

Elektroniikan lämmönhallinta

Simo Keskinen

Teknologiakatsaus 146/2003



TEKES

Helsinki 2003

Kilpailukykyä teknologiasta

Tekes tarjoaa rahoitusta ja asiantuntijapalveluja kansainvälisesti kilpailukykyisten tuotteiden ja tuotantomenetelmien kehittämiseen. Tekesillä on vuosittain käytettävissä avustuksina ja lainoina noin 390 miljoonaa euroa teknologian kehityshankkeisiin.

Teknologiaohjelmien avulla maahamme luodaan uutta teknologiaosaamista yritysten, tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen yhteistyönä. Ohjelmien tavoitteena on nostaa teknologista kilpailukykyämme tulevaisuuden keskeisillä teollisuuden toimialoilla. Tällä hetkellä Tekesillä on käynnissä noin 35 teknologiaohjelmaa.

Copyright Tekes 2003. Kaikki oikeudet pidätetään.

Tämä julkaisu sisältää tekijänoikeudella suojattua aineistoa, jonka tekijänoikeus kuuluu Tekesille tai kolmansille osapuolille. Aineistoa ei saa käyttää kaupallisiin tarkoituksiin. Julkaisun sisältö on tekijöiden näkemys, eikä edusta Tekesin virallista kantaa. Tekes ei vastaa mistään aineiston käytön mahdollisesti aiheuttamista vahingoista. Lainattaessa on lähde mainittava.

ISSN 1239-758X
ISBN 952-457-138-2

Sisäsivut: DTPage Oy

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Elektroniikan kehityssuuntauksia	2
3	Yleistilanne Suomessa	3
4	Vastauksia ja kommentteja haastattelukysymyksiin	4
5	Ehdotuksia kehittämistoimiksi	5
Liite 1	Haastatellut yritykset ja laitokset sekä niiden edustajat	6
Liite 2	Haastattelukysymyksiä	7
	Tekesin teknologiakatsauksia	9

1 Johdanto

ELMO-teknologiaohjelman piirissä heräsi kesällä 2002 kysymys, onko siinä käynnissä lämmönhallintaa koskevia projekteja tai onko lämmönhallintaan liittyviä toimia otettu huomioon muissa käynnissä olevissa projekteissa. Taustalla oli jo aikaisemmissa elektroniikka-alan teknologiaohjelmissa käynnistetty toiminta tällä alueella, joko suoraan tai luotettavuuden suunnitteluun tms. liittyen. Toisaalta kysymyksen nosti esille miniatyrisoinnista ym. kehityssuuntauksista aiheutuvat lisääntyneet tehotiheydet, lämpötilojen nousut, hukkaenergian määrät ja tämän tuloksena lämpösuunnittelun tarve. Alustavissa keskusteluissa kaivattiin paitsi perinteisen jäähdytyksen suunnittelun tehostamista, myös radikaaleja innovaatioita ja uutta ajattelutapaa. Todettiin, että lämpötilan nousun tyypilliset vaikutukset ja lämpösuunnittelun vakiomenetelmät ovat olleet arkipäivää jo lähes koko puolijohdetekniikan yleistymisen ajan. On myös ollut havaittavissa kotimaassa ja muuallakin, että aika ajoin lämpöasiat on priorisoitu varsin korkealle välillä taas ne ovat painuneet taka-alalle.

Kartoituksen perustavoitteena oli selvittää yleistilannetta ja kehittämistarpeita sekä hahmotella kehittämistoimia.

ELMOn käynnistämisen selvityksen ja kartoituksen tuloksena on haastateltu loppuvuonna 2002 ja alkuvuonna 2003 suomalaisten yritysten ja opetus- ja tutkimuslaitosten edustajia, joista on luettelo liitteenä 1, haastattelurunko on liitteenä 2.

