

Simulointimallit maksu- ja selvitysjärjestelmien uutena tutkimusvälineenä

Harry Leinonen

Jobtokunnan neuvonantaja

Suomen Pankki

Taustaa

Kiinnostus pankkienvälisen maksu- ja selvitysjärjestelmien tutkimiseen ja kehittämiseen on lisääntynyt viimeisten 10–15 vuoden aikana. Erityiset keskuspankit ovat panostaneet tähän erityisalueeseen. Keskeisiä syitä tähän ovat olleet kansainvälinen yhteistyö, tekniikan kehitys, aikaisempaa suurempi riippuvuus maksujärjestelmien toimivuudesta ja erilaisten riskinäkökulmien korostuminen. Merkittävintä kansainvälinen yhteistyö on ollut EMU-alueella, jolla maksujärjestelmien yhteenliittyminen on ollut laajaa ja tavoitteena on ollut saada aikaan täysin yhtenäinen maksujärjestelmä-alue. Keskeisiä viranomaisfoorumeita ovat olleet G10-maiden keskuspankkien ja Euroopan keskuspankkijärjestelmän maksujärjestelmäkomiteat sekä Euroopan komission työryhmät.

Suomen Pankissa on usean vuoden aikana analysoitu maksujärjestelmäkysymyksiä simulointivälineitä käyttäen. Tämä tutkimussuuntaus sai alkunsa, kun Suomi oli siirtymässä EMUun ja tarvittiin arvioita uusien maksu- ja

katteensiirtokäytäntöjen vaikutuksista suomalaisiin maksujärjestelmiin. Tätä varten rakennettiin ensimmäinen maksujärjestelmäsimulaattori. Se osoittautui erinomaiseksi työvälineeksi selvitetessä likviditeettitarpeita ja systeemiriskejä. Muidenkin maiden keskuspankit kiinnostuivat ensimmäisen simulaattorin käytöstä, vaikka sitä ei ollut rakennettu ulkopuolista käyttöä varten.

Saatujen kokemusten perusteella Suomen Pankki päätti rakentaa uuden ja entistä monipuolisemman simulaattorin, joka olisi erityisesti suunniteltu itsenäistä käyttöä ja kansainvälistä levitystä varten. Uusi simulaattori, BoF-PSS2, valmistui keväällä 2004 ja on saatavissa veloituksetta tutkimuskäyttöön.

Tämän artikkelin tavoitteena on esitellä maksujärjestelmiin liittyviä peruskysymyksiä ja tutkimusalueita, joilla on käytetty simulointimalleja, sekä Suomen Pankin simulaattorin käyttömahdollisuuksia. Tarkempi kuvaus maksujärjestelmien ominaisuuksista ja kiinnostavista

ta simulointitutkimuksien kohteista löytyy Suomen Pankin keskustelualoitteesta numero 23/2003 (Leinonen ja Soramäki 2003).

Simulointitekniikan tarjoamia mahdollisuuksia

Maksu- ja selvitysjärjestelmien kehittäminen on useimmiten käytännönläheistä systeemisuunnittelua ja operatiivista toimintaa. Analysoinnissa käsitellään suuria tieto- ja tapahtumamääriä. Simulointitekniikka tarjoaa mahdollisuuden rakentaa todellisuutta lähellä olevia malleja. Tavanomaisten differentiaaliansalyysiin perustuvien ekonometristen mallien ominaisuudet ovat useimmiten liian rajalliset kuvaamaan riittävän yksityiskohtaisesti maksujärjestelmien eri ulottuvuuksia. Maksujärjestelmien sisällä ja välillä on merkittäviä riippuvuuksia. Päätöksenteko- ja käyttäytymissäännöt ovat luonteeltaan heuristisia ja toisista osapuolista ja tilanteista riippuvia. Maksujärjestelmien mallintamisessa tarvitaan sen vuoksi mahdollisuuksia kuvata erilaisia käyttäytymismalleja.

