

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Automaatiotekniikka

Opinnäytetyö

Petri Eerikäinen

PUOLIOHDELASERIN TESTAUSKAAPIN LÄMPÖTILASÄÄDÖN SUUNNITTELU JA
TESTAUS

Työn valvoja
Työn ohjaaja
Tampere 2008

Diplomi-insinööri Mikko Numminen
Diplomi-insinööri Jarmo Kriikka

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Sähkötekniikka

Petri Eerikäinen

Opinnäytetyö

Työn valvoja

Työn ohjaaja

Toukokuu 2008

Hakusanat

Puolijohdelaserin testauskaapin lämpötilasäädön suunnittelu ja testaus

33 sivua ja 13 liitesivua

Diplomi-insinööri Mikko Numminen, Tampereen AMK

Diplomi-insinööri Jarmo Kriikka, Coherent Finland Oy

lämpötilasäädin, Peltier-elementti, puolijohdelaser, PID-säädin

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aiheena oli suunnitella Coherent Finland Oy:lle tehopuolijohdelaserin testikaappiin lämpötilansäätöjärjestelmä, joka ylläpitää tasaista lämpötilaa lasereiden käytön ajan testikaapissa. Työhön kuului suunnittelun lisäksi rakentaa toimiva testikokonaisuus ja optimoida säädinjärjestelmän parametrit yrityksen haluamille lämpötehoarvoille. Testikokonaisuus oli rakennelma, joka ylläpiti haluttua laser-moduulin lämpötilaa ja mahdollisesti helpon laser-moduulin vaihdon käyttötilanteessa.

Opinnäytetyössä käytettiin Supercool-yrityksen Peltier-elementtejä ja saman yrityksen PID-säädintä. Muut osat voitiin vapaasti valita käyttöön sopiviksi ottaen huomioon projektin budjetin.

Testikokonaisuus rakennettiin siten, että seuraavat kriteerit täyttyivät: Laser-moduuli on helppo asettaa ja poistaa testikokonaisuudesta. Testikokonaisuus mahtuisi suunnitteilla olleeseen testikaappiin sille varattuun tilaan.

Testikokonaisuus ylläpitää halutun lämpötila-arvon tietyllä lämpökuormalla.

Testikokonaisuus suunniteltiin ja rakennettiin onnistuneesti ja parametrit PID-säätimelle optimoitiin niin, että lämpötila pysyy tasaisena halutuilla lämpökuormilla. Testikokonaisuus voidaan liittää testikaappiin toimivana järjestelmänä.

TAMPERE UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electrical Engineering

Petri Eerikäinen Laser diodes test modules temperature control designing and testing

Engineering Thesis 33 pages and 13 appendices

Thesis supervisor Master of Science Mikko Numminen, Tampereen AMK

Instructor Master of Science Jarmo Kriikka, Coherent Finland Oy

May 2008

Keywords temperature control, thermoelectric cooler, laser diode, PID-control

ABSTRACT

This thesis subject was to design a temperature control in to laser diodes test module which kept temperature evenly in desired level while lasers were in use. Thesis was made to Coherent Finland Oy. In addition to designing the test ensemble thesis also included building a functional test ensemble and optimizing parameters as Coherent Finland Oy wanted them. Test ensemble was a structure which kept desired temperature of a laser module and allowed easy laser module switch in a work environment.

Temperature control was made with thermoelectric coolers and with PID-control. Both were made by company called Supercool. Other parts were selected freely to fit the purpose remembering the budget that was used in the project.

Test ensemble was built in a way that it would fill the following criteria: Laser module is easy to attach and remove from the test ensemble. Test ensemble would fit to its designed place in a test module. Test ensemble would keep up the wanted temperature regardless of certain amount of heat resistance.

Test ensemble was designed and built successfully and PID-parameters were optimized so that temperature would stay in desired level with wanted amount of external heat resistance. Test ensemble can be attached to the test module as a functional system.

ALKUSANAT

Sain opinnäytetyön aiheen joulukuussa 2007, jolloin kiinnostukseni heräsi sitä kohtaan. Coherent Finland Oy kiinnosti yrityksenä ja oli luontevaa kun mahdollisuus tarjoutui, että otan opinnäytetyön aiheen vastaan. Coherent Finland Oy on minulle tuttu jo aiemmin, sillä työskentelin kesän 2006 yrityksessä.

Haluan kiittää kaikkia jotka ovat edesauttaneet opinnäytetyön edistymistä. Suurimmat kiitokset ansaitsevat opinnäytetyön ohjaaja Jarmo Kriikka ja opinnäytetyön valvoja Mikko Numminen, joilta sain tarpeen tullen apua ja ohjausta ongelmatilanteisiin. Haluan myös kiittää perhettäni kärsivällisyydestä ja tuesta työn aikana.

Tampereella 16. lokakuuta 2008,

Petri Eerikäinen

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
ALKUSANAT.....	4
SISÄLLYSLUETTELO	5
LYHENTEIDEN JA KÄSITTEIDEN SELITYKSET.....	6
1 JOHDANTO	7
2 LASER	7
3 IKÄÄNNYTTÄMISKAAPPI.....	9
4 PELTIER-ELEMENTTI	9
4.1 Toimintaperiaate.....	9
4.2 Käyttökohteet	10
5 MITTAUSYMPÄRISTÖ.....	10
5.1 Vesijäähdytys	10
5.2 Tiedonkeruulaitteisto.....	11
5.3 Lämpötila-anturit	12
5.3.1 K-tyypin termoparit.....	12
5.3.2 NTC-termistori	13
5.4 Virta-anturit	13
5.5 Laserin valotehon mittaus.....	14
5.6 Teholähteet	14
5.7 Peltier-ohjausyksikkö ja säädinohjelma	16
6 LÄMPÖTILA-ANTURIEN KALIBROINTI	18
7 ENSIMMÄINEN TESTIKOKONAISUUS.....	20
7.1 Rakenteellinen kokonaisuus	20
7.2 Lämpötila-antureiden sijoittelu.....	21
8 TOINEN TESTIKOKONAISUUS	22
8.1 Rakenteellinen kokonaisuus	22
8.2 Lämpötila-antureiden sijoittelu.....	24
9 MITTAUKSET JA TESTIT	24
10 LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ	26
11 YHTEENVETO	31
LÄHTEET	32
LIITTEET	

LYHENTEIDEN JA KÄSITTEIDEN SELITYKSET

Peltier-elementti	Sähköinen komponentti, joka muodostaa lämpötilaeron levyjen väliin.
GaAs	Gallium–arseeni-yhdiste.
CCP-laser -moduuli	Conduction Cooled Package. Ruuveilla kiinnitettävä, kuparista valmistettu kappale, johon laser on kiinnitetty.
Koherentti valo	Valoa, jossa valoaalot ovat samanvaiheisia.
Monokromaattinen valo	Valoa, jossa valoaalot ovat saman taajuisia.
K-tyypin termopari	Lämpötila-anturi.
NTC-termistori	Negative Temperature Coefficient, lämpötila-anturi, jonka vastusarvo pienenee lämpötilan kasvaessa.
NiAl	Nikkeli–alumiini-yhdiste.
NiCr	Nikkeli–kromi-yhdiste.
Seebeckin ilmiö	Lämpösähköinen ilmiö, jossa kahden eri johteen liitoskohtien lämpötilaero aiheuttaa jännite-eron johtimeen.

1 JOHDANTO

Coherent Finland Oy on puolijohdelasereita valmistava yritys, joka on osa maailman johtavaa alan yritystä Coherent Incorporatedia. Coherent Finland Oy on erikoistunut GaAs-pohjaisten tehopuolijohdelasereiden ja saman teknologian integroitujen laitteiden valmistukseen.

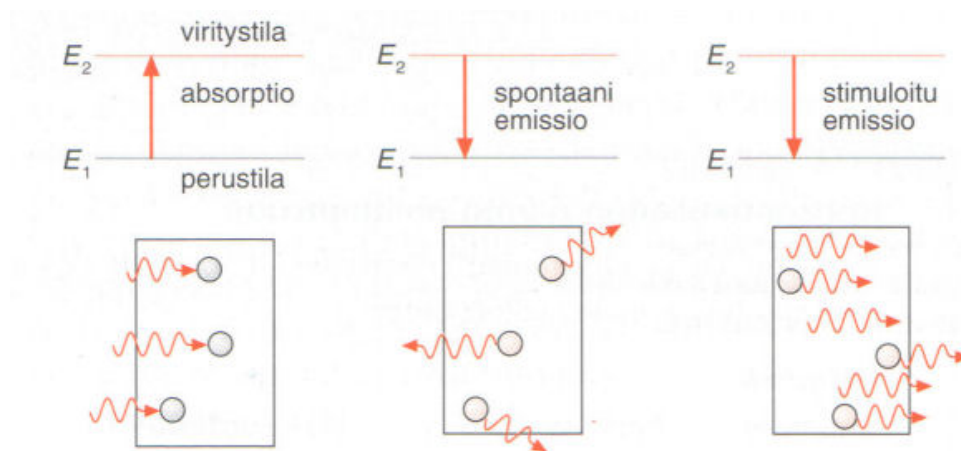
Lasereiden valmistuksessa, osana laadun varmistusta, käytetään ikäännyttämistä, joka tarkoittaa laserin yhtäjaksoista käyttöä tietyn aikaa. Coherent on määritellyt ikäännyttämisaikaksi 48 tuntia. Jos laser on 48 tunnin kuluttua edelleen toiminnassa, voidaan sille taata toimintavalmius koko suunnitelluksi eliniäksi. Toisin sanoen ikäännyttäminen karsii heikot yksilöt ja on laadun ylläpitämisen kannalta todella tärkeää.

Ikäännyttämistä varten on suunniteltu kaappi, joka mahdollistaa 24 laserin samanaikaisen ikäännyttämisen. Laserit asennetaan irrotettaville hyllyille neljä laseria vierekkäin. Hyllyjä kaappiin tulee kuusi. Laserit tuottavat lämpöä, joka jäähdytetään Peltier-elementtien avulla. Peltier-elementtejä ohjaa säädin, joka pitää laserit tasaisessa 25 °C:n lämpötilassa. Peltier-elementtien kuumapuoli jäähdytetään vesikierrolla. Tämän opinnäytetyön aiheena oli suunnitella kyseinen lämpötilansäädinkokonaisuus ja rakentaa yksittäinen toimiva malliesimerkki laitteistosta. Opinnäytetyöhön kuului selvittää työn ohjaajan valitsemista Peltier-vaihtoehtoista paras. Valintakriteereihin kuuluivat tilan rajallisuuden takia jäähdyttimen koko ja paino, mutta tärkeimpänä kriteerinä oli Peltier-elementin jäähdytysteho.

2 LASER /1, 2/

Laser on laite, joka käyttää hyväksi stimuloitua emissiota. Tämä tarkoittaa sitä, että jo aikaisemmin virittyneen atomin kohtaa foton, jonka energia on täsmälleen sama kuin virittymisen aiheuttaneenkin, eräänlaisena resonanssi-ilmiönä foton indusoi viritystilän purkautumisen. Kuvassa 1 on esitetty edellä mainittu tapahtuma. Tällöin aikaansaatu säde sisältää suuren määrän koherentteja eli tahdistettuja fotoneja. Tuloksena syntyy monokromaattista, siis vain yhtä aallonpituutta

sisältävää valoa. Nimitys laser tulee laitteen toimintatapaa kuvaavista sanoista: light amplification by stimulated emission of radiation.



Kuva 1. Fotonin ja atomin vuorovaikutukset (viritystilat on kuvattu punaisella värillä). /1/

Puolijohdelaser toimii samankaltaisesti kuin perinteinenkin laser.