Haastatteluja täydensi perehtyminen alan lehden Electronics Cooling Magazinen, Prosessorin ja Kotel-seminaarien aineistoon. Haastatteluista, jotka lähes kaikki tehtiin paikan päällä, voidaan todeta, että useimmista peruskysymyksistä oltiin varsin yksimielisiä. Haastattelujen yhteydessä käydyissä keskusteluissa kävi ilmi, että yleiskuva elektroniikan tulevaisuuden kehityksestä on melko hyvin selvillä. Sensijaan voidaan todeta, että yksilöidympi tieto uusista ja kehitteillä olevista materiaaleista, menetelmistä ja välineistä ja siitä, koska ne ovat todennäköisesti käytettävissä, mitä ne vaikuttavat ja mitä olisi tehtävä, on melko vaihtelevaa. Keskusteluista syntyi käsitys, että perinteiseen teknologiaan ja lämpösuunnitteluun liittyvät toimenpiteet voisivat olla kertaluonteisia kehittämistoimia, mutta uuteen teknologiaan liittyvään tuntemukseen ja tuotteistamiseen, johon myös lämmönhallinta sisältyy, tulisi panostaa moninkertaisesti.

2 Elektroniikan kehityssuuntauksia

Seuraavassa on muutamia teknisiä kehityssuuntauksia, jotka vaikuttavat nyt ja lähivuosina myös lämpösuunnitteluun ja lämpötilojen vaikutusten huomioon ottamiseen, sekä kaikissa tutkimus- ja testaustoimissa jo ennen laitteiden tuotekehitystä. Tässä on otettu huomioon ELMOn piirissä tämän kanssa osin rinnan tehtävä lähinnä liitanta- ja pakkaustekniikan tulevaisuutta koskeva kehitysarviointi. Laajempia tulevaisuusarvioita on esitetty mm. ITRS:n ja NEMIn sekä tunnettujen alan yliopistojen ja suuryritysten teknologiaroadmap'eissa.

Erityyppisiä kehityspiirteitä ovat mm.:

- Kaikilla tuoterakennetasoilla miniatyrisoitumisen seurauksena tapahtuva mittojen ja massojen pieneneminen ja siitä aiheutuva luonnollinen tehotiheyksien kasvu merkitsee suurempaa suhteellista hukkalämpöä.
- Toimintataajuuksien kasvu aiheuttaa suurempia häviöitä.
- Ennakoitu SoC- ja SoP-kehitys merkitsee lähivuosina mikroprosessoreissa ja muissa vastaavissa komponenteissa 100 W/cm^2 :n ja vastaavasti 200 W/siru:n tehotiheyttä.
- Uusien 3d-mikropakkaustekniikoiden, kuten LTCC:n, pinottujen rakenteiden ja integroitujen alustojen (IMB yms.), uudet liitanta- ja kokoonpanoratkaisut.
- Uudet tekniikat ja menetelmät, kuten painettava elektroniikka, MEMS, nano- ja molekyyielektroniikka lisääntyvän optoelektroniikan ohella, tuovat mukanaan uudenlaisia jäähdytystarpeita joskin myös antavat uudenlaisia mahdollisuuksia.
- Uudet ja monipuolistuvat materiaalit on sovitettava termisesti toisiinsa luotettavuusongelmien välttämiseksi, toisaalta uudet materiaalit, joissa on alumiinin ja kuparin veroiset ja paremmatkin lämmönsiirtokertoimet. Näitä ovat mm. polymeerit, grafiitit, timanttikalvot ja vielä ehkä kaukana olevat nanoputket.
- Lyijyttömiin juoteaineisiin siirtyminen (EU:n RoHS-direktiivi voimaan 7/06) vaatii käytännön testejä teolliseen valmistukseen soveltuvan korvaavan juotosmateriaalin sekä sille sopivan juotoslämpötilan ja lämpöprofiilin varmistamiseksi.
- Elektroniikan ja älyn hajauttaminen mm. automaatiojärjestelmissä lähelle prosessia aiheuttaa vaikeampia ympäristöolosuhteita.

On todennäköistä, että edellä mainittujen uusien tekniikoiden käyttöönotto aiheuttaa yhteisvaikutuksena jonkinlaisen murroksen. Fyysisen tuoterakenteen kaikilla tasoilla tapahtunee muutoksia, mikä vaikuttaa edelleen valmistusprosesseihin ja -tekniikkaan. Mikrotason ohella on odotettavissa välitason integrointeja, joista on esitetty mm. erilaisia cube- ja box-arkkitehtuureja.