Todellisuutta lähellä oleva simulointimalli tarjoaa eräänlaisen laboratorioympäristön, jossa voidaan analysoida erilaisten rakennevaihtoehtojen ja päätösparametrien todennäköisiä vaikutuksia maksuvirtoihin ja järjestelmien osallistujiin. Toimivat maksujärjestelmät ovat niin herkkiä, ettei niissä päivittäistä toimintaa vaarantamatta voi tehdä suoraan kokeiluja. Merkittävän tutkimusalueen muodostavat myös erilaiset kriisiskenaariot ja niihin varautuminen. Tällaisten kriisitilanteiden toteutuminen on erittäin harvinaista, ja simulointimallit tarjoavat mahdollisuuden ennakkovalmentautumiseen käytännön tilannetta lähellä olevassa ympäristössä.

Simulointimalleilla on kuitenkin merkittäviä rajoituksia. Mahdolliset optimointianalyy-

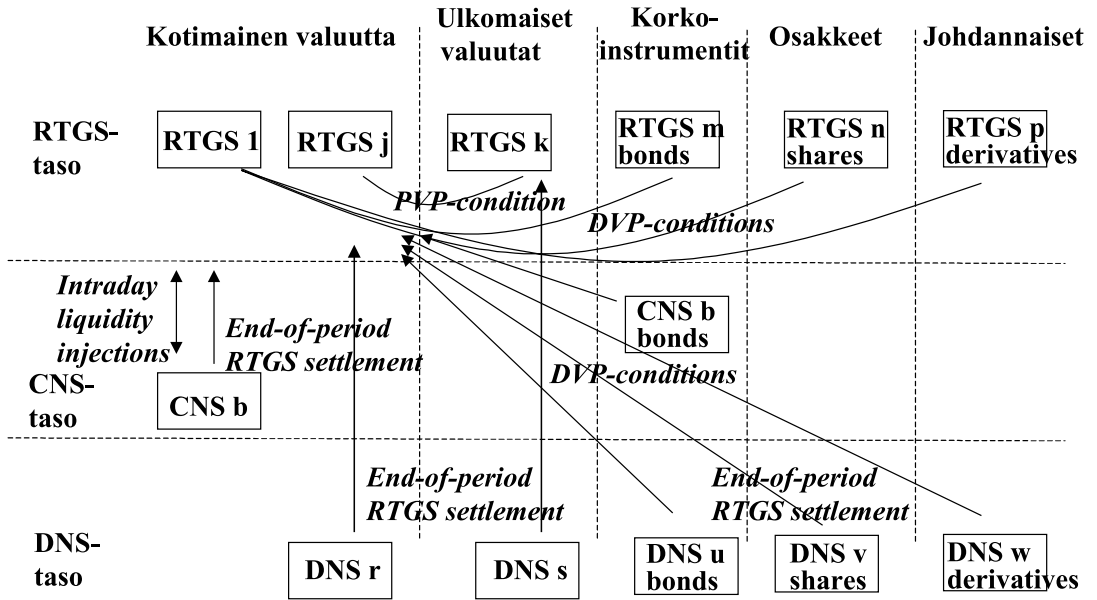
sit joudutaan tekemään enumeraatiota ("hakuammuntaa") käyttäen, mistä syystä varsinaisen optimiratkaisu voi jäädä havaitsematta. Käyttäytymismalleissa ja -oletuksissa voi olla puutteita, ja tällöin ne eivät vastaa todellisuutta analysoitavassa erikoistilanteessa. Käytännössä simulointi historiallisia maksuvirtoja käyttäen on yksinkertaisinta, mutta tällöin muutokset maksuvirroissa voivat jäädä huomiotta.

