. Vertailussa web-palvelutekniikan toteutuksena käytettiin JAX-RPC-rajapintaa. Java RMI oli suoritusajojen perusteella yleisesti ottaen vertailun nopein CORBA-teknologian suoritusajojen ollessa noin 10 % RMI:tä suurempia. Web-palvelutekniikalla suoritusajat olivat noin 6 kertaa RMI:tä suurempia. Web-palvelutekniikkaan pohjautuva ratkaisu vaati testiaineistosta riippuen 3–10 kertaa enemmän verkkoyhteyden yli siirrettyjä tavuja kuin vaihtoehtoisilla teknologioilla toteutettu vastaava ratkaisu.



Grayn (2004) vertailussa yksittäisen kutsun suoritus oli web-palvelutekniikan tapauksessa nopeampi kuin muilla teknologioilla, koska web-palvelun operaation kutsuminen ei edellytä RMI- ja CORBA-teknologioissa käytettyjä monimutkaisempia alustusoperaatioita. RMI oli CORBA-teknologiaa nopeampi, vaikka RMI edellytti alustustoimenpiteinä yhteydenoton RMI-rekisteriin ja tynkäloukkien lataamisen. Tyypillisesti sovellukset lähettävät palvelimelle kuitenkin useita pyyntöjä, jolloin RMI- ja CORBA-teknologioihin liittyvien alustustoimenpiteiden vaatima pidempi aika jakautuu useiden pyyntöjen kesken eikä ole tällöin yhtä merkittävä.

Web-palvelutekniikan muita väliohjelmistoja heikompaan suorituskykyyn on useita syitä. Govindarajun et al. (2004) mukaan SOAP-toteutusten suorituskykyyn vaikuttavat muun muassa HTTP:n toimintaperiaate, XML:n jäsentäminen ja XML-dokumenttien luomiseen liittyvä sarjallistaminen. Grayn (2004) mukaan HTTP tarkoitettiin alun perin yksittäisten dokumenttien siirtämiseen siten, että asiakas ottaa yhteyttä palvelimeen, jonka jälkeen palvelin palauttaa dokumentin ja sulkee yhteyden. Ensimmäiset SOAP-toteutukset hyödynsivät HTTP:n versiota 1.0, jonka seurauksena jokainen pyyntö edellytti uuden yhteyden muodostamista. Lisäksi HTTP 1.0 edellyttää (Govindaraju et al., 2004), että viestin hyötykuorman pituus on tiedossa HTTP:n otsikkotietoja lähetettäessä. Ongelma voidaan välttää hyödyntämällä HTTP:n versiota 1.1, joka mahdollistaa viestin lähettämisen osissa siten, ettei koko viestin pituutta tarvitse laskea etukäteen.

Juricin et al. (2006) mukaan XML:n jäsentäminen ja sarjallistaminen ovat web-palvelutekniikassa huomattava suoritusaikoihin vaikuttava tekijä. RMI:n käyttämä binäärimuotoinen sarjallistaminen tuottaa pienempiä viestejä ja vaatii vähemmän resursseja viestien jäsentämisessä ja sarjallistamisessa kuin XML:n sarjallistaminen. XML:n sarjallistamisessa joudutaan jäsentämään, kopioimaan ja vertailemaan enemmän merkkijonoja sekä tekemään enemmän tietotyypimuunnoksia kuin binäärimuotoisessa sarjallistamisessa.

## 3 BPEL

BPEL on XML-syntaksia noudattava kieli, jonka avulla voidaan koostaa web-palveluita liiketoimintaprosesseiksi. BPEL:in tämänhetkinen versio on 2.0, jonka OASIS-organisaatio on julkaissut avoimena standardina (OASIS, 2007). Version 2.0 yhteydessä kielen nimi muutettiin muotoon WS-BPEL (Web Services Business Process Execution Language). Tässä luvussa luodaan katsaus aiempaan BPEL4WS-nimellä tunnettuun kielen 1.1-versioon, koska kaikki tässä tutkielmassa vertailluista BPEL-koneista eivät tukeneet uudemman version mukaisia BPEL-prosesseja. Lähteenä on käytetty kielen määrittelyä (Andrews et al., 2003) ellei muuta ole mainittu. Tarkemmin on pyritty esittelemään sellaisia kielen ominaisuuksia, jotka korostuvat suorituskykyvertailussa käytetyissä työnkulkumalleissa. Luvun lopuksi esitellään BPEL-koneiden suorituskyvystä tehtyjä tutkimuksia.

### 3.1 BPEL-prosessi

BPEL mahdollistaa sekä suoritettavien että abstraktien liiketoimintaprosessien määrittelemisen. Suoritettava liiketoimintaprosessi mallintaa osallistujan todellista käyttäytymistä liiketoiminnan vuorovaikutustilanteessa. Abstrakti liiketoimintaprosessi kuvaa viestinvälityksen osallistujien välillä paljastamatta kunkin osallistujan sisäistä käyttäytymistä. Van der Aalstin et al. (2005) mukaan BPEL on epäonnistunut tehtävässään olla abstraktien prosessien mallintamisen kieli. Sen sijaan BPEL:in hyödyntäminen suoritettavana kielenä on saanut paljon huomiota. Jatkossa tässä tutkielmassa tarkastellaan BPEL:in suoritettavia prosesseja.

BPEL hyödyntää useita XML-pohjaisia määrittelyitä. BPEL:in prosessimalli rakentuu WSDL:n määrittelemän palvelumallin varaan. Sekä prosessi että prosessin *partnerit* mallinnetaan web-palveluina WSDL:n avulla. Yhdessä WSDL ja XML-skeema mahdollistavat BPEL-prosessien käyttämien tietomallien määrittelemisen. XPath-kieli mahdollistaa tietoalkioiden käsittelyn BPEL-prosessissa.

Kuvassa 8 on esitetty Leymannia ja Rolleria (2006) mukaillen BPEL-prosessi, joka kuvaa matkatoimiston lipun tilausprosessin. Prosessiin kuuluu matkasuunnitelman vastaanottaminen asiakkaalta riveillä 23–29, matkasuunnitelman lähettäminen lentoyhtiölle lippujen pyytämi-

seksi riveillä 30–37 ja pyydettyjen lippujen vastaanottaminen lentoyhtiöltä riveillä 38–44. Riveillä 2–11 määritellään prosessin ja sen partnerien väliset suhteet. Riveillä 3–6 esitellään suhde asiakkaan kanssa ja riveillä 7–10 esitellään suhde lentoyhtiön kanssa. Riveillä 12–17 esitellään muuttujat, joihin prosessi tallentaa viestejä. Esimerkiksi rivillä 23 prosessi vastaanottaa matkasuunnitelman asiakkaalta, kun asiakas kutsuu lähettäMatkasuunnitelma-operaatioita. Vastaanotettu viesti tallennetaan matkasuunnitelma-muuttujaan.

```

1 <process name="lipuntilaus">
2   <partnerLinks>
3     <partnerLink name="asiakas"
4         partnerLinkType="järjestäjälinkki"
5         myRole="järjestäjäpalvelu"
6         partnerRole="asiakas"/>
7     <partnerLink name="lentoyhtiö"
8         partnerLinkType="ostajalinkki"
9         myRole="lipunpyytäjä"
10        partnerRole="lippupalvelu"/>
11   </partnerLinks>
12   <variables>
13     <variable name="matkasuunnitelma"
14         messageType="matkasuunnitelma viesti"/>
15     <variable name="liput"
16         messageType="lippuviesti"/>
17   </variables>
18   <flow>
19     <links>
20       <link name="tilaus-lentoyhtiö"/>
21       <link name="lentoyhtiö-järjestäjä"/>
22     </links>
23     <receive name="käsitteleMatkasuunnitelma"
24         partnerLink="asiakas"
25         portType="matkasuunnitelmaPT"
26         operation="lähettäMatkasuunnitelma"
27         variable="matkasuunnitelma">
28       <source linkName="tilaus-lentoyhtiö"/>
29     </receive>
30     <invoke name="otaYhteysLentoyhtiöön"
31         partnerLink="lentoyhtiö"
32         portType="lipuntilausPT"
33         operation="pyydäLiput"
34         inputVariable="matkasuunnitelma">
35       <target linkName="tilaus-lentoyhtiö"/>
36       <source linkName="lentoyhtiö-järjestäjä"/>
37     </invoke>
38     <receive name="vastaanotaLiput"
39         partnerLink="lentoyhtiö"
40         portType="matkasuunnitelmaPT"
41         operation="lähettäLiput"
42         variable="liput">
43       <target linkName="lentoyhtiö-järjestäjä"/>
44     </receive>
45   </flow>
46 </process>

```

Kuva 8: Lipuntilausprosessi (Leymann ja Roller, 2006; mukailten).

Kuvan 8 prosessi määrittelee toimintojen suoritusjärjestyksen *flow*-toiminnon avulla riviltä 18 alkaen. Flow-toiminto määrittelee suunnatun verkon, jossa toiminnot ovat verkon solmuja ja *linkit* ovat toimintoja yhdistäviä kaaria. Kuvan 8 prosessissa käytetyt linkit on esitelty riveillä 19–22. Toiminnot voidaan tämän jälkeen määrittellä yhden tai useamman linkin *lähteeksi* (source) tai *kohteeksi* (target). Esimerkiksi rivin 23 *receive*-toiminto on lähteenä tilaus-lentoyhtiö-linkille ja rivin 30 *invoke*-toiminto on määritelty saman linkin kohteeksi (Leymann ja Roller, 2006). Linkin yhdistämistä toiminnoista suoritetaan ensin se, joka on määritetty linkin lähteeksi.

BPEL-prosessi on uudelleenkäytettävä määrittely, joka voidaan ottaa käyttöön eri tavoin, eikä BPEL:in määrittely kuvaa käyttöönottoon liittyviä toimenpiteitä. Esimerkiksi tässä tutkielmassa vertailuista BPEL-koneista sekä ActiveBPEL:issä että Oracle BPEL Process Managerissa prosessin käyttöönottoa varten tulee määrittellä XML-muotoinen *käyttöönottokuvain* (deployment descriptor). Liitteessä 2 on esimerkki Oracle BPEL Process Managerin käyttämästä käyttöönottokuvaimesta. Liitteessä 2 on esitetty myös kuvan 8 prosessia monimutkaisempi BPEL-prosessi ja prosessia vastaavan web-palvelun määrittävä WSDL-dokumentti.

## 3.2 Partnerilinkit

Liiketoimintaprosessin käyttäytymisen määrittelemisen perustuu BPEL:issä prosessin ja sen partnerien väliseen vuorovaikutukseen. Vuorovaikutus tapahtuu web-palveluliittymien kautta. Partnerien välinen suhde määritellään *partnerilinkkien* avulla. Partnerilinkkityyppi määrää *porttityypit* ja *roolit*, jotka palveluilla on niiden keskinäisessä vuorovaikutustilanteessa. Porttityyppi määrää viestit, joita palvelu voi vastaanottaa vuorovaikutustilanteen aikana.

Seuraavassa esimerkissä on kuvassa 8 esitetyn prosessin ja lentoyhtiön välisen partnerilinkkityypin määrittely. Partnerilinkkityyppi määrittelee kaksi roolia. Lipunpyytäjä tarjoaa matkasuunnitelmaPT-tyyppisen portin, ja lippupalvelu tarjoaa portin, jonka porttityyppinä on lipuntilausPT. Varsinaiset porttityyppien määrittelyt sijaitsevat prosessin WSDL-dokumentin muiden määrittelyiden joukossa (Leymann ja Roller, 2006):

```
<partnerLinkType name="ostajalinkki">
  <role name="lipunpyytäjä">
    <portType name="matkasuunnitelmaPT"/>
  </role>
  <role name="lippupalvelu">
    <portType name="lipuntilausPT"/>
  </role>
</partnerLinkType>
```

```
</role>
</partnerLinkType>
```

Rooliin liittyvät sitoumukset tarjoavat vastaavat web-palvelut toteuttamalla roolissa kuvatut porttityypit. BPEL-prosessissa partnerilinkin määrittelyn yhteydessä asetetaan BPEL-prosessin rooli myRole-attribuutilla ja partnerin rooli partnerRole-attribuutilla (kuva 8). Prosessissa myRole-attribuutti määrittää sen web-palvelun, jona BPEL-prosessi näkyy ulkomaailmalle. Partnerilinkkielementin partnerRole-attribuutin avulla voidaan määrittää riippuvuudet ulkoisiin web-palveluihin, joita prosessi käyttää ja tarvitsee (Leymann ja Roller, 2006). Partnerilinkkityyppi voi määrittää myös vain yhden roolin, jolloin roolin omaava palvelu ei aseta vaatimuksia vuorovaikutuksen toiselle osapuolelle.

### 3.3 Perustoiminnot

Perustoimintoja ovat web-palveluiden operaatioiden kutsuminen, web-palveluoperaatiokutsujen vastaanottaminen ja kutsuihin vastaaminen, muuttujien sisältämien tietojen päivittäminen, virhetilanteista ilmoittaminen ja määrätyn ajan odottaminen. Lisäksi perustoimintoihin kuuluu apustoimintona käytettävä tyhjä toiminto.

*Invoke*-toiminto mahdollistaa partnerin toteuttaman web-palvelun operaation kutsumisen. Operaatio voi olla synkroninen tai asynkroninen. Asynkroninen kutsu vaatii ainoastaan operaation syötemuuttujan, koska asynkroninen kutsu ei palauta vastausta kutsun yhteydessä. Jos prosessia ei voida suorittaa kohtuullisen ajan kuluessa, prosessi kannattaa mallintaa asynkronisena. Synkronisen operaation kutsu vaatii sekä syöte- että tulosmuuttujan. Normaalin vastauksen sijaan synkroninen operaatio voi palauttaa myös virheen. Seuraavassa esimerkissä kutsutaan ostotilaus-muuttujan sisältämällä tiedoilla laskutus-partnerin asynkronista operaatiota *alustaHinnanlaskenta*, joka on määriteltävä *laskeHintaPT*-porttityypin operaationa:

```
<invoke partnerLink="laskutus"
        portType="lms:laskeHintaPT"
        operation="alustaHinnanlaskenta"
        inputVariable="ostotilaus">
</invoke>
```

*Receive*-toiminnon avulla liiketoimintaprosessi voi vastaanottaa viestejä partnereiltaan. *Receive*-toiminto vaatii muuttujan, johon vastaanotettu viesti sijoitetaan. Seuraavan esimerkin re-

ceive-toiminto odottaa ostotilausPT-porttityypin lähetäOstotilaus-operaation kutsua. Vastaanotettu viesti sijoitetaan ostotilaus-muuttujaan:

```
<receive partnerLink="hankinta"
  portType="lns:ostotilausPT"
  operation="lähetäOstotilaus"
  variable="ostotilaus">
</receive>
```

BPEL-prosessin voidaan ajatella olevan malli, josta luodaan prosessin ilmentymiä. Prosessissa oleviin viestejä vastaanottaviin toimintoihin voidaan lisätä createInstance-attribuutti, joka mahdollistaa prosessi-ilmentymän luomisen vastaanottotoiminnon suorittamisen yhteydessä. Prosessin ilmentymän luovan vastaanottotoiminnon tulee olla prosessin aloitustoiminto siten, ettei mikään perustoiminto edellä sitä prosessin määrittelyssä.

*Reply*-toiminnon avulla palautetaan vastaus synkroniseen pyyntöön, joka on aiemmin vastaanotettu receive-toiminnolla. Reply-toiminnon käyttö edellyttää vastauksen sisältävän muuttujan määrittämisen. Normaalin vastauksen sijaan toiminnolla voidaan tarvittaessa palauttaa myös virhe. Seuraavassa esimerkissä palautetaan lasku-nimisen muuttujan sisältämä vastaus aiemmin vastaanotettuun lähetäOstotilaus-operaation kutsuun:

```
<reply partnerLink="hankinta"
  portType="lns:ostotilausPT"
  operation="lähetäOstotilaus"
  variable="lasku"/>
```

Jos pyyntöön tulee palauttaa vastaus asynkronisesti, niin vastaus toimitetaan kutsumalla pyynnön lähettäjän tarjoamaa web-palvelua. Tästä syystä asynkronisen vastauksen tuottava prosessi palauttaa vastauksen invoke-toiminnon avulla. Alkuperäisen pyynnön lähettäjä vastaanottaa vastauksen receive-toiminnon avulla (Leymann ja Roller, 2006).

Tiedon kopioiminen muuttujasta toiseen on yleinen liiketoimintaprosessissa suoritettava toiminto. Muuttujia voidaan määrittellä prosessissa variable-elementtien avulla kuvassa 8 esitetyllä tavalla. Liiketoimintaprosesseissa muuttujiin varastoidaan tilatietoja, jotka koostuvat partnerin kanssa vaihdetuista viesteistä ja tilapäisestä liiketoimintalogiikan toteuttamisessa ja lähetettävien viestien koostamisessa tarvittavasta tiedosta. Tietoa voidaan kopioida muuttu- jaan *assign*-toiminnon avulla. Lisäksi assign-toiminto mahdollistaa lausekkeen palauttaman tuloksen sijoittamisen muuttu- jaan ja partnerilinkkien päätepisteviitteiden kopioimisen. Assign-toiminnolla sijoitettavan arvon tulee olla tyyppi yhteensopiva sijoitusoperaation kohteen

kanssa. Seuraavassa esimerkissä kopioidaan ostotilaus-muuttujan asiakastiedot-osan sisältö toimituspyyntö-muuttujan asiakastiedot-osaan:

```
<assign>
  <copy>
    <from variable="ostotilaus" part="asiakastiedot"/>
    <to variable="toimituspyyntö" part="asiakastiedot"/>
  </copy>
</assign>
```

Liiketoimintaprosessissa ilmennyt sisäinen virhe voidaan ilmaista *throw*-toiminnon avulla. Virheeseen liittyy nimi ja valinnainen muuttuja, joka voi sisältää lisätietoa virheestä. Seuraavassa esimerkissä heitetään <http://esimerkki.com/virheet-nimiavaruudessa> määritelty *EiVarastossa*-niminen virhe:

```
<throw xmlns:FLT="http://esimerkki.com/virheet"
  faultName="FLT:EiVarastossa"/>
```

Liiketoimintaprosessi voi odottaa määritellyn ajan tai jotain tiettyä ajankohtaa *wait*-toiminnon avulla. Tyypillisesti toimintoa käytetään ajastamaan jonkin operaation kutsu *invoke*-toiminnolla tietyinä ajankohtana. Seuraavassa esimerkissä odotetaan tiettyä ajanhetkeä, jonka jälkeen suoritetaan web-palvelukutsu *invoke*-toiminnon avulla:

```
<sequence>
  <wait until="'2002-12-24T18:00+01:00'"/>
  <invoke partnerLink="puhelupalvelin" portType="automaattinenPuhelu"
    operation="tekstiPuheeksi"
    inputVariable="tervehdys">
  </invoke>
</sequence>
```

*Empty*-toimintoa voidaan käyttää tilanteissa, joissa ei tarvitse tehdä mitään toimenpiteitä. Esimerkiksi virheen käsittely ilman jatkotoimenpiteitä voidaan toteuttaa *empty*-toiminnon avulla:

```
<catch faultName="x:virhe">
  <empty/>
</catch>
```

Suoritettavien liiketoimintaprosessien yhteydessä on mahdollista hyödyntää *terminate*-toimintoa, jota BPEL:in määrittely ei luokittele kuitenkaan perustoiminnoksi. Toiminto keskeyttää sillä hetkellä suorituksessa olevat toiminnot ja päättää prosessi-ilmentymän suorituksen:

```
<terminate/>
```

### 3.4 Rakenteiset toiminnot

Rakenteiset toiminnot määrittelevät järjestyksen, jossa kokoelma toimintoja suoritetaan. Rakenteiset toiminnot mahdollistavat liiketoimintaprosessissa olevien perustoimintojen koostamisen rakenteiksi, jotka kuvaavat prosessin ohjaus- ja tietovuon sekä virheiden ja ulkoisten tapahtumien käsittelemisen.

*Sequence*-toiminto sisältää yhden tai useampia toimintoja, jotka suoritetaan peräkkäin samassa järjestyksessä kuin toiminnot on kuvattu sequence-toiminnon sisällä. Seuraava esimerkki esittää sequence-toiminnon, jonka suorittamisen yhteydessä sequence-toiminnon sisältämät toiminnot suoritetaan järjestyksessä:

```
<sequence>
  <flow>
    ...
  </flow>
  <scope>
    ...
  </scope>
  <pick>
    ...
  </pick>
</sequence>
```

*Switch*-toiminto mahdollistaa ehdollisen käyttäytymisen, jossa valitaan yksi haara vaihtoehtoisista haaroista. Toiminto vastaa ohjelmointikielistä löytyvää switch-lausetta. Switch-toiminto sisältää järjestetyn listan case-elementeillä kuvattuja haaroja, joita voi seurata otherwise-haara. Toiminnon case-haarat käsitellään samassa järjestyksessä kuin ne on kuvattu switch-toiminrossa. Haaroista suoritetaan se, jonka ehdon totuusarvo on tosi. Jos minkään ehdon totuusarvo ei ole tosi, suoritetaan otherwise-haara. Jos otherwise-haaraa ei ole erikseen määriteltä, katsotaan otherwise-haarana olevan empty-toiminto. Seuraavassa esimerkissä suoritetaan ensimmäinen case-haara, jos varasto-muuttujan taso-ominaisuuden arvo on sataa suurempi. Toinen case haara suoritetaan, jos vastaava arvo on nollan ja sadan välillä. Jos arvo on negatiivinen, suoritetaan otherwise-haara:

```
<switch
  xmlns:varastokirjanpito="http://toimitusketju.org/varastokirjanpito"
  xmlns:FLT="http://esimerkki.com/virheet">
  <case condition="bpws:getVariableProperty(varasto,taso) > 100">
    <flow>
      ...
    </flow>
  </case>
  <case condition="bpws:getVariableProperty(varasto,taso) >= 0">
```



```

    <throw faultName="FLT:EiVarastossa"
        variable="varastoarvio"/>
</case>
<otherwise>
    <throw faultName="FLT:TuotettaEiSaataavilla"/>
</otherwise>
</switch>

```

*While*-toiminto tukee toiminnon ehdollista toistamista. Toiminto vastaa ohjelmointikielistä löytyvää *while*-lausetta, jossa lausetta suoritetaan, kun annettu ehto on voimassa. Seuraavassa esimerkissä toistetaan *while*-toiminnon sisällä olevaa *scope*-toimintoa, mikäli tilaustiedot-muuttujan arvo on suurempi kuin 100:

```

<variable name="tilaustiedot" type="xsd:integer"/>
...
<while condition="bpws:getVariableData(tilaustiedot) > 100">
    <scope>
        ...
    </scope>
</while>

```

*Pick*-toiminto odottaa yhtä tapahtumaa joukosta mahdollisia tapahtumia. *Pick*-toiminto sisältää haaroja, jotka kuvaavat tapahtuma-toiminto-pareja. Kun jokin tapahtumista laukeaa, suoritetaan kyseiseen tapahtumaan liittyvä toiminto. Kun *pick*-toiminto on hyväksynyt tapahtuman, *pick*-toiminto ei hyväksy enää muita *pick*-toimintoon liittyviä tapahtumia. Mahdolliset tapahtumat ovat viestin vastaanottaminen ja ajastimen laukeaminen.

Jokaiseen *pick*-toimintoon tulee liittyä ainakin yksi *onMessage*-tapahtuma, joka vastaa toiminnaltaan *receive*-toimintoa. Seuraava esimerkki esittää *pick*-toimintoa, joka odottaa syötä-Tilausrivi-operaatioon ja päätätilaus-operaatioon liittyviä viestejä sekä ajastimen laukeamista. Tapahtumista suoritetaan se, joka tapahtuu ensin:

```

<pick>
    <onMessage partnerLink="ostaja"
        portType="tilauksensyöttö"
        operation="syötäTilausrivi"
        variable="tilausrivi">
        <!-- Lisää tilausrivi tilaukseen. -->
    </onMessage>
    <onMessage partnerLink="ostaja"
        portType="tilauksensyöttö"
        operation="päättätilaus"
        variable="päättämistiedot">
        <!-- Loppuunsaata tilauksen käsittely. -->
    </onMessage>
    <!-- Asetetaan ajastin laukeamaan kolmen päivän ja kymmenen
        tunnin kuluttua. -->
    <onAlarm for="'P3DT10H'">
        <!-- Käsittele tilauksen päättymiseen liittyvä aikakatkaisu. -->

```

```
</onAlarm>  
</pick>
```

*Flow*-toiminto mahdollistaa toimintojen rinnakkaisen suorituksen ja rinnakkaisten toimintojen synkronoinnin. Flow-toiminnon suoritus päättyy, kun jokaisen flow-rakenteen sisältämän toiminnon suoritus on päätynyt. Seuraavassa esimerkissä flow-toiminnon sisällä olevat invoke-toiminnot voidaan suorittaa rinnakkain heti flow-toiminnon käynnistymisen jälkeen. Flow-toiminnon suoritus päättyy, kun sekä myyjä- että toimittaja-partnerit ovat vastanneet. Pankin operaatiota kutsutaan flow-toiminnon päätyttyä:

```
<sequence>  
  <flow>  
    <invoke partnerLink="myyjä" .../>  
    <invoke partnerLink="toimittaja" .../>  
  </flow>  
  <invoke partnerLink="pankki" .../>  
</sequence>
```

Flow-toiminrossa voidaan hyödyntää linkkejä toimintojen synkronoimiseksi. Linkki on toiminnon *ulosmenevä linkki*, jos toiminto on määritelty linkin lähteeksi. Vastaavasti linkki on toiminnon *sisääntuleva linkki*, jos toiminto on määritelty linkin kohteeksi. Lähde voi sisältää *siirtymäehdon*, jolla voidaan rajoittaa linkin seuraamista. Mikäli siirtymäehtoa ei ole erikseen määritelty, on sen oletusarvona tosi. Jos linkin lähteenä on toiminto Y ja linkin kohteena on toiminto X, on toiminnolla X *synkronointiriippuvuus* toimintoon Y. Kun toiminnon Y suoritus päättyy, lasketaan kaikkien toiminnon ulosmenevien linkkien tila. Linkin tila on positiivinen, jos linkin siirtymäehdon arvo on tosi, muutoin linkin tila on negatiivinen. Jokaisen synkronointiriippuvuuden toimintoon Y sisältävästä toiminnosta X tarkistetaan onko toiminto X suoritettavissa ja onko toiminnon X kaikkien sisääntulevien linkkien tila laskettu. Mikäli molemmat näistä pätevät, lasketaan toiminnon X *liittymisehdon* arvo. Jokainen linkin kohteeksi määritelty toiminto sisältää totuusarvoisen liittymisehdon. Jos liittymisehtoa ei erikseen määritellä, liittymisehto edellyttää ainakin yhden sisääntulevan linkin tilan olevan positiivinen. Jos liittymisehdon arvo on tosi, toiminto X suoritetaan, muutoin prosessissa ilmenee bpws:join-Failure-virhe.

