SÄHKÖMAGNETIIKAN LASKENNALLISET HAASTEET

ILARI HÄNNINEN
CSC

SÄHKÖMAGNETIIKAN LASKENNALLISET HAASTEET

Ilari Hänninen

Tieteen tietotekniikan keskus CSC

© CSC – Tieteellinen laskenta Oy
2003

http://www.csc.fi/raportit/smghaasteet/

Sisältö

1 Johdanto **6**
1.1 Tavoitteet 6
1.2 Kysely 6
1.3 Sisältö 6

2 Sähkömagnetiikkaan liittyvä tutkimus Suomessa **8**
2.1 Yhteenveto laboratorioiden tutkimuskohteista 8

3 Kyselyn tuloksia **12**
3.1 Tutkimusalueet 12
3.2 Käytetyt matemaattiset menetelmät ja ohjelmistot 13
3.3 Tutkimuksen tyyppi, kohde ja ryhmien koot 13
3.4 Tutkimuksen laskentaintensiivisyys 14
3.5 Rinnakkaislaskenta ja Grid-tekniikat 14

4 Yhteenveto **15**
4.1 Johtopäätökset 15
4.2 Toimenpide-ehdotukset koskien CSC:n toimintaa 16

Liitteet **18**

A Sähkömagnetiikan laskennalliset haasteet -kysely **19**

B Kyselyyn vastanneet yksiköt ja yritykset **22**

1 Johdanto

Tieteen tietotekniikan keskus CSC on opetusministeriön alainen yksikkö, jonka tehtävänä on tarjota suomalaisille yliopistoille ja yrityksille laskennallisen tieteen palveluja ja suurteholaskentaa. Myös yliopistojen käytössä oleva Suomen tutkimuksen tietoverkko Funet on CSC:n ylläpitämä.

1.1 Tavoitteet

Yhä useammalla tieteen ja tekniikan alalla tarvitaan laitteiden ja ilmiöiden sähkömagneettista mallinnusta. Lisäksi perinteisessä teoreettiseen sähkötekniikkaan liittyvässä tutkimuksessa laskennan tarpeet kasvavat jatkuvasti suuremmiksi. Koska CSC:n tulee tukea kotimaista akateemista tutkimusta, on perusteltua selvittää onko syntynyt erityistä tarvetta kohdistaa sähkömagnetiikan teoreettista asiantuntemusta CSC:ssä tiettyihin alueisiin, vai pystymmekö palvelemaan alan tutkijoita nykyisin voimavaroin. CSC:n tarjoamaan superkonekapasiteettiin liittyen halusimme myös tietää millaisia suunnitelmia sähkötekniikan tutkijoilla on suurteholaskennan suhteen lähitulevaisuudessa.

1.2 Kysely

Selvitys pohjautuu osittain kyselyyn, joka lähetettiin kaikkiaan 80 tutkijalle suomalaisiin yliopistoihin ja alan yrityksiin syksyllä 2003. Kyselyn vastaanottajat valittiin käymällä läpi laboratorioiden ja yritysten kotisivuja. Kysely oli täysin automatisoitu, joten myös vastaaminen tapahtui suoraan verkon kautta. Kysymykset koskivat lähinnä tutkijoiden tämänhetkistä ja tulevaa suurteholaskennan tarvetta.

1.3 Sisältö

Sähkömagnetiikkaan liittyvää tutkimusta tehdään Suomessa paljon. CSC:n oman toiminnan suunnittelun kannalta olemme rajanneet selvityksemme koskemaan yliopistoissa ja yrityksissä tapahtuvaa laskennallista tutkimusta. Niinpä emme esittele fysikaalisiin mittauksiin perustuvia projekteja tai

yritysten tuotekehityskeskuksissa tehtävää tuotteiden mallinnukseen liittyvää laskentaintensiivistä työtä.