Maksujärjestelmien perusrakenteet

Perinteiset maksujärjestelmät ovat toimineet eräpohjaisesti järjestelmäkohtaisen päiväaika- taulun mukaan. Päivän päättyessä on laskettu jokaisen mukana olevan pankin kokonaisnettokate käsiteltyjen yksittäisten maksujen osalta. Katteet on tavallisesti siirretty näissä nettojärjestelmissä (DNS = deferred net settlement systems) keskuspankkien tileillä tietyllä viiveellä. Maksujen välityksen nopeuttamiseksi ja erityisesti suuria maksuja varten kehitettiin yksityisiä online-järjestelmiä, joita on kutsuttu jatkuvan nettoutuksen järjestelmiksi (CNS = Continuous net settlement systems). Koska nettoutusjärjestelmissä voi esiintyä suuria pankkien välisiä luottoriskiposioita, viranomaiset ovat vaatineet niiden rajoittamista tai tarjonneet käytettäväksi keskuspankkien bruttoperusteisia maksujärjestelmiä (RTGS = real-time gross settlement system).

Maksu- ja selvitysjärjestelmät ovat useimmiten hierarkkinen kokonaisuus. Keskuspankkien RTGS-järjestelmät muodostavat siinä ylimmän tason, jolla suoritetaan isojen maksujen siirrot, pankkien välisten velkojen ja saatavien selvitys sekä muiden järjestelmien lopulliset katteensiirrot. Esimerkiksi Suomen Pankin RTGS-järjestelmässä (sekkitilijärjestelmässä) siirretään

Kuvio 1. Maksu- ja selvitysjärjestelmien hierarkkinen rakenne.



pankkien väliset katteet, jotka liittyvät muihin suomalaisiin järjestelmiin eli vähittäismaksujärjestelmään (PMJ = pankkien välinen maksuliikkejärjestelmä), pikasiirto- ja sekkijärjestelmään (POPS = pankkien on line pikasiirrot ja sekki järjestelmä) ja arvopaperimarkkinoiden selvitysjärjestelmiin (OM-järjestelmä osakkeille ja RM-järjestelmä korkoinstrumenteille). Kansainvälistä ulottuvuutta edustaa sekkitilijärjestelmän jatkuva yhteys Euroopan keskuspankkijärjestelmän TARGET-järjestelmään, jonka kautta suoritetaan yksityisten eurooppalaisten suurten maksujen järjestelmän (Euro1) ja kansainvälisen valuuttakauppojen selvitysjärjestelmän (CLS) katteet. Maksu- ja selvitysjärjestelmien verkon hierarkkista rakennetta on havainnollistettu kuviossa 1. Eri maksujärjestelmien riippuvuudet ovat olleet kiinnostava tutkimusalue (esim. Koponen – Soramäki, 1998).

Kuviossa 1 näkyy esimerkkejä yksinkertaisista ja mahdollisista katteensiirtoliittymistä. Arvopaperijärjestelmissä DVP-riippuvuudella ymmärretään delivery-versus-payment-vaatimusta, jossa arvopaperitoimituksen ehtona on maksaminen samanaikaisesti. PVP-riippuvuus taas viittaa valuuttakaupan selvitykseen payment-versus-payment-periaatteella. Siinä maksu yhdessä valuutassa toteutuu vain samanaikaisesti toisen valuutan määräistä maksua vastaan. DVP- ja PVP-käytännöt on luotu selvitysriskien vähentämiseksi.

Riskinäkökulmat

Nettojärjestelmissä voi esiintyä suuria pankkien välisiä riskipositioita, kun pankki ottaa vastuun saapuvasta maksusta asiakkaaseen nähden ilman, että pankkien välistä katetta on

siirretty. G-10-maiden keskuspankkien maksujärjestelmäkomitea kiinnitti huomiota tähän riskiin nk. Lamfalussy-raportissaan (BIS 1990). Sen seurauksena viranomaiset ryhtyivät vaatimaan riskien rajoittamista limiitein ja vakuuksin yksityisissä nettojärjestelmissä. Raportti oli omiaan edistämään myös keskuspankkien RTGS-järjestelmien kehittämistä (BIS 1997). Merkittävien maksujärjestelmien riskienvähentämissuosituksia tarkennettiin vielä yleisten periaatteiden luettelolla (BIS 2001).