Prosessissa oleviin toimintoihin voidaan liittää suppressJoinFailure-attribuutti, joka mahdollistaa bpws:joinFailure-virheen ilmenemisen estämisen ja liittymisehdon sisältävän toiminnon suorittamatta jättämisen. Mikäli virhe ilmenisi, mutta se on estetty suppressJoinFailure-attribuutilla, suoritetaan *kuolleen polun eliminointi* (dead path elimination), jossa suorittamatta jätetyn toiminnon kaikkien ulosmenevien linkkien tila asetetaan negatiiviseksi. Linkkien avulla

määritetyssä ohjausvuossa negatiivinen tila etenee vuossa siihen asti, kunnes saavutetaan arvostaan tosi liittymisehto.

Seuraava tutkielman testiaineistosta mukailtu esimerkki määrittelee flow-toiminnossa linkit L1, L2, L1s ja L2s sekä empty-toiminnon ja kolme assign-toimintoa. Empty-toiminto on määriteltä linkkien L1 ja L2 lähteeksi. Linkeille on asetettu siirtymäehdot transitionCondition-attribuuttien avulla. Kun empty-toiminto on suoritettu, lasketaan linkkeihin L1 ja L2 liittyvien siirtymäehtojen arvot. Jos esimerkiksi linkin L1 siirtymäehto ei ole tosi, on linkin L1 tila negatiivinen. Koska ensimmäinen assign-toiminto on määritetty linkin L1 kohteeksi, toiminto ei ole muiden linkkien kohteena ja se on suoritettavissa, lasketaan ensimmäisen assign-toiminnon liittymisehdon arvo. Koska liittymisehtoa ei ole erikseen määritetty, edellytetään ainakin yhden sisääntulevan linkin tilan olevan positiivinen. Sisääntulevia linkejä ei ole kuin yksi (L1), jolloin liittymisehdon arvo on epätosi. Normaalisti tällöin ilmenisi bpws:joinFailure-virhe, mutta prosessissa asetettu suppressJoinFailure-attribuutti estää virheen ilmenemisen, jolloin ensimmäinen assign-toiminto jätetään suorittamatta ja sen ulosmenevän linkin L1s tila asetetaan negatiiviseksi. Jos taas linkin L1 siirtymäehto on tosi, on linkin L1 tila positiivinen ja ensimmäinen assign-toiminto voidaan suorittaa. Assign-toiminnon suorittamisen jälkeen lasketaan linkin L1s tila, joka on tällöin myös positiivinen. Vastaavasti päätellään toisen assign-toiminnon ja linkkien L2 ja L2s tapauksessa. Lopuksi suoritetaan viimeinen assign-toiminto mikäli joinCondition-attribuutilla ilmaistun liittymisehdon edellyttämä linkin L1s tai L2s tai molempien positiivisuus on voimassa eli suoritettiin ainakin toinen linkkien L1 ja L2 kohteina olevista sijoitustoiminnoista:

```
<process suppressJoinFailure="yes" ...>
...
<flow>
  <links>
    <link name="L1"/>
    <link name="L2"/>
    <link name="L1s"/>
    <link name="L2s"/>
  </links>
  <empty>
    <source linkName="L1" transitionCondition="..."/>
    <source linkName="L2" transitionCondition="..."/>
  </empty>
  <assign>
    <target linkName="L1"/>
    <source linkName="L1s"/>
    ...
  </assign>
  <assign>
    <target linkName="L2"/>
    <source linkName="L2s"/>
```

```

...
</assign>
<assign joinCondition="bpws:getLinkStatus('L1s') or
                    bpws:getLinkStatus('L2s')">
  <target linkName="L1s"/>
  <target linkName="L2s"/>
  ...
</assign>
</flow>
...

```

### 3.5 Korrelaatio

Liiketoimintaprosessille välitettävät viestit lähetetään vastaanottavan BPEL-prosessin WSDL-dokumentissa määrättyyn porttiin. Oikean portin lisäksi viestit tulee toimittaa BPEL-prosessin oikealle ilmentymälle. Viestien kuljetusmekanismi voi sisältää keinot yhdistää viestit liiketoimintaprosessin ilmentymään. BPEL sisältää korrelaatiomekanismin, jota voidaan käyttää, jos kuljetusmekanismi ei tue viestien liittämistä prosessi-ilmentymiin tai jos keskusteluun osallistuu enemmän kuin kaksi osapuolta. BPEL mahdollistaa liiketoimintaprotokollaan liittyvän tiedon tunnistamisen *viestiominaisuuksien* (message property) avulla. *Korrelaatiojoukko* on correlationSet-elementin avulla määriteltävä nimetty joukko viestiominaisuuksia, joiden avulla voidaan tunnistaa liiketoimintaprotokollaan liittyvä sovellustason keskustelu.

Leymannin ja Rollerin (2006) mukaan samaa viestiominaisuutta käytetään usein eri viesteissä korrelaatiotietona. Tämän johdosta BPEL mahdollistaa viestiominaisuuksien määrittelymisen erillisinä kokonaisuuksina. Seuraavassa on esimerkki BPEL-prosessin WSDL-dokumentissa sijaitsevasta tilausnumero-nimisen viestiominaisuuden määrittelystä:

```
<property name="tilausnumero" type="xsd:int"/>
```

Koska viestiominaisuutta käytetään eri viesteissä korrelaatiotietona, tarvitaan mekanismi viestiominaisuutta esittävän kentän identifioimiseksi kustakin viestistä. BPEL:issä mekanismi peustuu peitenimiin. Seuraava esimerkki kuvaa kuinka tilausnumero-viestiominaisuus määritellään lippuviesti-viestityypin tilaustiedot-osan tilausID-nimiseksi kentäksi (Leymann ja Roller, 2006):

```
<propertyAlias propertyName="tilausnumero"
                messageType="lippuviesti"
                part="tilaustiedot"
                query="/tilausID"/>
```

Viestiominaisuuksien ja peitenimien määrittämisen jälkeen prosessiin voidaan määritellä korrelaatiojoukko, jota voidaan hyödyntää viestien lähettämisen ja vastaanotto toimintojen yhteydessä. Korrelaatiojoukko muistuttaa vakiota siten, että joukko voidaan alustaa vain kerran. Seuraava esimerkki havainnollistaa tilaus-nimisen korrelaatiojoukon määrittelyä ja korrelaatiojoukon alustamista receive-toiminnon yhteydessä:

```
...
<correlationSets>
  <correlationSet name="tilaus" properties="nsl:tilausnumero"/>
</correlationSets>
...
<receive name="vastaanotaLiput" partnerLink="lentoyhtiö"
  portType="matkasuunnitelmaPT" operation="lähetäLiput"
  variable="liput">
  <correlations>
    <correlation set="tilaus" initiate="yes"/>
  </correlations>
</receive>
...
```

### 3.6 Näkyvyysalueet

Näkyvyysalue eli *scope*-toiminto määrittelee käyttäytymiskontekstin kullekin toiminnolle. Näkyvyysalue voi sisältää virhekäsittelijöitä, tapahtumakäsittelijöitä, kompensatiokäsittelijän, näkyvyysalueen paikallisten muuttujien määrittelyitä ja korrelaatiojoukkoja. Lisäksi jokaiseen näkyvyysalueeseen kuuluu toiminto, joka määrittää näkyvyysalueen normaalin käyttäytymisen. Toiminto voi olla myös monimutkainen sisäkkäisiä toimintoja sisältävä rakenteinen toiminto. Seuraavassa esimerkissä on määritelty näkyvyysalue, joka sisältää normaalin toimintona invoke-toiminnon. Jos invoke-toiminto palauttaa ostotilausvirhe-nimisen virheen, niin virhe käsitellään näkyvyysalueeseen `faultHandlers`-elementin alle määritetyssä `catch`-osassa:

```
<scope>
  <faultHandlers>
    <catch faultName="SP:ostotilausvirhe"
      faultVariable="ostotilausvirhe">
      <!-- Käsittele virhe. -->
    </catch>
  </faultHandlers>
  <invoke partnerLink="myyjä" portType="SP:hankinta"
    operation="osta" inputVariable="ostotilaus"
    outputVariable="vastaus">
  </invoke>
</scope>
```

Virheiden käsittelyn tarkoituksena on perua epäonnistuneita ja osittain suoritettuja toimintoja näkyvyysalueessa, jossa virhe on ilmennyt. Virheiden käsittely perustuu kompensatioihin, jotka käsittävät aiemman toiminnon vaikutuksia kumoavaa toiminnallisuutta. Näkyvyysalueen avulla voidaan rajata kompensatiokäsittelijällä kumottavissa oleva toiminnallisuus. Seuraavan esimerkin näkyvyysalue sisältää normaalina toimintona osta-operaation kutsun. Jos operaation vaikutus tulee myöhemmin perua, niin compensationHandler-elementin määrittelemä kompensatiokäsittelijä kutsuu alkuperäisen partnerilinkin ja portin peruutaOsto-operaatiota välittämällä operaatiolle alkuperäisen osta-operaation palauttaman vastauksen:

```
<scope>
  <compensationHandler>
    <invoke partnerLink="myyjä" portType="SP:hankinta"
      operation="peruutaOsto" inputVariable="vastaus"
      outputVariable="varmistus">
      <correlations>
        <correlation set="ostotilaus" pattern="out"/>
      </correlations>
    </invoke>
  </compensationHandler>
  <invoke partnerLink="myyjä" portType="SP:hankinta"
    operation="osta" inputVariable="lähetäTilaus"
    outputVariable="vastaus">
    <correlations>
      <correlation set="ostotilaus" initiate="yes" pattern="out"/>
    </correlations>
  </invoke>
</scope>
```

Kompensaatiokäsittelijöitä voidaan kutsua ainoastaan virhekäsittelijöistä tai kompensatiokäsittelijöistä. Kompensaatiokäsittelijää kutsutaan *compensate*-toiminnon avulla:

```
<compensate scope="RekisteröiMaksu"/>
```

Sekä prosessiin että jokaiseen prosessissa määriteltyyn näkyvyysalueeseen voidaan liittää eventHandlers-elementin avulla tapahtumakäsittelijöitä, jotka suoritetaan niihin liittyvien tapahtumien sattuessa. Tapahtumat voivat olla viestin vastaanottamisia tai määrättyihin ajankohtiin liittyvien ajastimien laukeamisia. Seuraava esimerkki havainnollistaa viestejä vastaanottavan tapahtumakäsittelijän hyödyntämistä prosessin päättämiseksi ulkoisen viestin perusteella. Jos ostaja-partneri kutsuu auto-porttityypin määrittelemää peru-operaatiota, suoritetaan prosessin päättävä terminate-toiminto. Koska tapahtuma on liitetty prosessin globaaliin näkyvyysalueeseen, voidaan tapahtumakäsittelijä suorittaa missä tahansa vaiheessa liiketoimintaprosessin elinkaaren aikana:

```
<process name="autontilaus">
  ...
```

```

<eventHandlers>
  <onMessage partnerLink="ostaja"
    portType="auto"
    operation="peru"
    variable="perumistiedot">
    <terminate/>
  </onMessage>
  ...
</eventHandlers>
...
</process>

```

### 3.7 BPEL-koneista tehdyt suorituskykytutkimukset

Yksittäisen prosessi-ilmentymän elinkaaren aikana BPEL-kone suorittaa prosessiin määrättyjä toimintoja ja on vuorovaikutuksessa prosessin partnerien kanssa web-palveluiden kautta. Näihin molempiin liittyy käsittelyä, jolla on vaikutus BPEL-koneen suorituskykyyn. Seuraavassa käsitellään BPEL-koneista tehtyjä suorituskykytutkimuksia.

Emmerich et al. (2006) ovat arvioineet BPEL:in soveltuvuutta tieteellisen laskennan sovellusten tarpeisiin palvelukeskeisessä ympäristössä. Heidän arvioinnissaan BPEL-koneena oli ActiveBPEL, josta tarkasteltiin muun muassa suorituskykyä. Suorituskykyä mitattiin sekä luomalla 0–10 000 rinnakkaista vuota flow-toiminnon avulla että toistamalla 0–10 000 kierrosta silmukassa. Yksittäisen silmukan kierroksen suoritus aika ei riippunut kierrosten lukumäärästä, mutta yksittäisen vuon käynnistämiseen kuluva aika kasvoi, kun voiden määrää kasvatettiin.

Hackmann et al. (2006) ovat verranneet mobiililaitteille soveltuvan Sliver-nimisen BPEL-koneen ja ActiveBPEL:in suorituskykyä hyödyntämällä testiaineistona van der Aalstin et al. (2003) esittämiä työkulkumalleja. ActiveBPEL:illä suoritusajat vaihtelivat työkulkumallista riippuen muutaman kymmenen millisekunnin ja reilun sadan millisekunnin välillä. Mobiiliympäristöön tarkoitetun Sliver-koneen suoritusajat olivat vertailussa ActiveBPEL:iä selvästi pienempiä, koska Sliver on suunnattu kapasiteetiltaan rajallisille laitteille. Testilaitteistona Hackmannin et al. (2006) vertailussa oli 3,2 GHz Pentium 4 -prosessorilla varustettu tietokone, jossa oli 512 megatavua keskusmuistia. Lisäksi työkulkumalleja testattiin Sliver-koneessa erilaisissa mobiililaitteissa, joilla suoritusajat olivat useimmilla työkulkumalleilla sadan millisekunnin luokkaa.

Yuan et al. (2007) ovat arvioineet tietoliikennepalveluiden koostamista SIP-servletin (Session Initiation Protocol), Javan ja BPEL:in avulla sekä tarkastelleet vaihtoehtojen suorituskykyä.

Heidän tulostensa mukaan SIP-servletin avulla rakennettu palvelukooste oli suorituskyvyltään Java- ja BPEL-pohjaisia ratkaisuja noin 2–3 kertaa nopeampi. Toisaalta heidän testeissään BPEL:in avulla luotu palvelukooste oli suorituskyvyltään noin 2–3 kertaa SIP-servlet- ja Java-pohjaista koostetta nopeampi, kun testin suorituksessa käytettiin todellista Google Check-web-palvelua. Vertailussa BPEL-koneena oli ActiveBPEL.

Suorituskykytutkimukset vaihtelevat yksittäisten ohjausrakenteiden suoritusaikojen selvittämisestä monimutkaisten palvelukoosteiden suoritusaikojen selvittämiseen. Tutkimuksissa peruslähtökohtana on kuitenkin ollut suorituskyvyn mittaaminen pääasiassa prosessi-ilmentymien suoritusaikojen perusteella, mikä on myös tässä tutkielmassa sovellettava menetelmä.



## 4 Työnkulkumallit

Tässä luvussa käsitellään työnkulkumalleja, joita hyödynnetään vertailukehyksenä BPEL-koneiden suorituskykyvertailussa. Luvun pääpaino on suorituskykyvertailussa käytettyjen työnkulkumallien esittelemisessä ja työnkulkumallien BPEL-toteutuksien tarkastelussa. Aluksi luodaan yleisellä tasolla katsaus työnkulkumalleihin ja niiden taustaan, jonka jälkeen esitellään tämän tutkielman testiaineistossa käytetyt työnkulkumallit ja mallien BPEL-toteutukset.

### 4.1 Yleistä työnkulkumalleista

Työnkulkumallit ovat van der Aalstin et al. (2003) esittämä kehys työnkulkukielille asetettavien vaatimusten esittämiseksi. Russellin et al. (2006) mukaan pääasiallisena työnkulkumallien tavoitteena on ollut kuvata ohjausvuohon liittyviä ominaisuuksia, joiden tukeminen olisi toivottavaa eri järjestelmissä. Useat järjestelmät ovat perusteiltaan samanlaisia, mutta ne eroavat huomattavasti ilmaisukyvyltään, mikä on ollut yksi työnkulkumallien tutkimisen syy. Havaitut erot nostivat esiin kysymyksen siitä, kuinka välineiden soveltuvuutta tiettyihin tarkoituksiin voitaisiin arvioida. Vaikka työnkulkujen hallintaan tarkoitettuja järjestelmiä oli tarjolla runsaasti, puuttuivat ydinkäsitteet, joita eri tuotteiden voitiin olettaa tukevan tai joita voitaisiin käyttää vertailun perustana. Tämä puute eroaa tietojärjestelmien muista alueista kuten tietokantojen suunnittelemisesta tai tapahtumien hallinnasta, joilla on formaali perusta.

Russellin et al. (2006) mukaan työnkulkumallit kuvaavat olemassa oleviin järjestelmiin sisältyviä rakenteita. Työnkulkumallit tunnistettiin arvioimalla perusteellisesti työnkulunhallintajärjestelmiä ja prosessinmallinnusformalismeja. Ohjausvuon rakenteeseen perustuvia työnkulkumalleja on käytetty työnkulunhallintajärjestelmien valinnan, suunnittelun ja toteuttamisen apuna. Työnkulkumallien avulla on arvioitu esimerkiksi BPEL:iä (Wohed et al., 2002; Russell et al., 2006), kaupallisia BPEL-koneita (Mulyar, 2005; Russell et al., 2006) ja useita työnkulunhallintajärjestelmiä sekä mallintamiseen tarkoitettuja kieliä (Russell et al., 2006), joihin kuuluvat esimerkiksi BPMN (Business Process Modeling Notation) ja UML:n (Unified Modeling Language) toimintokaavio.

Ohjelmistotuotannossa sovellettavia malleja ovat esimerkiksi Gamman et al. (1995) esittämät ohjelmiston suunnitteluun tarkoitetut *suunnittelumallit* (design patterns). Suunnittelumallien ja työkulkumallien käyttötarkoitukset eroavat kuitenkin siten, että suunnittelumallit on tarkoitettu ratkaisuksi erilaisiin ohjelmiston suunnittelussa toistuviin ongelmiin, kun taas työkulkumallit ovat kehys työkulunhallintajärjestelmien arvioimiseksi.

Suunnittelumallit on kuvattu kaavamaisesti antamalla jokaisesta mallista nimi, tarkoitus, muut tunnetut nimet, vaikuttimet, soveltuvuus, rakenne, osallistajat, yhteistyö, seuraukset, toteutus, esimerkki, tunnetut käyttökohteet ja läheiset mallit (Gamma et al., 1995). Työkulkumallien kuvaamisessa van der Aalst et al. (2003) ovat antaneet mallin kuvauksen, synonyymit ja esimerkkejä. Monimutkaisempien mallien kuvaamisessa on esitetty myös ongelma, joka selittää mallin toteuttamisen hankaluuden työkulunhallintajärjestelmissä, sekä mallin mahdolliset to-

**Kuvaus:** *Tapaus* eli työkulun ilmentymä poistetaan kokonaan.

**Synonyymit:** Tapauksen poisvetäminen

**Esimerkkejä:** Hakija peruuttaa työhakemuksensa.

Asiakas peruuttaa vahingonkorvaushakemuksensa ennen lopullista päätöstä.

**Ongelma:** Työkulunhallintajärjestelmät eivät yleensä tue koko tapauksen peruuttamista työkulun määrittelyyn tarkoitettua kielen keinoin.

**Toteutus:** Malli voidaan toteuttaa toistamalla *Toiminnon peruuttaminen* -mallia jokaiselle työkulun toiminnolle. Jokaisen toiminnon peruuttaminen laukaistaan yhden toiminnon avulla. Ratkaisu ei ole kovin elegantti, koska työkulun normaaliin ohjausvuohon kietoutuu erilaisia yhteyksiä, joiden tarkoituksena on ainoastaan mahdollistaa työkulun ilmentymän poistaminen.

Useissa työkulunhallintajärjestelmissä on tapausten poistamista varten sovellusliittymä, joka yksinkertaisesti poistaa tapauksia vastaavat tiedot tietokannasta.

Kuva 9: Tapauksen peruuttaminen (van der Aalst et al., 2003; mukailten).

teutusstrategiat. Kuvassa 9 on esitetty malli *Tapauksen peruuttaminen* (Cancel Case) van der Aalstin et al. (2003) esitystapaa noudattaen. Russell et al. (2006) ovat kuvanneet mallit formaalimmin antamalla esimerkiksi arviointikriteerit, joiden perusteella eri järjestelmien tuki mallille voidaan todeta, sekä kuvaamalla työnkulkumallin toiminnan formaalin mallin avulla.

Malleja voidaan luokitella eri tavoin. Esimerkiksi suunnittelumallit Gamma et al. (1995) ovat jakaneet tarkoituksen perusteella luomis-, rakenne- ja käyttäytymismalleihin ja sovelluskohteen mukaan luokka- ja oliomalleihin. Van der Aalstin et al. (2003) mukaan myös työnkulkuja voidaan tarkastella useista näkökulmista. Ohjausvuonäkökulma kuvaa toiminnot ja niiden suorittamisjärjestyksen erilaisten suorituksen ohjausrakenteiden avulla. Ohjausrakenteita ovat esimerkiksi sekvenssi, valinta, rinnakkaisuus ja yhdistämisen synkronointi. Datanäkökulma kerrostaa liiketoimintaan ja käsittelyyn liittyvää tietoa ohjausvuon päälle. Resurssinäkökulma mahdollistaa organisaatorakenteen kiinnittämisen työnkulkuun toimintojen suorittamisesta vastuussa olevien ihmis- ja laiteroolien avulla.

## 4.2 Testiaineiston työnkulkumallit

Seuraavassa tarkastellaan ohjausvuomalleja, joita tässä tutkielmassa sovelletaan BPEL-koneiden suorituskyvyn vertailussa. Van der Aalst et al. (2003) ovat esittäneet 20 ohjausvuon rakenteeseen perustuvaa työnkulkumallia, jotka on esitetty taulukossa 1. Russell et al. (2006) ovat esittäneet alkuperäisten 20 mallin ohella 23 uutta ohjausvuon rakenteeseen perustuvaa työnkulkumallia. Wohedin et al. (2002) tarkastelussa BPEL:in on todettu tukevan 14 alkuperäistä työnkulkumallia, kun taas Russellin et al. (2006) mukaan alkuperäisistä työnkulkumalleista BPEL mahdollistaa 13 mallin toteuttamisen; Russellin et al. (2006) mukaan BPEL ei tue mallia *Monta ilmentymää suunnitteluaikaisella tiedolla* (Multiple Instances with a Priori Design Time Knowledge).

Hackmann et al. (2006) ovat käyttäneet työnkulkumalleja BPEL-koneen suorituskyvyn arvioinnissa testiaineistona. Taulukon 1 kolmannessa sarakkeessa on ilmoitettu Hackmannin et al. (2006) vertailussa käytetyt mallit, joihin sisältyy myös sellaisia malleja, joita BPEL ei Russellin et al. (2006) mukaan tue. Wohedin et al. (2002) esityksessä näille malleille on kuvattu erilaisia kiertoteitä, joiden avulla mallit voidaan toteuttaa BPEL:in avulla, mutta Wohed et al. (2002) eivät katso BPEL:in kuitenkaan tukevan malleja.

Taulukko 1: Ohjausvuohon perustuvat työnkulkumallit.

| <i>Työnkulkumalli</i>  | <i>Toteutettavissa BPEL:illä (Russell et al., 2006)</i> | <i>Hackmannin et al. (2006) käyttämä</i> | <i>Käytetty tässä tutkielmassa</i> |
|--|---|--|------------------------------------|
| Sekvenssi (Sequence)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Rinnakkainen jakautuminen (Parallel Split)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Synkronointi (Synchronization)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Poissulkeva valinta (Exclusive Choice)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Yksinkertainen yhdistäminen (Simple Merge)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Monivalinta (Multi-Choice)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Synkronoiva yhdistäminen (Synchronizing Merge)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Moniyhdistäminen (Multi-Merge)   | ei  | ei                                       | ei                                 |
| Diskriminoija (Discriminator)  | ei  | ei                                       | ei                                 |
| Mielivaltaiset kehät (Arbitrary Cycles)  | ei  | ei                                       | ei                                 |
| Implisiittinen päätyminen (Implicit Termination)   | kyllä   | kyllä                                    | kyllä                              |
| Monta ilmentymää ilman synkronointia (Multiple Instances without Synchronization)                    | kyllä   | ei                                       | ei                                 |
| Monta ilmentymää suunnitteluajalla tiedolla (Multiple Instances with a Priori Design Time Knowledge) | ei  | kyllä                                    | ei                                 |
| Monta ilmentymää ajonaikaisella tiedolla (Multiple Instances with a Priori Runtime Knowledge)        | ei  | kyllä                                    | ei                                 |
| Monta ilmentymää ilman ajonaikaista tietoa (Multiple Instances without a Priori Runtime Knowledge)   | ei  | ei                                       | ei                                 |
| Viivästetty valinta (Deferred Choice)  | kyllä   | ei                                       | ei                                 |
| Lomitettu rinnakkainen reititys (Interleaved Parallel Routing)                                       | osittain  | ei                                       | ei                                 |
| Virstanpylväs (Milestone)  | ei  | ei                                       | ei                                 |
| Toiminnon peruuttaminen (Cancel Activity)  | kyllä   | kyllä                                    | ei                                 |
| Tapauksen peruuttaminen (Cancel Case)  | kyllä   | kyllä                                    | ei                                 |

Toisaalta kaikki BPEL:in tukemat mallit eivät sovellu suorituskykyvertailun testiaineistoksi. Hackmannin et al. (2006) mukaan *Monta ilmentymää ilman synkronointia* (Multiple Instances without Synchronization) ei ole käytännöllinen suorituskykyvertailussa, koska malli luo lapsiprosesseja, jotka voivat jatkaa suoritustaan äitiprosessin päättymisen jälkeen. *Viivästetty valinta* (Deferred Choice) ja *Virstanpylväs* (Milestone) ovat toiminnaltaan epädeterministisiä, joten ne eivät sovellu suorituskykyvertailuun testiaineistoksi. Yksityiskohtaiset kuvaukset malleista tarjoaa van der Aalstin et al. (2003) tai Russellin et al. (2006) esitys.