Tähänastista lämpösuunnittelua voidaan pitää pääosiltaan makrotasolla tapahtuvana.

Uusimpia jäähdytystekniikoita ovat lämpösähköön perustuva jäähdytys (TEC: thermoelectric coolers) sekä faasimuutokseen perustuvat lämpösifonit ja lämpöpiiput (PCM: phase change material).

Uusina menetelminä kuvaan tulevat luotettavuustekniikassa IEEE-standardi 1413 (Standard methodology for reliability prediction and assessment of electronics) sekä elinkaariprofiili (LCEP life cycle environmental profiles).

Jatkossa lämpösuunnittelun painopiste siirtyy yhä enemmän ”micro scale cooling” -tasolle. Mikrokanavien tekeminen alustoihin ym. rakenteisiin on jo vuosia ollut tunnettu asia. Uusia ja vähemmän tunnettuja ovat mikrolämpöpiiput, -pumput ja -lämmönvaihtimet. Tässä kokoluokassa tarvittaneen sekä ilma- että nestekonvektiota. Jäähdytystehokkuudeltaan ylivoimainen nestejäähdytys on joillakin alueilla ainoa realistinen. Uutena fysiikan alueena tarvitaan mikrofluidistiikkaa, jota Suomessa on tutkittu ja kehitetty myös lääketieteellisiin sovelluksiin. Tälle alueelle tarvitaan ilmeisesti myös uudet mallinnustyökalut.

3 Yleistilanne Suomessa

Tämän kartoituksen lähtökohtana oli elektroniikkaklusterein kauttaaltaan korkeaksi tiedetty taso, mikä on heijastunut alan yritysten tuotekehitykseen, koulutukseen ja tutkimukseen. Teollisuuden yhteistyöelin Kotel on laatinut ja julkaissut lämpösuunnittelua koskevaa ohjeistoa jo noin 20 vuoden ajan. Kotel-työryhmä 18, Elektroniikan lämpösuunnittelu, on järjestänyt myös alan seminaareja. Kartoituksessa haluttiin tästä syystä lähestyä aihepiiriä laajemmasta näkökulmasta ja pitemmälle tulevaisuuteen tähdäten. Tästä syystä nimeksikin otettiin Elektroniikan lämmönhallinta. Se sisältää paitsi lämpösuunnittelun ohjauksen ja ”jäähdytysstrategiat”, paljon muutakin kuten tuonempana ilmenee.

Yrityshaastatteluissa muodostui kuva, että yrityksen toimialan, tuoteiston ja niiden sovellusalueiden mukaan määräytyi, kuinka suureksi ongelmaksi lämpenemiseen, jäähdytykseen ja lämpötilan vaikutuksien huomioonottamiseen liittyvät asiat koetaan ja miten suuri niiden merkitys on. Tämän mukaan on muotoutunut lämpösuunnittelun käytäntö ja sen rooli tuotekehityksen yhtenä osa-alueena. Tarpeet ja mahdollisuudet voi jakaa esimerkiksi kolmeen tyyppitapaukseen:

- Tuotteet, joissa käyttölämpötilan rajoittuminen halutun rajan alle on hoidettava teknisin ratkaisuin ja mitoituksin, lämmön tasaisella johtamisella ja vapaalla konvektiolla kustannuspaineiden, koon ja tilan tai käyttötavan (yleensä pienet taskukokoiset päätelaitteet) vuoksi. Tässä selkeällä ympäristö- ja referenssilämpötilojen määrittämisellä on tärkeä rooli.
- Tyypilliset tuuletinta ja jäähdytyslementtejä tai muita tehokkaampia jäähdytysmenetelmiä käyttävät laitteet. Näitä laitteita edustavat tyypilliset 19 tuuman kaappi- ja kehikkorakennetta käyttävät pienemmät standardikaappituotteet sekä taskukokoa suuremmat kannettavat laitteet. Joissakin niissä on kaksi tuuletinta: yleis- ja kohde- tuuletin. Vaikka perinteinen tuuletin- ja jäähdytyslementtiratkaisu ovat pitkään olleet valtamenetelmiä, niillä on myös useita luotettavuutta huonontavia vaikutuksia: ne vievät tilaa ja aiheuttavat meluhäiriöitä. Harkitulla perusrakenteen valinnalla ne voidaan kokemusten mukaan korvata luonnollisen konvektion kuten myös lämpöpiippujen hyödyntämisellä. Tämän skaalan yläpäässä ovat mm. suuret teholähteet, tukiasemat ja palvelimet, jotka ovat lämmönhallinnan kannalta kriittisimpiä.
- Eriyistäpaukset, kuten tehoelektroniikan taajuusmuuttajat, lähestyvät megawattiluokan kokonaistehoa. Niissä