Vastapuoliriskit voivat eräissä maksujärjestelmissä olla niin suuret, että syntyy dominoefektin vaara. Yhden osapuolen rahoitusongelmat voivat välittyä maksujärjestelmien kautta muille osapuolille, jolloin rahoitussektori voi kokonaisuudessaan olla uhattuna. Tätä riskiä on kutsuttu systeemiriskiksi (systemic risk). Maksujärjestelmien integroituminen on kasvattanut riskejä systeemiriskitilanteiden nopeaan ja laajaan leviämiseen kansainvälisesti. Viranomaiset ovat pyrkineet tehokkaasti rajoittamaan tämän riskin toteutumistodennäköisyyttä esimerkiksi vaatimalla bruttokatteensirtoja ja vakuuksia kaikille merkittävillä vastapuolipositioille. Systeemiriskit ovat myös olleet merkittävä tutkimuskohde (esim. Bech – Madsen – Natorp 2002 ja Kuussaari 1996).

Likviditeettiriski puolestaan liittyy likviditeetin eli selvitysvarojen riittämättömyyteen. Pankit pyrkivät ennakoimaan tulevaa likviditeettitarvettaan. Maksuvirroissa on kuitenkin stokastisia muutoksia, joiden ennustettavuus on heikko. Tämä saattaa muodostua ongelmaksi erityisesti tilanteissa, joissa markkinoilla on häiriöitä tai muilla järjestelmään osallistuvilla pankeilla on likviditeettiongelmia. Likviditeettiriskin toteutuessa voi suurikin osa maksuliik-keestä pysähtyä väliaikaisesti.