Puolijohdelaserissa stimuloitu emissio tapahtuu myötäsuuntaan kytketyssä pn-liitoksessa, jossa johtavuusvyön elektroni ja valenssivyön aukko yhdistyvät, vyöväliä vastaava energia vapautuu säteilyä. Stimuloitu emissio tulee hallitsevaksi, kun myötäsuuntainen sähkövirta ylittää tietyn kynnsarvon. Silloin saavutetaan laservalon syntymisen edellytyksenä oleva käänteinen miehitys: elektronien lukumäärä johtavuusvyössä on suurempi kuin aukkojen lukumäärä valenssivyössä. Seurauksena on optisen säteilytehon jyrkkä kasvu. Lasereiden tapaan puolijohdelaserin emittoima säteily on koherenttia ja monokromaattista kapealla aallonpituuskaistalla. Opinnäytetyössä jäädytettävät laserit olivat suuritehoisia puolijohdelasereita, jollainen on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Opinnäytetyössä jäädytettävä CCP-puolijohdelaser-moduuli. /3/

3 IKÄÄNNYTTÄMISKAAPPI

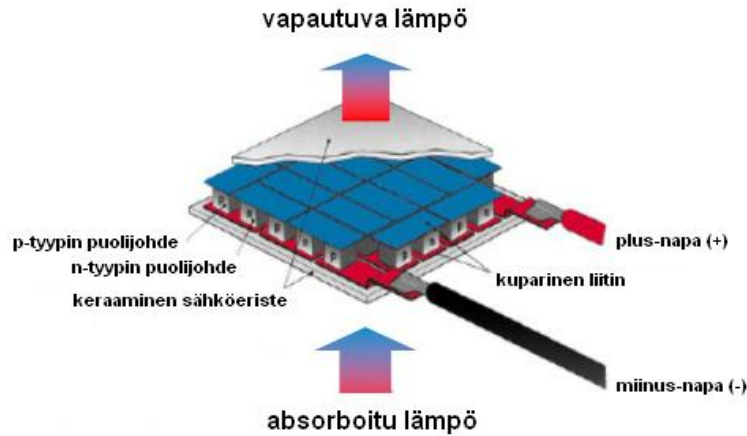
Ikäännyttämiskaappi toimii laservalmistuksessa laaduntarkkailun ja elinikätestauksen piirissä. Opinnäytetyöhön liittyvä ikäännyttämiskaappi mahdollistaa 24 laserin samanaikaisen ikäännyttämisen. Laser-moduuleita varten kaappiin on asennettu irrotettavat hyllyt, joihin laser-moduulit liitetään neljä yhtä hyllyä kohden. Hyllyissä on valmiina järjestetty jäähdytysjärjestelmä, joka mahdollistaa nopean laser-moduulin liittämisen hyllyyn. Ikäännyttämiskaapissa jokaista laser-moduulin lämpötilaa säättää lämpötilasäädin, joka ylläpitää tasaista 25 °C lämpötilaa. Lasereiden ikäännyttämisvaiheessa yksittäisen laserin valotehoa on mahdollista tarkkailla valotehomittarin avulla. Kaapissa toimii yksi liikkuva mittalaite, joka mittaa valotehon kunkin laserin kohdalta liikkeessään sen editse. Tämä auttaa tietämään meneillään olevan ikäännyttämisen tuloksia jo ennen kuin lopullinen ikäännyttämisaika on ohi. Ikäännyttämisaikaksi on määritelty 48 tuntia. Jos laser-moduuli kestää toimintakykyisenä ensimmäiset 48 tuntia, voidaan sille taata toimintatakuu sen suunnitellulle eliniälle. Ikäännyttämiskaappia voidaan myös käyttää lasereiden elinikätestaukseen. Elinikätestaus on osa laaduntarkkailua ja tuotekehitystä. Käytännössä valitut laserit pidetään päällä niin kauan, kunnes ne lopettavat toimintansa. Mittaamalla kunkin laserin toiminta-aika, voidaan todeta keskimääräinen elinikä laserille. Lämpötila vaikuttaa voimakkaasti laserin ikääntymiseen, joten elinikätestitulosten kannalta lämpötilan tarkka säädettävyys on tärkeää.

4 PELTIER-ELEMENTTI

4.1 Toimintaperiaate

Peltier-elementit ovat elektronisia komponentteja, joiden toiminta perustuu puolijohteisiin. Peltier-elementit ovat levymäisiä kappaleita, joiden tasojen välille muodostuu lämpötilaero. Kappaleessa on kuuma- ja kylmäpuoli. Virran kulkiessa kappaleen sisällä olevien n- ja p-tyypin puolijohteiden läpi, alkaa kylmäpuoli absorboida lämpöä ja kuumapuoli vapauttaa sitä. Toimintaperiaate on esitelty kuvassa 3. Tätä ilmiötä kutsutaan lämpösähköiseksi ilmiöksi. Vaihdettaessa

sähkövirran suuntaa, vaihtavat myös kuuma- ja kylmäpuoli paikkoja, joten laite pystyy hyvin tasaamaan lämpötiloja vaihtelevissakin olosuhteissa.



Kuva 3. Peltier-elementin toimintakaavio. /4/

4.2 Käyttökohteet

Peltier-elementtejä käytetään yleensä pienikokoisten paikallisten kohteiden, kuten esimerkiksi mikroprosessorien tai valonilmaisimien jäähdyttämiseen. Useimmat autojääkaapit toimivat myös Peltier-elementin avulla, mutta sitä suurempiin jäähdytyskohteisiin ei elementtejä juurikaan käytetä niiden suuren tehontarpeen vuoksi.

5 MITTAUSYMPÄRISTÖ

Lähdettäessä tutkimaan Peltier-elementtien käyttömahdollisuuksia ja toimintasädetä, rakennettiin mittausympäristö, josta kerrotaan mittalaittekohtaisesti tässä osiossa.

5.1 Vesijäähdytys

Jotta Peltier-elementti saadaan jäähdyttämään haluttua kappaletta, tarvitsee elementin kuumapuoli jäähdyttää tehokkaasti. Kuumapuolen jäähdytystä ylläpiti

Lauda RKS20-D -vesitermostaatti, jonka teknisiä tietoja on esitelty *Taulukossa 1*.
Kuvassa 4 on esitelty Lauda RKS20-D -vesitermostaatti.

Taulukko 1. Lauda RKS20-D -vesitermostaatin teknisiä tietoja.

Lämmitysteho	2500 W
Jäähdytysteho	800 W
Nestesäiliön tilavuus	18 l
Pumppausteho	15 l/min
Termostaatin toiminta-alue	-40...150 °C
Toleranssi	±0,02 °C



Kuva 4. Lauda RKS20-D -vesitermostaatti ja R22-säädinjärjestelmä. R22-säädinjärjestelmä ei ollut kytkettynä toimintaan.

5.2 Tiedonkeruulaitteisto

Erilliset mittaustiedot saatiin helposti tallennettua samanaikaisesti muiden tietojen kanssa Agilent 34970A -tiedonkeruulaitteiston avulla, joka on kuvassa 5.

Laitteeseen oli asennettu tiedonkeruukortti 34901A, joka mahdollisti 20 jännite-

mittausta ja kaksi virtamittausta. Tiedonkeruukortin teknisiä tietoja on esitelty taulukossa 2. Mittaukset tapahtuivat peräkkäin releohjauksella. Laitteisto toimii siten, että mitatut tiedot tulevat tiedonkeruukortille, josta tiedonkeruulaitteisto lähettää saamansa tiedot eteenpäin tietokoneelle. Tiedonkeruulaitteisto on yhdistetty tietokoneeseen RS-232-portin kautta. Tietokoneelle asennettu ohjelmisto käsittelee tiedot ja tallentaa ne käyttäjän haluamalla tavalla.

Taulukko 2. Agilent 34970A- ja 34901A -tiedonkeruulaitteiston teknisiä tietoja

Mittauskanavien lukumäärä	20 jännite- ja 2 virtamittausta
Näytteenottotaajuus	60 mittausta per sekunti
Liitäntä tietokoneeseen	RS-232-portti



Kuva 5. Agilent 34970A

5.3 Lämpötila-anturit

5.3.1 K-tyyppin termoparit

Lämpötila-antureina käytettiin K-tyyppin termopareja, joita mittauksissa oli yhteensä seitsemän. K-tyyppin termopari koostuu kahdesta johtimesta, joiden materiaaleina ovat NiAl ja NiCr. Näiden metalliseosten liitoskohdan eri puolille syntyy jännite-ero, joka on verrannollinen liitoskohdan ja johtimien avoimien päiden väliseen lämpötilaeroon. Tätä ilmiötä kutsutaan Seebeckin ilmiöksi. K-tyyppin termopari on esitelty kuvassa 6.



Kuva 6. K-tyyppin termopari lasikuitueristeellä

5.3.2 NTC-termistori

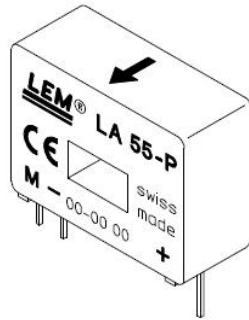
Peltier-elementtien säätimeen oli liitetty neljä NTC-termistoria, joista yksi mittasi säädettävää lämpötilaa ja yksi säätimen omaa lämpötilaa sekä kaksi omavalintaista lämpötilaseurantaa. NTC-termistori on puolijohdemateriaalista tehty vastus, jonka vastusarvo laskee lämpötilan kasvaessa. NTC-termistori on esitelty kuvassa 7.



Kuva 7. NTC-termistori.

5.4 Virta-anturit

Virtamittauksissa käytettiin LEM-virta-antureita, joita mittauksissa oli kaksi. LEM LA55-P, joka on esitelty kuvassa 8, mittasi Peltier-elementtien virtaa ja LEM LA125-P mittasi laserin virtaa. Koska mitattiin tasavirtaa, tarvitsivat virta-anturit toimiakseen ± 15 V käyttöjännitettä. LEM-anturissa on kolme ulkoista johdinpäätä. (+)-merkkiseen johtimeen asetetaan +15 V ja (-)-merkkiseen -15 V. M-merkkisestä johtimesta mitattiin siitä kulkeva virta, joka on tuhatkertaisena suoraan verrannollinen mitattavan johtimen virta-arvoon. Toisin sanoen, jos mitattavassa johtimessa kulkee 10 A:n virta, kulkee M-johtimen kautta maapotentiaaliin 10 mA:n virta. Molemmat anturit toimivat samankaltaisesti, poikkeuksena kuitenkin maksimivirran määrä, joka LA55-P:ssä oli 50 A ja LA125-P:ssä 125 A.



Kuva 8. LEM-virta-anturi.

5.5 Laserin valotehon mittaus

Laserin valotehon määrittäminen oli tarpeen, jotta tiedettiin tarkalleen, kuinka paljon laserin kuluttamasta tehosta siirtyi valotehona laserista ja kuinka paljon siitä siirtyi kappaleeseen lämpönä. Valoteho mitattiin kuvan 9 Ophir Laserstar -mittarilla, joka ilmoitti valotehon 10 mW:n tarkkuudella.



Kuva 9. Ophir Laserstar -valotehoilmaisimien ja mittapää.

5.6 Teholähteet

Mittausympäristöön kuului kaikkiaan neljä erillistä teholähdettä. Kuvan 10 Tti TSX1820P -teholähteitä oli kaksi kappaletta kytkettynä sarjaan. Teholähde antoi maksimissaan 35 V:n jännitteen ja 10 A:n virran. Koska haluttiin varmistaa, että jännite saadaan halutessa tarvittavan korkeaksi, kytkimme kaksi samanlaista teholähdettä sarjaan. Nämä teholähteet antoivat tehon Peltier-elementeille ja Peltier-säädinyksikölle. Liitteessä 1 on kuvattuna Peltier-säädinyksikön virran kytkemiskohta.



Kuva 10. Tti TSX1820P -teholähde.

Kuvan 11 teholähde toimi LEM-virta-anturien teholähteenä. Virta-anturit tarvitsivat toimiakseen ± 15 V:n jännitteen. Teholähteeseen asetettiin 30 V:n jännite ja virtaraja asetettiin 1 A:n, joka on riittävä tähän toimintaan.



Kuva 11. Tti PL330QMD -teholähde.

Kuvan 12 teholähde antoi tehon puolijohdelaserille. Teholähde on Coherent Finlandin suunnittelema laite juuri puolijohdelasereiden tehon tarpeeseen.



Kuva 12. Coherent Finlandin valmistama laserteholähde.