Tässä tutkielmassa suorituskyvyn vertailussa rajoitutaan Hackmannin et al. (2006) käyttämistä malleista niihin malleihin, jotka ovat Russellin et al. (2006) mukaan BPEL:in tukemia ja jotka voidaan optimoida suoritettavaksi muistinvaraisina. Muistinvaraisena suorittamisella on tässä tutkielmassa pyritty poistamaan BPEL-koneen käyttämästä tietokannanhallintajärjestelmästä johtuvat vääristymät suorituskyvyssä. Esimerkiksi Oracle BPEL Process Manager edellyttää, että muistinvaraisena suoritettavassa prosessissa ei ole käytetty prosessin suorituksen aikana *tallennuspistettä* (dehydration point) aiheuttavaa toimintoa, joita ovat wait-, receive-, onMessage- ja onAlarm-toiminnot (Oracle, 2006). Tästä syystä vertailussa ei voida käyttää *Toiminnon peruuttaminen* (Cancel Activity) -mallia, koska sen toteutuksessa (Mulyar, 2005) hyödynnetään onMessage-käsittelijää. Toteutusteknisten syiden takia vertailussa ei käytetä myöskään Tapauksen peruuttaminen -mallia, jonka toteutuksessa hyödynnetään terminate-toimintoa. BPEL-kone ei suorita prosessissa jäljellä olevia toimintoja terminate-toiminnon suorittamisen jälkeen, jolloin BPEL-prosessi jättää palauttamatta suoritusajan mittaamisessa tarvittavan vastausviestin. Taulukon 1 neljänteen sarakkeeseen on merkitty tässä tutkielmassa käytetyt työnkulkumallit.

Seuraavissa alakohdissa esitellään tämän tutkielman suorituskykyvertailussa käytetyt työnkulkumallit ja tarkastellaan mallien BPEL-toteutuksia. Mallit esitellään van der Aalstin et al. (2003) käyttämää kaavamaista esitystapaa vapaamuotoisemmin. Koska mallien todelliset BPEL-toteutukset ovat laveita XML-esitystavan johdosta, mallien toteutukset esitetään muokailen Wohedin et al. (2002) käyttämää yksinkertaistettua merkintätapaa. Vertailun testiaineiston toteutuksessa on hyödynnetty Wohedin et al. (2002) esittämien toteutusten ohella Mulyarin (2005) laatimia mallien toteutuksia Oracle BPEL Process Managerille. Liitteessä 2 on esitetty testiaineiston toteutuksista *Synkronoiva yhdistäminen* (Synchronizing Merge).

#### 4.2.1 Sekvenssi

*Sekvenssi* (Sequence) on yksinkertainen peräkkäisyyttä kuvaava työnkulkumalli. Van der Aalstin et al. (2003) mukaan Sekvenssi-mallissa toiminto suoritetaan toisen toiminnon päättymisen jälkeen. Esimerkiksi toiminto `lähetä_lasku` suoritetaan toiminnon `lähetä_tuotteet` jälkeen. Sekvenssi soveltuu työnkulun peräkkäisten askelien mallintamiseen.

```
<flow>
  <links>
    <link name="L"/>
  </links>
  toiminto_A
    <source linkName="L"/> ...
  toiminto_B
    <target linkName="L"/> ...
</flow>
```

Kuva 10: Linkkeihin perustuva Sekvenssi-mallin toteutus (Wohed et al, 2002).

Sekvenssi voidaan toteuttaa BPEL:in `sequence`-toiminnon tai linkkien avulla (Wohed et al., 2002). Tämän tutkielman testiaineistossa Sekvenssin toteutus perustuu BPEL:in `sequence`-toimintoon. Kuvassa 10 on esitetty Sekvenssi-mallin vaihtoehtoinen linkkeihin perustuva toteutus. Toteutuksessa `flow`-toiminnon sisällä määritellään käytetty linkki ja suoritettavat toiminnot `toiminto_A` ja `toiminto_B` asetetaan `flow`-toiminnon komponenteiksi. Peräkkäinen suoritussjärjestys määräytyy synkronointiriippuvuuden perusteella siten, että linkin lähteeksi asetettu `toiminto_A` suoritetaan ensin, jonka jälkeen linkin tila lasketaan. Koska linkille ei ole asetettu siirtymäehtoa, on linkin tila positiivinen. Koska `toiminto_B` on linkin kohteena, linkin tila on positiivinen ja `toiminto_B`:n oletusarvoinen liittymisehto edellyttää vähintään yhden sisääntulevan linkin tilan olevan positiivinen, voidaan `toiminto_B` suorittaa.

#### 4.2.2 Rinnakkainen jakautuminen

Van der Aalstin et al. (2003) mukaan *Rinnakkainen jakautuminen* (Parallel Split) tarkoittaa työnkulussa olevaa pistettä, jossa kontrolli jakautuu useiksi rinnakkain suoritettaviksi säikeiksi. Tämä mahdollistaa toimintojen suorittamisen samanaikaisesti tai missä tahansa järjestyksessä. Esimerkiksi vakuutuskorvaushakemuksen rekisteröiminen voi käynnistää kaksi rinnakkaista aliprosessia, joissa toisessa tarkistetaan asiakkaan vakuutusehdot ja toisessa arvioidaan

todelliset vahingot. Russellin et al. (2006) mukaan rinnakkaiset säikeet voidaan myöhemmin synkronoida, mutta se ei ole välttämätöntä.

```
<sequence>
  <flow>
    toiminto_A1
    toiminto_A2
  </flow>
  toiminto_B
</sequence>
```

Kuva 11: Rinnakkainen jakautuminen  
(Wohed et al., 2002).

Wohedin et al. (2002) mukaan Rinnakkainen jakautuminen on mahdollista toteuttaa BPEL:in flow-toiminnon tai linkkien avulla. Flow-toimintoa hyödynnettäessä rinnakkain suoritettavat toiminnot asetetaan flow-toiminnon komponenteiksi kuvassa 11 esitetyllä tavalla, jolloin toiminto\_A1 ja toiminto\_A2 suoritetaan rinnakkain. Rinnakkainen jakautuminen voidaan toteuttaa myös linkkien avulla kuvan 12 mukaisesti. Tämän tutkielman vertailun testiaineistossa Rinnakkainen jakautuminen on toteutettu kuvan 11 mukaisesti flow-toiminnon avulla.

#### 4.2.3 Synkronointi

*Synkronointi* (Synchronization) tarkoittaa työnkulussa olevaa pistettä, jossa useat rinnakkaiset toiminnot yhdistyvät yhdeksi suoritussäikeeksi, jolloin rinnakkaiset säikeet synkronoidaan. Malli olettaa, että jokainen synkronointipisteeseen sisääntuleva haara suoritetaan ainoastaan kerran. Esimerkiksi vakuutuskorvaushakemus arvioidaan sen jälkeen, kun vakuutusehdot on tarkistettu ja todelliset vahingot arvioitu (van der Aalst et al., 2003). Yleensä rinnakkaiset säikeet on luotu prosessissa aiemmin Rinnakkaisen jakautumisen mahdollistavan toiminnon avulla. Kun jokainen sisääntuleva haara on suoritettu, kontrolli siirtyy välittömästi synkronointipistettä seuraavalle toiminnolle (Russell et al., 2006).

Wohedin et al. (2002) mukaan Rinnakkaisen jakautumisen tapaan Synkronointi voidaan toteuttaa flow-toiminnon tai linkkien avulla. Synkronoinnin toteuttaminen linkkien avulla on esitetty kuvassa 12. Flow-toiminrossa määritellään linkit L1 ja L2 sekä toiminnot toiminto\_A1, toiminto\_A2 ja toiminto\_B. Linkin L1 lähteeksi on asetettu toiminto\_A1 ja linkin L2 lähteenä on toiminto\_A2. Molempien linkkien kohteeksi on asetettu toiminto\_B. Lisäksi toiminto\_B sisältää ja-muotoisen liittymisehdon, joka edellyttää toimintojen toiminto\_A1 ja toiminto\_A2 onnistuneen suorittamisen toiminto\_B:n suorittamiseksi. Tämän

tutkielman testiaineistossa Synkronointi on toteutettu linkkien avulla, koska muuten malli vastaa tavanomaista flow-toimintoa.

```
<flow name="F">
  <links>
    <link name="L1"/>
    <link name="L2"/>
  </links>
  toiminto_A1
  <source linkName="L1"/>...
  toiminto_A2
  <source linkName="L2"/>...
  toiminto_B
  joinCondition="L1 AND L2"
  <target linkName="L1"/>
  <target linkName="L2"/>...
</flow>
```

Kuva 12: Synkronointi linkkien avulla (Wohed et al., 2002).

#### 4.2.4 Poissulkeva valinta

*Poissulkeva valinta* (Exclusive Choice) muistuttaa perinteisistä ohjelmointikielistä löytyvää valintarakennetta. Van der Aalstin et al. (2003) mukaan Poissulkeva valinta tarkoittaa työnkussa olevaa pistettä, jossa valitaan yksi haara useista mahdollisista haaroista päätöksen tai työnkulun ohjaustiedon perusteella. Esimerkiksi toimintoa arvioi\_hakemus seuraa joko toiminto korvaa\_vahingot tai ota\_yhteyttä\_asiakkaaseen.

```
<switch>
  <case condition="C1">
    toiminto_A1
  </case>
  <case condition="C2">
    toiminto_A2
  </case>
</switch>
toiminto_C
```

Kuva 13: Poissulkeva valinta switch-toimintona (Wohed et al., 2002).

Poissulkevalle valinnalle on kaksi mahdollista BPEL-toteutusta. Toinen ratkaisu hyödyntää switch-toimintoa ja toinen ratkaisu perustuu linkkeihin (Wohed et al., 2002). Kuvassa 13 on esitetty switch-toimintoon perustuva ratkaisu, jossa toiminto\_A1 suoritetaan, jos ehto C1 on tosi. Jos ehto C2 on tosi ja C1 on epätosi, suoritetaan toiminto\_A2. Tämän tutkielman testiaineistossa Poissulkeva valinta on toteutettu switch-toiminnon avulla.



#### 4.2.5 Yksinkertainen yhdistäminen

*Yksinkertainen yhdistäminen* (Simple Merge) tarkoittaa työnkulussa olevaa pistettä, jossa vähintään kaksi vaihtoehtoista haaraa yhdistyy ilman synkronointia. Malli olettaa, että pisteeseen saapuvia vaihtoehtoisia haaroja ei suoriteta koskaan rinnakkain. Esimerkiksi toiminto arkistoi\_hakemus voidaan suorittaa sen jälkeen, kun joko toiminto korvaa\_vahingot tai toiminto ota\_yhteyttä\_asiakkaaseen on suoritettu (van der Aalst et al., 2003).

```
<flow>
  <links>
    <link name="L1"/>
    <link name="L2"/>
    <link name="L1s"/>
    <link name="L2s"/>
  </links>
  <empty>
    <source linkName="L1"
      transitionCondition="C1"/>
    <source linkName="L2"
      transitionCondition="C2"/>
  </empty>
  toiminto_A1
    <target linkName="L1">
    <source linkName="L1s">
  toiminto_A2
    <target linkName="L2">
    <source linkName="L2s">
  toiminto_C
    joinCondition="L1s OR L2s"
    <target linkName="L1s">
    <target linkName="L2s"> ...
</flow>
```

Kuva 14: Yksinkertainen yhdistäminen linkkien avulla (Wohed et al., 2002).

Wohedin et al. (2002) mukaan Yksinkertaiselle yhdistämiselle on olemassa kaksi BPEL-toteutusta. Switch-toimintoon perustuva ratkaisu vastaa kuvan 13 toteutusta. Linkkeihin perustuva ratkaisu on esitetty kuvassa 14. Haarautumisiin liittyvät ehdot C1 ja C2 on esitetty linkkeihin L1 ja L2 liitettyinä siirtymäehtoina transitionCondition-attribuutin avulla. Tästä seuraa, että toiminnot toiminto\_A1 ja toiminto\_A2 suoritetaan linkkien siirtymäehtojen ollessa tosia. Tyhjä toiminto on määritelty linkkien L1 ja L2 lähteeksi, jolloin lausekkeiden C1 ja C2 arvo lasketaan flow-toiminnon suorittamisen alkaessa. Toiminto\_C on määritelty linkkien L1s ja L2s kohteeksi ja toiminnot toiminto\_A1 ja toiminto\_A2 on määritelty näiden linkkien lähteeksi, mikä toteuttaa Yksinkertainen yhdistäminen -mallin. Jotta voidaan varmistua siitä, että haaroista valitaan vain yksi, ehtojen C1 ja C2 tulee olla *erillisiä* (disjoint). Jos ehdot voivat olla

voimassa samanaikaisesti, toteuttaa kuvassa 14 esitetty listaus seuraavaksi esiteltävän *Monivalinta*-mallin. Tämän tutkielman vertailun testiaineistossa Yksinkertainen yhdistäminen on toteutettu linkkien avulla.

#### 4.2.6 *Monivalinta*

*Monivalinta* (Multi-Choice) tarkoittaa työnkulussa olevaa pistettä, jossa valitaan jokin lukumäärä haaroja päätöksen tai työnkulun ohjaustiedon perusteella. Esimerkiksi toiminnon arvioi\_vahingot suorittamisen jälkeen voidaan suorittaa toiminto ota\_yhteyttä\_palolaitokseen tai toiminto ota\_yhteyttä\_vakuutusyhtiöön. Toiminnoista suoritetaan ainakin toinen, mutta on myös mahdollista, että molemmat toiminnot suoritetaan (van der Aalst et al., 2003).

Wohedin et al. (2002) mukaan *Monivalinta* ja *Synkronoiva yhdistäminen* ovat BPEL-toteutuksiltaan identtisiä Poissulkevan valinnan ja Yksinkertaisen yhdistämisen linkkeihin perustuvan toteutuksen kanssa (kuva 14). Jos ehto C1 on tosi, toiminto\_A1 vastaanottaa positiivisen arvon, jonka seurauksena toiminto suoritetaan. Toisaalta jos ehto C1 on epätosi, toiminto\_A1 vastaanottaa negatiivisen arvon eikä toimintoa suoriteta, mutta negatiivinen arvo välittyy ulosmenevään linkkiin L1s. Jos sekä C1 ja C2 ovat tosia, suoritetaan sekä toiminto\_A1 että toiminto\_A2. Toimintoon toiminto\_C määritetty tai-muotoinen liittymisehto takaa, että toiminto\_C suoritetaan silloin, kun ainakin toinen toiminnoista toiminto\_A1 ja toiminto\_A2 suoritetaan. Tämän tutkielman testiaineistossa *Monivalinta* on toteutettu kuvassa 14 esitetyllä tavalla siten, että valittavana on kolme haaraa, joihin liittyvistä siirtymäehdoista kaksi on voimassa.

#### 4.2.7 *Synkronoiva yhdistäminen*

*Synkronoiva yhdistäminen* (Synchronizing Merge) tarkoittaa työnkulussa olevaa pistettä, jossa monta polkua yhdistyy yhdeksi säikeeksi. Jos vähintään kaksi polkua on suoritettu, tulee aktiiviset suoritussäikeet synkronoida. Jos vain yksi polku on suoritettu, vaihtoehtoisten haarojen tulisi yhdistyä ilman synkronointia. Malli olettaa, että aktivoitua haaraa ei voida suorittaa uudelleen, mikäli yhdistäminen odottaa muiden haarojen päättymistä. Esimerkiksi sen jälkeen kun toinen tai molemmat toiminnoista ota\_yhteyttä\_palolaitokseen ja ota\_yhteyttä\_vakuutusyhtiöön ovat päättyneet, suoritetaan toiminto lähetä\_raportti. Mallissa ongelmana on päättää milloin suorituspolut tulisi synkronoida ja yhdistää (van der Aalst et al., 2003).

Wohedin et al. (2002) mukaan Synkronoivan yhdistämisen BPEL-toteutus vastaa kuvan 14 listausta. Tämän tutkielman testiaineistossa Synkronoiva yhdistäminen on toteutettu kuvassa 14 esitetyllä tavalla siten, että sekä ehto C1 että ehto C2 ovat voimassa. Testiaineistossa käytetty toteutus on esitetty liitteessä 2.

#### 4.2.8 Implisiittinen päätyminen

*Implisiittinen päätyminen* (Implicit Termination) kuvaa tilannetta, jossa aliprosessin tulisi päättyä, mikäli mitään toimenpiteitä ei ole enää suoritettavissa. Ongelmana on, että useimmat työkulunhallintajärjestelmät päättävät prosessin, kun työkulku saavuttaa eksplisiittisesti määritellyn päätösolmun, jolloin mahdolliset suorituksessa olevat toiminnot keskeytetään. Niissä työkulunhallintajärjestelmissä, jotka eivät tue mallia suoraan, tyypillinen toteutus mallille on muuntaa työkulku erilaisten yhdistämISRakenteiden ja toimintojen toistamisen avulla sellaiseksi ekvivalentiksi työkuluksi, jossa on vain yksi päätösolmu (van der Aalst et al., 2003).

BPEL mahdollistaa Implisiittisen päättymisen toteuttamisen flow-toiminnon avulla (Wohed et al., 2002). Kohdassa 3.4 todettiin, että flow-toiminnon suoritus päättyy, kun jokaisen flow-rakenteen sisältämän toiminnon suoritus on päättynyt. Tällöin ei tarvita erikseen määriteltyä aliprosessit yhdistävää päätöstoimintoa. Tämän tutkielman testiaineistossa Implisiittinen päätyminen on toteutettu ainoalla mahdollisella eli flow-toimintoon perustuvalla tavalla.

## 5 BPEL-koneiden vertailu

Edellä on luotu katsaus web-palvelutekniikkaan, BPEL:iin ja työnkulkumalleihin. Tässä luvussa esitetään BPEL-koneiden suorituskykyvertailu, jossa aineistona on käytetty työnkulkumallien BPEL-toteutuksia. Työnkulkumallien ohella tarkastellaan tietomäärän vaikutusta suorituskykyyn. Aluksi esitellään BPEL-koneiden suorituskyvyn selvittämisessä käytetty menetelmä, jonka jälkeen esitellään vertailussa käytetyt välineet ja mittauksissa käytetty asiakassovellus. Lopuksi esitetään vertailun tulokset ja tarkastellaan tulosten merkitystä.

### 5.1 Menetelmä

Suorituskyvyn selvittämisessä sovelletaan Hackmannin et al. (2006) työnkulkumalliaineistolla käyttämää menetelmää, jossa mitataan testattavien BPEL-prosessien suorittamiseen kuluvat ajat toistettujen mittausten keskiarvona. Tässä tutkielmassa testiajo käsittää Hackmannia et al. (2006) mukailleen 100 testattavan BPEL-prosessin kutsua, joiden suoritusajojen keskiarvona kunkin työnkulkumallin suoritus aika lasketaan. Hackmann et al. (2006) eivät kuvaa käyttämänsä suoritusajan mittausperiaatetta yksityiskohtaisesti, mutta tässä tutkielmassa suoritusajaksi lasketaan se aika, joka kuluu asiakassovelluksessa pyynnön lähettämisestä vastauksen saamiseen BPEL-prosessilta. Tällöin suoritusajkaan sisältyy myös asiakassovelluksessa kutsun suorittamiseksi vaadittu käsittely.

BPEL-prosessia edustavaa web-palvelua kutsuttaessa suoritusajan mittaustulokseen sisältyy pyyntöä esittävän olion sarjallistaminen XML-dokumentiksi asiakassovelluksessa, XML-dokumentin lähettäminen SOAP-viestin sisältönä HTTP-yhteyden yli BPEL-koneelle, pyynnön jäsentäminen BPEL-koneessa ja varsinaisen prosessin suorittaminen sekä vastauksen palauttaminen asiakassovellukselle. Vastauksen palauttamisessa BPEL-kone sarjallistaa vastauksen XML-dokumentiksi, joka palautetaan SOAP-viestin sisältönä HTTP-yhteyden yli asiakassovellukselle, jonka jälkeen asiakassovelluksen käyttämä SOAP-toteutus jäsentää vastausta esittävän XML-dokumentin ja palauttaa kutsun vastauksen oliona asiakassovellukselle.

Hackmann et al. (2006) esittävät suorittaneensa 105 mittausta ja jättäneensä huomiotta ensimmäiset viisi tulosta, koska ensimmäisten prosessien suoritusajat olivat epätavallisen pitkiä.

Hackmannin et al. (2006) mukaan tämä voi johtua muun muassa käynnistyksen yhteydessä tapahtuvasta luokkien lataamisesta. Tässä tutkielmassa mitataan 101 prosessi-ilmentymän suoritus-aika ja jätetään huomiotta näistä ensimmäinen tulos, koska alkupään tuloksissa vain ensimmäisen prosessi-ilmentymän suoritus-aika oli huomattavasti muita suurempi. Testit suoritetaan Juricia et al. (2006) mukaillen paikallisesti siten, että tulokset keräävä asiakassovellus ja palvelinprosessi sijaitsevat samalla työasemalla, jolloin verkkoviive ei vaikuta tuloksiin.

BPEL-prosessit suoritetaan muistinvaraisina tietokannanhallintajärjestelmästä johtuvien suorituskykyerojen minimoimiseksi kuten kohdassa 4.2 todettiin. Samaa menetelmää on sovellettu Emmerichin et al. (2006) suorituskykytestissä, jossa BPEL-koneelle ei oltu määritelty pysyvyysskonfiguraatiota.

### *5.1.1 Suorituskyvyn selvittäminen työnkulkumalliaineistolla*

Jokaista testiaineistoon mukaan luettua työnkulkumallia kohden toteutetaan BPEL-prosessi, joka toteuttaa työnkulkumallin kuvaaman ohjausvuon. Toteutettavien BPEL-prosessien web-palveluliittymät ovat identtisiä, jolloin BPEL-prosesseja voidaan kutsua samasta asiakassovelluksesta. Kun käytetty asiakassovellus on sama kaikille työnkulkumalleja esittäville BPEL-prosesseille, voidaan asiakassovelluksen olettaa aiheuttavan samansuuruisen vaikutuksen kaikkiin suoritus-aikoihin.

### *5.1.2 Tietomäärän suorituskykyvaikutusten selvittäminen*

Tietomäärän vaikutusta suoritus-aikaan selvitetään muuttamalla BPEL-prosessin käsittelemien viestien sisältämää tietomäärää. Testattavan prosessin syöte käsittää ostotilauksen, joka voi sisältää nolla tai useampia tilausrivejä. BPEL-prosessissa tehtävä käsittely sisältää syötteen koproimisen asiakassovellukselle palautettavaan vastaukseen. Testattava prosessi suoritetaan kuudella eri syötteellä, jotka eroavat tilaukseen sisältyvien tilausrivien lukumäärän suhteen. Tilausrivien lukumäärää kasvatetaan kahdellasadalla lähtien liikkeelle tyhjästä tilauksesta, jolloin 1. syötteessä ei ole tilausrivejä, 2. syötteessä on 200 tilausriviä ja viimeisessä syötteessä on 1000 tilausriviä. Govindaraju et al. (2004) ovat käyttäneet vastaaventyypistä eri tietomäärillä testaamista SOAP-toteutusten suorituskykyvertailussa. Suoritus-aikojen mittaamisen ohella tässä tutkielmassa mitataan lisäksi siirretyt tietomäärät tavuina.

Suoritusajan muodostumista selvitetään tarkemmin tuhannen tilausrivin aineistolla erittelemällä pyynnön käsittelyyn kuluva aika, tiedon kopiointiin BPEL-prosessissa kuluva aika ja vastauksen käsittelyyn kuluva aika. Pynnön käsittely sisältää asiakassovelluksen suorittaman pyynnön sarjallistamisen, tiedon siirtämisen HTTP-yhteyden yli BPEL-koneelle, pyynnön jäsentämisen BPEL-koneessa ja prosessi-ilmentymän luomisen prosessiin määritellyn receive-toiminnon suorittamisen yhteydessä. Tiedon kopiointi sisältää BPEL-prosessissa tilauksen tietojen kopioimisen vastaukseen assign-toiminnolla. Vastauksen käsittelyyn kuuluu BPEL-prosessissa vastauksen palauttava reply-toiminto, vastauksen sarjallistaminen, tiedon siirtäminen HTTP-yhteyden yli asiakassovellukselle ja vastauksen käsittely asiakassovelluksessa.