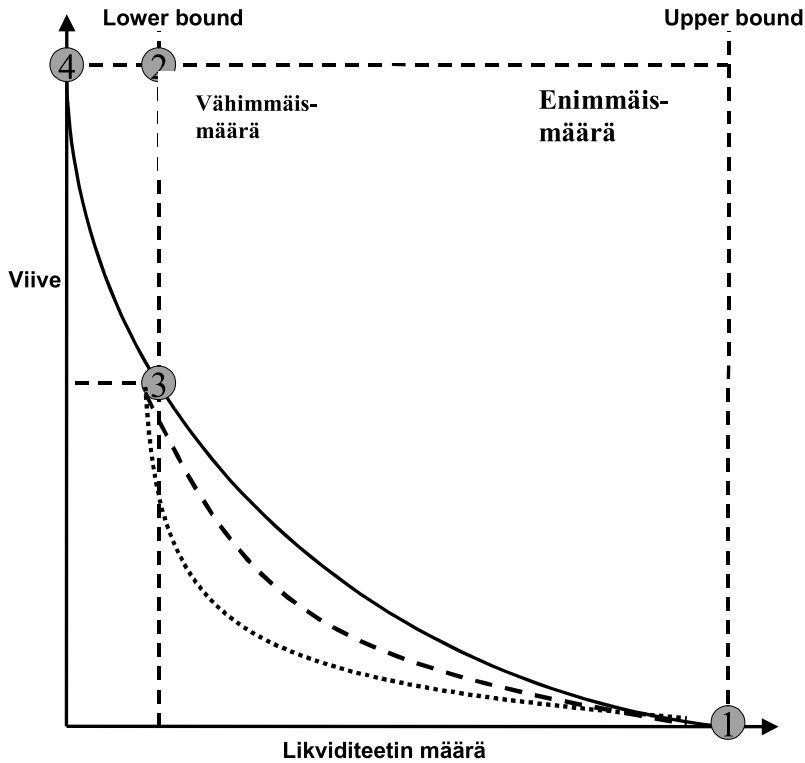
Likviditeettitarve

Maksujärjestelmien ja järjestelmäosapuolten likviditeettitarpeet vaihtelevat ajallisesti ja maksujärjestelmien ominaisuuksien mukaan. Kuviossa 2 on havainnollistettu likviditeettitarpeen peruslähtökohtia. Ns. lower bound-tilanne vastaa kokonaisnettoutusta ajanjakson lopussa eli on vähimmäismäärä likviditeettiä kaikkien maksujen selvittämiseksi viimeistään päivän päättyessä. Jos lopullinen pankkien välinen selvitys ja katteensirto suoritetaan vasta ajanjakson lopussa, riittää, että osapuolilla on vastuitaan vastaava nettomäärä selvitysvaroja käytettävissään. Selvitys viipyy tällöin maksimaalisen ajan. Ns. upper bound-tilanne vastaa jatkuvaa reaaliaikaista selvitystä. Maksut selvitetään heti, jolloin likviditeettitarve kasvaa maksimiinsa, mutta tämän määrän ylittävä likviditeetti jää käyttämättä. Näiden ääritilanteiden välillä on jatkumo vaihtoehtoja, joissa selvitys viipyy ja maksut jonottavat vaihtelevasti. Käyrän muoto riippuu jatkuvan nettoutusefektin laajuudesta.

Kiinnostus päivänsisäiseen likviditeettiin johtuu maksujärjestelmien kehittymisestä ja toimitusaikojen nopeutumisesta. Maksujärjestelmät ovat tällä hetkellä eräänlaisessa välivaiheessa. Aikaisemmin, ennen 1990-lukua, toimittiin pelkästään päivätasolla, eikä päivänsisäisellä likviditeetillä ollut merkitystä. Maksujen käsittelyn nopeutumisen ja keskuspankkien RTGS-järjestelmien myötä päivänsisäisen likviditeetin merkitys on kasvanut. Nopeusvaatimusten kasvaessa pankkien likviditeettitarve lisääntyy ja lähestyy upper bound -tilannetta. (Likviditeettitarpeen ja selvitysnopeuden riippuvuuksia ovat tutkineet Koponen ja Soramäki 1998 sekä Leinonen ja Soramäki 1999).

Maksujen ollessa jonossa on mahdollista

Kuvio 2. Likviditeetin ja selvitysnopeuden riippuvuus.



käyttää erilaisia nettoutus- ja pilkkomisalgoritmejä, joilla likviditeettitarpeita voidaan vähentää ja selvitysnopeutta lisätä. Erilaisilla aikataulutusmenettelyillä voidaan saavuttaa vastaavia hyötyjä. Kuviossa 2 on pilkkuviivoilla kuvattu mahdollisten selvitysalgoritmien hyötyjä. Lukkiutumistilanteet (gridlock) ovat saaneet osakseen erityishuomiota. Niissä osapuolten tapahtumat jonottavat ristiin niin, että niiden selvittäminen on mahdollista erilaisin nettoutusratkaisuoin (Bech – Soramäki 2001 ja 2002 sekä Leinonen – Soramäki 1999). Tyypiesimerkki on kehätilanne, jossa osallistujalla A on maksu osapuolelle B, jolla on maksu C:lle, jolla taas on maksu A:lle, mutta yhdelläkään osapuolis-

ta ei ole tarpeeksi likviditeettiä maksun suorittamiseksi ja kehätilanteen avaamiseksi.

Kun haetaan osittaista nettoutusta, törmätään nk. Knapsack-ongelmaan. Tilanne syntyy, kun likviditeetti ei riitä kaikkien jonossa olevien tapahtumien suorittamiseen, vaan joudutaan valitsemaan tietty osajoukko. Optimaalisen osajoukon valitsemisessa joudutaan tilanteeseen, jossa on lukematon määrä mahdollisia vaihtoehtoja. Tällöin kaikkien läpikäynti ei ole tehokasta, vaan algoritmit pyrkivät valitsemaan todennäköisesti tehokkaan kombinaation. Arvopaperijärjestelmien selvityksissä ongelma korostuu, kun joudutaan ottamaan huomioon myös delivery-versus-payment-vaatimus

(osallistujilla tulee olla tarpeeksi sekä raha- että arvopaperilikviditeettiä).