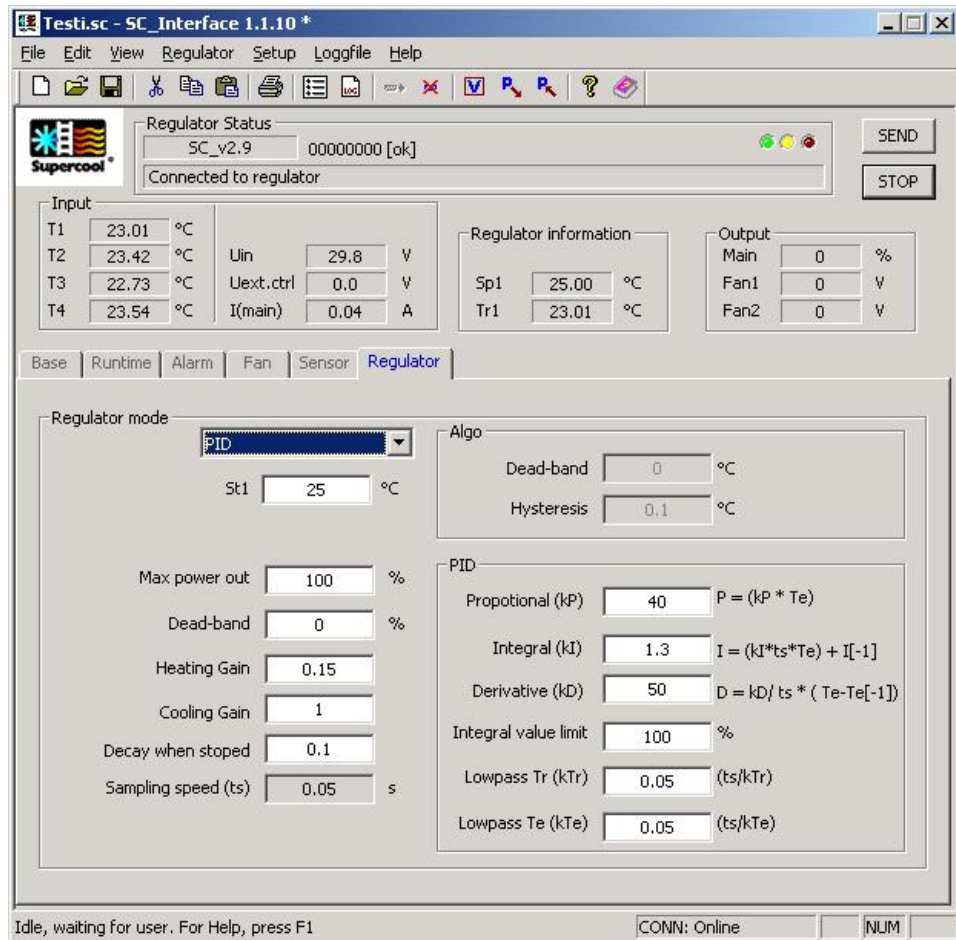
5.7 Peltier-ohjausyksikkö ja säädinohjelma

Työhön oli valittu kuvan 13 ruotsalaisen Supercool-valmistajan PID-säädinyksikkö, joka säätää Peltier-elementtien avulla halutun lämpötilan lasermoduulille. Peltier-ohjausyksikön lämpötila-anturi, jonka avulla säädin ylläpitää haluttua lämpötilaa, oli asennettu laser-moduuliin kuparista tehdyn muotin avulla. Näin taattiin paras lämmönjohtavuus anturille.



Kuva 13. Supercool lämpötilan PID-säädinohjausyksikkö.

Säädinohjausyksikkö oli yhteydessä tietokoneeseen RS-232-portin kautta. Tietokoneeseen asennetun ohjelmiston kautta voidaan säätää säädinohjausyksikön eri parametreja. Kuvassa 14 on tietokoneelle asennetun säädinohjelman regulatorvälilehti, josta voidaan valita haluttu säädinjärjestelmä.



Kuva 14. Säädinohjelman regulator-välilehti, jossa määritellään säätimen parametrit.

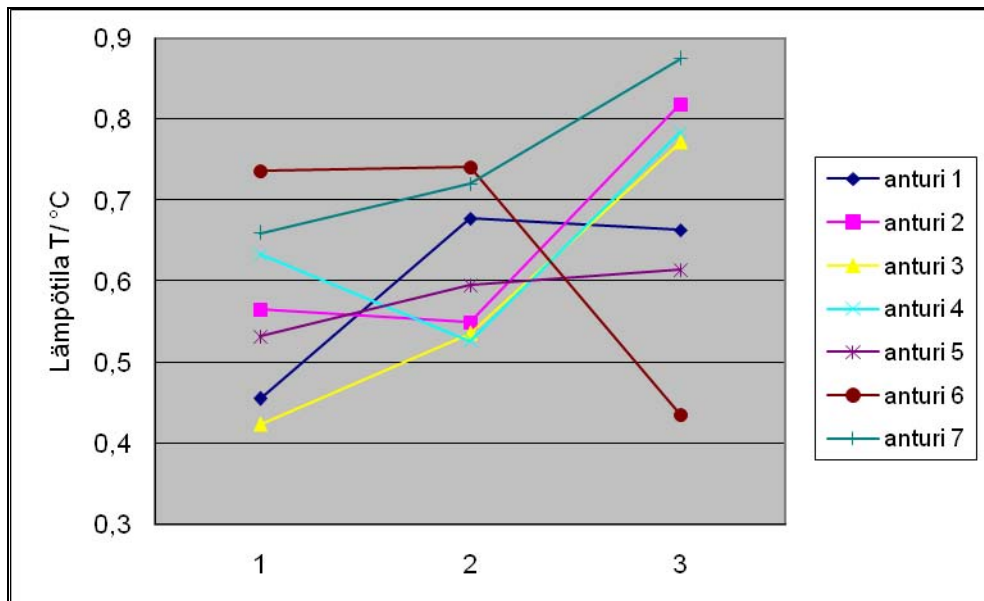
6 LÄMPÖTILA-ANTURIEN KALIBROINTI

Ennen kuin mittauksia voitiin aloittaa, oli lämpötila-antureiden tarkkuus ja toiminta tarkastettava. Tehtiin yksinkertainen koe, jonka avulla todettiin lämpötila-anturien toiminta: Käytettiin testipisteinä veden jäätymispistettä ja kiehumispistettä. Testattiin seitsemän kappaletta K-tyypin termopareja. Testin ensimmäisessä osassa jäähdytettiin vesi mahdollisimman lähelle jäätymispistettä jääpalojen avulla. Lämpötilan todentaminen tapahtui aiemmin luotettavaksi todetulla NTC-termistorilla. Jäähdytetty vesi pidettiin lasiastiassa jatkuvassa sekoitustilassa kuvan 15 Bibby HB502 -magneettisekoittimella. Lasiastian pohjalle asetettiin magneettinen, noin viisi senttimetriä pitkä tanko, joka pyöri lasissa sekoittimen muodostaman magneetikentän voimasta. Tällä pyrittiin minimoimaan mahdollisia vesiastian sisäisiä lämpötilaeroja.

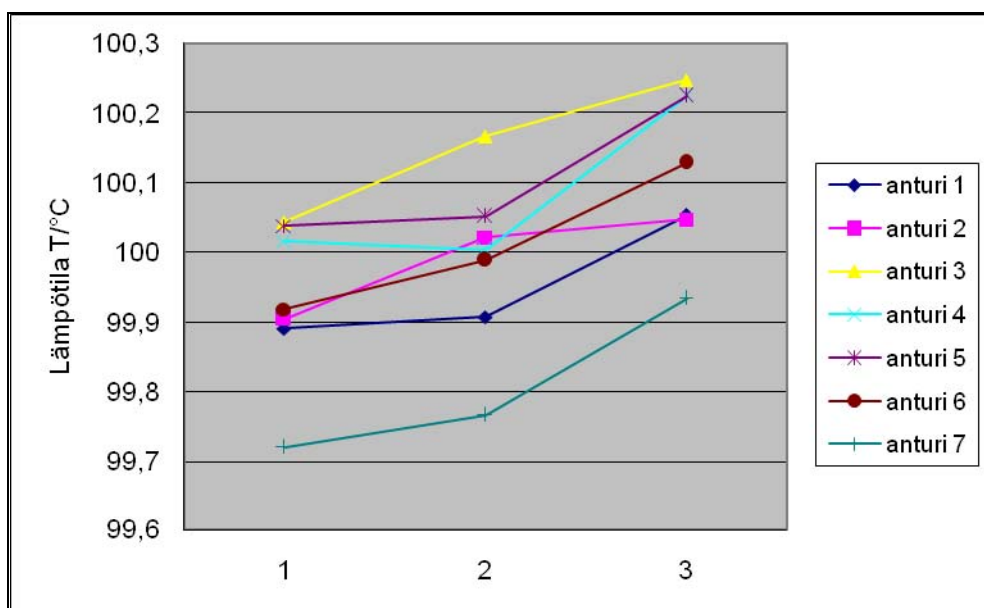


Kuva 15. Bibby HB502 -magneettisekoitin ja lasiastia.

Anturit upotettiin veteen, siten etteivät ne koskettaneet jääpaloihin eivätkä lasin reunoihin. Toimittiin myös samankaltaisesti testin toisessa osiossa, jossa kuumennettiin vesi kiehumispisteeseen. Mittaukset tehtiin kolmesti molemmissa testitilanteissa (Kuva 16. ja Kuva 17.).



Kuva 16. 0-asteisen veden mitatut arvot K-tyyppin termopareilla.



Kuva 17. 100-asteisen veden mitatut arvot K-tyyppin termopareilla.

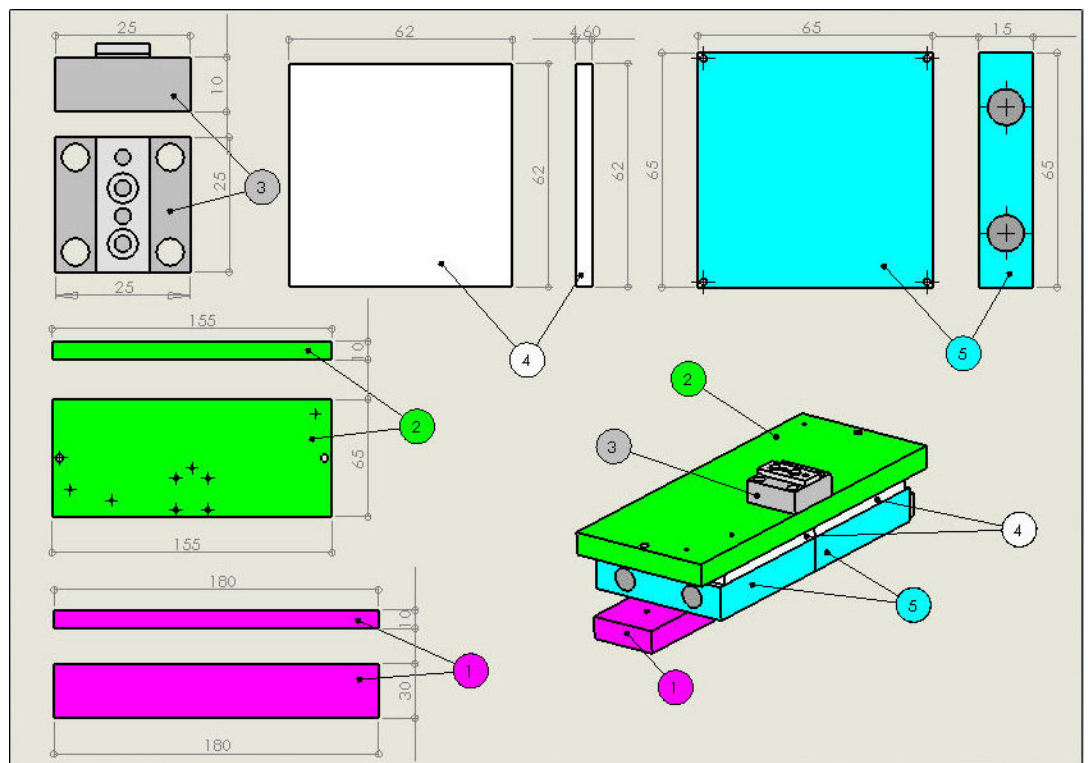
Kuvista 16 ja 17 havaitaan, että lämpötilamittaukset pysyivät kaikilla seitsemällä anturilla noin puolen asteen sisällä, joka oli tähän tarkoitukseen riittävä mittaustarkkuus. Kuvan 16 mittauksista voidaan todeta anturin 6 kohdalla olleen mittausten aikana kosketusta jääpaloihin, jotka ovat haitanneet mittausten tuloksia laskemalla anturin mittaamaa lämpötilaa. Kuvan 17 mittaustuloksista huomattava lämpötilan nousu voidaan selittää mittaustavalla: Ensimmäinen mittauskerta tehtiin siinä vaiheessa, kun pystyttiin silmämääräisesti toteamaan veden kiehuminen

astiassa. Toinen ja kolmas mittaus kerta tapahtuivat hetkeä myöhemmin, joten lämpötilan voidaan todeta nousseen tällä välin.