## 5.2 Vertailuympäristö

Vertailun BPEL-koneet olivat ActiveBPEL 4.1, Oracle BPEL Process Manager 10.1.2.0.2 ja BSOA Orchestra 3.0.1. BPEL-koneet tarvitsivat toimiakseen sovelluspalvelimen, joten ActiveBPEL asennettiin Apache Tomcat 5.5.15 -palvelimeen, BSOA Orchestra asennettiin JOnAS 4.8.4 -palvelimeen ja Oracle BPEL Process Manager asennettiin Oracle Application Server 10.1.2 -palvelimeen. Suorituskykyä mittaavan asiakassovelluksen toteutuksessa hyödynnettiin Apache Axis2 -SOAP-toteutusta (Apache Software Foundation, 2008), jonka versio oli 1.3. BPEL-koneiden sovelluspalvelimet ja asiakassovellus suoritettiin Javan versiolla 1.5.0\_14 lukuun ottamatta Oraclen sovelluspalvelinta, joka käytti tuotteen mukana tulevaa Java-versiota 1.4.2\_06. Sovelluspalvelimille annettiin käynnistämisen yhteydessä Javan komentorivivalitsimet -server, -Xmx512m ja -Xms256m, joilla asetettiin Java-virtuaalikone toimimaan palvelinmoodissa ja kasvatettiin Java-virtuaalikoneen käytössä olevaa kasamuistia. Oraclen sovelluspalvelimella nämä olivat oletusasetuksina. Vertailussa käytettiin 2,8 GHz Intel Pentium 4 -prosessorilla ja yhden gigatavun muistilla varustettua tietokonetta, jossa oli Microsoft Windows XP -käyttöjärjestelmä. Ylimääräiset sovellukset ja käyttöjärjestelmän palvelut sammutettiin ennen testien suorittamista.

Oracle BPEL Process Managerissa prosessien suorittaminen muistinvaraisena määriteltiin lisäämällä prosessin käyttöönottokuvaimeen inMemoryOptimization- ja completionPersistPolicy-parametrit liitteessä 2 esitetyllä tavalla<sup>1</sup>. ActiveBPEL suorittaa prosessit oletuksena muistinvaraisena, mikäli BPEL-koneelle ei ole erikseen määritelty pysyvyyskonfiguraatiota.

---

<sup>1</sup> Tutkimuksessa on otettu huomioon Oraclen asiantuntijoilta saatu palaute lokien käytön osalta. Tutkimus on tehty ilman lokeja, mutta jos lokit asetetaan debug-tilaan, niin suoritusajat kasvavat huomattavasti.

BSOA Orchestra asetettiin suorittamaan prosessit muistinvaraisena selainpohjaisen hallintaso-  
velluksen avulla.

## 5.3 Asiakassovellus

Asiakassovelluksen tehtävänä on mitata yksittäisten prosessi-ilmentymien suoritusajat. Mit-  
tausten mahdollistamiseksi toteutettiin kaksi asiakassovellusta, joista toisella mitattiin työn-  
kulkumalliaineiston suoritusajat ja toisella selvitettiin tietomäärän vaikutusta suorituskykyyn.

### 5.3.1 Työnkulkumallien suoritusajojen mittaaminen

Asiakassovelluksen toteutuksen periaate on esitetty kuvassa 15. Luokan TestipalveluStub il-  
mentymä on tynkä, jonka avulla asiakassovellus kutsuu BPEL-prosessia. Luokan muodosti-  
melle annetaan parametrina BPEL-prosessia edustavan web-palvelun URL-osoite. SuoritaPro-  
sessiPyynto on TestipalveluStub-luokan sisäluokka, joka vastaa liitteen 2 WSDL-dokumentis-  
sa XML-skeeman avulla määriteltyä SuoritaProsessiPyynto-elementtiä. Luokasta luodaan il-  
mentymä, joka annetaan parametrina tyngän suoritaProsessi-metodille, joka kutsuu BPEL-  
prosessia edustavan web-palvelun vastaavaa operaatiota. Ennen jokaista kutsua tallennetaan  
ajankohta kutsua aloitettaessa. Vastauksen palautumisen jälkeen lasketaan kutsun kesto milli-

```
// ...  
String url = ...;  
TestipalveluStub tynka = new TestipalveluStub(url);  
TestipalveluStub.SuoritaProsessiPyynto pyynto =  
    new TestipalveluStub.SuoritaProsessiPyynto();  
pyynto.setSyote("testi");  
  
TestipalveluStub.SuoritaProsessiVastaus vastaus = null;  
Testitulokset tulokset = new Testitulokset();  
  
for (int i = 0; i < KUTSUJEN_LKM; i++) {  
    long alku = System.nanoTime();  
    vastaus = tynka.suoritaProsessi(pyynto);  
    long loppu = System.nanoTime();  
    double kestoms = (loppu - alku) / 1000000.0;  
    tulokset.lisaa(kestoms);  
}  
  
System.out.println("prosessin vastaus: "  
+ vastaus.getVastaus());  
System.out.println(tulokset.toString());  
// ...
```

Kuva 15: Osa mittauksissa käytetyn asiakassovelluksen toteutuksesta.

sekunteina. Testitulokset-luokan ilmentymää käytetään varastoimaan mittaustuloksia. Kun sil-  
mukassa on suoritettu vaadittu määrä kutsuja, tulostetaan viimeisen kutsun vastausviestin vas-  
taus-kentän sisältö ja kutsujen suoritusajat.

### 5.3.2 Tietomäärän suorituskykyvaikutuksen mittaaminen

Tietomäärän vaikutusta suorituskykyyn testaavan asiakassovelluksen toteutus on periaatteel-  
taan työkulkumallien yhteydessä käytetyn asiakassovelluksen kaltainen. Web-palvelun ope-  
raation edellyttämän tilausviestin rakentaminen tapahtuu kuitenkin eri tavoin, koska tilauk-  
seen on lisättävä testattava määrä tilausrivejä. Kuvassa 16 on esitetty asiakassovelluksen  
BPEL-koneelle lähetettävä SOAP-viesti, kun tilaukseen on sisällytetty kaksi tilausriviä. Viesti  
on alkuperäisessä muodossaan lukuun ottamatta sisennystä ja rivinvaihtoja, jotka on lisätty  
luettavuuden parantamiseksi. Todellisilla aineistoilla viestissä toistuu rivi-elementti sisältöi-  
neen yhtä monta kertaa kuin kuhunkin syötteeseen sisältyy tilausrivejä.

```
<?xml version='1.0' encoding='UTF-8'?>
<soapenv:Envelope
  xmlns:soapenv="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <soapenv:Body>
    <ns1:ostotilaus
      xmlns:ns1="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi">
      <ns1:tunniste>987654</ns1:tunniste>
      <ns1:nimi>Teppo Tilaaaja</ns1:nimi>
      <ns1:tilausrivit>
        <ns1:rivi>
          <ns1:maara>321</ns1:maara>
          <ns1:tuote>testituote</ns1:tuote>
          <ns1:yksikkohinta>123.45</ns1:yksikkohinta>
        </ns1:rivi>
        <ns1:rivi>
          <ns1:maara>321</ns1:maara>
          <ns1:tuote>testituote</ns1:tuote>
          <ns1:yksikkohinta>123.45</ns1:yksikkohinta>
        </ns1:rivi>
      </ns1:tilausrivit>
    </ns1:ostotilaus>
  </soapenv:Body>
</soapenv:Envelope>
```

Kuva 16: Esimerkki BPEL-prosessille lähetetystä SOAP-viestistä.



## 5.4 Tulokset

Seuraavissa alakohdissa esitetään suorituskykyvertailun tulokset. Aluksi esitetään työnkulkumallien suoritusajat, jonka jälkeen esitetään tietomäärän vaikutukset BPEL-koneiden suorituskykyyn ostotilaukseen perustuvalla testiaineistolla. BPEL-koneiden suoritusajojen mittaustulokset on esitetty liitteessä 1.

### 5.4.1 Työnkulkumallien suoritusajat

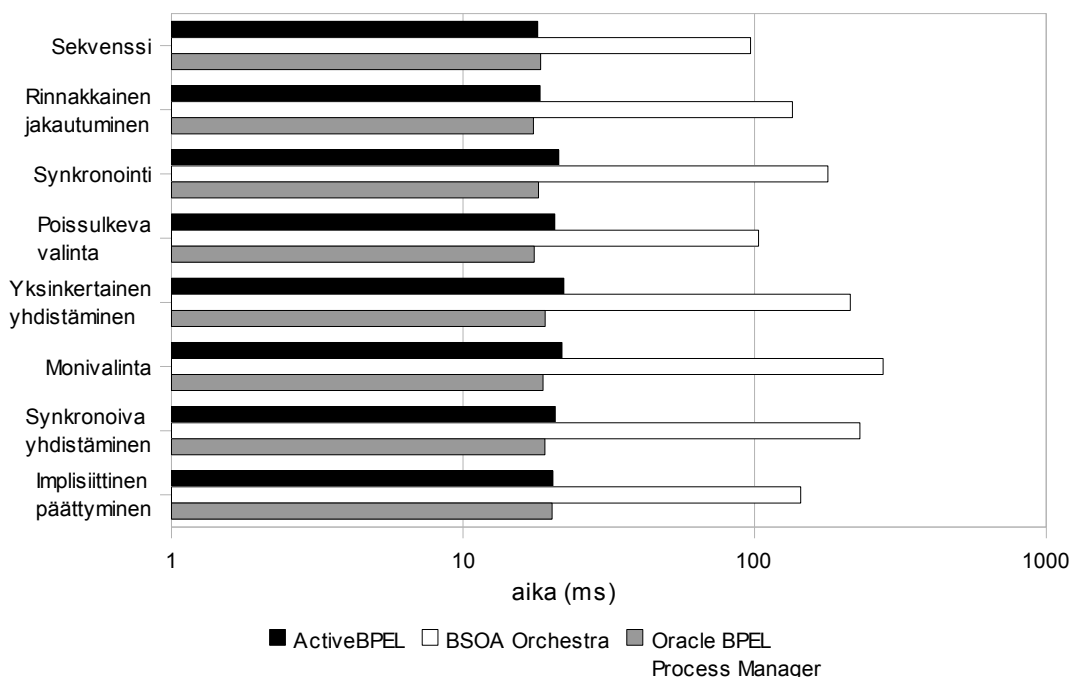
Työnkulkumallien suoritusajat millisekunteina BPEL-koneittain ja suoritusajojen suhteelliset hajonnat prosentteina on esitetty taulukossa 2. Suoritusajat on laskettu sadan prosessi-ilmentymän suoritusajojen keskiarvona. BSOA Orchestra oli vertailun BPEL-koneista suorituskyvyltään selvästi heikoin kaikilla työnkulkumalleilla. ActiveBPEL:illä oli pienin suoritusajaksi Sekvenssin tapauksessa. Muilla työnkulkumalleilla Oracle BPEL Process Managerin suoritusajat olivat pienimmät. Tuloksia on havainnollistettu kuvassa 17.

Taulukko 2: Työnkulkumallien suoritusajat millisekunteina ja hajonnat prosentteina.

| <i>Työnkulkumalli</i>       | <i>ActiveBPEL</i> |                | <i>BSOA Orchestra</i> |                | <i>Oracle BPEL Process Manager</i> |                |
|-----------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|----------------|------------------------------------|----------------|
|                             | <i>aika</i>       | <i>hajonta</i> | <i>aika</i>           | <i>hajonta</i> | <i>aika</i>                        | <i>hajonta</i> |
| Sekvenssi                   | 18,0              | 14 %           | 96,9                  | 6 %            | 18,5                               | 30 %           |
| Rinnakkainen jakautuminen   | 18,4              | 16 %           | 134,8                 | 5 %            | 17,4                               | 27 %           |
| Synkronointi                | 21,3              | 29 %           | 178,3                 | 6 %            | 18,2                               | 26 %           |
| Poissulkeva valinta         | 20,7              | 24 %           | 103,3                 | 10 %           | 17,6                               | 27 %           |
| Yksinkertainen yhdistäminen | 22,2              | 48 %           | 212,8                 | 27 %           | 19,1                               | 26 %           |
| Monivalinta                 | 21,9              | 24 %           | 275,9                 | 19 %           | 18,8                               | 22 %           |
| Synkronoiva yhdistäminen    | 20,7              | 14 %           | 229,8                 | 31 %           | 19,1                               | 27 %           |
| Implisiittinen päätyminen   | 20,4              | 19 %           | 143,8                 | 7 %            | 20,2                               | 28 %           |

Suurin ero ActiveBPEL:in ja Oracle BPEL Process Managerin välillä oli Poissulkevan valinnan suorittamisessa, jolla ActiveBPEL:in suoritusajaksi oli noin 18 % Oracle BPEL Process Managerin suoritusajaa suurempi. Pienin ero ActiveBPEL:in ja Oracle BPEL Process Managerin välillä oli Implisiittisen päätyminen suorittamisessa, jolla Oracle BPEL Process Managerin suoritusajaksi oli noin prosentin ActiveBPEL:in suoritusajaa suurempi.

BSOA Orchestran suoritusajat olivat huomattavasti vertailun muiden koneiden suoritusajakoja suurempia. Erot olivat suurimmat Monivalinnan suoritusajassa, joka oli BSOA Orchestralla 14,7-kertainen Oracle BPEL Process Managerin ja 12,6-kertainen ActiveBPEL:in suoritusajaan verrattuna. Pienin ero BSOA Orchestran ja Oracle BPEL Process Managerin välillä oli Sekvenssin suoritusajassa, joka oli BSOA Orchestralla noin viisinkertainen Oracle BPEL Process Managerin suoritusajaan verrattuna. Pienin ero BSOA Orchestran ja ActiveBPEL:in välillä oli Poissulkevan valinnan suoritusajassa, joka oli BSOA Orchestralla myös noin viisinkertainen ActiveBPEL:iin nähden.



Kuva 17: Työnkulkumallien suoritusajat.

Kun vertaillaan työnkulkumallien suoritusajojen eroja konekohtaisesti, voidaan havaita, että ActiveBPEL:illä Sekvenssi oli suoritusajaltaan pienin ja Yksinkertainen yhdistäminen vaati eniten suoritusajaa. Oracle BPEL Process Managerilla Rinnakkaisen jakautumisen suoritusajaksi oli pienin ja Implisiittisen päättymisen suoritusajaksi suurin. BSOA Orchestralla Sekvenssin suoritusajaksi oli pienin ja Monivalinnan suoritusajaksi suurin. ActiveBPEL:illä hitaimman työnkulkumallin suoritusajaksi oli noin 1,2-kertainen ActiveBPEL:in nopeimmin suorittamaan työnkulkumalliin verrattuna. Oracle BPEL Process Manager vaati hitaimmin suorittamaansa työnkulkumalliin myös noin 1,2-kertaisen suoritusajan nopeimmin suorittamaansa malliin verrattuna. BSOA Orchestralla hitaimman työnkulkumallin suoritusajaksi oli noin 2,9-kertainen nopeimmin suoritettuun työnkulkumalliin verrattuna.

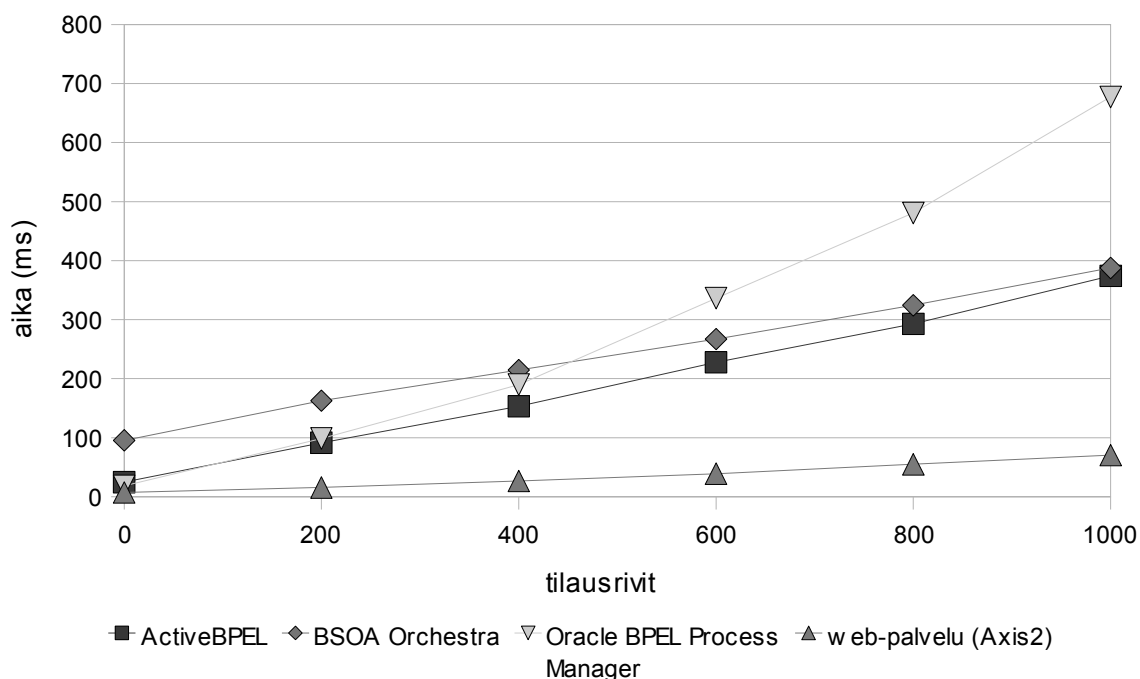
#### 5.4.2 Tietomäärän vaikutus suorituskykyyn

BPEL-koneiden suoritusajat ostotilaukseen pohjautuvalla aineistolla tilausrivien eri lukumäärillä on esitetty taulukossa 3. Tuloksia on havainnollistettu graafisesti kuvassa 18. Vertailun vuoksi kuvassa on esitetty myös testattavaa BPEL-prosessia vastaavan toiminnallisuuden toteuttavan Java-pohjaisen web-palvelun suoritusajat. Kullakin tilausrivien määrällä nopeimman BPEL-koneen suoritusajat olivat pienimmillään noin 2,5-kertaisia ja suurimmillaan noin 5,8-kertaisia Apache Axis2 1.3 -SOAP-toteutuksen avulla toteutetun web-palvelun suoritusajoihin verrattuna.

Taulukko 3: Tilausaineiston suoritusajat millisekunteina ja hajonnat prosentteina.

| Tilausrivejä | ActiveBPEL |         | BSOA Orchestra |         | Oracle BPEL Process Manager |         |
|--------------|------------|---------|----------------|---------|-----------------------------|---------|
|              | aika       | hajonta | aika           | hajonta | aika                        | hajonta |
| 0            | 25         | 33 %    | 95             | 31 %    | 18                          | 23 %    |
| 200          | 91         | 76 %    | 163            | 29 %    | 99                          | 97 %    |
| 400          | 153        | 42 %    | 215            | 36 %    | 190                         | 15 %    |
| 600          | 228        | 46 %    | 267            | 19 %    | 336                         | 43 %    |
| 800          | 293        | 47 %    | 324            | 41 %    | 481                         | 31 %    |
| 1000         | 374        | 49 %    | 388            | 31 %    | 677                         | 28 %    |

Suoritusajojen muutokset tilausrivien määrän kasvaessa olivat pääasiassa lineaarisia. BPEL-koneista ActiveBPEL:illä oli pienin suoritusajakaika kaikilla tilausrivien määrillä lukuun ottamatta tyhjää tilausta, jolla ActiveBPEL oli noin 34 % Oracle BPEL Process Manageria hitaampi. BSOA Orchestra oli hitain tilausrivien pienemmällä määrällä. Tilausrivien määrän lisääntyessä Oracle BPEL Process Managerin suoritusajat kasvoivat ActiveBPEL:iä ja BSOA Orchestraa nopeammin, ja Oracle BPEL Process Managerin suoritusajat olivat suurimmat 600, 800 ja 1000 tilausrivin aineistolla. BSOA Orchestran ja ActiveBPEL:in suoritusajojen ero pieneni tilausrivien määrän kasvaessa. Tuhannella tilausrivillä BSOA Orchestran suoritusajakaika oli noin 4 % ja Oracle BPEL Process Managerin suoritusajakaika oli noin 81 % ActiveBPEL:in suoritusajakaikaa suurempi.



Kuva 18: Tilausaineiston suoritusajat.

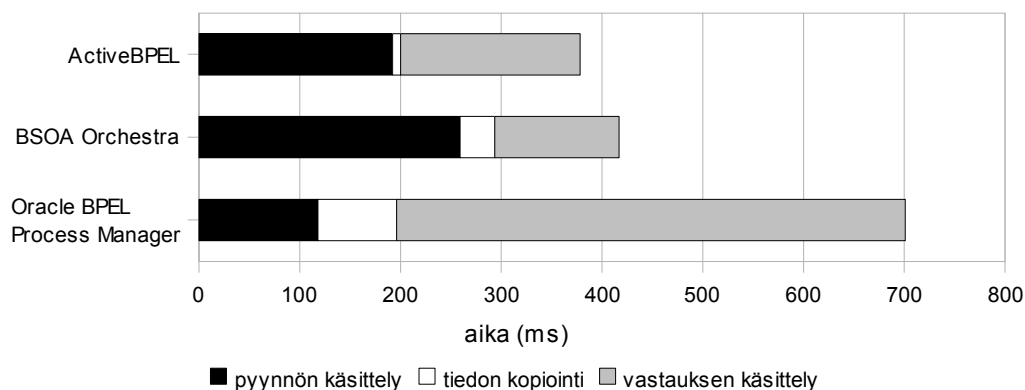
Taulukossa 4 on esitetty asiakassovelluksen ja BPEL-koneiden välillä siirretyt tietomäärät eriteltynä pyynnön ja vastauksen osuuteen tilausrivien eri määrillä. Tavuina esitettyihin tietomääriin sisältyvät HTTP-viestien hyötykuormana olevien SOAP-viestien lisäksi HTTP-yhteyskäytännön sisältämät otsikkotiedot. Käytetty asiakassovellus oli kaikille BPEL-koneille sama, joten asiakassovelluksen lähettämien pyyntöjen koot olivat lähes samoja BPEL-koneesta riippumatta. Verkkoliikenteestä voitiin havaita, että asiakassovelluksen ja BPEL-koneen välisessä liikenteessä hyödynnettiin poikkeuksetta HTTP:n versiota 1.1.

Taulukko 4: Siirretyt tietomäärät tavuina.

| Tilauksrivejä | ActiveBPEL |         | BSOA Orchestra |         | Oracle BPEL Process Manager |         |
|---------------|------------|---------|----------------|---------|-----------------------------|---------|
|               | pyyntö     | vastaus | pyyntö         | vastaus | pyyntö                      | vastaus |
| 0             | 553        | 638     | 545            | 557     | 545                         | 882     |
| 200           | 25 211     | 25 279  | 25 203         | 18 786  | 25 203                      | 25 523  |
| 400           | 49 853     | 49 903  | 49 845         | 37 002  | 49 845                      | 50 147  |
| 600           | 74 495     | 74 527  | 74 487         | 55 219  | 74 487                      | 74 771  |
| 800           | 99 137     | 99 151  | 99 129         | 73 435  | 99 129                      | 99 395  |
| 1000          | 123 779    | 123 775 | 123 771        | 91 658  | 123 771                     | 124 019 |

Vastauksen koko riippuu siitä, kuinka BPEL-kone sarjallistaa asiakassovellukselle palauttamaansa vastauksen XML-dokumentiksi. Taulukosta 4 käy ilmi, että BSOA Orchestran generoimat vastaukset olivat kooltaan muiden BPEL-koneiden vastauksia pienempiä. ActiveBPEL:in ja Oracle BPEL Process Managerin generoimien vastauksien koot olivat kahdestasadasta tilausrivistä alkaen noin 35 % suurempia kuin BSOA Orchestran generoimat vastaukset.

Suoritusajan muodostumista analysoitiin tarkemmin tuhannen tilausrivin aineistolla jakamalla suoritus aika pyynnön käsittelyyn, prosessin varsinaisen logiikan suorittamiseen ja vastauksen käsittelyyn. Prosessin logiikka käsitti prosessin syötteen kopioimisen prosessin tuottamaan vastaukseen. Testattavaa BPEL-prosessia jouduttiin muuttamaan väliaikojen saamiseksi. Mitauksien mahdollistamiseksi ActiveBPEL:iin ja BSOA Orchestraan jouduttiin toteuttamaan BPEL-koneen toiminnallisuutta laajentava XPath-funktio. Vaaditut muutokset aiheuttivat noin prosentin kasvun ActiveBPEL:in suoritus aikaan, noin seitsemän ja puolen prosentin kasvun BSOA Orchestran suoritus aikaan ja noin kolmen ja puolen prosentin kasvun Oracle BPEL Process Managerin suoritus aikaan. Suoritusajan muodostuminen on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19: Suoritusajan muodostuminen tuhannen tilausrivin aineistolla.

Pyynnön käsittelyyn kului ActiveBPEL:iltä noin 51 %, BSOA Orchestralta noin 62 % ja Oracle BPEL Process Managerilta noin 17 % suoritus ajasta. Tiedon kopioinnin osuus oli ActiveBPEL:illä noin 2 %, BSOA Orchestralla noin 8 % ja Oracle BPEL Process Managerilla noin 11 % suoritus ajasta. Vastauksen käsittely vaati ActiveBPEL:iltä noin 47 %, BSOA Orchestralta noin 30 % ja Oracle BPEL Process Managerilta noin 72 % suoritus ajasta. Pyynnön käsittelyn suoritus aika oli ActiveBPEL:illä noin 1,6-kertainen ja BSOA Orchestralla 2,2-kertainen Oracle BPEL Process Managerin pyynnön käsittelyn suoritus aikaan verrattuna. Tiedon kopioinnin suoritus aika oli BSOA Orchestralla 4,3-kertainen ja Oracle BPEL Process Managerilla noin 9,7-kertainen ActiveBPEL:iin verrattuna. Vastauksen käsittelyn suoritus aika oli

ActiveBPEL:illä noin 1,4-kertainen ja Oraclen BPEL-koneella noin 4,1-kertainen BSOA Orchestraan verrattuna.