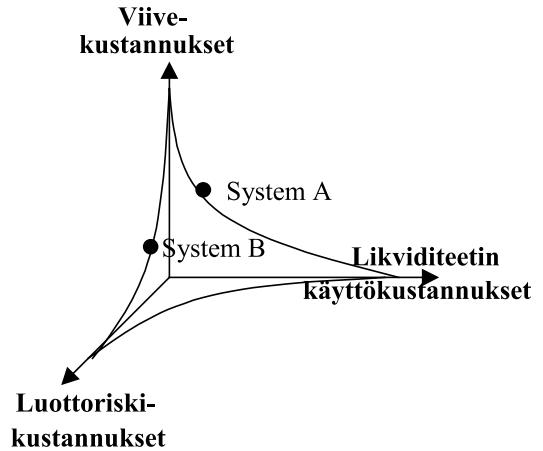
Kustannuselementit

Selvitysjärjestelmiin liittyy kolme toisistaan osittain riippuvaista rakenteellista kustannustekijää; likviditeetti-, viive- ja luottoriskikustannukset. Likviditeetin eli selvitysvarojen hallusapitoon liittyy erilaisia kustannuksia. Nämä ovat säilytyskustannusten lisäksi useimmiten vaihtoehtoiskustannuksia, koska selvitysvarojen korkotaso on useimmiten alhaisempi kuin muiden investointien, mikä johtuu likviditeettipremiosta. Mikäli selvitys ja sen myötä maksujen toimitus myöhästyvät, syntyy erilaisia viivekustannuksia, useimmiten sanktioita. Mikäli maksujärjestelmä toimii luottoperusteisesti, käyttäjille syntyy lisäksi luottoriskikustannuksia. Elementtien yleiset rakenteelliset riippuvuudet on esitetty kuviossa 3. Järjestelmä on tehokkaampi, jos se toimii lähempänä origoa. Rakenteellisten kustannusten lisäksi jokaiseen järjestelmään liittyy prosessointikustannuksia. Ne ovat kuitenkin hyvin samansuuruiset kaikissa rakennevaihtoehdoissa ja riippuvaiset lähinnä atk-tekniisestä tehokkuudesta.

Kuviossa 3 on esitetty kolmiulotteinen kustannusten minimointiongelma luottoriskikustannusten, likviditeetikustannusten ja maksujen viivekustannusten suhteen. Kaikki ulottuvuudet ovat keskenään käänteisiä ja normaalisti suhteeltaan konvekseja, jolloin minimiratkaisu on yksiselitteinen.

Luottoriskejä ei synny, jos järjestelmä toimii täysin likviditeetin varassa. Jos selvitys on osittain tai kokonaan luottoperusteista, syntyy luottoriskejä. Erona kuitenkin on, että maksava osapuoli joutuu kattamaan likviditeetikustannukset, kun taas luottoriskikustannukset

Kuvio 3. Maksu- ja selvitysjärjestelmien rakenteelliset kustannukset.



kattaa vastaanottava osapuoli. Likviditeetikustannuksia voidaan vähentää synkronoimalla lähtevät maksut saapuvien maksujen kanssa. Tämä kuitenkin lisää viivekustannuksia.

Maksujen selvityksien ja toimituksien viiveet johtuvat usein likviditeetti- ja luottoriskirajoituksista. Käytännössä viiveet kasvavat, mitä vähemmän likviditeettiä on käytettävissä tai mitä tiukemmin luottoriskejä on rajoitettu. Keskuspankkien yleisvalvontapolitiikassa on useimmiten pyritty lisäämään likviditeettiä läpimenoaikojen varmistamiseksi. Samoin on edellytetty luottoriskien supistamista ja korvaamista likviditeetinsiirroilla erityisesti suurten riskipositoiden välttämiseksi. Kuviossa 3 löytyy esimerkki täysin likviditeettiperusteisesta (systeemi A) ja täysin luottoriskiperusteisesta systeemistä (systeemi B).