2 Sähkömagnetiikkaan liittyvä tutkimus Suomessa

Selvityksen tavoitteena oli määrittää millaisia laskennallisia haasteita sähkömagnetiikkaan liittyvä tutkimus kohtaa. CSC:n tulevaisuuden suunnittelun avuksi oli myös tarkoitus kartoittaa, kuinka CSC osaltaan voisi parhaiten tukea laskennan tarpeita.

Sähkömagnetiikka liittyy lähes kaikkeen sähköiseen mallinnukseen, radioliikenteestä ja antennien suunnittelusta piirikomponenttien tarkkaan mallinnukseen ja biosähköisten ilmiöiden tutkimiseen. Sähkömagnetiikkaan liittyvä tutkimus ja mallinnus kasvaa ja kehittyy nopeasti. Siihen liittyvien ilmiöiden monimuotoisuudesta johtuen esimerkiksi eri laitteiden ja järjestelmien suunnittelussa voidaan käyttää laajaa palettia matemaattisia malleja ja laskennallisia menetelmiä.

Tärkeimpiä selvityksessä käsiteltyjä tutkimusalueita ovat mm. sähkövoimatekniikka, radiotekniikka, lääketieteellinen tekniikka ja teoreettinen sähkötekniikka. Selvitys rajattiin laskennalliseen tieteeseen ja ilmiöiden matemaattiseen mallintamiseen eli CSC:n toimenkuvaan liittyvään tutkimukseen. Puhtaasti kokeellinen tiede jätettiin pois selvityksestä. Suurin osa tutkimusryhmistä, joille kysely osoitettiin, käyttää ensisijaisesti tietokoneita mallien ratkaisuun. Laskentatehon ja -muistin vaatimukset voivat vaihdella kevyestä PC-tasosta massiiviseen rinnakkaislaskentaan.

Tärkeitä sähkömagnetiikan tutkimuksessa tarvittavia laskennallisisia menetelmäluokkia ovat mm. Finite Element Method (FEM), Boundary Element Method (BEM), Finite-Difference Time-Domain Method (FDTD), erilaiset momenttimenetelmät.

2.1 Yhteenveto laboratorioiden tutkimuskohteista

Suoritimme Suomessa tehtävän sähkömagnetiikan teoreettisen tutkimuksen alustavan kartoituksen korkeakoulujen ja yritysten Internet-sivujen kautta. Kyselyn kohderyhmä tarkentui myös pääosin tätä kautta. Koska monet laboratoriot ja yritykset jättivät vastaamatta kyselyyn, esitämme seuraavassa lyhyen yhteenvedon korkeakoulujen laitosten ja yritysten sähkömagnetiikkaan liittyvistä tutkimuskohteista näiden www-sivuihin pohjautuen.

Seuraavassa luettelossa TKK:n tutkimuskohteet on esitelty laboratoriotasolla, muiden korkeakoulujen laitoksittain. Syynä tähän on TKK:n laboratorioiden lukuisuus ja koko. On mahdollista, että meiltä on jäänyt löytämättä sähkömagnetiikan tehtäviä ratkovia tutkimusryhmiä tai että yhteenvetomme tutkimuskohteista on joiltain osin puutteellinen tai jopa virheellinen. Toivommekin palautetta raportin lukijoilta, jos he havaitsevat oleellisia puutteita.

Teknillinen korkeakoulu

Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Piiritekniikan laboratorio

- radiotekniikan sovellusten piirisuunnittelu

Radiolaboratorio

- antennisuunnittelu, antennimittaustekniikka ja radiokanavan mallinnus

Sähkömagnetiikan laboratorio

- sähkömagneettisten kenttien ratkaisu

Teoreettisen sähkötekniikan laboratorio

- analogisten piirielementtien mallit ja näistä muodostettujen piirien simulointi

Sähkömekaniikan laboratorio

- sähkömekaanisten kenttäyhtälöiden ratkaisu

Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto

Matematiikan laitos

- inversio-ongelmien ratkaisu

Lääketieteellisen tekniikan laboratorio

- sähkö- ja magnetokardiografia, inversio-ongelmat

Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu

Elektroniikan laitos

- erilaiset telekommunikaatiolaitteet, tukiasema-antennit jne.