## 5.5 Tarkastelu

Tämän tutkielman tulosten valossa BPEL-koneiden suorituskyvyssä on selviä eroja. Suoritus-aikoihin vaikuttavat muun muassa BPEL-prosessin partnereidensa kanssa vaihtama tietomäärä ja BPEL-prosessin ohjausvuon rakenne. Eri BPEL-koneissa näiden tekijöiden vaikutukset korostuvat eri tavoin. Vaikka mittaustuloksissa suhteelliset hajonnat ovat melko suuria, pysyvät suoritusajojen keskiarvot kutakuinkin samana, kun mittaukset toistettiin. Seuraavissa alakohtissa tarkastellaan vertailun tuloksia.

### 5.5.1 Työnkulkumallien suoritusajat

BSOA Orchestra kulutti hitaimmin suorittamallaan työnkulkumallilla lähes kolminkertaisen ajan nopeimmin suorittamaansa työnkulkumalliin verrattuna. BSOA Orchestralla Yksinkertaisen yhdistämisen, Monivalinnan ja Synkronoivan yhdistämisen suoritusajat olivat suurimpia. Kyseisten mallien toteutuksessa oli käytetty muita työnkulkumalleja enemmän linkkeihin perustuvia synkronointiriippuvuuksia, joten prosesseissa olevat linkkien avulla määritellyt ja rinnakkaisuutta sisältävät ohjausvuot ovat BSOA Orchestran suorituskykyä selvästi heikentävä tekijä.

ActiveBPEL ja Oracle BPEL Process Manager olivat suorituskyvyltään lähes samantasoisia ja selvästi BSOA Orchestraa suorituskykyisempiä. ActiveBPEL:in ja Oracle BPEL Process Managerin suoritusajoissa eri työnkulkumallien välillä ei ollut suuria poikkeuksia. Tämä vastaa Hackmannin et al. (2006) tuloksia, joissa erot eri työnkulkumallien välillä olivat vähäisiä niillä työnkulkumalleilla, joita tässä tutkielmassa sovellettiin.

### 5.5.2 Tietomäärän vaikutus suorituskykyyn

Ostotilausaineisto paljasti eroja BPEL-koneiden web-palveluoperaatioiden toteutuksen ja XML:n käsittelyn suorituskyvyssä. Vertailun kaikki BPEL-koneet olivat selvästi Axis2-pohjaista web-palvelua hitaampia kaikilla tilausrivien määrillä, joten BPEL-koneet vaikuttavat olevan pelkkää XML:n käsittelyä sisältävien web-palveluoperaatioiden toteuttamisessa suori-

tuskyvyltään perinteistä web-palvelutoteutusta heikompia. BSOA Orchestraan liittyi muita BPEL-koneita korkeampi prosessi-ilmentymän suorittamisen yleiskustannus, joka oli havaittavissa myös työnkulkumalliaineistolla, mutta yleiskustannuksen merkitys pieneni tietomäärää kasvatettaessa. Suurimmilla testatuilla viesteillä BSOA Orchestran suorituskyky oli samaa luokkaa ActiveBPEL:in kanssa. On kuitenkin huomattava, että BSOA Orchestran sarjallistustekniikka tuotti kooltaan pienempiä vastausviestejä, millä on suorituskykyä parantava vaikutus. Viestien pienempi koko johtui siitä, että BSOA Orchestra ei lisännyt erillistä *etuliitettä* (prefix) XML-dokumentissa käytettyä nimiavaruutta varten, jolloin jokainen vastausviestissä esiintynyt XML-tagimerkintä oli muutamaa tavua lyhyempi. Esimerkiksi kuvan 16 viestissä etuliitteenä on merkkijono ”ns1”.

Suoritusajan tarkemmassa analyysissä tuhannen tilausrivin aineistolla havaittiin eri vaiheiden osuuksien kokonaissuoritusajasta jakautuvan epätasaisesti eri BPEL-koneilla. Oracle BPEL Process Managerin muita selvästi suurempi suoritusajaksi selittyy vastauksen käsittelyn hitautella. BSOA Orchestran suorituskyky oli tuhannella tilausrivillä lähes ActiveBPEL:in tasolla, mikä voi osittain selittyä vastauksen käsittelyn nopeudella, johon osasyynä on todennäköisesti BSOA Orchestran generoima tavumäärältään pienempi vastausviesti. BSOA Orchestran tulos ta heikensi kuitenkin hidas pyynnön käsittely, joka Oracle BPEL Process Managerilla oli sen sijaan nopein. Tarkastelussa ei eroteltu asiakassovelluksen osuutta, mutta Axis2-pohjaisen web-palvelun pienistä suoritusajoista (kuva 18) voidaan päätellä asiakassovelluksen osuuden kokonaissuoritusajasta olevan huomattavasti BPEL-koneen osuutta pienempi.

## 6 Yhteenveto

BPEL on XML-syntaksia noudattava kieli, joka mahdollistaa web-palveluiden koostamisen liiketoimintaprosesseiksi. Palvelukeskeisessä arkkitehtuurissa palveluiden koostaminen on sovellusten kehittämisessä keskeisessä asemassa. Tämän tutkielman luvussa 2 perehdyttiin palvelukeskeiseen arkkitehtuuriin ja web-palvelutekniikkaan, joka on palvelukeskeisen arkkitehtuurin yleisin toteutusalue. Tämän jälkeen luvussa 3 esiteltiin BPEL:in tärkeimmät toiminnot ja ominaisuudet. Luvussa 4 käsiteltiin tutkielmassa testiaineistona käytettyjä ohjausvuon rakenteeseen perustuvia työkulkumalleja.

Tutkielman kokeellisessa osassa tarkasteltiin kolmen BPEL-koneen suorituskykyä työkulkumalleihin perustuvalla aineistolla ja erikokoisilla tietomäärillä. Työkulkumallit korostivat eroja BPEL-koneiden ohjausrakenteiden suorituksessa, kun taas erikokoisilla tietomäärillä saadut tulokset paljastivat eroja BPEL-koneiden viestinkäsittelylogiikan suorituskyvyssä. Työkulkumallien suorituksessa hitaimmalla BPEL-koneella havaittiin erityisesti rinnakkaisuuden ja synkronointiominaisuuksien vaikuttavan suorituskykyä heikentävästi. Suuremmilla tietomäärillä BPEL-koneen käyttämä sarjallistamistekniikka vaikuttaa viestin kokoon, jolla on oma vaikutuksensa suorituskykyyn. Suoritusajan jakautumista analysoitiin tarkemmin pyynnön käsittelyn, prosessin varsinaisen logiikan ja vastauksen käsittelyn kesken. Eri vaiheiden osuus kokonaissuoritusajasta vaihteli huomattavasti eri BPEL-koneilla. Suurimmilla testatuilla tietomäärillä hitaimman BPEL-koneen muita koneita heikompi suorituskyky selittyi vastauksen käsittelyn hitaudella.

Työkulkumallien käyttäminen suorituskykyvertailun testiaineistona on jossain määrin ongelmallista. Ohjausvuon rakenteeseen perustuvat työkulkumallit määrittelevät ainoastaan työnkulun rakenteen, mutta eivät työkulkuun sisältyviä toimintoja. Lisäksi BPEL mahdollistaa mallien toteuttamisen useilla tavoilla. Työkulkumallien eri toteutuksilla suoritettujen vertailujen tulokset eivät ole tällöin suoraan vertailukelpoisia. Tässä tutkielmassa käsitellyssä vertailussa työkulkumalleja esittäviin BPEL-prosesseihin sisällytetyt toiminnot olivat pääasiassa yksinkertaisia merkkijonojen katenoiteja, merkkijonotyyppisten muuttujien vertailuja ja merkkijonojen sijoitusoperaatioita. Toinen ongelma liittyy työkulkumallien kattavuuteen, sillä työkulkumallit eivät välttämättä kata kaikkia BPEL:in sisältämiä toimintoja. Tässä tutkielmassa käytetyt toteutukset työkulkumalleista eivät sisältäneet pick-, while-, wait-, termina-



te-, throw- ja invoke-toimintoja. Testiaineistossa ei käytetty myöskään eksplisiittisesti määriteltyjä näkyvyysalueita, korrelaatioita eikä käsittelijöitä.

Tässä tutkielmassa ei pyritty parantamaan BPEL-koneiden suorituskykyä etsimällä koneiden optimaalisia asetuksia, vaan pyrittiin selvittämään suorituskykyä oletusasetuksin erottamalla kuitenkin BPEL-koneiden käyttämistä tietokannanhallintajärjestelmistä ja Java-virtuaalikoneen käytössä olevasta muistin määrästä johtuvat seikat. Vertailussa ei otettu huomioon prosessien tilan tallentamista, koska eri BPEL-koneet tukevat eri tietokannanhallintajärjestelmiä ja käytetty tietokanta voi vaikuttaa suorituskykyyn. Tuotantokäytössä BPEL-prosesseista voidaan vaatia tallennettavaksi tilatietoja tai suorituksessa olevien pitkäkestoisten prosessi-ilmentymien tulee selvittää esimerkiksi palvelinkoneen vikaantumisesta, jolloin prosessien suorittaminen muistinvaraisina ei ole mahdollista. Tässä tutkielmassa käytetty menetelmä ei myöskään selvittänyt BPEL-koneen skaalautuvuutta siinä tapauksessa, että BPEL-koneelle lähetetään samanaikaisia rinnakkaisia pyyntöjä, jolloin samanaikaisesti voisi olla suoritettavana useita prosessi-ilmentymiä. Lisäksi tutkielmassa tarkasteltiin ainoastaan BPEL-koneiden suorituskykyä, mutta todellisten BPEL-prosesseina toteutettujen palvelukoosteiden suorituskykyyn vaikuttavat BPEL-koneen ohella myös kaikkien prosessiin osallistuvien web-palveluiden suorituskyky.

## Viitteet

van der Aalst, W. M. P., ter Hofstede, A. H. M., Kiepuszewski, B., Barros, A. P. (2003) Workflow Patterns. *Distributed and Parallel Databases* **14**(1), 5–51.

van der Aalst, W. M. P., Dumas, M., ter Hofstede, A. H. M., Russell, N., Verbeek, H. M. W., Wohed, P. (2005) Life after BPEL? *European Performance Engineering Workshop, and International Workshop on Web Services and Formal Methods* (toim. Bravetti, M., Kloul, L., Zavattaro, G.) LNCS 3670, Springer-Verlag, Saksa, 35–50.

Active Endpoints (2008) *ActiveBPEL Open Source Engine Project*. WWW-sivusto, <http://www.active-endpoints.com/active-bpel-engine-overview.htm> (3.2.2008).

Andrews, T., Curbera, F., Dholakia, H., Golland, Y., Klein, J., Leymann, F., Liu, K., Roller, D., Smith, D., Thatte, S., Trickovic, I., Weerawarana, S. (2003) *Business Process Execution Language for Web Services Version 1.1*. <http://www.ibm.com/developerworks/library/specification/ws-bpel/> (6.11.2007).

Apache Software Foundation (2008) *Apache Axis2*. WWW-sivusto, <http://ws.apache.org/axis2/> (9.3.2008).

Benatallah, B., Dijkman, R. M., Dumas, M., Maamar, Z. (2005) Service Composition: Concepts, Techniques, Tools and Trends. Teoksessa *Service-Oriented Software System Engineering: Challenges and Practices* (toim. Stojanovic, Z., Dahanayake, A.), Idea Group Publishing, Integrated Book Technology.

Curbera, F., Khalaf, R., Mukhi, N., Tai, S., Weerawarana, S. (2003) The Next Step in Web Services. *Communications of the ACM* **46**(10), 29–34.

Emmerich, W., Butchart, B., Chen, L., Wassermann, B., Price, S. L. (2006) Grid Service Orchestration Using the Business Process Execution Language (BPEL). *Journal of Grid Computing* **3**(3–4), 283–304.

- Eriksson, H.-E., Penker, M. (2000) *Business Modeling with UML: Business Patterns at Work*. John Wiley & Sons, USA.
- Erl, T. (2008) *SOA: Principles of Service Design*. Prentice Hall, USA.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J. (1995) *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison Wesley, USA.
- Govindaraju, M., Slominski, A., Chiu, K., Liu, P., van Engelen, R., Lewis, M. J. (2004) Toward Characterizing the Performance of SOAP Toolkits. *Fifth IEEE/ACM International Workshop on Grid Computing* (toim. Buyya, R.), IEEE Computer Society, USA, 365–372.
- Gray, N. A. B. (2004) Comparison of Web Services, Java-RMI, and CORBA service implementations. *The Fifth Australasian Workshop on Software and System Architectures* (toim. Schneider, J.-G., Han, J.), Swinburne University of Technology, Australia, 52–63.
- Hackmann, G., Haitjema, M., Gill, C., Roman, G.-C. (2006) Sliver: A BPEL Workflow Process Execution Engine for Mobile Devices. *Service-Oriented Computing - ICSOC 2006* (toim. Dan, A., Lamersdorf, W.) LNCS 4294, Springer-Verlag, Saksa, 503–508.
- Hollingsworth, D. (1995) *The Workflow Reference Model*. <http://www.wfmc.org/standards/docs/tc003v11.pdf> (13.11.2007).
- Huhns, M. N., Singh, M. P. (2005) Service-Oriented Computing: Key Concepts and Principles. *IEEE Internet Computing* **9**(1), 75–81.
- Juric, M. B., Rozman, I., Brumen, B., Colnaric, M., Hericko, M. (2006) Comparison of performance of Web services, WS-Security, RMI, and RMI-SSL. *Journal of Systems and Software* **79**(5), 689–700.
- Khalaf, R., Keller, A., Leymann, F. (2006) Business processes for Web Services: Principles and applications. *IBM Systems Journal* **45**(2), 425–446.

Leymann, F., Roller, D. (2006) Modeling business processes with BPEL4WS. *Information Systems and E-Business Management* 4(3), 265–284.

Mulyar, N. (2005) *Pattern-based Evaluation of Oracle-BPEL*. BPM Center Report BPM-05-24, BPMcenter.org (Saatavana myös: <http://is.tm.tue.nl/staff/wvdaalst/BPMcenter/reports/2005/BPM-05-24.pdf>, 7.11.2007).

OASIS (2004) *UDDI Version 3.0.2*. [http://uddi.org/pubs/uddi\\_v3.htm](http://uddi.org/pubs/uddi_v3.htm) (25.1.2008).

OASIS (2007) *Web Services Business Process Execution Language Version 2.0*. <http://docs.oasis-open.org/wsbpel/2.0/OS/wsbpel-v2.0-OS.pdf> (16.11.2007).

Oracle (2006) *Oracle BPEL Process Manager Developer's Guide, 10g Release 2 (10.1.2)*. [http://download-west.oracle.com/docs/cd/B14099\\_19/integrate.1012/b14448.pdf](http://download-west.oracle.com/docs/cd/B14099_19/integrate.1012/b14448.pdf) (17.1.2008).

Oracle (2008) *Oracle BPEL Process Manager*. WWW-sivusto, <http://www.oracle.com/technology/products/ias/bpel/index.html> (3.2.2008).

OW2 Consortium (2008) *Orchestra: Open Source BPEL / BPM Solution*. WWW-sivusto, <http://wiki.orchestra.objectweb.org/xwiki/bin/view/Main/> (3.2.2008).

Reynolds, A. (2006) *Performance Tuning Synchronous BPEL Processes*. WWW-sivusto, <http://blogs.oracle.com/reynolds/2006/03/14> (7.1.2008).

Russell, N., ter Hofstede, A. H. M., van der Aalst, W. M. P., Mulyar, N. (2006) *Workflow Control-flow Patterns: A Revised View*. BPM Center Report BPM-06-22, BPMcenter.org (Saatavana myös: <http://is.tm.tue.nl/staff/wvdaalst/BPMcenter/reports/2006/BPM-06-22.pdf>, 29.11.2007).

Sommerville, I. (2007) *Software Engineering, 8th Edition*. Prentice Hall, USA.

W3C (2001) *Web Services Description Language (WSDL) 1.1*. <http://www.w3.org/TR/wsdl> (26.11.2007).

W3C (2004a) *Web Services Glossary*. <http://www.w3.org/TR/ws-gloss/> (12.1.2008).

W3C (2004b) *XML Schema Part 1: Structures Second Edition*. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-xmlschema-1-20041028/> (13.12.2007).

W3C (2007) *SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition)*. <http://www.w3.org/TR/2007/REC-soap12-part1-20070427/> (17.1.2008).

Wohed, P., van der Aalst, W. M. P., Dumas, M., ter Hofstede, A. H. M. (2002) *Pattern Based Analysis of BPEL4WS*. QUT Technical report FIT-TR-2002-04, Queensland University of Technology, Australia.

WS-I (2006) *Basic Profile Version 1.1*. <http://www.ws-i.org/Profiles/BasicProfile-1.1.html> (20.11.2007).

Yuan, Y., Wen, J. J., Li, W., Zhang, B. B. (2007) A Comparison of Three Programming Models for Telecom Service Composition. *The Third Advanced International Conference on Telecommunications* (toim. Werner, B.), IEEE Computer Society, USA, 1–1.

## Liite 1: Mittaustulokset

Tuloksissa ensimmäinen mittaustulos on jätetty huomiotta keskihajonnan ja keskiarvon laske-  
misessa. Merkinnoistä A tarkoittaa ActiveBPEL:iä, BO tarkoittaa BSOA Orchestraa ja OB tar-  
koittaa Oracle BPEL Process Manageria. KH:lla on merkitty keskihajontaa ja KA:lla keskiar-  
voa.