7 ENSIMMÄINEN TESTIKOKONAISUUS

7.1 Rakenteellinen kokonaisuus

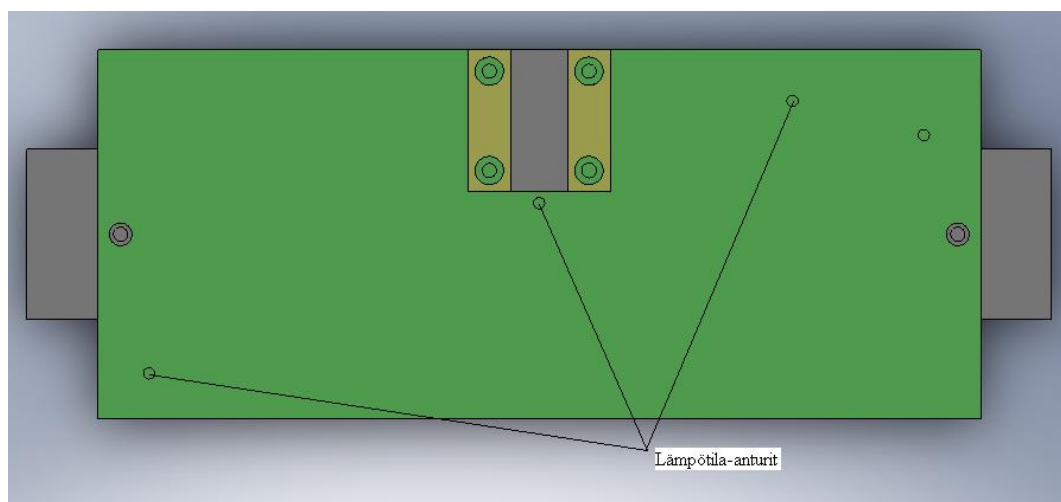
Ensimmäiseen testikokonaisuuteen valittiin Peltier-elementit siten, että laskennallinen jäähdysteho riittäisi selvästi suunnitellulle laserille. Testattaessa kokonaisuutta, tavoitteena oli kuormittaa laseria 100 W:n lämpötehoon asti. Peltier-elementeiksi valittiin kaksi 128,7 W:n elementtiä. (Liite 5 ja 7.) Nämä Peltier-elementit sijoitettiin kuvan 18 mukaisesti vierekkäin, jotta jäähdyttävä pinta-ala olisi paras mahdollinen.



Kuva 18. Ensimmäinen testikokonaisuus ilman mittalaitteita. 1. Tukikappale, 2. Jäähdytyslevy, 3. Laser-moduuli, 4. Peltier-elementti, 5. Vesijäähdytysblokki.

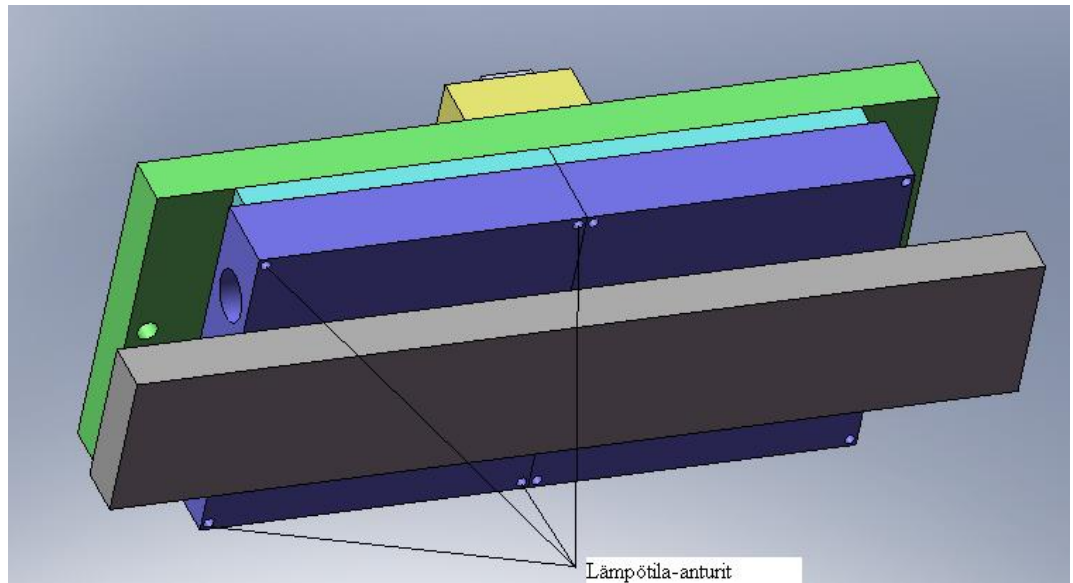
7.2 Lämpötila-antureiden sijoittelu

Testattaessa rakennettua kokonaisuutta otettiin selvää, kuinka jäähdytyslevyn lämmönsiirto-ominaisuudet toimivat jäähdytyslevyssä. Lämpötila-anturit aseteltiin siten, että pystyttiin havainnoimaan, siirtyykö lämpö jäähdytyslevyllä kauempiin reunoihin lainkaan, ja kuinka paljon pinta-alasta on hyötyä. Kuvassa 19 ja kuvassa 20 on osoitettu lämpötila-anturien paikat testikokonaisuudessa.



Kuva 19. Lämpötila-anturien asettelu jäähdytyslevyllä ylhäältäpäin kuvattuna.

Jäähdytyslevyn pintaan asetetut lämpötila-anturit aseteltiin siten, että laser-moduulin takana oleva anturi kertoisi mahdollisimman tarkasti laser-moduulin lämpötilan. Kuvassa 19, alhaalla vasemmalla, sijoitettiin lämpötila-anturi siten, ettei anturi ollut suoraan Peltier-elementin päällä vaan kohdassa, jossa jäähdytyslevy ei koskettanut Peltier-elementtiä. Kuvan 19 kolmas lämpötila-anturi oli sijoitettu Peltier-elementin päälle. Näin pystyttiin tarkastelemaan kohteiden välistä lämpötilaeroa.



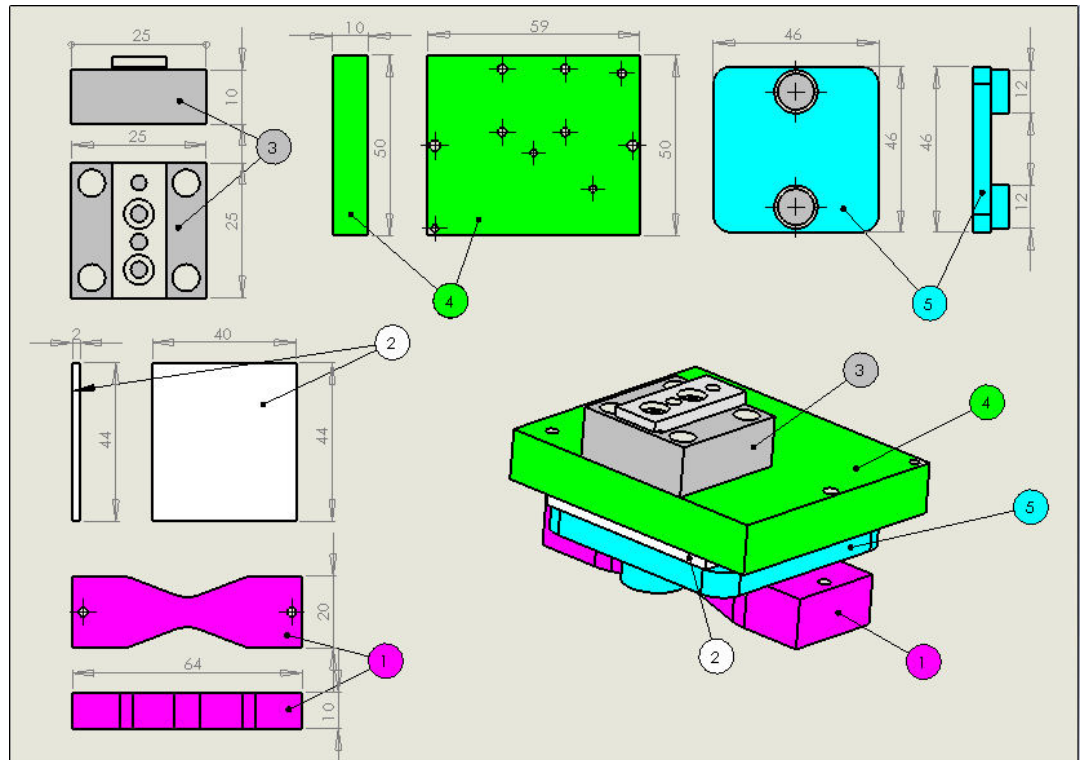
Kuva 20. Lämpötila-anturien asettelu vesijäähdytysblokeissa alaviistosta kuvattuna.

Kuvan 20 lämpötila-antureilla mitattiin jäähdytysveden lämpötilaa ja siten myös Peltier-elementin kuuman puolen lämpötilaa. Mitattiin neljän lämpötila-anturin lukemat ja laskettiin näistä arvoista jäähdytysvesiblokin keskiarvoinen lämpötila.

8 TOINEN TESTIKOKONAISUUS

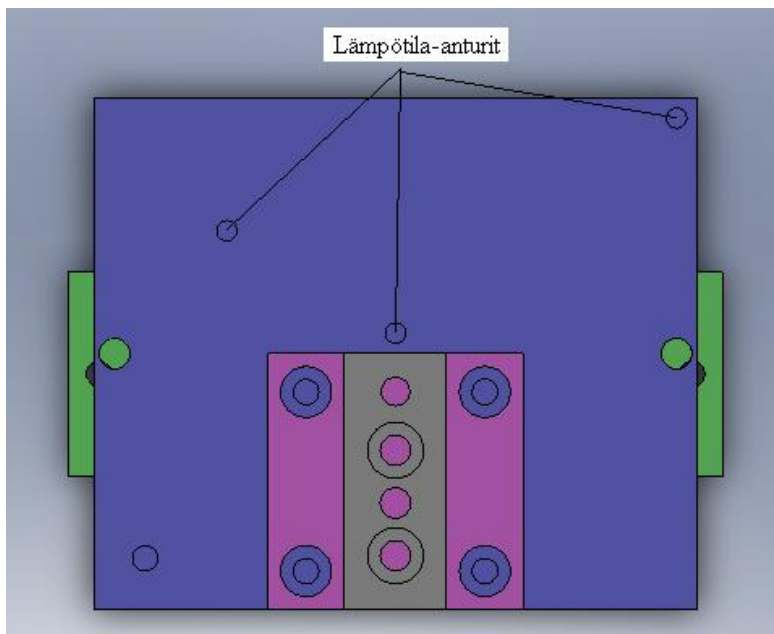
8.1 Rakenteellinen kokonaisuus

Toisessa testikokonaisuudessa valittiin toisenlainen Peltier-elementti ylläpitämään jäähdytystä. Kokonaisuutta päädyttiin jäähdyttämään yhdellä 198,4 W:n elementillä. (Liite 6 ja 8.) Tämä Peltier-elementti sijoitettiin kuvan 21. mukaisesti rakennekokonaisuuteen, joka oli suunniteltu juuri tätä Peltier-elementtiä varten.



Kuva 21. Toinen testikokonaisuus ilman mittalaitteita. 1. Tukikappale, 2. Peltier-elementti, 3. Laser-moduuli, 4. Jäähdytyslevy, 5. Vesijäähdytysblokki

8.2 Lämpötila-antureiden sijoittelu



Kuva 22. Lämpötila-anturien asettelu jäähdyslevyllä ylhäältäpäin kuvattuna.

Toisessa testikokonaisuudessa lämpötila-anturit sijoitettiin samankaltaisesti jäähdyslevylle kuin ensimmäisessä testikokonaisuudessa. Yksi lämpötila-anturi sijoitettiin laser-moduulin taakse välittömään läheisyyteen ja kaksi muuta lämpötila-anturia siten, että toinen oli jäähdyslevyn pinnalla kohdassa, jonka alapuolella on Peltier-elementti, ja toinen siten, ettei alapuolella ollut Peltier-elementtiä.