Jyväskylän yliopisto

Fysiikan osasto

- sähkömagneettisten kenttien ratkaisu, optiikka

Tampereen teknillinen korkeakoulu

Sähkötekniikan osasto

- sähkömagneettisten kenttien ratkaisu, optiikka

Helsingin yliopisto

Fysikaalisten tieteiden laitos

- optiikka, kenttäteoria

Biomag

- magneettikuvaus

Oulun yliopisto

Neurokirurgian klinikka

- magneettiresonanssikuvaus

Sähkö- ja tietotekniikan osasto

- langaton tiedonsiirto, tutkatekniikka

Kuopion yliopisto

Sovelletun fysiikan laitos

- impedanssitomografia, aivojen sähköinen toiminta

Joensuun yliopisto

Fysiikan laitos

- optiikka

Säteilyturvakeskus

- sähkömagneettisen säteilyn tutkimus

VTT Elektroniikka

- optiikka, langaton tiedonsiirto

Philips Medical Systems MR Technologies

- magneettiresonanssikuvaus

Nokia Research Center

- antennitutkimus, langaton tiedonsiirto

Filtronic LK

- antenni- ja suodatintekniikka

3 Kyselyn tuloksia

Postitimme tiedon kyselystämme kaikkiaan 85 tutkijalle 21 eri laboratorioon tai yritykseen ja saimme 11 vastausta 10 laboratoriosta. Postituksen kohteena olleista henkilöistä siis vain noin 13% täytti kyselylomakkeen. He kuitenkin edustavat lähes puolta niistä yliopistojen laitoksista ja yrityksistä, joista olimme kiinnostuneet.

Vastausten suhteellisen pienen lukumäärän vuoksi tuloksiin kannattaa suhtautua ennemminkin suuntaa-antavina kuin tilastollisesti merkitsevinä. Emme siis esitä tuloksista graafisia kaavioita tarkkoine prosenttiosuuksineen vaan tyydymme poimimaan tärkeimmät havainnot.

3.1 Tutkimusalueet

Huolimatta selvityksen rajaamisesta mallinnukseen pohjautuviin hankkeisiin saimme havaita, että sähkömagnetiikkaan liittyvä tutkimus on erittäin monitahoista. Seuraavassa on esitetty lyhyesti tärkeimmät aihepiirit:

- sähkömekaaniset ongelmat, joissa joudutaan mallintamaan sekä laitteiden mekaanista että sähkömagneettista käytöstä
- sähkömagneettisten materiaalien ominaisuudet
- inversio-ongelmat, joilla pyritään mallintamaan suureita epäsuorista havainnoista, esim. sironta
- lääketieteellinen kuvaus, esim. magneettiresonanssimenetelmällä, joissa pyritään rekonstruoimaan kuvia ruumiin sähköisestä vasteesta
- ihmisen fysiologinen mallinnus, esim. aivojen toiminta
- antennitutkimus ja radioaaltojen eteneminen
- valon eteneminen, optiset piirikomponentit

3.2 Käytetyt matemaattiset menetelmät ja ohjelmistot

Tutkimusalueiden aihepiiri heijastui myös vastaajien mainitsemissa matemaattisissa menetelmissä. Sähkömagnetiikan kenttäyhtälöt määritellään differentiaaliyhtälöin, joten tutkitut ongelmat painottuvat myös näiden yhtälöiden ratkaisuun. Selvästi käytetyimpiä ovat erilaiset differentiaali- ja integraaliyhtälöihin perustuvat ratkaisumenetelmät, kuten FEM (6 mainintaa), BEM (3), FDTD (3), momenttimenetelmät (2). Myös tilastolliset menetelmät mainittiin kahdessa vastauksessa.

Käytetyt ohjelmistot vaihtelivat paljon vastaajien kesken. Yleisimpinä mainittiin erilaiset FEM- ja FDTD-menetelmiin perustuvat valmisohjelmistot. Suuri osa vastaajista myös ohjelmoi itse (8 kpl) ja monet tutkijat (3 kpl) käyttävät usein `Matlab`-ohjelmistoa ohjelmistokehityksen apuna.