### Työnkulkumallien suoritusajat millisekunteina

| Tesi | Sekvenssi |       |       | Rinnakkainen jakau-<br>tuminen |       |       | Synkronointi |       |       | Poissulkeva valinta |       |       | Yksinkertainen yh-<br>distäminen |       |       | Monivalinta |       |       | Synkronoiva yhdistä-<br>minen |       |       | Impliittinen päättymis- |       |       |
|------|-----------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|--------------|-------|-------|---------------------|-------|-------|----------------------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
|      | A         | BO    | OB    | A                              | BO    | OB    | A            | BO    | OB    | A                   | BO    | OB    | A                                | BO    | OB    | A           | BO    | OB    | A                             | BO    | OB    | A                       | BO    | OB    |
| 1    | 376,8     | 462,3 | 378,4 | 377,0                          | 497,8 | 375,0 | 372,7        | 521,2 | 375,5 | 374,2               | 472,2 | 383,1 | 374,8                            | 559,3 | 377,3 | 379,3       | 629,8 | 386,3 | 380,1                         | 582,4 | 380,0 | 378,0                   | 515,3 | 546,4 |
| 2    | 24,6      | 88,7  | 15,8  | 19,8                           | 138,9 | 16,2  | 17,5         | 172,4 | 16,2  | 19,1                | 91,8  | 15,9  | 19,7                             | 200,7 | 18,4  | 18,9        | 269,0 | 17,4  | 19,3                          | 204,1 | 17,2  | 19,7                    | 129,5 | 23,0  |
| 3    | 18,3      | 96,5  | 15,7  | 21,5                           | 133,2 | 15,9  | 18,7         | 175,5 | 16,1  | 29,3                | 97,9  | 15,8  | 21,6                             | 200,2 | 20,3  | 20,0        | 256,3 | 30,7  | 22,5                          | 231,2 | 18,0  | 24,9                    | 137,6 | 48,9  |
| 4    | 17,3      | 96,9  | 17,5  | 17,4                           | 133,4 | 16,9  | 17,7         | 174,1 | 19,8  | 27,1                | 105,2 | 16,9  | 18,5                             | 198,3 | 18,0  | 27,0        | 280,9 | 19,3  | 19,7                          | 205,5 | 18,1  | 21,1                    | 141,1 | 29,3  |
| 5    | 17,3      | 92,8  | 16,2  | 17,4                           | 134,1 | 33,9  | 17,8         | 191,7 | 16,3  | 37,0                | 101,4 | 16,1  | 18,6                             | 204,0 | 16,9  | 19,5        | 254,2 | 17,3  | 26,1                          | 214,1 | 19,2  | 18,5                    | 148,8 | 25,9  |
| 6    | 19,8      | 90,9  | 17,0  | 17,9                           | 129,9 | 17,6  | 18,1         | 175,0 | 17,6  | 18,5                | 97,2  | 17,3  | 18,8                             | 200,1 | 17,9  | 19,5        | 268,0 | 18,6  | 28,9                          | 230,3 | 18,6  | 18,9                    | 158,2 | 18,3  |
| 7    | 23,6      | 94,3  | 21,3  | 23,6                           | 146,9 | 21,4  | 23,9         | 176,7 | 21,6  | 24,1                | 104,8 | 21,4  | 25,0                             | 182,6 | 22,0  | 25,2        | 295,4 | 23,1  | 25,8                          | 217,6 | 22,6  | 24,7                    | 146,4 | 22,4  |
| 8    | 20,2      | 93,3  | 21,0  | 20,4                           | 128,4 | 23,2  | 20,8         | 180,2 | 21,7  | 21,1                | 105,8 | 22,1  | 27,4                             | 203,5 | 21,9  | 22,1        | 253,9 | 22,5  | 24,5                          | 217,5 | 22,4  | 21,5                    | 145,2 | 22,1  |
| 9    | 17,9      | 110,5 | 15,6  | 18,8                           | 135,9 | 16,7  | 36,3         | 192,2 | 15,8  | 18,6                | 112,8 | 16,0  | 19,3                             | 223,3 | 16,4  | 19,8        | 288,6 | 17,0  | 20,8                          | 221,9 | 16,9  | 20,9                    | 143,8 | 16,6  |
| 10   | 23,1      | 97,0  | 24,8  | 26,6                           | 139,6 | 25,3  | 41,3         | 183,4 | 26,4  | 24,1                | 106,2 | 25,4  | 24,3                             | 205,9 | 26,7  | 25,3        | 250,0 | 25,6  | 25,5                          | 270,1 | 25,9  | 25,3                    | 145,3 | 25,3  |
| 11   | 19,5      | 94,4  | 15,0  | 29,9                           | 131,9 | 15,2  | 31,5         | 177,4 | 15,2  | 20,3                | 100,7 | 15,0  | 20,7                             | 207,3 | 15,7  | 28,9        | 266,6 | 16,8  | 21,9                          | 229,2 | 16,5  | 20,8                    | 148,6 | 16,0  |
| 12   | 19,0      | 94,8  | 17,2  | 24,7                           | 128,1 | 18,6  | 29,1         | 183,7 | 17,6  | 19,7                | 98,0  | 21,9  | 20,4                             | 209,1 | 18,6  | 32,0        | 263,4 | 18,8  | 21,2                          | 216,9 | 21,7  | 20,1                    | 140,4 | 18,4  |
| 13   | 16,5      | 99,4  | 17,3  | 16,6                           | 153,8 | 17,8  | 25,3         | 200,8 | 17,8  | 17,3                | 102,5 | 25,8  | 17,7                             | 207,4 | 18,8  | 43,1        | 265,5 | 18,8  | 18,8                          | 233,5 | 27,5  | 17,8                    | 147,5 | 18,8  |
| 14   | 17,7      | 93,2  | 14,8  | 17,8                           | 131,0 | 15,5  | 27,2         | 179,1 | 15,3  | 19,0                | 102,2 | 17,1  | 18,9                             | 208,0 | 15,8  | 21,5        | 274,1 | 16,4  | 20,1                          | 227,6 | 16,4  | 19,0                    | 144,9 | 16,0  |
| 15   | 17,1      | 92,2  | 15,3  | 17,1                           | 124,9 | 15,7  | 26,7         | 178,0 | 15,8  | 17,9                | 98,8  | 15,8  | 18,3                             | 224,4 | 16,4  | 18,8        | 248,9 | 16,9  | 20,1                          | 214,4 | 16,8  | 18,3                    | 143,8 | 16,5  |
| 16   | 20,6      | 95,3  | 19,2  | 20,9                           | 133,6 | 19,4  | 34,2         | 183,3 | 19,4  | 21,4                | 120,1 | 19,3  | 22,0                             | 195,5 | 20,0  | 36,4        | 270,2 | 20,9  | 22,2                          | 253,4 | 21,1  | 21,9                    | 163,1 | 20,6  |
| 17   | 17,2      | 110,8 | 17,5  | 17,3                           | 133,7 | 17,6  | 25,9         | 199,8 | 17,6  | 18,0                | 98,0  | 33,5  | 18,4                             | 351,3 | 18,1  | 18,9        | 288,2 | 19,1  | 19,6                          | 264,6 | 18,9  | 18,5                    | 140,3 | 19,0  |
| 18   | 23,6      | 107,6 | 25,9  | 23,8                           | 151,1 | 27,4  | 33,6         | 186,1 | 26,6  | 24,3                | 98,3  | 25,4  | 24,6                             | 231,5 | 30,2  | 25,2        | 268,7 | 29,1  | 26,0                          | 209,5 | 28,0  | 24,6                    | 149,3 | 31,3  |
| 19   | 18,5      | 102,2 | 15,5  | 18,5                           | 137,3 | 16,4  | 21,1         | 182,1 | 15,7  | 19,2                | 105,8 | 15,6  | 19,5                             | 215,3 | 16,2  | 20,2        | 259,8 | 16,9  | 20,7                          | 236,8 | 16,9  | 19,7                    | 150,6 | 22,3  |
| 20   | 17,5      | 94,9  | 16,6  | 17,6                           | 131,5 | 16,4  | 18,0         | 174,9 | 16,2  | 20,6                | 116,9 | 16,0  | 83,3                             | 206,8 | 16,7  | 19,2        | 295,5 | 19,6  | 19,8                          | 223,9 | 17,3  | 18,8                    | 138,3 | 22,1  |
| 21   | 16,6      | 97,5  | 20,9  | 16,6                           | 136,5 | 15,3  | 17,1         | 188,5 | 15,3  | 17,9                | 97,3  | 15,0  | 19,6                             | 208,5 | 15,9  | 18,3        | 265,0 | 19,7  | 18,9                          | 214,6 | 16,3  | 17,8                    | 162,4 | 21,0  |
| 22   | 16,2      | 92,8  | 21,8  | 24,5                           | 130,6 | 14,8  | 16,7         | 163,6 | 14,8  | 17,1                | 99,1  | 14,7  | 26,1                             | 207,5 | 15,4  | 18,0        | 279,4 | 16,1  | 27,6                          | 219,8 | 18,1  | 17,5                    | 142,5 | 20,8  |
| 23   | 16,2      | 94,1  | 20,9  | 16,4                           | 129,6 | 14,9  | 16,6         | 173,4 | 14,9  | 17,1                | 99,3  | 14,7  | 17,4                             | 192,9 | 15,5  | 17,9        | 265,5 | 16,2  | 18,5                          | 217,4 | 16,6  | 29,1                    | 141,0 | 21,7  |
| 24   | 16,3      | 108,1 | 21,4  | 16,4                           | 145,8 | 15,1  | 16,8         | 177,0 | 16,0  | 17,1                | 112,0 | 14,9  | 24,8                             | 203,2 | 15,4  | 18,0        | 263,4 | 16,1  | 18,7                          | 218,0 | 16,0  | 17,5                    | 135,0 | 20,6  |
| 25   | 16,6      | 91,3  | 22,0  | 16,6                           | 131,5 | 15,1  | 17,1         | 212,3 | 15,3  | 17,4                | 100,4 | 15,0  | 26,7                             | 211,8 | 15,8  | 18,2        | 289,3 | 16,5  | 19,0                          | 238,6 | 17,7  | 17,8                    | 135,6 | 20,9  |
| 26   | 17,0      | 96,1  | 21,2  | 17,1                           | 133,8 | 14,9  | 17,5         | 171,2 | 14,9  | 17,7                | 100,6 | 14,8  | 26,4                             | 199,6 | 15,5  | 26,1        | 266,7 | 16,1  | 19,2                          | 227,2 | 15,9  | 20,0                    | 154,4 | 19,9  |
| 27   | 23,1      | 98,6  | 31,5  | 22,8                           | 134,8 | 27,3  | 23,2         | 174,7 | 26,7  | 23,6                | 102,5 | 25,9  | 24,9                             | 197,1 | 26,9  | 44,0        | 279,0 | 26,1  | 24,8                          | 226,0 | 26,3  | 24,1                    | 143,6 | 33,4  |
| 28   | 16,3      | 102,2 | 22,7  | 16,5                           | 140,3 | 15,7  | 18,1         | 177,2 | 15,5  | 17,0                | 106,1 | 16,3  | 17,4                             | 231,1 | 16,3  | 17,2        | 275,3 | 17,6  | 18,6                          | 229,7 | 16,6  | 17,6                    | 146,4 | 20,4  |
| 29   | 16,2      | 96,0  | 54,4  | 16,3                           | 144,7 | 15,4  | 27,2         | 202,1 | 31,6  | 16,9                | 99,2  | 15,2  | 17,2                             | 214,5 | 19,7  | 26,8        | 266,3 | 16,7  | 18,4                          | 214,2 | 16,3  | 17,4                    | 134,6 | 20,1  |
| 30   | 17,2      | 97,3  | 16,9  | 17,4                           | 130,6 | 17,0  | 27,9         | 168,1 | 22,9  | 18,1                | 100,7 | 16,9  | 22,0                             | 200,3 | 18,2  | 19,6        | 272,9 | 18,8  | 19,6                          | 214,9 | 34,5  | 23,7                    | 139,8 | 22,6  |
| 31   | 16,7      | 98,1  | 14,5  | 16,7                           | 129,7 | 14,8  | 26,5         | 172,5 | 25,0  | 29,8                | 113,7 | 14,9  | 17,7                             | 235,1 | 17,2  | 21,0        | 263,6 | 17,3  | 18,9                          | 209,0 | 15,9  | 23,2                    | 146,0 | 20,6  |
| 32   | 17,3      | 111,6 | 22,4  | 17,4                           | 131,2 | 15,3  | 37,6         | 179,6 | 22,8  | 19,5                | 98,7  | 15,6  | 18,3                             | 192,5 | 16,1  | 19,3        | 264,6 | 17,9  | 25,8                          | 218,5 | 16,4  | 18,6                    | 137,1 | 20,6  |
| 33   | 19,7      | 92,9  | 21,0  | 19,9                           | 127,8 | 14,8  | 31,4         | 204,1 | 24,1  | 22,2                | 101,6 | 14,8  | 17,3                             | 196,7 | 15,3  | 21,5        | 268,0 | 31,2  | 22,1                          | 254,5 | 15,9  | 21,0                    | 137,5 | 19,7  |
| 34   | 16,6      | 94,7  | 21,8  | 16,8                           | 130,9 | 14,7  | 25,9         | 169,5 | 20,3  | 17,5                | 97,5  | 14,7  | 17,6                             | 199,0 | 15,3  | 18,3        | 285,2 | 16,0  | 19,7                          | 224,1 | 15,9  | 23,8                    | 139,7 | 21,2  |
| 35   | 24,2      | 95,3  | 21,5  | 16,2                           | 146,1 | 15,5  | 24,8         | 172,7 | 21,1  | 16,9                | 97,4  | 15,4  | 17,2                             | 208,6 | 16,1  | 18,3        | 306,4 | 16,7  | 18,6                          | 221,3 | 16,8  | 22,7                    | 137,8 | 21,1  |
| 36   | 21,3      | 95,3  | 28,9  | 21,2                           | 133,8 | 25,0  | 43,2         | 181,4 | 24,3  | 21,7                | 96,1  | 26,2  | 22,1                             | 193,1 | 25,6  | 31,6        | 283,1 | 25,7  | 23,5                          | 210,5 | 25,0  | 22,1                    | 141,7 | 27,9  |
| 37   | 16,9      | 94,0  | 20,7  | 17,5                           | 138,1 | 14,7  | 26,3         | 203,8 | 15,3  | 17,8                | 102,1 | 14,6  | 17,2                             | 201,6 | 15,6  | 28,2        | 272,6 | 16,1  | 19,0                          | 206,9 | 15,9  | 18,2                    | 155,9 | 38,4  |
| 38   | 16,4      | 93,8  | 21,9  | 16,6                           | 135,2 | 15,0  | 25,3         | 174,5 | 15,1  | 17,2                | 115,1 | 15,0  | 17,5                             | 200,4 | 15,6  | 27,5        | 299,5 | 16,3  | 18,8                          | 229,4 | 16,1  | 17,7                    | 136,6 | 23,1  |
| 39   | 17,5      | 96,3  | 23,5  | 17,7                           | 132,8 | 15,7  | 26,1         | 166,5 | 15,8  | 18,3                | 98,9  | 15,4  | 18,2                             | 195,9 | 16,6  | 29,1        | 260,9 | 17,1  | 19,3                          | 222,7 | 20,2  | 18,7                    | 135,9 | 22,7  |
| 40   | 16,2      | 115,8 | 19,1  | 16,4                           | 145,5 | 14,7  | 16,8         | 178,1 | 14,7  | 17,0                | 96,4  | 14,7  | 17,2                             | 191,3 | 15,4  | 26,8        | 285,3 | 16,3  | 18,5                          | 217,1 | 17,6  | 17,4                    | 135,5 | 19,8  |
| 41   | 17,8      | 95,0  | 16,0  | 17,8                           | 128,4 | 16,3  | 18,1         | 188,8 | 16,3  | 18,4                | 103,9 | 16,1  | 18,6                             | 205,0 | 20,6  | 29,7        | 261,6 | 17,5  | 19,9                          | 223,4 | 18,4  | 19,4                    | 134,7 | 20,8  |
| 42   | 16,6      | 94,3  | 18,5  | 16,7                           | 141,4 | 40,7  | 28,9         | 175,7 | 18,4  | 17,5                | 108,7 | 18,4  | 18,9                             | 200,1 | 25,0  | 27,4        | 268,0 | 19,7  | 18,9                          | 213,1 | 20,5  | 20,7                    | 160,3 | 19,5  |
| 43   | 16,1      | 86,9  | 15,4  | 17,4                           | 125,9 | 15,4  | 16,6         | 169,2 | 15,6  | 16,9                | 102,2 | 15,6  | 17,3                             | 206,6 | 16,5  | 19,8        | 291,0 | 16,7  | 18,3                          | 228,3 | 16,5  | 17,5                    | 135,8 | 16,3  |
| 44   | 16,8      | 92,6  | 14,8  | 17,7                           | 126,3 | 14,6  | 16,6         | 168,1 | 14,7  | 16,9                | 102,5 | 14,5  | 23,7                             | 225,8 | 15,3  | 17,8        | 266,1 | 16,0  | 18,4                          | 240,2 | 16,0  | 17,4                    | 139,5 | 15,6  |
| 45   | 21,0      | 95,7  | 25,3  | 20,9                           | 125,0 | 24,2  | 21,1         | 185,3 | 24,4  | 21,5                | 98,2  | 25,8  | 22,1                             | 212,5 | 29,6  | 22,7        | 278,6 | 25,9  | 25,5                          | 208,5 | 28,8  | 22,3                    | 137,3 | 26,0  |
| 46   | 16,1      | 95,3  | 15,5  | 16,3                           | 144,2 | 14,7  | 16,6         | 164,4 | 14,8  | 39,1                | 112,6 | 14,5  | 17,2                             | 195,1 | 19,0  | 17,8        | 266,8 | 16,1  | 18,7                          | 215,5 | 16,0  | 17,3                    | 136,6 | 16,0  |
| 47   | 16,1      | 97,6  | 14,5  | 16,4                           | 132,6 | 14,8  | 16,6         | 186,3 | 14,8  | 25,4                | 104,3 | 14,6  | 17,2                             | 216,0 | 15,3  | 30,0        | 280,4 | 16,4  | 18,4                          | 232,6 | 16,2  | 17,4                    | 162,1 | 15,6  |
| 48   | 17,3      | 108,5 | 16,1  | 16,2                           | 128,3 | 16,4  | 16,5         | 164,9 | 16,3  | 25,3                | 105,5 | 16,3  | 17,2                             | 201,7 | 16,9  | 17,8        | 257,5 | 17,5  | 18,4                          | 202,0 | 17,4  | 17,5                    | 136,7 | 17,3  |
| 49   | 18,3      | 97,0  | 14,4  | 16,9                           | 134,4 | 14,8  | 17,2         | 199,3 | 15,0  | 26,3                | 103,9 | 14,6  | 18,4                             | 196,8 | 15,3  | 18,4        | 268,4 | 15,9  | 19,7                          | 213,5 | 15,8  | 18,0                    | 138,4 | 15,5  |

| Testi | Sekvenssi |       |      | Rinnakkainen jakautuminen |       |        | Synkronointi |       |      | Poissulkeva valinta |       |      | Yksinkertainen yhdistäminen |       |      | Monivalinta |       |      | Synkronoiva yhdistäminen |       |      | Implisiittinen päättyminen |       |      |
|-------|-----------|-------|------|---------------------------|-------|--------|--------------|-------|------|---------------------|-------|------|-----------------------------|-------|------|-------------|-------|------|--------------------------|-------|------|----------------------------|-------|------|
|       | A         | BO    | OB   | A                         | BO    | OB     | A            | BO    | OB   | A                   | BO    | OB   | A                           | BO    | OB   | A           | BO    | OB   | A                        | BO    | OB   | A                          | BO    | OB   |
| 50    | 17,8      | 93,6  | 16,8 | 18,0                      | 135,8 | 14,7   | 18,3         | 171,9 | 14,8 | 27,6                | 97,8  | 14,7 | 18,8                        | 193,5 | 15,5 | 19,4        | 274,2 | 15,9 | 20,0                     | 230,4 | 15,9 | 19,0                       | 140,8 | 15,5 |
| 51    | 16,3      | 89,2  | 15,0 | 16,4                      | 140,6 | 15,0   | 16,8         | 169,2 | 14,8 | 25,4                | 140,6 | 14,5 | 17,1                        | 201,3 | 15,3 | 18,1        | 276,0 | 16,0 | 18,4                     | 204,4 | 16,5 | 17,6                       | 137,6 | 15,5 |
| 52    | 16,7      | 96,7  | 14,6 | 16,3                      | 132,7 | 14,8   | 16,6         | 171,9 | 14,7 | 25,1                | 172,1 | 16,1 | 17,1                        | 194,3 | 15,2 | 17,9        | 271,1 | 16,2 | 18,5                     | 214,0 | 20,5 | 17,3                       | 149,2 | 15,6 |
| 53    | 16,1      | 92,0  | 14,9 | 17,1                      | 134,6 | 15,3   | 17,5         | 211,7 | 15,3 | 26,0                | 133,8 | 19,1 | 17,2                        | 212,8 | 15,8 | 17,7        | 240,5 | 16,5 | 29,7                     | 228,9 | 16,3 | 17,4                       | 134,1 | 17,9 |
| 54    | 22,5      | 96,7  | 25,7 | 22,4                      | 135,2 | 26,9   | 22,7         | 163,9 | 26,4 | 35,0                | 99,1  | 26,0 | 38,7                        | 224,7 | 27,6 | 23,9        | 272,2 | 26,8 | 24,3                     | 208,9 | 27,4 | 23,5                       | 146,6 | 26,5 |
| 55    | 16,2      | 91,3  | 19,6 | 26,5                      | 135,0 | 14,7   | 16,5         | 174,6 | 14,9 | 26,0                | 96,1  | 32,0 | 17,3                        | 192,9 | 15,5 | 17,8        | 292,0 | 15,9 | 18,5                     | 207,1 | 16,6 | 25,2                       | 144,9 | 15,6 |
| 56    | 17,7      | 116,4 | 15,6 | 17,8                      | 134,0 | 15,7   | 18,1         | 177,9 | 15,6 | 18,4                | 105,7 | 15,4 | 94,8                        | 203,7 | 16,1 | 19,3        | 266,9 | 18,5 | 20,4                     | 226,0 | 16,8 | 18,8                       | 146,2 | 16,4 |
| 57    | 18,1      | 90,6  | 16,5 | 22,4                      | 143,7 | 21,0   | 18,5         | 179,3 | 19,2 | 18,8                | 102,3 | 16,6 | 30,2                        | 226,5 | 17,4 | 19,7        | 263,8 | 17,9 | 20,4                     | 237,7 | 18,0 | 19,3                       | 177,3 | 17,5 |
| 58    | 16,5      | 94,8  | 16,5 | 21,1                      | 130,2 | 15,3   | 20,3         | 166,5 | 15,4 | 17,3                | 98,6  | 15,1 | 26,2                        | 199,9 | 15,7 | 18,3        | 260,0 | 16,4 | 19,5                     | 217,0 | 16,2 | 17,8                       | 142,0 | 15,9 |
| 59    | 16,3      | 93,1  | 14,5 | 16,5                      | 132,7 | 14,7   | 19,1         | 174,9 | 14,9 | 17,0                | 95,9  | 14,6 | 26,0                        | 200,4 | 15,4 | 17,9        | 272,2 | 16,1 | 18,4                     | 206,6 | 15,8 | 17,5                       | 145,9 | 15,6 |
| 60    | 16,1      | 92,4  | 14,5 | 16,2                      | 128,7 | 14,7   | 16,6         | 177,9 | 28,1 | 16,8                | 99,5  | 14,5 | 25,4                        | 206,2 | 15,2 | 17,8        | 282,1 | 16,1 | 18,4                     | 238,7 | 15,8 | 17,3                       | 136,2 | 15,5 |
| 61    | 16,4      | 92,8  | 14,8 | 16,7                      | 136,7 | 15,4   | 19,2         | 164,6 | 15,2 | 17,2                | 112,7 | 14,9 | 26,6                        | 206,0 | 15,6 | 21,8        | 292,5 | 16,3 | 23,5                     | 223,2 | 16,2 | 17,7                       | 140,3 | 16,0 |
| 62    | 16,2      | 95,3  | 14,5 | 16,2                      | 145,6 | 14,8   | 17,0         | 178,6 | 15,4 | 16,9                | 97,5  | 18,6 | 25,5                        | 200,6 | 15,2 | 22,3        | 259,8 | 16,0 | 20,7                     | 219,9 | 18,8 | 17,3                       | 167,5 | 15,7 |
| 63    | 23,7      | 115,1 | 26,9 | 23,9                      | 132,9 | 26,4   | 24,2         | 169,5 | 26,0 | 35,8                | 100,4 | 27,3 | 36,8                        | 239,0 | 25,6 | 28,6        | 287,1 | 26,4 | 26,3                     | 221,6 | 51,5 | 24,9                       | 139,1 | 25,3 |
| 64    | 16,0      | 87,6  | 16,1 | 16,3                      | 128,3 | 16,4   | 16,5         | 169,6 | 16,5 | 16,8                | 94,1  | 16,3 | 28,4                        | 202,1 | 32,6 | 18,0        | 270,4 | 37,1 | 18,4                     | 220,5 | 17,5 | 17,4                       | 137,5 | 16,1 |
| 65    | 16,1      | 94,2  | 14,9 | 16,1                      | 129,0 | 17,9   | 16,7         | 178,0 | 32,7 | 16,8                | 98,0  | 15,0 | 25,2                        | 194,1 | 35,3 | 17,7        | 288,1 | 16,4 | 18,3                     | 225,1 | 16,2 | 17,3                       | 135,9 | 16,3 |
| 66    | 16,1      | 100,9 | 33,4 | 16,8                      | 132,1 | 15,3   | 16,4         | 190,3 | 15,5 | 17,6                | 99,9  | 15,1 | 26,3                        | 219,6 | 16,0 | 17,8        | 256,6 | 16,5 | 18,3                     | 915,0 | 16,2 | 17,3                       | 138,2 | 16,1 |
| 67    | 25,7      | 94,9  | 14,8 | 18,1                      | 127,2 | 15,1   | 18,3         | 170,4 | 15,5 | 18,7                | 94,2  | 15,0 | 28,9                        | 196,4 | 23,1 | 22,5        | 257,9 | 20,3 | 20,1                     | 213,4 | 16,3 | 19,0                       | 135,8 | 15,9 |
| 68    | 16,6      | 95,9  | 14,6 | 16,7                      | 149,1 | 14,6   | 16,9         | 163,8 | 14,7 | 19,1                | 107,5 | 14,5 | 25,7                        | 206,5 | 22,4 | 18,2        | 286,8 | 16,0 | 19,6                     | 219,1 | 16,1 | 22,8                       | 152,5 | 15,9 |
| 69    | 16,6      | 97,1  | 14,3 | 16,7                      | 134,4 | 14,6   | 19,0         | 165,2 | 14,6 | 17,9                | 97,2  | 14,5 | 26,1                        | 213,2 | 22,1 | 18,2        | 274,6 | 16,1 | 24,9                     | 227,4 | 19,7 | 18,0                       | 143,2 | 16,2 |
| 70    | 16,1      | 94,8  | 15,9 | 16,3                      | 129,2 | 14,7   | 25,3         | 183,6 | 14,9 | 16,8                | 98,5  | 14,6 | 24,9                        | 205,5 | 19,1 | 17,7        | 278,9 | 16,1 | 18,4                     | 211,7 | 15,7 | 17,4                       | 134,8 | 15,5 |
| 71    | 16,5      | 106,9 | 14,7 | 16,6                      | 131,8 | 16,2   | 25,7         | 169,3 | 15,1 | 22,0                | 98,1  | 14,9 | 17,4                        | 211,6 | 15,8 | 25,8        | 258,1 | 16,7 | 18,7                     | 210,9 | 16,2 | 17,6                       | 132,8 | 36,0 |
| 72    | 21,1      | 95,6  | 25,5 | 21,3                      | 132,1 | 25,5   | 28,4         | 173,8 | 25,5 | 27,2                | 98,8  | 25,6 | 23,4                        | 211,6 | 25,4 | 26,9        | 273,1 | 25,8 | 23,1                     | 236,6 | 26,2 | 22,2                       | 139,8 | 26,2 |
| 73    | 16,0      | 91,3  | 14,4 | 16,1                      | 147,0 | 14,7   | 24,3         | 174,6 | 14,7 | 18,2                | 99,7  | 14,5 | 17,1                        | 213,6 | 15,3 | 17,7        | 284,1 | 15,9 | 18,3                     | 218,7 | 15,6 | 17,2                       | 161,4 | 15,4 |
| 74    | 22,2      | 94,2  | 14,4 | 16,2                      | 130,9 | 15,3   | 37,6         | 189,4 | 14,7 | 16,8                | 95,2  | 14,4 | 17,0                        | 212,9 | 15,1 | 17,7        | 254,9 | 17,6 | 18,2                     | 216,5 | 15,9 | 17,2                       | 148,7 | 15,7 |
| 75    | 21,0      | 108,2 | 18,7 | 20,5                      | 152,7 | 19,1   | 25,6         | 187,2 | 18,9 | 21,0                | 108,9 | 18,9 | 21,9                        | 222,5 | 19,3 | 21,9        | 294,0 | 20,2 | 22,5                     | 233,8 | 19,9 | 21,5                       | 169,3 | 19,9 |
| 76    | 20,6      | 95,9  | 17,3 | 20,8                      | 131,5 | 17,5   | 20,3         | 172,9 | 18,4 | 20,6                | 110,1 | 17,5 | 20,9                        | 225,4 | 19,5 | 21,5        | 269,1 | 18,8 | 22,1                     | 226,8 | 21,9 | 22,0                       | 137,0 | 18,5 |
| 77    | 16,0      | 88,9  | 14,3 | 16,2                      | 124,3 | 15,2   | 16,4         | 161,9 | 14,8 | 16,7                | 96,4  | 14,5 | 16,9                        | 185,2 | 23,2 | 17,6        | 256,2 | 15,9 | 19,3                     | 218,0 | 15,6 | 18,2                       | 129,5 | 16,3 |
| 78    | 15,9      | 93,5  | 18,2 | 16,7                      | 144,1 | 29,9   | 16,3         | 183,8 | 14,6 | 16,8                | 98,9  | 14,4 | 16,9                        | 202,6 | 23,2 | 32,0        | 279,9 | 15,9 | 18,4                     | 210,4 | 15,8 | 18,5                       | 153,5 | 22,8 |
| 79    | 16,5      | 105,8 | 16,3 | 16,7                      | 128,6 | 16,5   | 16,8         | 168,9 | 16,4 | 17,2                | 100,8 | 16,2 | 17,4                        | 208,5 | 26,0 | 18,2        | 263,8 | 17,8 | 18,8                     | 245,7 | 17,4 | 17,7                       | 134,9 | 25,5 |
| 80    | 16,4      | 94,9  | 16,3 | 16,4                      | 131,8 | 16,6   | 16,9         | 169,6 | 16,8 | 17,0                | 99,5  | 16,4 | 17,3                        | 208,8 | 25,9 | 19,3        | 251,4 | 18,2 | 18,6                     | 212,0 | 17,6 | 17,6                       | 136,4 | 26,0 |
| 81    | 20,4      | 95,6  | 23,3 | 20,6                      | 129,6 | 23,9   | 20,5         | 173,8 | 25,9 | 21,0                | 101,7 | 24,3 | 21,6                        | 205,2 | 30,4 | 22,3        | 266,9 | 25,8 | 23,0                     | 230,4 | 25,7 | 21,5                       | 143,9 | 32,2 |
| 82    | 18,3      | 97,6  | 16,1 | 17,5                      | 126,5 | 16,2   | 17,7         | 194,2 | 16,2 | 18,1                | 103,2 | 19,4 | 18,7                        | 213,5 | 16,9 | 19,0        | 274,6 | 18,2 | 19,6                     | 233,8 | 17,3 | 18,6                       | 144,0 | 26,0 |
| 83    | 15,9      | 92,9  | 15,0 | 16,2                      | 132,6 | 15,4   | 19,6         | 176,1 | 17,4 | 16,7                | 113,6 | 16,3 | 16,9                        | 196,5 | 15,9 | 24,7        | 270,2 | 18,5 | 20,3                     | 219,0 | 16,4 | 17,3                       | 166,5 | 22,3 |
| 84    | 17,6      | 94,4  | 19,8 | 17,7                      | 147,1 | 16,4   | 18,1         | 175,1 | 24,3 | 18,3                | 103,5 | 16,2 | 18,5                        | 749,6 | 17,3 | 28,3        | 263,7 | 17,7 | 32,1                     | 231,2 | 17,4 | 18,7                       | 142,1 | 17,7 |
| 85    | 17,5      | 108,3 | 25,7 | 17,5                      | 133,1 | 15,1   | 18,3         | 176,0 | 20,7 | 18,7                | 101,9 | 14,9 | 18,5                        | 199,9 | 15,7 | 22,7        | 263,7 | 18,5 | 19,8                     | 228,6 | 16,3 | 18,7                       | 146,0 | 15,9 |
| 86    | 18,2      | 98,8  | 17,1 | 18,1                      | 128,7 | 14,7   | 18,6         | 199,6 | 14,9 | 19,4                | 101,0 | 15,0 | 27,7                        | 195,5 | 15,6 | 19,7        | 265,7 | 15,7 | 20,2                     | 210,6 | 15,7 | 27,3                       | 133,8 | 16,6 |
| 87    | 17,1      | 106,4 | 16,1 | 25,1                      | 126,2 | 15,4   | 17,5         | 169,8 | 15,2 | 23,0                | 97,4  | 15,6 | 18,0                        | 204,8 | 15,7 | 18,7        | 247,9 | 16,4 | 19,3                     | 211,5 | 16,3 | 18,3                       | 135,4 | 16,1 |
| 88    | 20,2      | 105,4 | 14,9 | 20,3                      | 142,9 | 14,5   | 20,7         | 174,1 | 14,6 | 33,2                | 107,4 | 14,4 | 21,8                        | 218,9 | 15,1 | 21,8        | 275,4 | 15,8 | 22,5                     | 239,5 | 15,5 | 21,6                       | 182,3 | 17,7 |
| 89    | 16,0      | 93,5  | 15,0 | 16,1                      | 141,0 | 15,1   | 16,3         | 168,5 | 16,6 | 24,4                | 92,7  | 17,1 | 17,1                        | 200,4 | 15,7 | 17,6        | 254,4 | 16,4 | 18,2                     | 213,1 | 16,2 | 17,2                       | 133,8 | 16,7 |
| 90    | 20,5      | 94,5  | 22,9 | 20,4                      | 130,9 | 24,6   | 20,6         | 187,8 | 24,5 | 27,1                | 111,0 | 25,3 | 21,5                        | 201,3 | 30,0 | 21,8        | 254,7 | 25,3 | 22,6                     | 211,0 | 26,1 | 24,0                       | 144,4 | 25,6 |
| 91    | 16,1      | 93,1  | 14,5 | 16,2                      | 134,8 | 14,7   | 16,5         | 171,9 | 14,8 | 16,8                | 97,5  | 17,1 | 17,1                        | 207,0 | 21,8 | 18,2        | 261,9 | 16,2 | 18,2                     | 296,6 | 21,2 | 17,4                       | 158,3 | 16,2 |
| 92    | 16,0      | 93,0  | 14,3 | 16,0                      | 132,7 | 14,6   | 16,4         | 182,1 | 14,6 | 16,6                | 99,0  | 14,7 | 16,8                        | 187,9 | 20,5 | 17,5        | 264,1 | 16,0 | 18,1                     | 216,4 | 22,8 | 17,2                       | 137,5 | 17,1 |
| 93    | 15,9      | 92,8  | 14,2 | 15,9                      | 135,6 | 14,8   | 16,4         | 169,5 | 15,2 | 16,6                | 98,5  | 39,5 | 16,8                        | 218,8 | 15,4 | 17,5        | 276,6 | 16,0 | 20,3                     | 223,6 | 22,7 | 17,1                       | 147,1 | 18,0 |
| 94    | 15,9      | 97,6  | 14,3 | 15,9                      | 137,5 | 14,7   | 16,3         | 193,1 | 14,6 | 17,5                | 104,5 | 14,3 | 17,3                        | 197,6 | 15,0 | 17,5        | 243,7 | 28,1 | 18,7                     | 212,3 | 22,4 | 19,5                       | 140,5 | 15,4 |
| 95    | 15,8      | 103,2 | 14,2 | 16,0                      | 144,9 | 14,5   | 16,3         | 172,4 | 14,7 | 30,3                | 97,5  | 14,3 | 16,9                        | 195,8 | 15,1 | 17,6        | 262,1 | 18,3 | 22,0                     | 213,9 | 20,0 | 17,5                       | 133,3 | 15,4 |
| 96    | 15,9      | 89,6  | 15,4 | 16,0                      | 130,0 | 15,0   | 16,4         | 162,6 | 15,1 | 16,7                | 98,1  | 14,9 | 19,4                        | 201,5 | 15,7 | 17,5        | 279,3 | 18,1 | 18,3                     | 214,4 | 19,4 | 26,5                       | 133,1 | 16,0 |
| 97    | 15,9      | 95,0  | 14,3 | 16,0                      | 133,1 | 14,6   | 16,3         | 172,3 | 14,6 | 16,7                | 99,4  | 14,4 | 17,3                        | 198,5 | 15,5 | 17,5        | 282,0 | 15,8 | 18,1                     | 219,9 | 29,2 | 27,7                       | 137,8 | 15,4 |
| 98    | 16,1      | 95,9  | 14,2 | 16,0                      | 134,0 | 14,5   | 16,3         | 190,8 | 14,5 | 16,6                | 109,5 | 14,4 | 17,5                        | 201,1 | 15,1 | 18,5        | 249,3 | 15,7 | 18,1                     | 229,3 | 15,7 | 39,9                       | 142,9 | 15,5 |
| 99    | 20,4      | 99,1  | 24,0 | 22,7                      | 135,2 | 25,6   | 20,8         | 177,1 | 24,8 | 20,8                | 98,9  | 24,7 | 21,2                        | 219,7 | 24,8 | 22,3        | 286,3 | 26,2 | 22,4                     | 224,5 | 25,4 | 28,8                       | 150,1 | 25,7 |
| 100   | 24,0      | 93,9  | 14,3 | 16,3                      | 140,1 | 14,6   | 16,3         | 168,8 | 14,7 | 16,6                | 98,3  | 14,3 | 16,8                        | 198,2 | 32,8 | 17,5        | 273,1 | 16,0 | 20,8                     | 205,6 | 15,5 | 26,1                       | 134,7 | 15,3 |
| 101   | 18,2      | 92,2  | 15,0 | 18,9                      | 131,6 | 15,2</ |              |       |      |                     |       |      |                             |       |      |             |       |      |                          |       |      |                            |       |      |