tehokytkinten häviöteho on 2–2,5 % ja siten hukкатаho on 20 kW:n luokkaa. Nestejäähdytys on välttämätön ja niissä lämpöpumppujen avulla hukkaenergia voidaan muuttaa hyötyenergiaksi.

Lämpösuunnitteluun on viime aikoina muotoutunut uusi toimintatapa. Ulkoistaminen ja erikoistuminen on merkinnyt sekä mekaniikka- että lämpösuunnitteluun erikoistuneiden palvelujen syntymistä. Tämä sopimustuotekehitys lisääntynee ja on odotettavissa myös simulointi- ja testauspalveluiden yleistymistä. Nähtäväksi jää sopimusvalmistuksen mukaantulo.

Lämpösuunnitteluun liittyvää koulutusta on järjestetty elektroniikka-alalla jo vuosikymmeniä tiedekorkeakouluissa ja osin ammattikorkeakouluissakin. Korkeakoulujen kone- ja energiayksiköissä on tyypillisesti ollut ohjelmassa laajempaa virtausopin ja lämmönsiirron koulutusta. Mm. TTK:n, TTY:n ja LTY:n yksiköistä, kuten myös yliopistojen fyysikoista, on tullut lämpösuunnittelun asiantuntijoita.

Eräs merkittävä periaatteellinen tosiasia lisää toivottavasti yhteisymmärrystä. Alunpitäen ja ELMOn johtoryhmälle tehdyn väliraportoinnin yhteydessä todettiin vastuukysymyksistä, että viime kädessä päävastuu lämmönhallinnasta on laite- ja järjestelmätoimittajilla, joskin todettiin, että asia on kaikkien osapuolten yhteinen. Tämän muistaminen auttaisi ainakin kahdessa yhteistyötä ja työnjakoa edellyttävässä asiassa.

Pidetään selvänä, että lämpösuunnittelussa kaikki tasot – systeemi-, yksikkö- ja komponenttitasot – otetaan huomioon. Komponenttitietojen saannissa on ollut varsinkin pienillä asiakkailta vaikeuksia. Tilanne paranee, kun tilaajat antavat paremmin tietoja komponenttien käyttökohteista ja olosuhteista.

Toisessa, laajakantoisemmassa kysymyksessä on suositeltavaa vastaava käytäntö. Uusien tekniikoiden ja menetelmien tutkimuksessa ja kehityksessä käyttöönottovalmiuden varmistus selkeytyy, kun ajoissa tiedetään, mihin tuote-, teknologia- ja käyttöympäristöön ko. teknologia tulee.

Tiedonvaihtoa ja yhteisen kielen löytämistä on varaa kehittää sekä tuote- ja teknologiakehittäjien että kaikkien tuotekehityksen asiantuntijoiden välillä. Kaikkien osapuolten osalta lämmönhallintatietämystä on lisättävä.

4 Vastauksia ja kommentteja haastattelukysymyksiin

Lämmönhallintaan liittyviä keskusteluja käytiin kartoituksen aikana kolmessa vaiheessa ennen helmikuun laajempaa haastattelukierrosta, sen aikana ja jälkeen lähinnä mikroskaalan erityiskysymyksistä.

Asteikolla 1–5 arvioituihin kysymyksiin ja ehdotuksiin voi sanoa yleiseksi keskiarvoksi noin 4. Desimaalit eivät tässä ole olennaisia, koska ne määräytyivät vastaajien perustinjasta, esimerkiksi siitä, annettiinko arvioita 5 ollenkaan.