Suomen Pankin simulaattorin ominaisuuksia

Suomen Pankin maksu- ja selvitysjärjestelmä-

simulaattoria voidaan kuvata deterministiseksi malliksi, jossa on päättelylogiikkaa ja johon syötetään stokastista input-tietoa. Annetuilla syöttötiedoilla ja valituilla algoritmeilla ja parametreilla simulaattori tuottaa aina saman tuloksen. Useimmiten käytetään pitkiä päiväsarjoja vaihteluvälien selvittämiseksi. Luomalla algoritmeja, joissa on päättelylogiikkaa, voidaan ohjata maksujen käsittelyä maksujärjestelmien erilaisten selvittelykäytäntöjen mukaisesti sekä luoda selvitysosapuolia (pankkeja) kuvaavia käyttäytymismalleja.

Suomen Pankin maksu- ja selvitysjärjestelmäsäimulaattori on rakennettu itsenäistä PC-käyttöä varten. Se koostuu kolmesta moduulista: tietojen syöttö ja määrittely, simulointien suoritus ja tuloksien analysointi.

Simulaattori toimii Microsoft NT-, XP- ja 2000 -ympäristöissä. Keskusmuistia tarvitaan vähintään 256 MB. Simulaattorin käyttäjäopas, tilaus- ja asennusopas sekä tekniset kuvaukset löytyvät Internet-sivulta www.bof.fi/sc/bof-pss. Jakelu tapahtuu Internetin kautta. Käyttäjä voi Javaa käyttäen rakentaa uusia selvitys-algoritmeja ja liittää ne olemassa oleviin rakenteisiin. Tietokanta perustuu ilmaiseen MySQL-tietokantatuotteeseen.

Simulaattorin käytöstä

Suomen Pankin simulaattori on uudenlainen tutkimustuote, joka on saanut positiivisen vastaanoton erityisesti muilta keskuspankeilta. Tällä hetkellä se on noin 20 keskuspankin käytössä ympäri maailmaa. Käyttäjinä ovat kaikki pohjoismaiset keskuspankit, Euroopan keskuspankki ja useat eurooppalaiset keskuspankit, Bank for International Settlements (BIS), Federal Reserve Bank (NY), Bank of England, Bank of Canada sekä muutamat Lähi- ja Kau-

koidän keskuspankit. Nämä ovat käyttäneet simulaattoria mm. likviditeettipoliittisiin selviytyksiin, vastapuoli- ja systeemiriskien analysointiin, tehokkuusvertailuihin sekä algoritmien, hinnoitteluperiaatteiden ja selvityskäytäntöjen kehittämiseen.

Maksujärjestelmät ovat suhteellisen vähän tutkittu alue rahoitusmarkkinasektorilla. Niiden tutkimiselle ei ole löytynyt sopivaa akateemista ”kotitiedekuntaa”, vaikka maksu- ja selvitysjärjestelmät muodostavat kehittyneen talouden perusinfrastruktuurin. Käytännön ratkaisut ovat useimmiten perustuneet toiminnasta vastaavien ammattilaisten suunnittelemiin käytäntöihin. Moderni automaattinen maksujärjestelmä perustuu puhtaasti tiedonsiirtologistiikkaan, mutta poikkeaa muusta tiedonsiirrosta siinä, että pienikin bittimäärä voi sisältää raha-arvoltaan miljardien tilisiirtoja. Olisi toivottavaa, että maksujärjestelmäalueen akateeminen tutkimus laajenisi. Maksujärjestelmäsimulaattori tarjoaa tältä osin uudenlaisia mahdollisuuksia. Kiinnostavia ja vähän tutkittuja alueita ovat esim. arvopaperijärjestelmien DVP-pohjaiset nettoutus- ja jonotusalgoritmit. Erittäin kiinnostava osa-alue ovat niin ikään osapuolten käyttäytymismallit erilaisissa stressitilanteissa sekä poikkeusolot ja niiden vaikutukset selvitysriskeihin. Myös järjestelmiin rakennettavat riskienhallintajärjestelyt kaipaisivat tutkimusta (esim. miten osapuolet ja järjestelmät reagoivat terrori-iskuihin, osapuolten likviditeettiongelmiin yms).