3.3 Tutkimuksen tyyppi, kohde ja ryhmien koot

Pyysimme tutkijoita arvioimaan tutkimuksensa tyyppiä asteikolla perustutkimus, opetus, sovellettu tutkimus, tuotekehitys (vastaajat pystyivät valitsemaan useamman mahdollisen vaihtoehdon). Selvästi suurin osa vastaajista toimi perustutkimuksen (7 mainintaa) ja sovelletun tutkimuksen alalla (8). Opetus (2) ja tuotekehitys (0) olivat selvästi vähemmin edustettuja. Vastauksista kävi ilmi, että sähkömagneettinen mallinnus on hyvin tutkittua, mutta vielä niin vaikeaa, että sen teollinen käyttö ja opetus on varsin vähäistä. Tulevaisuudessa onkin odotettavissa, että sähkömagneettinen mallinnus nousee vielä tärkeämmäksi osaksi tuotekehitystä ja opetusta kun nyt tutkimuksen kohteena olevista aiheista saadaan tuloksia. Yleisesti voidaan sanoa, että sähkömagnetiikan alan mallinnus on tärkeä osa monia eri tutkimusaiheita, mutta on vielä varsin työlästä.

Tutkimuksien kohteet jakautuivat varsin tasaisesti puhtaasti sähkömagneettiseen mallinnukseen (esim. radio- ja antennitekniikka, 5 mainintaa) sekä monifysikaalisen mallinnuksen kesken (esim. sähkömekaaniset ongelmat, 4 mainintaa). Perinteisten tekniikan alan ongelmien lisäksi sähkömagneettista mallinnusta käytetään paljon hyväksi myös lääketieteellisessä tekniikassa (2 mainintaa), jossa pyritään kuvantamaan tai mallintamaan ihmisruumista ja sen toimintaa. Langattoman tiedonsiirron ja piirikomponenttien mallinnus, kuten myös sähkömekaanisten ongelmien mallinnus pysyvät varmasti erittäin kiinnostavina tutkimusaiheina, mutta lääketieteellisessä tekniikassa on odotettavissa sähkömagneettisen mallinnuksen edelleen yleistyvän.

Tutkimusryhmien koot olivat perustutkimusta ja soveltavaa tutkimusta tekevien tutkijoiden keskuudessa varsin pieniä, keskimäärin alle kymmenen hengen suuruisia, vaikka tutkimusryhmien koko vaihtelikin yhden ja kahdenkymmenen hengen välillä. Suurimmat tutkimusryhmien koot olivat alueilla, joissa tutkittiin monifysikaalisia ilmiöitä sekä monimutkaisia antennirakenteita.

3.4 Tutkimuksen laskentaintensiivisyys

Lähes kaikilla vastaajilla suuri pullonkaula mallinnuksessa oli laskennan hitaus tai sen vaatimat resurssit. Tutkittavat ongelmat ovat usein niin isoja, että käytettyjen tietokoneiden resurssit joutuvat koetukselle. Lisäksi monilla vastaajilla, varsinkin monifysikaalisten ongelmien parissa työskentelevillä, suuren hankaluuden muodostavat useiden eri menetelmien ja ohjelmistojen rinnakkainen käyttö, mikä rasittaa tietokoneiden kapasiteettia. Kuitenkin yli puolet vastaajista (7 kpl) oli sitä mieltä, että heidän käytössään olevat tietokoneresurssit ovat tällä hetkellä riittävät.