Seuraavassa tiivistelmiä haastattelurungon kysymysten (Liite 2A) pääkohdista

1. Lämpösuunnittelun kohdistamisessa tuoterakenteen eri tasoille nousi tärkeimmäksi systeemitaso, joskin myös moduulitaso oli lähes yhtä tärkeä. Välttämättömänä edellytyksenä oli myös, että lämpösuunnittelun tarvitsemat komponenttitiedot saadaan toimittajilta ilman ongelmia.
2. Lämmönhallintaa edistävät voimakkaasti myös riittävän aikaisin tehtävät selvitykset tuotteen käyttöolosuhteista, käyttötavoista ja vaatimusmäärittelystä. Nii-tä pidettiin välttämättöminä ja itsestään selvinä.
3. Yhtenäisen systeemikonseptin tarve jäädytysratkaisun valinnassa aiheutti suurimman hajonnan vastauksissa. Jos kysymys ymmärrettiin siten, että jäädytyskonseptin valinta on tehtävä rinnan muun systeemi-konseptin kanssa, arviot olivat 4–5.
4. Lämpösuunnittelun vaikuttavista alueista tärkeimmäksi nousi hw/mekaniikkasuunnittelun ja tilankäytön uudelleensuunnittelu, seuraavana simulointi ja mallin-nus; lämmönsiirtoa parantavien materiaalien käyttö nousi joillakin toiselle sijalle.
5. Lämpösuunnittelun niveltäminen koko tuotekehitys-prosessiin ja esitettyihin osa-alueisiin: luotettavuuden suunnittelu, mekaniikka-, ympäristö- ja EMC-suunnit-telu, nähtiin erittäin tärkeäksi ja keskeiseksi. Lisäksi riittävän aikaiset vaikuttamismahdollisuudet tuoteke-hitysprosessien alkuvaiheissa (vrt. kohta 2), jolloin ratkaisevasti vielä voidaan vaikuttaa, ovat ydinasioita. Tilanne on pahin silloin, kun lämpösuunnittelu tulee mukaan vasta, kun esimerkiksi rakenteet ja tekniset perusratkaisut on jo päätetty.

6. Materiaalien tutkimuksessa ja valinnassa esitetyt kri-teerit noteerattiin useimmissa vastauksissa lähes sa-manveroisiksi.
7. Lyijyttömyysvaatimuksen voimaantulon 7/06 enna-kointia pidettiin välttämättömänä.
8. Tässä kysymyksessä oli tavoitteena saada kannanotto-ja kaikkiin neljään kohtaan lämmönhallinnan perustar-koituksista ja tavoitteiden asettelusta korkeamman ta-son strategisia linjauksia varten. Lähes tasavahvoja kohtia olivat laitteen suorituskyvyn parantaminen ja varmentaminen, luotettavuuden ja taloudellisen elin-iän parantaminen sekä tuotteen tilankäyttöön ja sijoit-tettavuuteen vaikuttaminen. Keskusteluissa selveni, että ehkä kuitenkin luotettavuus on tärkein asia ja yh-teinen nimittäjä kaikille lämpöasioiden hallintaan liit-tyville toimille. Arvioita esitettiin myös siitä, että luo-tettavuuden suunnittelun rooli ja käytäntö tulevat lähi-aikoina muuttumaan.

Uuden palveluliiketoiminnan luominen voitiin tulkita kahdella tavalla. Se, että syntyy uutta lämpösuunnitte-lun palveluliiketoimintaa, sai vähemmän huomiota. Toinen tulkinta, että em. luotettavuuden parantaminen ja varmentaminen luo hyvän perustan laite- ja järjes-telmätoimittajien huolto- ja ylläpitotoimintaan kohdis-tuvalle uudelle liiketoiminnalle, sai suunnilleen saman painotuksen kuin kolme edellistä kohtaa.