9 MITTAUKSET JA TESTIT

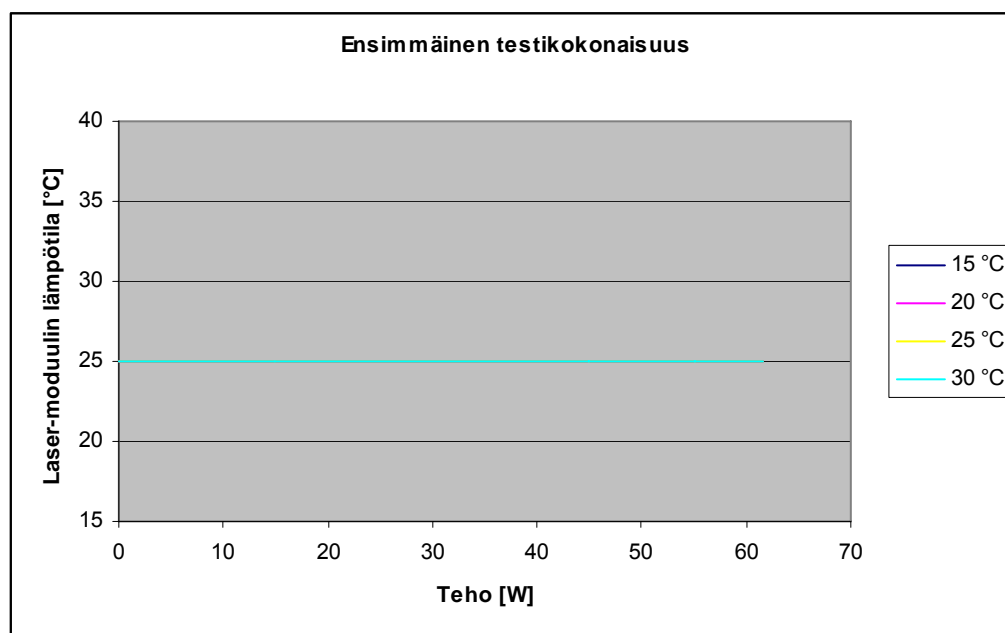
Mittaukset aloitettiin kuormittamalla lämpöteholla kumpaankin testikokonaisuuteen asennettua laser-moduulia ja tarkastelemalla, kumpi säilyy toimintakunnossa korkeammilla lämpökuormilla.

Mittauksien valmistuttua verrattiin mittaustulosten perusteella ensimmäistä ja toista testikokonaisuutta keskenään. Näiden tulosten perusteella pääteltiin, kumpi testikokonaisuus on parempi annettujen kriteerien kannalta.

Laitteen lopullisessa sijoituspaikassa jäädytysveden lämpötila vaihteli kohtalaisen paljon, joten lämpökuormatetit tehtiin vaihtelemalla lämpökuorman lisäksi myös jäädytysveden lämpötilaa. Testit aloitettiin ensimmäisestä testikokonaisuudesta testaamalla taulukon 3 mukaisesti eri jäädytysveden ja lämpökuorman vaihtoehdot.

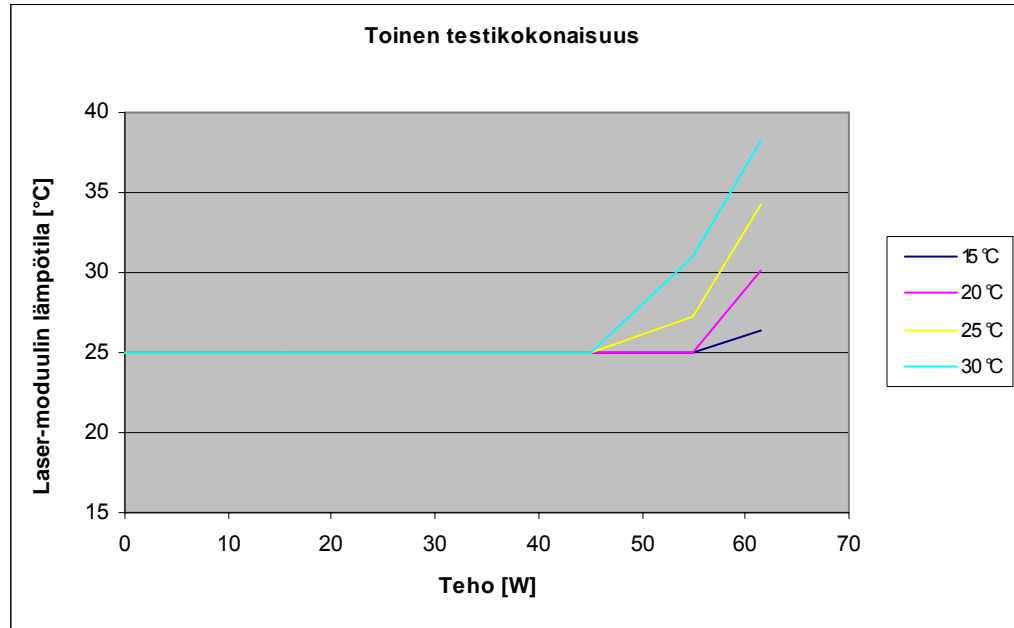
Taulukko 3. Testattavat vaihtoehdot jäädytysveden ja lämpökuorman arvoilla.

		Lämpökuorman suuruus [W]				
		15	30	45	55	61,5
Jäädytys- vesi [°C]	15	√	√	√	√	√
	20	√	√	√	√	√
	25	√	√	√	√	√
	30	√	√	√	√	√



Kuva 23. Ensimmäisen testikokonaisuuden ylläpitämät lämpötilat lämpökuorman ja jäädytysveden lämpötilan funktiona.

Ensimmäisen testikokonaisuuden testituloksista voidaan todeta, että rakennettu testikokonaisuus toimi moitteitta kaikissa testatuissa olosuhteissa. Testikokonaisuus ylläpiti halutun 25 °C:n lämpötilan laser-moduulilla kaikilla testatuilla lämpökuorman arvoilla riippumatta jäädytysveden lämpötilan muutoksista. Ensimmäisen testikokonaisuuden tulokset ovat esitetty kuvassa 23. Kuvassa 23 saatiin kaikilla jäädytysveden lämpötilan arvoilla samat tulokset, joten piirtyvät kuvaajat ovat päällekkäin kuvassa. Tämän takia kuvassa näyttää olevan vain 30 °C:n jäädytysveden kuvaaja.



Kuva 24. Toisen testikokonaisuuden ylläpitämät lämpötilat lämpökuorman ja jäähdytysveden lämpötilan funktiona.

Toisen testikokonaisuuden testituloksista voidaan sen sijaan huomata, ettei se pystynyt ylläpitämään haluttua 25 °C:n lämpötilaa laser-moduulilla halutuille lämpötehoarvoille asti. Kuvassa 24 esitetyistä testituloksista voidaan havaita, kuinka testikokonaisuus ei pysty ylläpitämään haluttua lämpötilaa lämpötehon kasvaessa lähelle maksimiarvoa.

Mittauksissa todettiin nopeasti, ettei 198,4 W:n Peltier-elementillä varustettu testikokonaisuus pystynyt ylläpitämään tasaista 25 °C:n lämpötilaa halutulla lämpöteholla. Näiden testitulosten perusteella tehtiin päätelmä jatkaa ensimmäisen testikokonaisuuden kehittämistä.

10 LÄMPÖTILAN SÄÄTÖ

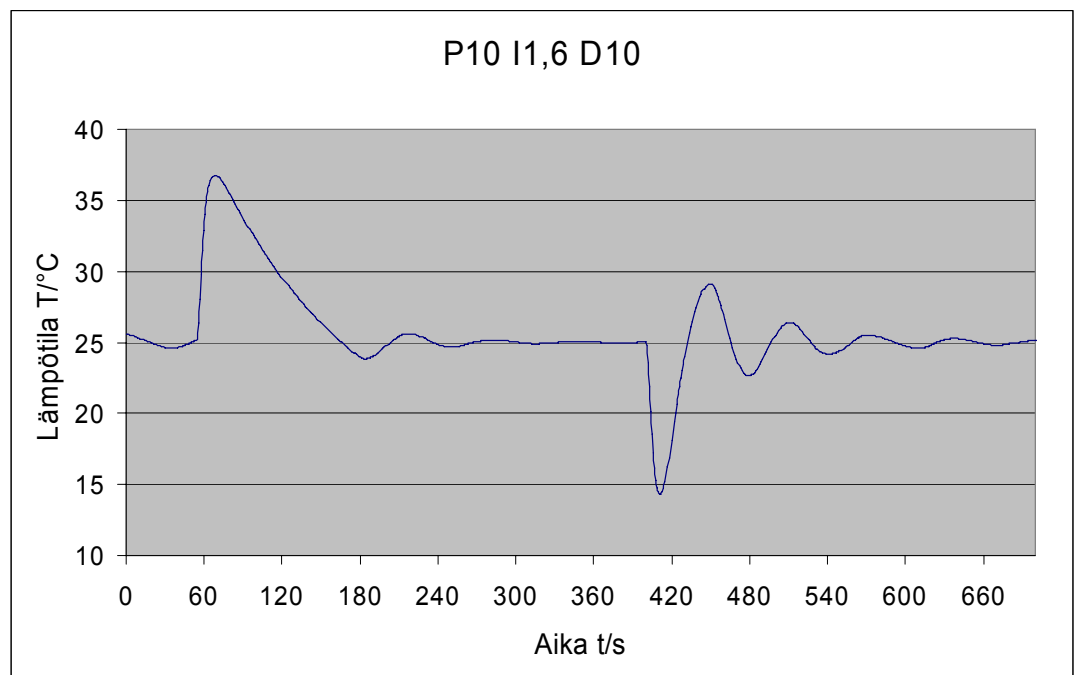
Testikokonaisuuden valitsemisen jälkeen asetettiin säätimelle sille parhaiten sopivat parametrit. Jäähdytysjärjestelmään todettiin sopivan parhaiten PID-säätö, joka mahdollistaa tasaisimman säädön moninaisimmissa lämpötilanvaihteluissa.

Parametrien asettelulle oli laadittu muutama ohjeellinen kriteeri:

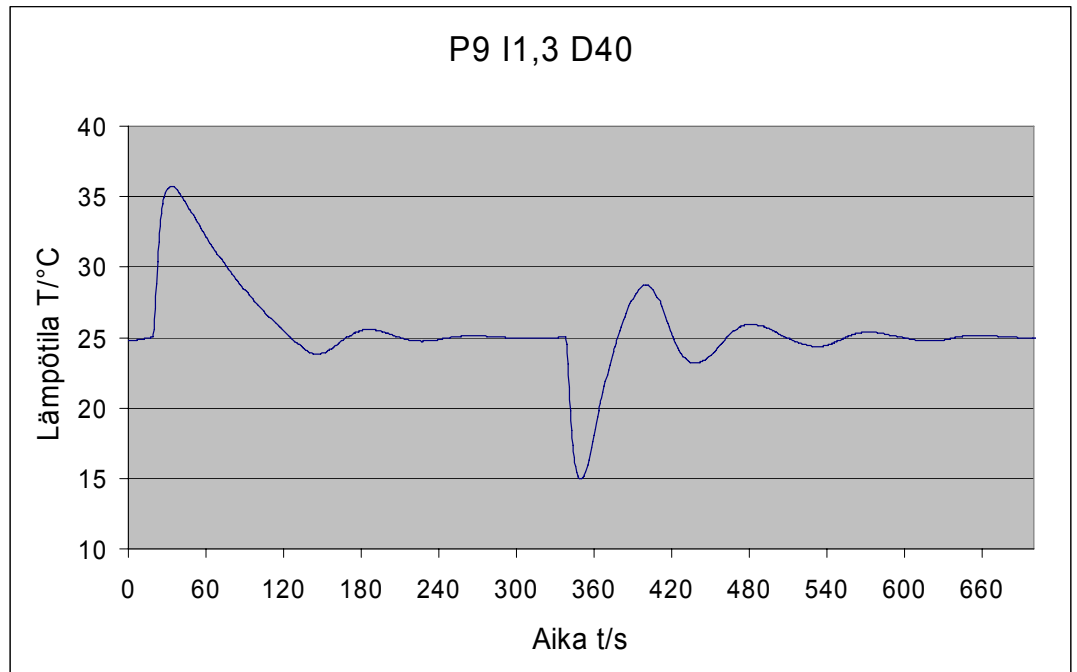
- Lämpötilan on pysyttävä mahdollisimman tasaisesti 25 °C:ssa.
- Laserin käynnistys- ja sammutustilanteissa lämpötilan on tasaannuttava mahdollisimman nopeasti 25 °C:een.
- Missään tilanteessa lämpötila ei saa laskea niin paljoa, että syntyisi vaara mahdolliselle veden kondensoitumiselle ilmasta.
- Säädön on toimittava tyydyttävästi useilla eri lämpötehokuormilla.