## Ostotilauseineiston suoritajat millisekunteinä

| Testi | 0 riviä |       |       | 200 riviä |       |        | 400 riviä |       |       | 600 riviä |       |        | 800 riviä |       |        | 1000 riviä |        |        |
|-------|---------|-------|-------|-----------|-------|--------|-----------|-------|-------|-----------|-------|--------|-----------|-------|--------|------------|--------|--------|
|       | A       | BO    | OB    | A         | BO    | OB     | A         | BO    | OB    | A         | BO    | OB     | A         | BO    | OB     | A          | BO     | OB     |
| 1     | 375,6   | 450,0 | 376,7 | 476,4     | 575,9 | 520,4  | 625,9     | 635,6 | 842,0 | 650,5     | 738,8 | 787,9  | 756,3     | 796,7 | 920,9  | 865,9      | 900,7  | 1127,8 |
| 2     | 21,0    | 74,0  | 16,5  | 118,6     | 203,9 | 124,0  | 151,6     | 216,1 | 189,1 | 234,8     | 248,0 | 329,5  | 258,4     | 321,7 | 469,5  | 357,0      | 393,4  | 646,8  |
| 3     | 21,0    | 81,6  | 17,4  | 121,3     | 157,1 | 101,7  | 130,8     | 192,5 | 204,9 | 199,6     | 260,5 | 295,8  | 285,4     | 327,3 | 457,1  | 341,9      | 345,8  | 1468,7 |
| 4     | 21,0    | 80,2  | 17,1  | 83,8      | 138,1 | 81,4   | 196,6     | 242,4 | 185,5 | 233,6     | 289,5 | 317,9  | 330,3     | 346,4 | 490,2  | 344,9      | 384,8  | 605,0  |
| 5     | 20,5    | 80,8  | 19,9  | 76,0      | 139,3 | 82,1   | 147,4     | 203,3 | 218,8 | 182,9     | 252,3 | 313,9  | 286,1     | 325,6 | 454,4  | 285,5      | 343,7  | 677,7  |
| 6     | 22,5    | 80,9  | 20,0  | 81,4      | 137,7 | 127,7  | 131,7     | 230,0 | 172,4 | 226,9     | 287,2 | 310,7  | 232,4     | 289,1 | 444,0  | 1174,2     | 425,9  | 646,8  |
| 7     | 30,2    | 84,4  | 29,9  | 79,7      | 151,4 | 91,8   | 170,3     | 213,0 | 160,9 | 180,1     | 237,8 | 272,7  | 278,6     | 321,4 | 466,8  | 328,5      | 371,7  | 592,2  |
| 8     | 29,0    | 89,1  | 28,1  | 98,6      | 189,8 | 99,3   | 129,3     | 189,0 | 196,4 | 234,7     | 242,6 | 307,4  | 286,5     | 297,1 | 453,0  | 332,5      | 346,8  | 624,7  |
| 9     | 23,0    | 83,8  | 16,2  | 125,3     | 139,7 | 85,2   | 182,1     | 190,4 | 164,0 | 182,7     | 330,9 | 309,6  | 238,4     | 321,3 | 447,9  | 335,1      | 384,0  | 593,1  |
| 10    | 22,7    | 82,1  | 16,5  | 76,0      | 140,8 | 78,0   | 172,2     | 187,2 | 195,5 | 275,7     | 241,8 | 314,1  | 281,0     | 290,2 | 440,1  | 334,6      | 376,8  | 748,8  |
| 11    | 22,9    | 84,6  | 21,8  | 74,8      | 140,4 | 112,8  | 125,3     | 289,1 | 222,4 | 221,3     | 265,0 | 364,4  | 329,6     | 364,0 | 494,0  | 284,4      | 352,2  | 624,6  |
| 12    | 22,1    | 84,5  | 18,0  | 73,5      | 215,2 | 99,5   | 128,4     | 193,0 | 200,4 | 181,2     | 243,5 | 379,4  | 238,7     | 318,7 | 444,3  | 388,1      | 438,8  | 591,3  |
| 13    | 19,7    | 81,7  | 16,3  | 72,7      | 199,6 | 79,9   | 172,7     | 186,4 | 162,7 | 225,8     | 241,3 | 409,3  | 280,9     | 288,2 | 433,2  | 338,9      | 372,8  | 620,1  |
| 14    | 21,0    | 92,7  | 15,6  | 113,7     | 157,5 | 77,0   | 128,0     | 218,0 | 197,9 | 181,3     | 272,4 | 306,1  | 275,2     | 321,6 | 461,7  | 335,9      | 343,5  | 634,9  |
| 15    | 20,3    | 81,8  | 16,8  | 71,9      | 177,9 | 79,4   | 125,4     | 193,6 | 161,7 | 224,4     | 234,1 | 310,4  | 236,2     | 288,6 | 467,9  | 328,2      | 387,8  | 590,2  |
| 16    | 28,9    | 87,2  | 29,6  | 78,6      | 146,0 | 1029,1 | 173,8     | 238,6 | 177,7 | 182,2     | 269,1 | 277,2  | 1067,0    | 324,8 | 456,2  | 339,2      | 382,2  | 684,8  |
| 17    | 21,3    | 99,6  | 18,8  | 72,6      | 135,8 | 81,8   | 126,2     | 188,0 | 252,8 | 226,1     | 241,4 | 305,7  | 268,2     | 285,2 | 448,5  | 336,9      | 343,1  | 590,9  |
| 18    | 21,5    | 84,4  | 15,8  | 75,2      | 139,7 | 79,6   | 170,6     | 222,0 | 164,3 | 180,9     | 295,3 | 1266,4 | 231,3     | 323,7 | 442,3  | 343,0      | 439,4  | 629,1  |
| 19    | 20,9    | 81,3  | 16,3  | 119,6     | 181,2 | 80,3   | 127,4     | 187,3 | 218,2 | 280,3     | 294,0 | 305,4  | 335,6     | 340,8 | 489,0  | 334,2      | 381,4  | 629,2  |
| 20    | 20,5    | 83,9  | 16,2  | 72,9      | 236,4 | 83,9   | 124,4     | 187,5 | 176,8 | 179,1     | 239,6 | 305,5  | 275,6     | 318,2 | 455,2  | 332,2      | 342,4  | 603,5  |
| 21    | 55,0    | 76,7  | 15,6  | 74,6      | 235,9 | 109,4  | 173,2     | 224,9 | 201,1 | 227,2     | 269,3 | 272,1  | 230,8     | 279,8 | 434,1  | 334,1      | 377,5  | 626,6  |
| 22    | 19,5    | 75,7  | 15,4  | 70,7      | 237,8 | 76,6   | 125,8     | 182,8 | 167,5 | 178,9     | 275,3 | 310,2  | 283,8     | 321,7 | 448,1  | 338,2      | 351,3  | 594,0  |
| 23    | 19,8    | 78,8  | 15,3  | 73,0      | 246,3 | 81,0   | 122,3     | 183,7 | 201,0 | 221,8     | 233,8 | 301,6  | 274,6     | 290,4 | 443,0  | 328,0      | 370,2  | 676,5  |
| 24    | 21,9    | 82,1  | 18,5  | 71,5      | 163,5 | 87,3   | 178,9     | 186,9 | 173,8 | 223,1     | 265,6 | 306,9  | 235,9     | 315,7 | 554,2  | 286,6      | 373,4  | 660,9  |
| 25    | 25,7    | 84,0  | 22,0  | 117,0     | 131,8 | 114,0  | 128,9     | 215,4 | 200,7 | 179,3     | 239,1 | 270,9  | 282,3     | 293,5 | 456,2  | 386,7      | 391,9  | 588,3  |
| 26    | 20,2    | 82,1  | 18,8  | 82,2      | 144,2 | 98,8   | 124,0     | 186,3 | 173,8 | 227,4     | 264,8 | 310,5  | 273,5     | 319,1 | 430,3  | 377,9      | 382,2  | 833,4  |
| 27    | 21,1    | 98,7  | 25,0  | 72,8      | 129,6 | 92,8   | 178,3     | 190,1 | 169,9 | 179,7     | 291,9 | 308,5  | 287,6     | 292,0 | 1418,6 | 337,1      | 375,5  | 1487,7 |
| 28    | 19,6    | 77,4  | 16,2  | 94,6      | 128,5 | 80,7   | 125,9     | 209,6 | 196,4 | 280,6     | 270,4 | 303,8  | 281,4     | 436,7 | 435,5  | 333,1      | 342,6  | 583,4  |
| 29    | 24,1    | 76,4  | 15,6  | 117,0     | 135,0 | 78,0   | 123,8     | 182,8 | 170,1 | 183,8     | 235,1 | 294,8  | 275,3     | 293,1 | 445,3  | 331,1      | 379,1  | 693,2  |
| 30    | 23,7    | 78,0  | 17,4  | 125,3     | 171,6 | 113,3  | 170,0     | 266,6 | 193,6 | 934,3     | 238,0 | 325,7  | 236,0     | 314,6 | 440,1  | 1256,0     | 378,0  | 640,8  |
| 31    | 19,9    | 80,7  | 15,3  | 73,6      | 232,6 | 78,3   | 124,1     | 186,8 | 165,7 | 177,9     | 276,6 | 315,7  | 279,9     | 294,9 | 445,7  | 334,6      | 390,1  | 619,7  |
| 32    | 20,5    | 81,7  | 15,6  | 96,7      | 225,0 | 78,5   | 123,1     | 215,4 | 251,3 | 215,7     | 243,9 | 310,4  | 278,5     | 326,1 | 433,1  | 323,7      | 375,2  | 633,6  |
| 33    | 23,3    | 81,1  | 20,2  | 72,8      | 130,7 | 78,9   | 175,9     | 185,0 | 175,6 | 177,8     | 264,9 | 308,3  | 229,0     | 286,3 | 452,0  | 331,2      | 379,2  | 586,1  |
| 34    | 22,3    | 82,5  | 22,9  | 70,6      | 129,7 | 76,3   | 124,9     | 187,0 | 199,4 | 224,6     | 238,3 | 277,1  | 281,7     | 311,7 | 563,9  | 337,6      | 338,6  | 618,6  |
| 35    | 28,8    | 83,1  | 15,9  | 113,5     | 154,9 | 111,1  | 123,1     | 208,8 | 165,7 | 221,1     | 234,8 | 304,6  | 328,2     | 309,9 | 492,5  | 332,6      | 379,0  | 752,4  |
| 36    | 19,6    | 79,0  | 15,1  | 84,2      | 132,3 | 76,9   | 226,3     | 188,1 | 197,8 | 176,7     | 325,1 | 308,7  | 227,0     | 286,7 | 523,2  | 332,3      | 376,8  | 652,9  |
| 37    | 19,4    | 78,8  | 19,2  | 70,7      | 129,4 | 78,0   | 143,5     | 189,6 | 163,9 | 276,9     | 263,9 | 325,8  | 280,0     | 319,4 | 506,4  | 337,2      | 337,2  | 669,7  |
| 38    | 20,7    | 80,5  | 17,6  | 72,8      | 129,6 | 80,3   | 170,2     | 188,3 | 167,0 | 180,9     | 269,8 | 296,4  | 275,0     | 337,7 | 440,3  | 336,5      | 433,0  | 589,4  |
| 39    | 19,8    | 80,5  | 15,1  | 71,1      | 134,7 | 77,9   | 125,9     | 214,8 | 197,3 | 163,0     | 228,7 | 235,2  | 270,2     | 237,4 | 320,0  | 440,8      | 331,8  | 642,8  |
| 40    | 19,4    | 80,5  | 15,1  | 113,4     | 130,7 | 118,8  | 133,9     | 190,6 | 162,4 | 287,0     | 239,6 | 314,8  | 280,6     | 294,5 | 462,0  | 334,2      | 369,6  | 641,1  |
| 41    | 20,8    | 99,5  | 16,7  | 75,8      | 168,6 | 85,9   | 171,1     | 189,8 | 195,1 | 366,1     | 267,2 | 377,5  | 279,8     | 323,8 | 427,7  | 339,7      | 385,3  | 620,1  |
| 42    | 19,9    | 77,6  | 22,0  | 73,8      | 131,2 | 77,0   | 128,1     | 212,3 | 174,6 | 283,0     | 238,7 | 308,3  | 231,8     | 285,7 | 444,0  | 334,7      | 344,2  | 736,8  |
| 43    | 24,3    | 81,6  | 30,1  | 72,2      | 132,6 | 82,3   | 141,7     | 189,0 | 196,9 | 275,6     | 261,3 | 283,5  | 336,3     | 320,2 | 492,8  | 283,0      | 387,9  | 696,1  |
| 44    | 24,4    | 85,4  | 15,5  | 71,0      | 131,9 | 77,7   | 185,2     | 183,6 | 187,0 | 176,6     | 238,2 | 300,6  | 271,9     | 291,4 | 447,0  | 384,7      | 379,8  | 714,7  |
| 45    | 19,7    | 81,4  | 15,4  | 87,9      | 130,3 | 112,0  | 123,0     | 182,8 | 256,9 | 224,4     | 239,5 | 307,2  | 227,0     | 315,9 | 431,1  | 337,9      | 391,3  | 629,8  |
| 46    | 19,4    | 81,5  | 18,7  | 120,2     | 160,9 | 79,0   | 124,0     | 217,1 | 207,0 | 177,2     | 260,0 | 311,1  | 280,0     | 285,0 | 429,4  | 330,0      | 388,0  | 588,9  |
| 47    | 19,3    | 79,3  | 15,3  | 83,4      | 128,0 | 78,7   | 173,3     | 187,7 | 225,2 | 222,5     | 239,2 | 296,7  | 1052,1    | 462,3 | 472,3  | 329,3      | 376,5  | 616,9  |
| 48    | 20,0    | 77,4  | 22,7  | 73,6      | 129,2 | 83,9   | 121,6     | 204,7 | 164,8 | 220,0     | 264,0 | 271,2  | 230,6     | 287,6 | 451,0  | 336,1      | 340,6  | 636,0  |
| 49    | 21,1    | 76,1  | 16,2  | 73,6      | 131,3 | 77,7   | 123,2     | 221,0 | 173,8 | 181,0     | 240,6 | 303,5  | 273,5     | 322,0 | 448,2  | 1140,5     | 381,3  | 589,6  |
| 50    | 21,2    | 96,5  | 15,1  | 76,9      | 128,6 | 109,3  | 171,5     | 184,8 | 195,0 | 226,5     | 237,6 | 300,7  | 276,5     | 287,7 | 487,8  | 285,9      | 380,6  | 619,3  |
| 51    | 19,5    | 78,9  | 40,2  | 115,3     | 133,6 | 78,0   | 123,7     | 202,1 | 162,8 | 182,3     | 262,0 | 302,0  | 232,9     | 312,9 | 453,1  | 327,0      | 340,7  | 1446,0 |
| 52    | 19,3    | 77,9  | 22,1  | 73,6      | 152,8 | 77,5   | 131,4     | 277,2 | 197,9 | 232,2     | 248,5 | 423,0  | 326,1     | 282,3 | 425,7  | 380,1      | 383,5  | 665,5  |
| 53    | 25,5    | 103,4 | 15,6  | 72,7      | 128,9 | 82,1   | 171,4     | 181,9 | 162,4 | 180,6     | 323,7 | 335,1  | 277,0     | 313,7 | 451,2  | 329,3      | 428,3  | 626,9  |
| 54    | 36,6    | 129,6 | 16,7  | 73,5      | 136,1 | 105,5  | 126,8     | 183,6 | 212,9 | 224,5     | 239,7 | 305,2  | 277,5     | 289,4 | 437,1  | 327,5      | 338,4  | 650,0  |
| 55    | 19,2    | 90,4  | 15,0  | 70,1      | 133,8 | 79,2   | 123,5     | 185,9 | 165,5 | 232,3     | 275,1 | 310,6  | 230,0     | 308,6 | 441,2  | 325,9      | 380,5  | 660,1  |
| 56    | 20,8    | 79,4  | 16,0  | 117,3     | 133,2 | 77,4   | 168,7     | 219,6 | 199,4 | 226,4     | 282,1 | 302,7  | 280,5     | 361,2 | 488,0  | 284,4      | 343,7  | 648,4  |
| 57    | 23,2    | 78,7  | 18,7  | 72,3      | 151,8 | 76,8   | 128,1     | 208,9 | 183,2 | 179,1     | 234,6 | 267,9  | 279,2     | 285,3 | 438,5  | 332,6      | 369,9  | 598,0  |
| 58    | 20,3    | 78,4  | 15,8  | 73,2      | 128,9 | 79,8   | 167,5     | 294,5 | 318,0 | 222,7     | 266,4 | 310,7  | 232,0     | 321,5 | 450,5  | 340,2      | 373,3  | 688,4  |
| 59    | 19,5    | 81,5  | 18,1  | 71,8      | 130,4 | 119,7  | 125,0     | 219,8 | 250,6 | 176,4     | 235,0 | 299,0  | 282,8     | 281,6 | 487,7  | 337,3      | 342,3  | 643,3  |
| 60    | 26,8    | 138,8 | 18,0  | 71,5      | 131,7 | 78,4   | 124,9     | 183,4 | 166,8 | 224,4     | 271,6 | 315,1  | 271,3     | 320,2 | 459,0  | 384,6      | 435,7  | 613,8  |
| 61    | 28,0    | 81,6  | 22,6  | 119,6     | 130,9 | 77,1   | 170,3     | 186,9 | 195,8 | 222,7     | 401,6 | 272,8  | 279,2     | 283,1 | 433,1  | 330,3      | 377,7  | 620,0  |
| 62    | 22,4    | 132,3 | 15,5  | 70,4      | 131,0 | 86,5   | 179,2     | 184,7 | 243,6 | 176,7     | 399,8 | 359,3  | 283,6     | 321,0 | 444,7  | 334,7      | 340,9  | 597,4  |
| 63    | 32,3    | 123,9 | 24,9  | 75,9      | 162,8 | 214,6  | 125,6     | 223,2 | 298,8 | 234,8     | 614,3 | 320,6  | 273,1     | 288,3 | 461,4  | 280,0      | 1565,0 | 619,1  |
| 64    | 29,5    | 115,1 | 16,3  | 70,5      | 133,0 | 125,5  | 733,0     | 180,0 | 174,1 | 180,4     | 406,8 | 319,7  | 228,8     | 321,8 | 441,8  | 333,6      | 381,2  | 625,7  |
| 65    | 38,3    | 79,8  | 15,5  |           |       |        |           |       |       |           |       |        |           |       |        |            |        |        |