5 Ehdotuksia kehittämistoimiksi

Seuraavassa on yhteenvetona Liitteen 2B pohjalta koottuja ja keskusteluissa esille tulleita toimenpide-ehdotuksia, suosituksia ja toivomuksia:

1. ELMO:n työryhmille laaditaan muistilistoja siitä, miten materiaalien ja uusien teknologioiden t&k-toiminnassa lämpöasiat olisi otettava huomioon. Myös suunnittelu- ja testausvälineiden yhteensopivuutta ja informaation sisällön uudelleenikäytön edistämistä on toivottu.
2. Opetuslaitoksille suositellaan käyttöön sellaista periaatetta, että osastojen yli olisi mahdollisuus ottaa kursseja haluttaessa erikoistua tälle alueelle. Elektroniikkakoulutukseen toivotaan teollisuuden suunnalta enemmän alaan liittyvää perusteoriaa. Opetuslaitosten suunnalta on toivottu mahdollisuuksia järjestää riittävän suuria kokonaisuuksia.
3. Workshoppeja, seminaareja ja täydennyskoulutusta (ELMO:n piirissä ja mahdollisesti SET/MET:in järjestäminä). Eräs toimintamalli voisi olla ETX-ohjelman piiristä alkunsa saanut TKK:n järjestämä EMC-täydennyskoulutus, jossa on neljä kahden koulutuspäivän jaksoa.
4. Lämmönhallinta sisällytetään yhdeksi teemaksi alan tutkijakouluissa, mm. meneillään olevassa Geta:ssa.
5. Design for cooling -tyyppisen ohjeiston tekeminen osuviittana yritysten design for manufacturing/environmental/excellence -ohjeistot, SETin tähän mennessä tekemät vastaavat julkaisut esim. tuotepakkausten ja käytettävyyden suunnittelusta.
6. Vaihtoehtoisten systeemikonseptien luonnostelu tulevia tarpeita silmälläpitäen. TTY:n tekemä tutkimusprojekti hakemus Energialogistiikka uuteen Densy-teknologiaohjelmaan (Hajautetut energijärjestelmät) sisältää yhtenä case-alueena tämän aihepiirin työnimellä ”Älykäs tulevaisuuden jäähdytysjärjestelmä”. Lähtökohtana on muutaman kilowatin hukkalämpö ja nestejäähdytys. Tämän kesäkuussa 2003 ohjelmaan hyväksytyn projektin tarkoitus on kyseisten aiheiden energialogistista ketjua käyttäen hahmotella vaihtoehtoisia ratkaisuja eri tehotasoilla ja ympäristöissä, jossa olisi mahdollisesti myös lämmön talteenotto ja sen käyttö hyötyenergiana sekä samalla kehittää mallinnusta ja verkoston yhteistyötä. Tässä projektissa valitaan esimerkkialueiksi potentiaalisia elektroniikka- ja energiasovelluksia. Tutkimuksen vastuullinen johtaja on prof. Antero Aittomäki. Tähän mennessä on vuoden 2004 loppuun kestävään projektiin ilmoittautunut neljä yritystä. Tutkimusorganisaatioina ovat TTY:n energia- ja elektroniikkayksiköt. Lisäjäsenille on ovi auki.

Liite 1

Haastatellut yritykset ja laitokset sekä niiden edustajat

ABB Industry	Risto Laurila,Timo Koivuluoma
ABB Substation Automation	Simo Kangas
Efore	Jyri Pennanen
Helvar	Teijo Viljanen
Ideal Engineering	Mario Lopez-Jorkama
Kone	Pekka Jahkonen
Metso Automation	Hannu Huotari
Nokia,NRC	Jukka Rantala, Vesa Kyyhkynen, Reijo Lehtiniemi
Nokia Networks	Jari.Huttunen, Seppo Tammenmaa
Outokumpu	Mikko Immonen
Powerware	Jari Uusitalo, Timo Manner
PIC (Projekti-insinöörit), Vantaa	Tommi Haavisto, Jenni Nieminen
PIC, Oulu	Kalervo Lassila , Katariina Keikko
Tellabs	Alf Björklöf
Vacon	Jukka Kasi, Osmo Miettinen
Kotel /VTT	Risto Hienonen
OY	Jouko Vähäkangas
TKK	Jorma Kivilahti, Raimo Sepponen, Kalevi Ekman
TTY	Reijo Karvinen, Eero Ristolainen
VTT	Jaakko Lenkkeri, Tero Majamaa
Tekes-yhdyshenkilöt	Oiva Knuuttila, Mika Niskanen, Kari Rintala