Edellä mainittujen kriteerien pohjalta testattiin erilaisia parametreja, joista valittiin tilanteeseen sopivin vaihtoehto. PID-säätöön päädyttiin siksi, koska I-säädin poistaa säädinjärjestelmästä säätöpoikkeaman. D-säädin otettiin mukaan, koska vikatilanteen sattuessa on mahdollista, että laserin virta katkeaa ja tämä tekee hetkellisesti nopean muutoksen lämpötilaan.

Aluksi kokeiltiin, kuinka nopeasti lämpötila tasaantuu askelmaisella laserin virranmuutoksella nolosta maksimiarvoon ja maksimiarvosta noltaan. Kuvassa 25 ja kuvassa 26 on esitetty lämpötilanmuutos laserin virran kytkemisen ja virran katkaisemisen aikana.



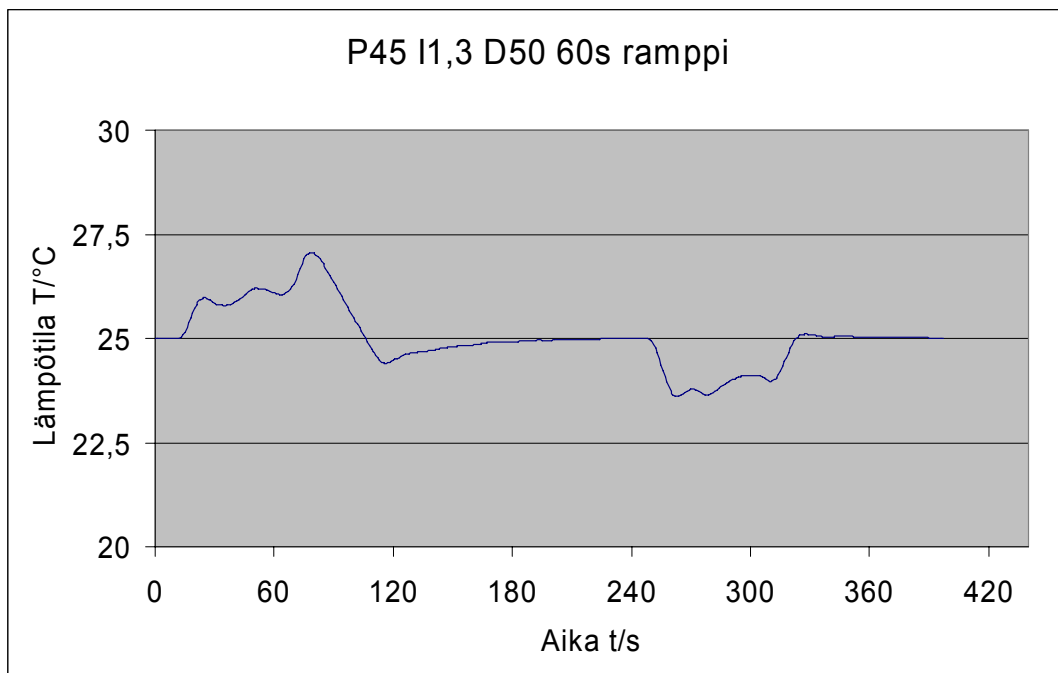
Kuva 25. Lämpötilanmuutos kytettäessä maksimivirta päälle ja pois päältä parametrien arvoilla $k_P=10$, $k_I=1,6$ ja $k_D=10$.



Kuva 26. Lämpötilanmuutos kytkettäessä maksimivirrat päälle ja pois päältä parametrien arvoilla $k_P=9$, $k_I=1,3$ ja $k_D=40$.

Haettaessa parempia parametrien arvoja todettiin että virran askelmaisella kytkennällä ja katkaisulla ei päästä haluttuihin tuloksiin. Tämä pakotti miettimään uudelleen, kuinka virrat laserille kytketään ja katkaistaan.

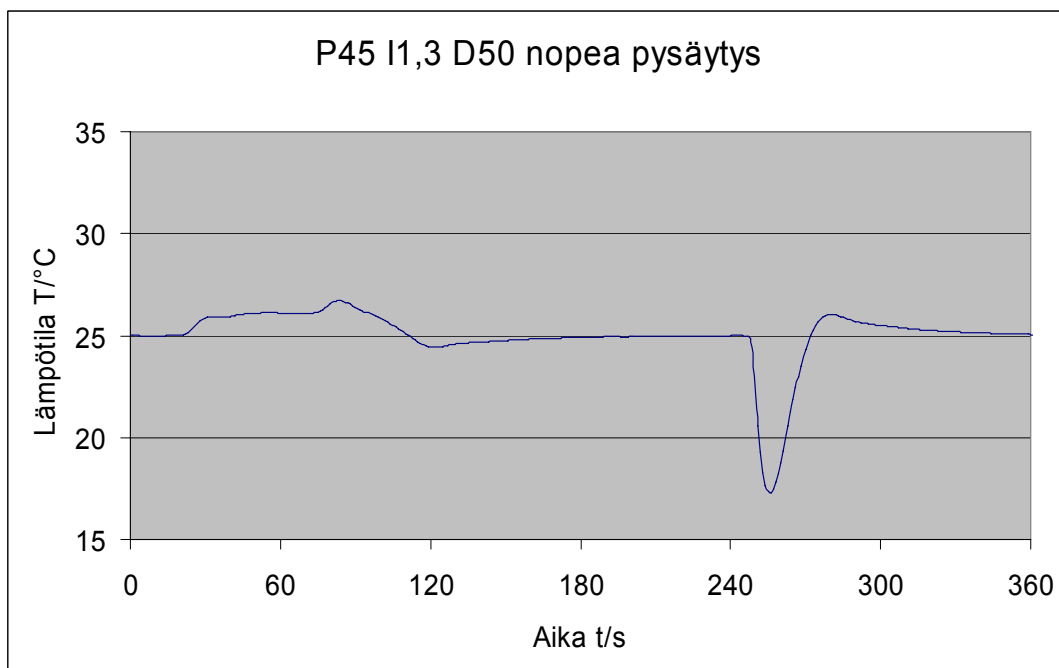
Askelmaisella virrankytkennällä ja katkaisulla tapahtuu yli kymmenen asteen lämpötilanmuutos. Tällainen muutos on liian suuri, joten kytkentävaihe päädyttiin tekemään minuutin mittaisella ramppimaisella muutoksella. Tämä antaa säätimelle enemmän aikaa vastata lämpötilamuutokseen.



Kuva 27. Lämpötilanmuutos minuutin mittaisella ramppimaisella kytkennällä päälle ja pois parametrien arvoilla $kP=45$, $kI=1,3$ ja $kD=50$.

Kuvassa 27 ramppimainen virranmuutos paransi säätimen toimintaa huomattavasti. Säätimen toiminnassa täytyy myös ottaa huomioon tilanne, missä häiriötilanteen vuoksi laserin virta katkeaa äkillisesti ja aiheuttaa askelmaisen virran poiskytkennän. Tällaisessa tilanteessa pitää ottaa huomioon, ettei lämpötila pääse alittamaan lämpötilaa, jossa ilmankosteus alkaa kondensoitua laserin pinnalle.

Testauskaappi sijoitetaan puhdastilaan, jossa ilman lämpötila ja ilmankosteus eivät muutu radikaalisti. Puhdastilan lämpötila yleensä säädetään $21 \dots 25 \text{ }^\circ\text{C}$:seen ja suhteellinen ilmankosteus $40 \dots 50 \text{ } \%$:iin. Näillä arvoilla laskettuna saadaan lämpötila, jonka suhteellinen ilmankosteus on $100 \text{ } \%$. Jos edellä mainittu lämpötila alitetaan, alkaa laserin pintaan kondensoitua kosteutta ilmasta. $25 \text{ }^\circ\text{C}$:n lämpötilassa kylläisen vesihöyryn tiheys on $23,04 \text{ g/m}^3$. /5/ $50 \text{ } \%$:n suhteellisella ilmankosteudella saadaan vesihöyryn tiheydeksi $11,52 \text{ g/m}^3$. Edellä mainittu tiheys on kylläisen vesihöyryn tiheys lämpötilassa, joka sijoittuu $13 \dots 14 \text{ }^\circ\text{C}$:n välille. /5/ Tämä tarkoittaa sitä, että lämpötilansäädössä täytyy pitää huoli siitä, että lämpötila ei missään vaiheessa laske alle $14 \text{ }^\circ\text{C}$:n. Tämä testattiin kuvan 28 mittauksessa, jossa on aluksi tehty ramppimainen virran kytkentä ja annettu lämpötilan tasaantua, minkä jälkeen on kytketty virta askelmaisesti pois päältä ja tarkasteltu, kuinka alas lämpötila laskee ennen kuin se tasaantuu uudelleen.



Kuva 28. Lämpötilanmuutos minuutin mittaisella ramppimaisella kytkennällä päälle ja askelmaisella poiskytkennällä parametrien arvoilla $kP=45$, $kI=1,3$ ja $kD=50$.

Kuvassa 28 voidaan huomata, ettei lämpötila laske edes askelmaisesta virran sulkemisen seurauksena alle lasketun 14 °C :n ja siten aiheuta vaaraa kondensoitumisella.

Kuvissa 27 ja 28 virran määrää nostettaessa ramppimaisesti voidaan huomata lämpötilan muuttuvan epätasaisesti. Tämä selittyy sillä, että käytettävä laite on puolijohdelaser, jonka ominaisuuksiin kuuluu kynnysmäinen valotehon kasvu. Virran määrää kasvattaessa tietyissä vaiheissa valotehoa syntyy enemmän kuin toisissa. Osa virrasta, joka ei muutu valotehoksi, muuttuu lämpötehoksi laseriin ja täten vaikuttaa lämpötilan nousuun. Toinen vaikuttava asia on se, että ramppimainen virranmuutos jouduttiin tekemään käsin, joten täysin identtistä muutosta ei pystytty toistamaan mittauksissa.

11 YHTEENVETO

Työn lopputuloksena oli itsenäisesti toimiva lämpötilansäätöjärjestelmä, johon voitiin helposti asentaa ja irrottaa laser-moduuli testauksen ajaksi. Säätöjärjestelmässä on otettu myös huomioon kondensoitumisen todennäköisyys tilanteessa, jossa lämpökuorma katkeaa äkillisesti eikä jäähdytys toimi yhtä nopeasti. Suunniteltu laitteisto on toimintavalmis liitettäväksi osaksi elinikätestauslaitteistoa.

LÄHTEET

- 1 Inkinen, Pentti – Manninen, Reijo – Tuohi, Jukka, Momentti 2 Insinöörifysiikka. Otava 2002. 488 s.
- 2 Inkinen, Pentti – Manninen, Reijo – Tuohi, Jukka, Momentti 2 Insinöörifysiikka. Otava 2002. 578 s.
- 3 Coherent Inc. [www-sivu]. [viitattu 15.3.2008] Saatavissa:
<http://www.coherent.com/lasers/>
- 4 Hot Hardware. [www-sivu]. [viitattu 17.3.2008] Saatavissa:
<http://www.hothardware.com/>
- 5 Seppänen, Raimo – Tiihonen, Seppo – Wuolijoki, Hilikka – Kervinen, Martti – Smolander, Juhani – Haavisto, Anja – Karkela, Lea – Varho, Kiuru, Maol-taulukot. Otava 2000. 80 s.