Joitakin poimintoja vastauksista:

- “Tarkkojen mallien käyttö edellyttää aina viimeisintä tietokonekapasiteettia. Mallinnus on aina ollut riippuvaista laskennan tehosta - vieläkin.”
- “Simulointiavaruuksien koko kasvaa näissä tapauksissa erittäin suureksi.”
- “Koska ongelman koko kasvaa N:n neljänteen potenssiin, missä N on ongelman koko, ei muistin kasvattaminen paljoakaan auta.”
- “Oman kokemuksemme mukaan n. 2G muistilla varustettu tehokas PC ratkaisee meidän ongelmiamme yhtä tehokkaasti kuin CSC palvelimet, joten emme ole käyttäneet CSC:n palveluja. (Laskentatehoa on kyllä CSC:llä enemmän, mutta käyttäjän saama kapasiteetti on suunnilleen sama kuin oman PC:n.)”

3.5 Rinnakkaislaskenta ja Grid-tekniikat

Yli puolet vastaajista (6) oli sitä mieltä, että rinnakkaislaskennasta olisi hyötyä heidän alallaan. Näiden lisäksi kaksi vastaajaa käyttivät rinnakkaislaskentaa tutkimuksissaan, heistä toinen CSC:llä. Kaksi vastaajaa olivat sitä mieltä, että rinnakkaislaskennasta ei olisi hyötyä heidän tutkimusalueellaan.

Grid-tekniikat olivat vastaajille varsin tuntemattomia, vain yksi vastaajista mainitsi olevansa kiinnostunut käyttämään Grid-tekniikoita mallinnuksessa. Tällä hetkellä Grid-tekniikat eivät siis sähkömagnetiikan alalla saa kovin suurta mielenkiintoa osakseen. Tämä johtunee näiden tekniikoiden nuoruudesta ja epävarmuudesta niiden toimivuudesta.

4 Yhteenveto

On selvää, että sähkömagneettisten ilmiöiden mallinnuksen tarve pysyy edelleen suurena ja luultavasti edelleen kasvaa langattoman tiedonsiirron yhä yleistyessä ja sähköisten piirikomponenttien koon pienentyessä. Lisäksi nykyään ovat voimakkaasti yleistymässä erilaiset sähkömekaaniset laitteet ja komponentit, joiden ansiosta monissa tutkimuskohteissa joudutaan paneutumaan entistä tarmokkaammin myös sähköisten ilmiöiden mallinnukseen muiden fysikaalisten ilmiöiden rinnalla. Lääketieteellinen tekniikka on myös viime vuosina alkanut yhä voimakkaammin alkanut käyttää sähkömagneettista kuvantamista ihmiskehon tutkimisessa (esimerkiksi magneettiresonanssikuvaus).

Vaikka vastauksia tähän kyselyyn ei saatu läheskään kaikilta sähkömagnetiikan tutkimusta harrastavilta tutkijoilta, ei tästä ole syytä vetää aiheettomia johtopäätöksiä tutkimuksen tasosta tai määrästä. Tutkimusryhmien kokoja ja aihepiirejä tarkastelemalla voidaan päätellä, että nyt pinnalla olevat tutkimusaiheet (monimutkaiset antennirakenteet, monifysikaalinen mallinnus, lääketieteellinen tekniikka) houkuttavat monia tutkijoita ja saavat myös paljon rahoitusta. Sähkömagneettisen mallinnuksen tarpeen yleistyessä myös tutkimusryhmien koot kasvavat.

4.1 Johtopäätökset

Laskennalliset haasteet sähkömagnetiikan alalla muodostuvat edelleen suurelta osin tutkittavien mallien suuren koon aiheuttamasta laskentaresurssien tarpeesta. Tämä tulee selkeästi ilmi tutkimuksen laskentaintensiivisyyttä käsitelleessä kyselyn kohdassa ja tutkijoiden antamista kommenteista. Vaikka moni tutkija onkin kiinnostunut rinnaikkaislaskennan tarjoamasta laskennan nopeutuksesta, vain harva oli aiheeseen perehtynyt.