Liite 2

Haastattelukysymyksiä

Vastauksissa asteikko 1...5 (1. ei merkitystä/täysin eri mieltä...5 erittäin merkittävä/samaa mieltä)

A Kannanottoja lämmönhallinnan alueita koskeviin väitteisiin

1. Lämpösuunnittelussa olisi saavutettavissa parempia tuloksia, jos huomiota kiinnitettäisiin ja toimenpiteitä tehtäisiin nykyistä enemmän
Systeemitasolla _____
kortti/moduulitasolla _____
Komponenttitasolla _____
2. Lämmönhallintaa edistäisi voimakkaasti riittävän aikaisin tehtävät selvitykset tuotteen käyttöolosuhteista, käyttötavoista, vaatimusmäärittelystä _____
3. Jäähdytysratkaisujen valinnassa tarvittaisiin enemmän yhtenäistä systeemikonseptia _____
(kun valittavissa mm. vapaa konvektio, tuuletin+rivat, lämpöpiippu, Peltier-menetelmä, lämpöputki, nestejäähdytys tai yhdistelmiä edellisistä ja valinta riittävän aikaisin)
4. Lämpösuunnittelua parantaisivat seuraavat menetelmät:
hardware/mekaniikkarakenteen ja tilankäytön uudelleensuunnittelu _____
lämmönsiirtoa parantavien materiaalien käyttö _____
simulointien ja mallinnusten käyttö _____
Muita _____
5. Lämpösuunnittelu tulisi niveltää nykykäytäntöä enemmän
koko tuotekehitysprosessiin _____ luotettavuuden suunnitteluun _____
mekaniikkasuunnitteluun _____ ympäristö- ja EMC-suunnitteluun _____
6. Materiaalien tutkimuksessa ja materiaalien valinnassa kriteereinä tulisi olla mm.
lämpöominaisuudet yleensä _____
materiaalien terminen yhteensopivuus _____
7. Tulevaan lyijyttömyysvaatimukseen juotoksissa (v. 2006) olisi varauduttava todennäköisesti korkeampien juotoslämpötilojen vuoksiennakkoinnin _____
8. Lämmönhallinta pystyy parhaimmillaan
parantamaan ja varmentamaan laitteen suorituskykyä _____
parantamaan laitteen luotettavuutta ja pidentämään taloudellista elinikää _____
vaikuttamaan ratkaisevasti tuotteen tilankäyttöön ja sijoitettavuuteen _____
luomaan uutta palveluliiketoimintaa _____

B Kannanottoja lämmönhallintaa koskeviin ehdotuksiin

1. Laaditaan yhtenäinen tiedote ja ohje ELMO:n työryhmille lämmönhallinnan huomioonottamisesta, sisältönä esim. tarkistuslista huomioonotettavista tekijöistä _____

2. Kerätään kokemuksia elektroniikkalaitteiden lämpösuunnittelun tyyppitapauksista ja julkaistaan tulokset raporttina _____

3. Kerätään eri osapuolilta kokemuksia ja julkaistaan suosituksia lämpösuunnittelun prosessimalleista sekä sen integroinnista muihin kehitysprosesseihin _____

4. Luodaan malliratkaisu, miten lämpösuunnittelu ulkoistetaan ja tyyppiratkaisu, miten lämpösuunnittelu verkostossa olisi tehtävä _____

5. Laaditaan design review- sekä design for manufacturing -ohjeiden ja -käytäntöjen tyyppinen design for cooling -ohje _____

6. Laaditaan yksilöity suosituslista tiede- ja ammattikorkeakouluille, mitä lämmönhallintaa koskevia asioita ja sitä tukevia aineita (esim. simulointia, termodynamiikkaa ja virtausoppia) tulisi sisällyttää perusopetukseen _____

7. Käynnistetään neuvottelut korkeakoulujen välisestä yhteistyöstä ja työnjaosta riittävän suurien kokonaisuuksien muodostamiseksi mm. opinnäytetöitä ja jatko-opintoja varten _____