LIITTEET

- 1 Agilent 34970A
- 2 LEM LA55-P
- 3 LEM LA125-P
- 4 Supercool PID-säädin TC-XX-PR-59
- 5 Supercool 128,7 W
- 6 Supercool 198,4 W
- 7 1. Testikokonaisuus
- 8 2. Testikokonaisuus
- 9 PID-säätimen lopulliset parametrit

System Specifications

Scanning Inputs	
Analog	34901A, 34902A, and 34908A multiplexer channels
Digital	34907A digital in and totalize
Scan list	Scans channels in ascending order
Scan Triggering	
Source	Interval, external, button press, software, or on monitor channel alarm
Scan count	1 to 50,000 or continuous
Scan interval	0 to 99 hours; 1ms step size
Channel delay	0 to 60 seconds per channel; 1 ms step size
External trig delay	<300 μ s. With monitor on <200 ms
External trig jitter	<2 ms
Alarms	
Analog inputs	Hi, Lo, or Hi + Lo evaluated each scan
Digital inputs	34907A digital in maskable pattern match or state change 34907A totalize: Hi limit only Alarm evaluated each reading
Monitor channel	4 TTL compatible
Alarm Outputs	Selectable TTL logic Hi or Lo on fail
Latency	5 ms (typical)
Memory	
Readings	Battery backed, 4 year typical life! ¹ 50,000 with timestamp Readable during scan
States	5 instrument states with user label
Alarm Queue	Up to 20 events with channel number, reading, and timestamp
System Features	
Per-channel Math	Individual Mx + B scaling and Min/Max/Average calculated real time
Power Fail Recovery	Resumes scanning automatically
Relay maintenance	Counts each relay closure and stores on module User resettable
Real-time clock	Battery-backed, 4-year typical life! ¹
General Specifications	
Power Supply	100V/120V/220V/240V \pm 10%
Power Line Frequency	45 Hz to 66 Hz automatically sensed
Power Consumption	12 W (25 VA peak)
Operating Environment	Full accuracy for 0°C to 55°C Full accuracy to 80% R.H. at 40°C -40°C to 70°C! ¹
Storage Environment	Net: 3.6 kg (8.0 lbs)
Weight	Conforms to CSA, UL-1244, IEC 1010 Cat I
Safety	CISPR 11, IEC 801/2/3/4
RFI and ESD	

Software

Agilent BenchLink Data Logger 3 (not included with Option 001)

System Requirements^[2]	
Operating System	Windows 98SE, NT [®] 4.0 SP6a, 2000 SP4, XP SP2, Adobe [®] Acrobat [®] Reader V5.0 or higher (to view documentation) Microsoft [®] Internet Explorer V6.0 or higher (required when using Windows NT)
Controller	Recommend Pentium [®] 4, 800 MHz or greater, Min: Pentium III, 500 MHz
RAM	Recommend 256MB or greater, Min 128MB
Disk Space	Recommend 200MB, Min 100MB
Display	Recommend 800x600 resolution, 256 colors
Computer Interfaces^[3]	
GPIO	Agilent and National Instruments PCI-GPIB
LAN-to-GPIB	E5810A
USB-to-GPIB	82357A
	RS-232 (Serial Port) PC COM 1-4

Agilent BenchLink Features

Configuration	Spreadsheet-like channel configurations page. Upload and Download instrument configurations. Computed channels using +, -, *, /, dB, dBm, dBV, x ² , \sqrt{x} and full, 1/2, or 1/4 bridge strain
Graphical Displays	Real-time and historical data displays Add, delete, size, and configure real time Strip chart with markers and alarm indication, bar and scatter charts, Histogram with statistics, Bar meter, and Data table
Graphical Controls	Sliders, switches, buttons, and LED lights
Alarm / Limit testing	Start/Stop scanning on alarm condition Control 34903A relay state or 34907A digital output on alarm
Data	Real time streamed (saved) to disk Automatically export data and configurations Copy data or graphics to windows clipboard Export your selected data to .CSV, .XML, or .TXT formats
Event logging	Automatic entry of alarms and errors

Instrument Driver Support for Programming Languages

Universal	Compatible with Windows 95 and NT
Instrument Driver ^[5]	Agilent VEE 3.2 or greater Visual Basic 4.0, LabWindows CVI 4.0, LabVIEW 7.0
Labview Driver (VI)	LabVIEW 7.0

[1] Storage at temperatures above 40°C will decrease battery life

[2] Software provided on CD-ROM and includes utility to create floppy disks for installation

[3] Interface and driver must be purchased and installed separately

[4] 90 MHz Pentium, 20 MB RAM

[5] Requires VISA command library for IEEE-488

Microsoft, Windows, and Windows NT are U.S. registered trademarks of Microsoft Corporation.
Adobe and Acrobat are trademarks of Adobe Systems Incorporated.
Pentium is a U.S. registered trademark of Intel Corporation.

Modules Specifications

The Agilent-34970A accuracy specifications already include the switching offset and reference junction errors shown below. These errors are listed separately for determining system error with external measurement devices.

Up to three modules, in any combination, can be inserted into a single mainframe. The 34970A's internal DMM connections are accessible only

through the 34901A, 34902A, and 34908A low-frequency multiplexers.

On-module screw terminals accept wire sizes from 16-gage to 22 gage. Twenty-gage wire is recommended for high channel count applications. The 34905A and 34906A RF Multiplexers use SMB connectors. A standard set of (10) BNC-to-SMB adapter cables is provided with each RF module for convenient BNC connections.

	Multiplexer			Actuator	Matrix	RF Multiplexer		Multifunction
	34901A	34902A ^[1]	34908A	34903A	34904A	34905A	34906A	34907A
General								
Number of Channels	20 + 2	16	40	20	4 x 8	Dual 1 x 4		See page 22 for module specifications
Connects to Internal DMM	2/4 wire	2/4 wire	1 wire	SPDT	2 wire	50Ω	75Ω	
Scanning Speed	60 ch/s	250 ch/s	60 ch/s					
Open/Close Speed	120/s	120/s	70/s	120/s	120/s	60/s		
Input								
Voltage (dc, ac rms) ^[2]	300 V	300 V	300 V	300 V	300 V	42 V		
Current (dc, ac rms)	1A	50mA	1A	1A	1A	0.7A		
Power (W, VA)	50 W	2 W	50 W	50 W	50 W	20 W		
DC Characteristics								
Offset Voltage ^[3]	< 3uV	< 6uV	< 3uV	< 3uV	< 3uV	< 6uV		
Initial Closed Channel R ^[3]	< 1Ω	< 1Ω	< 1Ω	< 0.2Ω	< 1Ω	< 0.5Ω		
Isolation ch-ch, ch-earth	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 10 GΩ	> 1 GΩ		
AC Characteristics								
Bandwidth ^[4]	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	10 MHz	2 GHz ^[5]	2 GHz ^[5]	
Insertion Loss (dB)	10 MHz —	—	—	—	—	-0.1	-0.1	
	100 MHz —	—	—	—	—	-0.4	-0.4	
	500 MHz —	—	—	—	—	-0.6	-0.5	
	1 GHz —	—	—	—	—	-1	-1	
	1.5 GHz —	—	—	—	—	-1.2	-1.5	
	2 GHz —	—	—	—	—	-3	-2	
SWR	10 MHz —	—	—	—	—	1.02	1.02	
	100 MHz —	—	—	—	—	1.05	1.05	
	500 MHz —	—	—	—	—	1.20	1.25	
	1 GHz —	—	—	—	—	1.20	1.40	
	1.5 GHz —	—	—	—	—	1.30	1.40	
	2 GHz —	—	—	—	—	1.40	2.00	
ch-ch Cross Talk (dB) ^[4]	10 MHz -45	-45	-18 ^[6]	-45	-33	-100	-85	
	100 MHz —	—	—	—	—	-85	-75	
	500 MHz —	—	—	—	—	-65	-65	
	1 GHz —	—	—	—	—	-55	-50	
	1.5 GHz —	—	—	—	—	-45	-40	
	2 GHz —	—	—	—	—	-35	-35	
Risetime							< 300 ps	
Signal Delay							< 3 ns	
Capacitance	HI - LO LO - Earth	< 50 pF < 80 pF	< 50 pF < 80 pF	< 50 pF < 80 pF	< 10 pF < 80 pF	< 50 pF < 80 pF	< 20 pF —	
Volt-Hertz limit							10 ¹⁰	
Other								
T/C Cold Junction Accuracy ^[3]	0.8°C							
Switch Life	No Load (typical)	100M	100M	100M	100M	100M	5M	5M
	Rated Load (typical) ^[7]	100k	100k	100k	100k	100k	100k	100k
Temperature	Operating	all cards — 0°C to 55°C						
	Storage	all cards — -20°C to 70°C						
Humidity	(non-condensing)	all cards — 40°C/80% RH						

[1] Not recommended for connection to ac line without external transient suppression
 [2] Channel-to-channel or channel-to-earth
 [3] Errors included in DMM measurement accuracy specifications
 [4] 50Ω source, 50Ω load
 [5] Bandwidth direct to card SMB connectors

[6] Isolation within channel 1 to 20 or 21 to 40 banks is -40 dB
 [7] Applies to resistive loads only
 [8] Thermocouple measurements not recommended with 34906A module due to common lo configuration



Current Transducer LA 55-P

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$I_{PN} = 50 \text{ A}$$



Electrical data					
I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	50	A		
I_P	Primary current, measuring range	0 .. ± 70	A		
R_M	Measuring resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$	$T_A = 85^\circ\text{C}$		
				R_{Mmin} R_{Mmax}	R_{Mmin} R_{Mmax}
		with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	10 100	60 95 Ω
			@ $\pm 70 \text{ A}_{max}$	10 50	60 ¹⁾ 60 ¹⁾ Ω
with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 50 \text{ A}_{max}$	50 160	135 155 Ω		
	@ $\pm 70 \text{ A}_{max}$	50 90	135 ²⁾ 135 ²⁾ Ω		
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current	50	mA		
K_N	Conversion ratio	1 : 1000			
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V		
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA		
V_g	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn	2.5	kV		

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

Accuracy - Dynamic performance data			
X	Accuracy @ I_{PN} , $T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.65 %
		@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$ ($\pm 5\%$)	± 0.90 %
ϵ_L	Linearity		< 0.15 %
I_O	Offset current @ $I_P = 0$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max
			± 0.2 mA
I_{OM}	Residual current ³⁾ @ $I_P = 0$, after an overload of $3 \times I_{PN}$		± 0.3 mA
I_{OT}	Thermal drift of I_O	0 $^\circ\text{C}$.. + 70 $^\circ\text{C}$	± 0.1 mA
		- 25 $^\circ\text{C}$.. + 85 $^\circ\text{C}$	± 0.1 mA
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of I_{Pmax}	< 500	ns
t_r	Response time @ 90 % of I_{Pmax}	< 1	μs
di/dt	di/dt accurately followed	> 200	A/ μs
f	Frequency bandwidth (- 1 dB)	DC .. 200	kHz

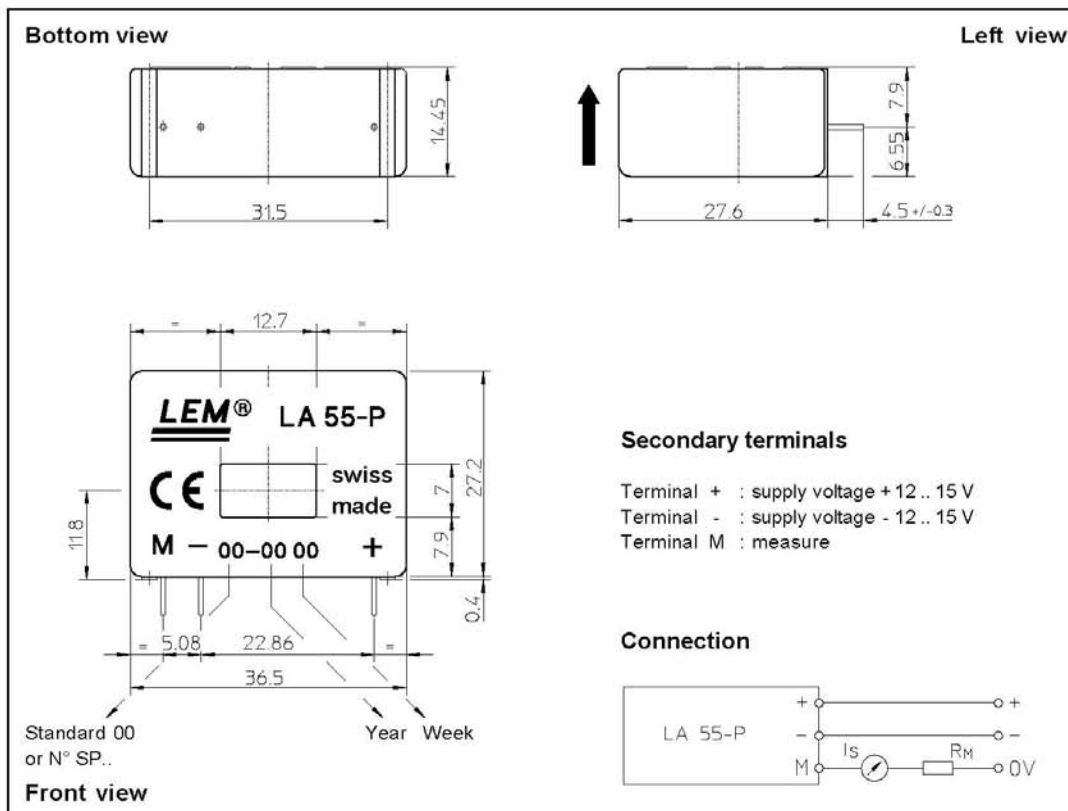
General data			
T_A	Ambient operating temperature	- 25 .. + 85	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 40 .. + 90	$^\circ\text{C}$
R_S	Secondary coil resistance @	$T_A = 70^\circ\text{C}$	80 Ω
		$T_A = 85^\circ\text{C}$	85 Ω
m	Mass Standards ⁴⁾		18 g
			EN 50178