Rinnakkaislaskentaa tukevien kaupallisten ohjelmistojen käyttö olisi helpoin tapa tukea tutkijoita, mutta valitettavasti tutkijoiden käyttämien menetelmien ja tutkimusaiheiden laaja paletti tekee tämän mahdottomaksi. Sähkömagnetiikan ongelmien ratkaisuun sopivat kaupalliset ohjelmistot ovat valitettavasti vielä varsin rajoittuneita ja sopivat yleensä vain joillekin tutkijoille. Tästä on osoituksena tutkijoiden into itsenäiseen ohjelmistokehitykseen. Vastauksissa ei mainittu `Matlab`-ohjelmistoa lukuunottamatta yhtään kaupallista ohjelmistoa kahdesti.

Lisäksi erilaisten nopeiden ratkaisumenetelmien – kuten nopeaan Fourier-muunnokseen (FFT) pohjautuvat tai nopea multipolimenetelmä (FMM) – käyttöönotto helpottaisi monien tutkijoiden laskentaresurssien tarpeita. Nämä menetelmät ovat herättäneet runsaasti huomiota kansainvälisellä tasolla sähkömagnetiikan tutkimuksessa viime aikoina.

4.2 Toimenpide-ehdotukset koskien CSC:n toimintaa

Rinnakkaislaskennan tuki. CSC:n tulisi edelleen helpottaa rinnakkaislaskentaresurssien käyttöönottoa ja perehdyttää tutkijoita rinnakkaisohjelmointiin. Tämä luultavasti helpottaisi monien tutkimuskohteiden mallintamista.

Asiantuntemuksen lisääminen. CSC:n tulisi lisätä asiantuntemustaan ja osaamistaan laskennallisen sähkömagnetiikan ja erityisesti nopeiden menetelmien alalla, jotta näiden menetelmien käyttö lisääntyisi ja tutkijat saisivat näiden menetelmien soveltamisesta käytännön tietoa.

Monifysikaalinen mallinnus. Monilla tutkijoilla monifysikaalisen mallinnuksen vaatimat resurssit olivat laskennan pullonkaula. Näidenkin tutkijoiden ongelmia luultavasti helpottaisi rinnakkaislaskennan käyttö. Lisäksi monien eri ohjelmien rinnakkainen käyttö vaatii runsaasti resursseja. Tutkijoita tulisi opastaa tehokkaaseen monifysikaaliseen mallinnukseen ohjelmoinnin tai valmisohjelmien avulla, joilla se on mahdollista (esim. Elmer).

Ohjelmistot. Ohjelmistojen suhteen ei liene syytä suuriin toimenpiteisiin. Suuri osa tutkijoista ohjelmoikin itse eikä suurta tarvetta jonkin tietyn alan ohjelmistoon ilmennyt.

Liitteet

A Sähkömagnetiikan laskennalliset haasteet -kysely

1. Yhteystiedot

Etunimi
Sukunimi
Toimi
Organisaatio
Osoite
Postinumero
Postitoimipaikka
Puhelinnumero
Sähköpostiosoite

2. Toiminnan kuvaus

2.1. Mitä alaa toimintanne/tutkimuksenne edustaa?

- ☐ Sähkömagnetiikka
- ☐ Radio- tai antennitekniikka
- ☐ Sähkövoimatekniikka
- ☐ Optiikka
- ☐ Biosähkömagnetiikka
- ☐ Lääketieteellinen tekniikka
- ☐ Kyseessä on poikkitieteellinen/monifysikaalinen ala tai vakiintunut oma tieteen haaransa, johon liittyen tarvitaan myös sähkömagnetiikkaan liittyvien ilmiöiden mallintamista (esim. komponenttien mallinnus tai kompleksisten materiaalien tutkimus)
- ☐ Jokin muu ala

2.2. Kuvailkaa toimintaanne/tutkimustanne yleistajuisesti. Mitä tutkitte, miksi ja miten tutkitte?

2.3. Tutkimustanne kuvaavia avainsanoja.

2.4. Tutkimuksenne laatu

- ☐ Perustutkimus
- ☐ Soveltava tutkimus
- ☐ Tuotekehitys
- ☐ Opetus

2.5. Tutkimusryhmänne henkilölukumäärä:

2.6. www-sivut, joilta saa lisätietoa liittyen tutkimukseenne.