Simulaattoria on tarkoitus kehittää ja laajentaa saatujen kokemusten ja palautteiden pohjalta. Toiveena on, että simulaattorin ympärille muodostuu aktiivinen käyttäjäyhteisö, jonka piirissä vaihdetaan kokemuksia, kehitysideoita ja myös käyttäjien kehittämisiä omia selvitysalgoritmeja sekä analysointivälineitä. □

Lähteitä

- Bech, M., Madsen, B. ja L. Natorp (2002): "Systemic Risk in the Danish Interbank Netting System". *Working Paper 8/2002*. Danmarks Nationalbank.
- Bech, M. ja K. Soramäki (2001): "Gridlock Resolution in Payment Systems". *Monetary Review 4/2001*. Danmarks Nationalbank.
- Bech, M. ja K. Soramäki (2002): "Liquidity, Gridlocks and Bank Failures in Large Value Payment Systems". *E-Money and Payment Systems Review*, Central Banking Publications, s. 111–126.
- BIS (1989), Report on Netting Schemes (Angell Report), Group of Experts on Payment Systems of the Central Banks of the Group of Ten Countries. Bank for International Settlements. Basle.
- BIS (1990): *Report of the Committee on Interbank Netting Schemes of the central banks of the Group of Ten countries (Lamfalussy Report)*. CPSS Publications No. 4. Bank of International Settlements, Basle.
- BIS (1997): *Real-time Gross Settlement Systems*. Prepared by the Committee on Payment and Settlement Systems of the Central Banks of the Group of Ten Countries. Bank for International Settlements. Basle.
- BIS (2001): *Core Principles for Systemically Important Payment Systems*. Committee on Payment and Settlement Systems of the Central Banks of the Group of Ten Countries. Bank for International Settlements. Basle.
- BIS/IOSCO (2001): *Recommendations for securities settlement systems*. Committee on Payment and Settlement Systems, Technical Committee of the International Organization of Securities Commissions. Basle.
- BIS (2003): *The role of central bank money in payment systems*. Committee on Payment and Settlement Systems, Technical Committee of the International Organization of Securities Commissions. Basle.
- ECB (2001): *Payment and securities settlement systems in the European Union (the Blue Book)*. European Central Bank. Frankfurt.
- EU Commission (2002) communication: *Clearing and settlement in the European Union – Main policy issues and future challenges*. May 28, 2002. Brussels.
- EU Commission (2003): *The Giovanni Group Second Report on EU Clearing and Settlement Arrangements*. April 2003. Brussels.
- Koponen, R. ja K. Soramäki (1998): "Intraday Liquidity Needs in a Modern Interbank Payment System – A Simulation Approach". *Studies in Economics and Finance E:14*. Bank of Finland. Helsinki.
- Kuussaari, H. (1996): "Systemic Risk in the Finnish Payment System: An Empirical Investigation". *Bank of Finland, Discussion Paper 3/1996*. Helsinki.
- Leinonen, H. (1998): "Interbank Funds Transfer Systems: Liquidity Needs, Counterparty Risks and Collateral". *Bank of Finland, Discussion Paper 16/98*. Helsinki.
- Leinonen, H. ja K. Soramäki (1999): "Optimizing Liquidity Usage and Settlement Speed in Payment Systems". *Bank of Finland Discussion Paper 16/1999*. Helsinki.
- Leinonen, H. ja K. Soramäki (2003): "Simulating interbank payment and securities settlement mechanisms with the BoF-PSS2 simulator". *Bank of Finland Discussion Paper 23/2003*. Helsinki.