8. Organisoidaan korkeakoulujen yhteinen väitöskirjatutkijatasoinen tutkijakoulu _____

9. Järjestetään ELMO-ohjelman puitteissa seminaareja ja workshoppeja lämmönhallinnasta tai osana jotain laajempaa aihepiiriä ja hankitaan niihin tarvittaessa tunnettuja alan gureja _____

10. Siirretään osa edellä olevista toimenpidealueista SETille ja Kotel-työryhmälle 18 _____

Tekesin teknologiakatsauksia

146/2003	Elektroniikan lämmönhallinta. Simo Keskinen. 8 s.
145/2003	Meriklusterikatsauksen englanninkielinen versio.
144/2003	Tracing Knowledge Flows in the Finnish Innovation System – A Study of US Patents Granted to Finnish University Researchers. Martin Meyer, Tanja Siniläinen, Jan Timm Utecht, Olle Persson, Jianzhong Hong. 36 p.
143/2003	Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa. Antti Rainio. 75 s.
142/2003	Innovaatio investointina. Osa 1. Rahoitusteoreettinen näkökulma Tekesin vaikuttavuuteen. Mika Vaihekoski, Seppo Leminen, Joonas Pekkanen, Jussi Tiilikka
141/2003	Suomen bioteollisuuden bioprosessitekniset tarpeet
140/2003	Suomen meriklusteri. Mikko Viitanen, Tapio Karvonen, Johanna Vaiste, Hannu Hernesniemi. 190 s.
139/2003	Innovaatioita metsästämisessä – media valinkauhassa. Ulf Lindqvist, Timo Siivonen, Caj Södergård. 44 s.
138/2003	Finland's Wireless Valley: Domestic Politics, Globalizing Industry. Dan Steinbock.
137/2003	Kohti kansainvälistä arvoverkottunutta rakentamista - Linjaukset rakennusklusterin teknologia-ohjelman kansainvälistymiselle. Towards Value Networks in Construction - Outlining Internationalization for the Building Cluster Technology Program. Tapio Koivu, Hans Björnsson.
136/2003	Verkostotalouden uudet sovellukset – Aihealueen tulevaisuuden suuntauksia ja kehittämistarpeita. Klaus Oesch, Anssi Varesmaa, Tero Nummenpää, Petri Vuorimaa. 78 s.
135/2003	Uuden sukupolven teknologiaohjelmia etsimässä.
134/2003	Insights into services and innovation in the knowledge-intensive economy. Dr Jari Kuusisto, Dr Martin Meyer. 62 p.
133/2002	Independent living market in Germany, UK, Italy, Belgium and the Netherlands. Christine Grumbach, Finpro Germany, Merja Heikelä and Timothy Skilton, Finpro UK, Anneli Okkonen, Finpro Italy, Katja Haukipuro, Finpro Belgium, and Ritva Huisman, Finpro UK-Benelux. 199 p.
132/2002	Technological Trends and Needs in Food Diagnostics. Gabriela von Blankenfeld-Enkvist, Malin Brännback. 33 p.
131/2002	Elintarviketeollisuuden teknologiaennakointi ja tutkimuksen arviointi. Mari Hjelt, Totti Könölä, Päivi Luoma. 130 s.
130/2002	Lääkevalvonta bioteknisessä tuotekehityksessä. Outi Nieminen, Katrina Nordström. 35 s.
129/2002	Bioinformatiikka Suomessa. Katri Ylönen, Erja Heikkinen, Marjo Uusikylä. 43 s.
128/2002	Arktinen teknologia suomalaisten yritysten liiketoimintastrategioissa. 63 s.
127/2002	US Fitness Industry Market Overview and Entry Strategies. Val Arthur Kratzman. 73 p.
126/2002	Particle technologies in diagnostics. Harri Härmä. 29 p.
125/2002	Nucleic acid diagnostics markets, Unmet needs and product potential. Harri Siitari. 29 p.
124/2002	Polttopuun pientuotannon ja -käytön kehitystarpeet. Satu Helynen, Heikki Oravainen. 26 s.
123/2002	US Corporate Wellness Study. 87 p.
122/2002	Benchmarking Innovation Systems: Government Funding for R&D. Draft Final Report. 62 p. Erik Frinking, Mari Hjelt, Irma Essers, Päivi Luoma, Sami Mahroum