3. Käytettävät ohjelmistot ja tietokoneresurssit

3.1. Mikä tekee tutkimuskohteenanne olevasta ongelmasta laskennallisesti haastavan? Mitä pullonkauloja mallinnuksessa tai laskennassa on? Voitte vastata yksityiskohtaisesti.

3.2. Mitkä ovat keskeisimmät numeeriset menetelmät, joita käytätte tutkimuksessanne? (Esim. FDTD, momenttimenetelmät, FMM, FEM, BEM.) Käytättekö hybridimenetelmiä?

3.3. Kehitättekö itse tutkimuksessa sovellettavia ohjelmistoja

- ◊ Kyllä
- ◊ Ei

3.4. Käytättekö laskentaan muiden kehittämiä ohjelmistoja?

- ◊ Ei
- ◊ Kyllä, käytämme kaupallisia tai vapaasti saatavilla olevia ohjelmistoja
- ◊ Kyllä, käytämme muiden saman alan tutkimusryhmien tai yhteistyökumppaneiden kehittämiä ohjelmistoja

3.5. Käytössämme olevat tietokoneresurssit ovat riittävät nykyisiin mallinnustarpeisiin nähden.

- ◊ Kyllä
- ◊ Ei

3.6. Nykyisin suurin laskentateho saadaan rinnakkaislaskentaa hyödyntävistä koneista, joissa tehtävä jaetaan eri prosessoreilla suoritettaviin osiin. Mikä on tilanteenne rinnakkaislaskennan käytön suhteen?

- ☐ Emme käytä emmekä tarvitse rinnakkaislaskentaa
- ☐ Käyttämämme ohjelmisto ei tarjoa rinnakkaislaskentamahdollisuutta
- ☐ Emme käytä rinnakkaislaskentaa vielä, mutta uskomme, että rinnakkaislaskentaan siirtyminen voisi tuoda merkittäviä hyötyjä
- ☐ Käytämme rinnakkaislaskentaa
- ☐ Käytämme CSC:n koneita rinnakkaislaskentaan

3.7. Uskotteko tarvitsevanne rinnakkaislaskentaan liittyvää asiantuntijatukea, tietokonekapasiteettia tai ohjelmistoja tulevaisuudessa? Millaista apua tai mitä ohjelmistoja arvioitte tarvitsevanne?

3.8. Onko alallanne suurteholaskentaa soveltavia ulkomaisia ryhmiä, joiden kehittämää ohjelmistoa tai laskentamenetelmiä haluaisitte itse soveltaa tutkimuksessanne? Antakaa mielellään tutkimusryhmän ja/tai ohjelmiston nimi tai kotisivu.

3.9. Onko teillä nyt käytössä olevia ohjelmistoja, joita haluaisitte käyttää CSC:n palvelimilla?

4. Kehitysnäkymät ja tulevaisuuden haasteet

4.1. Millaisia uusia suurteholaskentaa vaativia tutkimuskohteita näette alallanne?

4.2. Viime aikoina on käynnistetty grid-hankkeita. Uskotteko, että jokin grid-tekniikka voisi hyödyttää omalla alallanne tehtävää tutkimusta?

- ☐ Ei
- ☐ Kyllä
- ☐ En tunne grid-tekniikoita.

5. Muuta

5.1. Muita kommentteja tai palautetta.

B Kyselyyn vastanneet yksiköt ja yritykset

Seuraavat laitokset ja yritykset vastasivat kyselyyn.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Sähkötekniikan laitos

Kuopion yliopisto

Sovelletun fysiikan laitos

Tampereen teknillinen yliopisto

Mittaus- ja informaatiotekniikka
Ragnar Granit instituutti

Teknillinen korkeakoulu

Sähkömagnetiikan laboratorio
Radiolaboratorio (2)
Matematiikan laitos
Sähkövoimatekniikan laboratorio

Joensuun yliopisto

Fysiikan Laitos

Nokia Research Center