| Testi | 0 riviã |       |      | 200 riviã |       |       | 400 riviã |       |       | 600 riviã |       |        | 800 riviã |        |        | 1000 riviã |       |        |
|-------|---------|-------|------|-----------|-------|-------|-----------|-------|-------|-----------|-------|--------|-----------|--------|--------|------------|-------|--------|
|       | A       | BO    | OB   | A         | BO    | OB    | A         | BO    | OB    | A         | BO    | OB     | A         | BO     | OB     | A          | BO    | OB     |
| 68    | 29,2    | 101,9 | 15,6 | 103,7     | 162,0 | 79,9  | 126,4     | 189,0 | 174,0 | 182,0     | 267,9 | 547,3  | 280,8     | 320,2  | 495,5  | 330,6      | 402,4 | 641,0  |
| 69    | 29,3    | 124,4 | 17,1 | 70,6      | 162,6 | 108,3 | 139,6     | 182,7 | 194,5 | 224,3     | 240,6 | 530,5  | 271,2     | 283,4  | 450,7  | 280,3      | 398,5 | 680,8  |
| 70    | 28,7    | 189,2 | 22,5 | 103,9     | 192,7 | 82,9  | 168,5     | 230,8 | 162,2 | 176,3     | 263,7 | 432,5  | 229,4     | 317,3  | 439,8  | 329,7      | 392,1 | 601,3  |
| 71    | 31,5    | 84,4  | 15,8 | 74,3      | 133,5 | 76,5  | 131,1     | 189,1 | 164,3 | 231,3     | 292,8 | 327,3  | 334,6     | 288,3  | 445,3  | 1153,2     | 346,5 | 619,8  |
| 72    | 23,4    | 98,2  | 15,9 | 103,0     | 134,5 | 86,0  | 124,1     | 237,3 | 195,8 | 179,1     | 242,9 | 309,8  | 275,0     | 320,0  | 429,9  | 319,6      | 404,4 | 625,4  |
| 73    | 19,4    | 83,5  | 18,0 | 72,1      | 129,1 | 79,0  | 170,0     | 220,1 | 164,4 | 906,1     | 263,3 | 341,6  | 230,2     | 292,1  | 1558,2 | 329,3      | 346,2 | 646,3  |
| 74    | 19,1    | 86,1  | 23,0 | 70,7      | 163,6 | 115,7 | 123,4     | 187,3 | 202,5 | 259,4     | 242,7 | 293,6  | 278,9     | 308,9  | 434,1  | 382,3      | 367,6 | 618,2  |
| 75    | 35,3    | 91,8  | 24,5 | 89,0      | 148,5 | 84,4  | 175,5     | 187,6 | 167,5 | 188,1     | 282,2 | 275,6  | 277,5     | 336,3  | 463,2  | 331,9      | 434,7 | 593,7  |
| 76    | 26,6    | 86,1  | 25,4 | 75,5      | 176,8 | 79,9  | 126,5     | 192,5 | 201,3 | 222,8     | 241,5 | 330,6  | 228,0     | 311,1  | 567,4  | 281,3      | 343,6 | 616,7  |
| 77    | 19,3    | 105,6 | 18,5 | 113,6     | 177,8 | 77,6  | 122,3     | 226,2 | 169,5 | 180,5     | 237,9 | 301,8  | 281,5     | 285,2  | 454,2  | 337,8      | 379,5 | 1483,0 |
| 78    | 19,1    | 116,3 | 17,0 | 121,1     | 132,9 | 79,8  | 172,4     | 183,5 | 199,0 | 224,1     | 258,4 | 309,0  | 1054,0    | 303,7  | 449,6  | 327,7      | 371,5 | 651,3  |
| 79    | 19,6    | 261,8 | 23,5 | 85,0      | 155,3 | 108,9 | 132,8     | 188,1 | 168,8 | 178,5     | 241,6 | 269,5  | 227,7     | 310,1  | 466,6  | 328,8      | 340,9 | 693,9  |
| 80    | 81,5    | 153,1 | 17,1 | 71,2      | 126,5 | 79,5  | 121,8     | 207,4 | 167,7 | 222,1     | 261,0 | 299,6  | 320,3     | 295,6  | 427,8  | 328,0      | 387,2 | 588,5  |
| 81    | 40,8    | 157,3 | 15,6 | 75,8      | 133,1 | 76,8  | 175,8     | 187,7 | 252,4 | 176,4     | 238,8 | 304,5  | 272,8     | 322,1  | 442,7  | 333,1      | 383,2 | 667,4  |
| 82    | 30,0    | 139,1 | 18,1 | 113,3     | 129,8 | 78,1  | 123,9     | 186,7 | 173,9 | 224,5     | 266,9 | 307,0  | 229,1     | 281,8  | 434,1  | 332,0      | 338,4 | 613,6  |
| 83    | 27,9    | 139,3 | 15,3 | 71,8      | 129,3 | 111,6 | 121,5     | 184,8 | 191,6 | 176,1     | 236,8 | 293,4  | 277,4     | 323,0  | 440,5  | 330,4      | 379,6 | 593,3  |
| 84    | 28,7    | 134,1 | 16,8 | 71,0      | 132,9 | 80,7  | 173,0     | 216,5 | 163,9 | 223,2     | 234,1 | 267,5  | 272,9     | 337,4  | 438,5  | 329,5      | 433,4 | 624,3  |
| 85    | 20,5    | 143,3 | 15,4 | 70,9      | 156,3 | 80,6  | 126,2     | 186,1 | 200,8 | 179,9     | 269,9 | 307,5  | 227,7     | 317,6  | 426,7  | 328,8      | 339,4 | 656,3  |
| 86    | 21,6    | 203,6 | 17,5 | 72,1      | 433,6 | 80,7  | 124,6     | 225,0 | 163,5 | 219,6     | 241,4 | 309,1  | 280,5     | 287,8  | 631,5  | 337,4      | 389,4 | 584,4  |
| 87    | 30,2    | 107,0 | 17,1 | 115,6     | 237,3 | 78,6  | 170,5     | 260,3 | 197,3 | 354,6     | 267,8 | 309,6  | 274,4     | 1633,4 | 450,7  | 331,4      | 388,3 | 618,5  |
| 88    | 23,4    | 94,5  | 22,4 | 72,2      | 238,8 | 111,2 | 138,3     | 181,6 | 164,9 | 183,1     | 236,1 | 271,2  | 279,3     | 289,7  | 448,5  | 280,9      | 335,0 | 707,1  |
| 89    | 23,5    | 79,8  | 16,2 | 70,8      | 246,6 | 77,4  | 121,9     | 880,2 | 198,3 | 224,0     | 290,1 | 362,7  | 277,1     | 307,1  | 434,6  | 384,1      | 450,1 | 683,0  |
| 90    | 42,3    | 86,2  | 20,9 | 69,8      | 217,6 | 89,4  | 233,8     | 185,6 | 205,2 | 177,2     | 271,3 | 317,7  | 276,1     | 282,6  | 445,7  | 1133,1     | 338,3 | 769,1  |
| 91    | 28,4    | 85,3  | 16,1 | 72,1      | 273,6 | 77,6  | 126,3     | 186,3 | 164,0 | 228,9     | 239,0 | 304,9  | 227,5     | 313,3  | 437,0  | 317,7      | 369,5 | 592,4  |
| 92    | 28,0    | 102,3 | 16,8 | 70,6      | 253,2 | 77,4  | 125,5     | 184,0 | 197,0 | 232,0     | 263,5 | 303,9  | 275,0     | 287,5  | 435,0  | 323,3      | 430,7 | 630,3  |
| 93    | 27,8    | 82,2  | 15,3 | 121,1     | 243,1 | 108,4 | 169,2     | 208,4 | 165,6 | 220,3     | 235,4 | 273,6  | 277,3     | 356,8  | 547,5  | 358,1      | 344,2 | 624,5  |
| 94    | 22,6    | 87,3  | 15,4 | 70,3      | 222,9 | 90,3  | 162,4     | 241,9 | 196,8 | 176,0     | 239,0 | 1342,7 | 226,8     | 323,7  | 447,1  | 331,7      | 384,4 | 588,0  |
| 95    | 19,0    | 87,6  | 15,5 | 70,4      | 220,4 | 79,2  | 267,2     | 454,0 | 161,4 | 240,5     | 268,1 | 300,3  | 281,1     | 278,2  | 489,7  | 283,0      | 370,3 | 630,1  |
| 96    | 18,9    | 79,6  | 16,6 | 72,3      | 216,7 | 75,8  | 189,7     | 392,1 | 195,7 | 179,4     | 240,3 | 303,1  | 275,7     | 323,8  | 441,9  | 389,8      | 343,2 | 643,3  |
| 97    | 19,0    | 79,8  | 22,6 | 70,3      | 136,8 | 78,2  | 126,0     | 273,1 | 162,0 | 223,5     | 261,9 | 273,6  | 332,2     | 289,7  | 445,9  | 327,3      | 379,0 | 620,2  |
| 98    | 24,8    | 117,0 | 15,1 | 117,5     | 130,0 | 116,5 | 168,2     | 184,0 | 200,3 | 218,5     | 281,6 | 312,7  | 226,3     | 322,2  | 437,8  | 329,8      | 378,2 | 620,6  |
| 99    | 19,8    | 72,8  | 18,6 | 70,5      | 130,6 | 77,5  | 121,8     | 219,4 | 160,5 | 175,9     | 242,5 | 303,4  | 279,3     | 283,2  | 603,1  | 331,6      | 392,8 | 589,5  |
| 100   | 26,1    | 88,5  | 16,9 | 70,2      | 130,4 | 79,1  | 123,3     | 185,7 | 191,8 | 219,3     | 264,2 | 311,2  | 278,6     | 319,6  | 428,8  | 325,1      | 377,9 | 1446,3 |
| 101   | 21,5    | 89,3  | 15,4 | 74,5      | 141,5 | 78,1  | 172,5     | 184,1 | 168,1 | 180,7     | 287,0 | 298,6  | 226,1     | 290,2  | 520,9  | 279,1      | 374,1 | 574,4  |
| KH    | 8,2     | 29,1  | 4,2  | 69,2      | 47,2  | 95,4  | 64,8      | 77,8  | 28,9  | 105,5     | 50,3  | 146,2  | 137,6     | 134,5  | 148,9  | 184,8      | 121,6 | 186,4  |
| KA    | 24,7    | 95,4  | 18,4 | 91,4      | 162,8 | 98,6  | 153,2     | 214,7 | 190,0 | 227,8     | 267,2 | 336,4  | 292,8     | 324,3  | 480,6  | 374,2      | 387,6 | 677,3  |

## Ostotilausaineiston suoritusajat vaiheittain 1000 tilausrivillä

Tulokset on mitattu System.currentTimeMillis-metodilla, koska Oracle BPEL Process Managerin käyttämä Java-versio ei mahdollistanut System.nanoTime-metodin käyttämistä.

| Testi | ActiveBPEL        |                  |                      | BSOA Orchestra    |                  |                      | Oracle BPEL Process Manager |                  |                      |
|-------|-------------------|------------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|
|       | Pyynnön käsittely | Tiedon kopiointi | Vastauksen käsittely | Pyynnön käsittely | Tiedon kopiointi | Vastauksen käsittely | Pyynnön käsittely           | Tiedon kopiointi | Vastauksen käsittely |
| 1     | 563               | 15               | 328                  | 703               | 47               | 234                  | 531                         | 62               | 579                  |
| 2     | 266               | 0                | 156                  | 250               | 79               | 140                  | 171                         | 47               | 453                  |
| 3     | 157               | 15               | 250                  | 235               | 31               | 172                  | 141                         | 47               | 547                  |
| 4     | 156               | 16               | 125                  | 281               | 31               | 110                  | 156                         | 47               | 500                  |
| 5     | 234               | 16               | 125                  | 234               | 31               | 110                  | 125                         | 47               | 453                  |
| 6     | 156               | 0                | 125                  | 265               | 31               | 110                  | 141                         | 46               | 485                  |
| 7     | 235               | 15               | 125                  | 234               | 31               | 141                  | 125                         | 47               | 1141                 |
| 8     | 157               | 15               | 203                  | 219               | 31               | 109                  | 125                         | 62               | 454                  |
| 9     | 188               | 0                | 172                  | 266               | 31               | 172                  | 125                         | 78               | 500                  |
| 10    | 172               | 0                | 203                  | 219               | 31               | 110                  | 125                         | 47               | 468                  |
| 11    | 141               | 16               | 125                  | 281               | 31               | 109                  | 141                         | 47               | 469                  |
| 12    | 234               | 0                | 141                  | 235               | 31               | 109                  | 109                         | 47               | 500                  |
| 13    | 156               | 0                | 125                  | 250               | 32               | 109                  | 94                          | 62               | 484                  |
| 14    | 234               | 16               | 125                  | 234               | 63               | 109                  | 94                          | 47               | 500                  |
| 15    | 156               | 16               | 1359                 | 235               | 15               | 172                  | 94                          | 47               | 547                  |
| 16    | 156               | 16               | 172                  | 266               | 31               | 109                  | 109                         | 47               | 500                  |
| 17    | 203               | 0                | 266                  | 219               | 31               | 141                  | 94                          | 78               | 578                  |
| 18    | 250               | 0                | 171                  | 281               | 32               | 109                  | 94                          | 62               | 500                  |
| 19    | 235               | 0                | 140                  | 266               | 31               | 140                  | 109                         | 63               | 469                  |
| 20    | 141               | 16               | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 94                          | 78               | 485                  |
| 21    | 234               | 0                | 125                  | 265               | 32               | 109                  | 93                          | 63               | 484                  |
| 22    | 156               | 16               | 187                  | 234               | 32               | 156                  | 94                          | 62               | 547                  |
| 23    | 157               | 0                | 187                  | 266               | 31               | 109                  | 94                          | 63               | 500                  |
| 24    | 235               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 141                  | 109                         | 47               | 484                  |
| 25    | 156               | 15               | 125                  | 219               | 31               | 109                  | 110                         | 93               | 532                  |
| 26    | 219               | 16               | 125                  | 281               | 16               | 109                  | 171                         | 141              | 594                  |
| 27    | 156               | 16               | 125                  | 235               | 31               | 109                  | 156                         | 156              | 625                  |
| 28    | 234               | 0                | 125                  | 266               | 31               | 94                   | 110                         | 828              | 406                  |
| 29    | 156               | 0                | 203                  | 281               | 63               | 250                  | 109                         | 79               | 515                  |
| 30    | 157               | 0                | 140                  | 422               | 47               | 156                  | 110                         | 78               | 453                  |
| 31    | 219               | 16               | 172                  | 406               | 63               | 171                  | 109                         | 78               | 469                  |
| 32    | 156               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 94                          | 125              | 547                  |
| 33    | 234               | 0                | 141                  | 281               | 31               | 110                  | 109                         | 47               | 453                  |
| 34    | 140               | 16               | 188                  | 218               | 32               | 109                  | 141                         | 47               | 468                  |
| 35    | 156               | 0                | 125                  | 266               | 31               | 109                  | 125                         | 63               | 469                  |
| 36    | 156               | 16               | 187                  | 235               | 15               | 188                  | 140                         | 47               | 531                  |
| 37    | 156               | 16               | 125                  | 219               | 31               | 109                  | 125                         | 47               | 531                  |
| 38    | 219               | 15               | 172                  | 266               | 31               | 109                  | 125                         | 63               | 453                  |
| 39    | 157               | 15               | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 109                         | 63               | 453                  |
| 40    | 235               | 0                | 125                  | 265               | 32               | 109                  | 125                         | 47               | 484                  |
| 41    | 156               | 15               | 188                  | 234               | 32               | 109                  | 110                         | 47               | 468                  |
| 42    | 156               | 0                | 125                  | 250               | 31               | 110                  | 125                         | 47               | 469                  |
| 43    | 156               | 0                | 204                  | 250               | 93               | 157                  | 109                         | 63               | 484                  |
| 44    | 171               | 0                | 125                  | 218               | 63               | 125                  | 94                          | 78               | 516                  |
| 45    | 235               | 0                | 187                  | 266               | 31               | 109                  | 109                         | 47               | 484                  |
| 46    | 141               | 16               | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 94                          | 63               | 1140                 |
| 47    | 218               | 16               | 125                  | 297               | 47               | 109                  | 94                          | 62               | 469                  |
| 48    | 156               | 16               | 187                  | 219               | 31               | 141                  | 110                         | 62               | 469                  |
| 49    | 172               | 16               | 125                  | 234               | 32               | 109                  | 94                          | 62               | 500                  |
| 50    | 156               | 78               | 141                  | 312               | 32               | 109                  | 94                          | 62               | 469                  |
| 51    | 140               | 16               | 141                  | 219               | 31               | 109                  | 109                         | 47               | 485                  |
| 52    | 218               | 16               | 172                  | 266               | 31               | 110                  | 172                         | 46               | 485                  |
| 53    | 156               | 0                | 578                  | 218               | 32               | 109                  | 94                          | 62               | 469                  |
| 54    | 313               | 0                | 125                  | 250               | 31               | 110                  | 109                         | 47               | 484                  |
| 55    | 156               | 0                | 1172                 | 218               | 79               | 109                  | 94                          | 94               | 469                  |
| 56    | 141               | 15               | 125                  | 219               | 31               | 109                  | 93                          | 94               | 438                  |
| 57    | 219               | 0                | 125                  | 282               | 31               | 156                  | 93                          | 94               | 485                  |
| 58    | 156               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 109                  | 109                         | 94               | 562                  |
| 59    | 235               | 0                | 187                  | 266               | 31               | 110                  | 94                          | 94               | 437                  |

| Testi | ActiveBPEL        |                  |                      | BSOA Orchestra    |                  |                      | Oracle BPEL Process Manager |                  |                      |
|-------|-------------------|------------------|----------------------|-------------------|------------------|----------------------|-----------------------------|------------------|----------------------|
|       | Pyynnön käsittely | Tiedon kopiointi | Vastauksen käsittely | Pyynnön käsittely | Tiedon kopiointi | Vastauksen käsittely | Pyynnön käsittely           | Tiedon kopiointi | Vastauksen käsittely |
| 60    | 156               | 0                | 250                  | 218               | 32               | 140                  | 156                         | 47               | 500                  |
| 61    | 157               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 141                         | 47               | 594                  |
| 62    | 156               | 0                | 203                  | 250               | 31               | 125                  | 140                         | 63               | 437                  |
| 63    | 156               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 109                  | 141                         | 62               | 438                  |
| 64    | 235               | 0                | 140                  | 266               | 31               | 156                  | 140                         | 47               | 453                  |
| 65    | 156               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 141                  | 141                         | 63               | 1156                 |
| 66    | 219               | 16               | 125                  | 219               | 31               | 109                  | 125                         | 47               | 453                  |
| 67    | 140               | 16               | 203                  | 282               | 31               | 172                  | 125                         | 62               | 453                  |
| 68    | 203               | 0                | 141                  | 219               | 31               | 109                  | 141                         | 47               | 500                  |
| 69    | 141               | 15               | 188                  | 266               | 31               | 109                  | 125                         | 47               | 469                  |
| 70    | 156               | 16               | 125                  | 235               | 31               | 109                  | 187                         | 63               | 500                  |
| 71    | 218               | 16               | 125                  | 266               | 31               | 157                  | 125                         | 62               | 500                  |
| 72    | 156               | 0                | 125                  | 1343              | 32               | 109                  | 94                          | 62               | 469                  |
| 73    | 235               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 125                  | 94                          | 47               | 500                  |
| 74    | 156               | 0                | 187                  | 219               | 31               | 109                  | 109                         | 47               | 469                  |
| 75    | 157               | 0                | 187                  | 266               | 31               | 156                  | 109                         | 47               | 484                  |
| 76    | 141               | 15               | 203                  | 266               | 31               | 110                  | 94                          | 63               | 656                  |
| 77    | 157               | 0                | 125                  | 265               | 32               | 140                  | 109                         | 47               | 484                  |
| 78    | 234               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 156                  | 110                         | 47               | 515                  |
| 79    | 156               | 0                | 141                  | 250               | 32               | 93                   | 110                         | 47               | 484                  |
| 80    | 219               | 0                | 125                  | 235               | 62               | 110                  | 109                         | 47               | 500                  |
| 81    | 156               | 0                | 203                  | 218               | 32               | 109                  | 110                         | 46               | 500                  |
| 82    | 141               | 15               | 203                  | 266               | 15               | 125                  | 110                         | 47               | 484                  |
| 83    | 235               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 109                         | 47               | 485                  |
| 84    | 156               | 16               | 125                  | 281               | 31               | 94                   | 172                         | 828              | 406                  |
| 85    | 218               | 16               | 125                  | 234               | 32               | 140                  | 94                          | 93               | 469                  |
| 86    | 156               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 156                  | 94                          | 94               | 437                  |
| 87    | 219               | 16               | 125                  | 266               | 31               | 110                  | 94                          | 94               | 453                  |
| 88    | 140               | 16               | 187                  | 234               | 16               | 125                  | 94                          | 93               | 438                  |
| 89    | 157               | 0                | 125                  | 250               | 31               | 109                  | 94                          | 93               | 453                  |
| 90    | 281               | 0                | 141                  | 219               | 47               | 141                  | 110                         | 78               | 437                  |
| 91    | 140               | 16               | 125                  | 250               | 15               | 110                  | 110                         | 94               | 437                  |
| 92    | 219               | 15               | 125                  | 234               | 62               | 110                  | 141                         | 47               | 515                  |
| 93    | 141               | 15               | 204                  | 219               | 31               | 125                  | 141                         | 47               | 468                  |
| 94    | 140               | 16               | 125                  | 312               | 32               | 109                  | 141                         | 47               | 453                  |
| 95    | 156               | 0                | 203                  | 219               | 31               | 109                  | 125                         | 47               | 453                  |
| 96    | 188               | 15               | 125                  | 297               | 31               | 110                  | 125                         | 63               | 437                  |
| 97    | 1203              | 16               | 172                  | 219               | 31               | 140                  | 141                         | 62               | 453                  |
| 98    | 156               | 0                | 125                  | 219               | 31               | 110                  | 188                         | 62               | 453                  |
| 99    | 219               | 0                | 125                  | 265               | 32               | 109                  | 125                         | 47               | 453                  |
| 100   | 156               | 16               | 187                  | 219               | 47               | 93                   | 125                         | 47               | 532                  |
| 101   | 157               | 0                | 125                  | 266               | 31               | 157                  | 109                         | 62               | 469                  |
| KH    | 109,0             | 10,5             | 165,2                | 114,3             | 12,6             | 24,9                 | 22,9                        | 109,2            | 120,1                |
| KA    | 192,0             | 8,0              | 178,1                | 259,1             | 34,4             | 123,4                | 118,0                       | 78,0             | 505,1                |

## Liite 2: Synkronoivan yhdistämisen BPEL-toteutus

*testi.bpel:*

```
<process name="testi"
  targetNamespace="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi"
  xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2003/03/business-process/"
  xmlns:bpws="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2003/03/business-process/"
  xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
  xmlns:asiakas="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi">
  <partnerLinks>
    <partnerLink name="asiakas" partnerLinkType="asiakas:testi"
      myRole="palveluntarjoaja"/>
  </partnerLinks>
  <variables>
    <variable name="syote" messageType="asiakas:suoritaProsessiSyote"/>
    <variable name="tulos" messageType="asiakas:suoritaProsessiTulos"/>
    <variable name="a" type="xsd:string"/>
    <variable name="b" type="xsd:string"/>
  </variables>
  <sequence name="main">
    <receive partnerLink="asiakas" portType="asiakas:testi"
      operation="suoritaProsessi" variable="syote"
      createInstance="yes"/>
    <assign>
      <copy>
        <from>
          <suoritaProsessiVastaus
            xmlns="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi">
            <vastaus/>
          </suoritaProsessiVastaus>
        </from>
        <to variable="tulos" part="vastaus"/>
      </copy>
    </assign>
    <assign>
      <copy>
        <from variable="syote" part="pyynto"
          query="/asiakas:suoritaProsessiPyynto/asiakas:syote"/>
        <to variable="tulos" part="vastaus"
          query="/asiakas:suoritaProsessiVastaus/asiakas:vastaus"/>
      </copy>
    </assign>
    <flow>
      <links>
        <link name="L1"/>
        <link name="L2"/>
        <link name="L1s"/>
        <link name="L2s"/>
      </links>
      <empty>
        <source linkName="L1" transitionCondition="contains('testitapaus',
          bpws:getVariableData('syote', 'pyynto',
            '/asiakas:suoritaProsessiPyynto/asiakas:syote'))"/>
        <source linkName="L2"
          transitionCondition="contains('suorituskykytesti',
            bpws:getVariableData('syote', 'pyynto',
```

```

        '/asiakas:suoritaProsessiPyynto/asiakas:syote'))"/>
</empty>
<assign>
  <target linkName="L1"/>
  <source linkName="L1s"/>
  <copy>
    <from expression="1"/>
    <to variable="a"/>
  </copy>
</assign>
<assign>
  <target linkName="L2"/>
  <source linkName="L2s"/>
  <copy>
    <from expression="2"/>
    <to variable="b"/>
  </copy>
</assign>
<assign joinCondition="bpws:getLinkStatus('L1s') or
                      bpws:getLinkStatus('L2s')">
  <target linkName="L1s"/>
  <target linkName="L2s"/>
  <copy>
    <from expression="concat(bpws:getVariableData('tulos',
                          'vastaus',
                          '/asiakas:suoritaProsessiVastaus/asiakas:vastaus'),
                          bpws:getVariableData('a'),
                          bpws:getVariableData('b'))"/>
    <to variable="tulos" part="vastaus"
        query="/asiakas:suoritaProsessiVastaus/asiakas:vastaus"/>
  </copy>
</assign>
</flow>
<reply partnerLink="asiakas" portType="asiakas:testi"
        operation="suoritaProsessi" variable="tulos"/>
</sequence>
</process>

```

### *testi.wSDL:*

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<definitions name="testi"
  targetNamespace="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi"
  xmlns="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/"
  xmlns:asiakas="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi"
  xmlns:plnk="http://schemas.xmlsoap.org/ws/2003/05/partner-link/"
  xmlns:soap="http://schemas.xmlsoap.org/wsdl/soap/">
  <types>
    <schema attributeFormDefault="qualified"
      elementFormDefault="qualified"
      targetNamespace="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/testi"
      xmlns="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
      <element name="suoritaProsessiPyynto">
        <complexType>
          <sequence>
            <element name="syote" type="string"/>
          </sequence>
        </complexType>
      </element>
      <element name="suoritaProsessiVastaus">

```

```

    <complexType>
      <sequence>
        <element name="vastaus" type="string"/>
      </sequence>
    </complexType>
  </element>
</schema>
</types>
<message name="suoritaProsessiSyote">
  <part name="pyynto" element="asiakas:suoritaProsessiPyynto"/>
</message>
<message name="suoritaProsessiTulos">
  <part name="vastaus"
    element="asiakas:suoritaProsessiVastaus"/>
</message>
<portType name="testi">
  <operation name="suoritaProsessi">
    <input message="asiakas:suoritaProsessiSyote"/>
    <output message="asiakas:suoritaProsessiTulos"/>
  </operation>
</portType>
<plnk:partnerLinkType name="testi">
  <plnk:role name="palveluntarjoaja">
    <plnk:portType name="asiakas:testi"/>
  </plnk:role>
</plnk:partnerLinkType>
<binding name="Testisidonta" type="asiakas:testi">
  <soap:binding style="document"
    transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
  <operation name="suoritaProsessi">
    <soap:operation
      soapAction="http://cs.joensuu.fi/jvirtan/suoritaProsessi"/>
    <input>
      <soap:body use="literal"/>
    </input>
    <output>
      <soap:body use="literal"/>
    </output>
  </operation>
</binding>
<service name="Testipalvelu">
  <port name="Testiportti" binding="asiakas:Testisidonta">
    <soap:address location="http://localhost/testiprosessi"/>
  </port>
</service>
</definitions>

```

*Oracle BPEL Process Managerin käyttöönottokuvain bpel.xml:*

```

<?xml version = '1.0' encoding = 'UTF-8'?>
<BPELSuitcase>
  <BPELProcess id="testi" src="testi.bpel">
    <partnerLinkBindings>
      <partnerLinkBinding name="asiakas">
        <property name="wsdlLocation">testi.wsdl</property>
      </partnerLinkBinding>
    </partnerLinkBindings>
    <configurations>
      <property name="inMemoryOptimization"
        encryption="plaintext">true</property>
    </configurations>
  </BPELProcess>
</BPELSuitcase>

```

```
        <property name="completionPersistPolicy"
            encryption="plaintext">off</property>
    </configurations>
</BPELProcess>
</BPELSuitcase>
```