Notes : ¹⁾ Measuring range limited to $\pm 60 \text{ A}_{max}$
²⁾ Measuring range limited to $\pm 55 \text{ A}_{max}$
³⁾ Result of the coercive field of the magnetic circuit
⁴⁾ A list of corresponding tests is available

980706/8



Dimensions LA 55-P (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Primary through-hole 12.7 x 7 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins
 0.63 x 0.56mm
- Recommended PCB hole 0.9 mm

Remarks

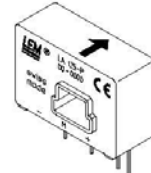
- I_s is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- Temperature of the primary conductor should not exceed 90°C.
- Dynamic performances (di/dt and response time) are best with a single bar completely filling the primary hole.
- In order to achieve the best magnetic coupling, the primary windings have to be wound over the top edge of the device.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.



Current Transducer LA 125-P

For the electronic measurement of currents : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high power) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$I_{PN} = 125 \text{ A}$$



Electrical data							
I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current		125		A		
I_P	Primary current, measuring range		0 .. ± 200		A		
R_M	Measuring resistance @		$T_A = 70^\circ\text{C}$	$T_A = 85^\circ\text{C}$			
			$R_{M \min}$	$R_{M \max}$	$R_{M \min}$	$R_{M \max}$	
		with ± 12 V	@ ± 125 A _{max}	5	52	14	50
			@ ± 200 A _{max}	5	20	14	18
	with ± 15 V	@ ± 125 A _{max}	25	74	40	72	
		@ ± 200 A _{max}	25	34	40 ¹⁾	40 ¹⁾	
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current		125		mA		
K_N	Conversion ratio		1 : 1000				
V_C	Supply voltage (± 5 %)		± 12 .. 15		V		
I_C	Current consumption		16 (@ ± 15 V) + I_S		mA		
V_G	R.m.s. voltage for AC isolation test, 50 Hz, 1 mn		3		kV		

Features

- Closed loop (compensated) current transducer using the Hall effect
- Printed circuit board mounting
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low temperature drift
- Optimized response time
- Wide frequency bandwidth
- No insertion losses
- High immunity to external interference
- Current overload capability.

Accuracy - Dynamic performance data					
X	Accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	@ ± 15 V (± 5 %)	± 0.60		%
		@ ± 12 .. 15 V (± 5 %)	± 0.80		%
E_L	Linearity		< 0.15		%
I_O	Offset current @ $I_P = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$		Typ	Max	mA
I_{OM}	Residual current ²⁾ @ $I_P = 0$, after an overload of $3 \times I_{PN}$			± 0.50	mA
I_{DT}	Thermal drift of I_O	0°C .. + 70°C	± 0.15	± 0.50	mA
		- 25°C .. + 85°C	± 0.15	± 0.60	mA
t_{ra}	Reaction time @ 10 % of $I_{P \max}$		< 500		ns
t_r	Response time ³⁾ @ 90 % of $I_{P \max}$		< 1		µs
di/dt	di/dt accurately followed ⁴⁾		> 200		A/µs
f	Frequency bandwidth ⁴⁾ (- 1 dB)		DC .. 100		kHz

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Switched Mode Power Supplies (SMPS)
- Power supplies for welding applications.

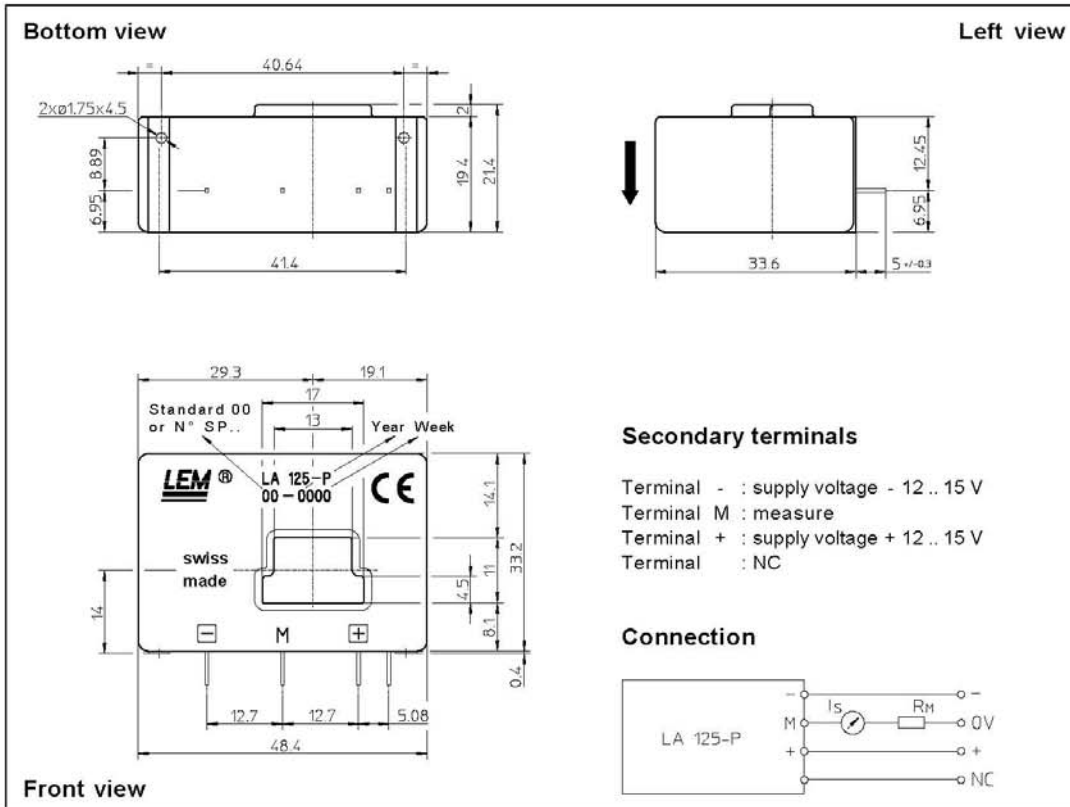
General data					
T_A	Ambient operating temperature		- 25 .. + 85		°C
T_S	Ambient storage temperature		- 40 .. + 90		°C
R_S	Secondary coil resistance @		$T_A = 70^\circ\text{C}$	32	Ω
			$T_A = 85^\circ\text{C}$	33.5	Ω
m	Mass Standards ⁵⁾		40		g
			EN 50178		

- Notes :**
- ¹⁾ Measuring range limited to ± 180 A_{max}
 - ²⁾ The result of the coercive field of the magnetic circuit
 - ³⁾ With a di/dt of 100 A/µs
 - ⁴⁾ The primary conductor is best filling the through-hole and/or the return of the primary conductor is above the top of the transducer
 - ⁵⁾ A list of corresponding tests is available

980716/5



Dimensions LA 125-P (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)

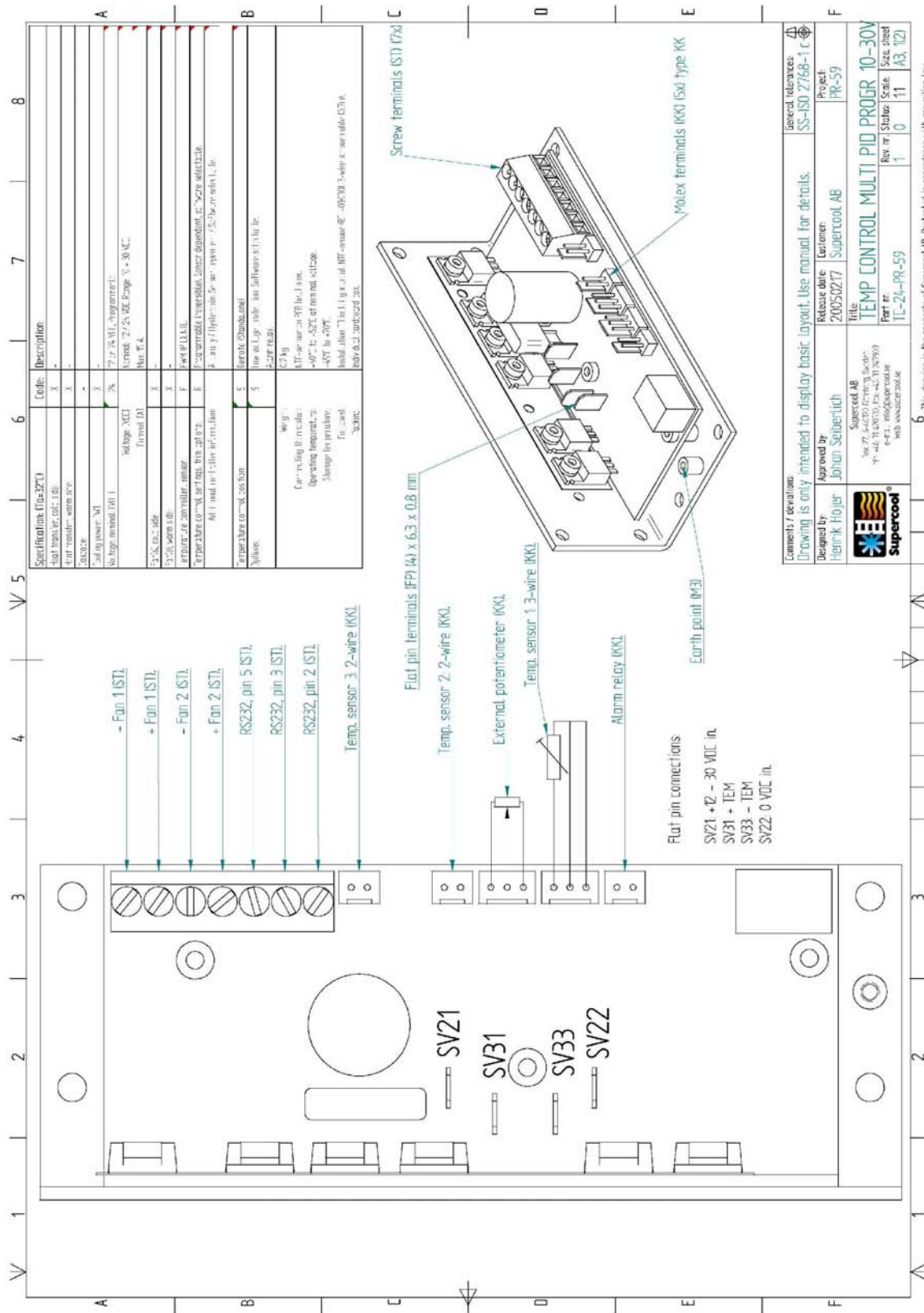


Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Primary through-hole 17 x 11 mm
- Fastening & connection of secondary 4 pins 0.63 x 0.56 mm
 Recommended PCB hole 0.9 mm
- Supplementary fastening 2 holes $\varnothing 1.75$ mm
 Recommended PCB hole 2.4 mm
 Recommended screws KA 22 x 6
 LEM code 47.30.60.006.0

Remarks

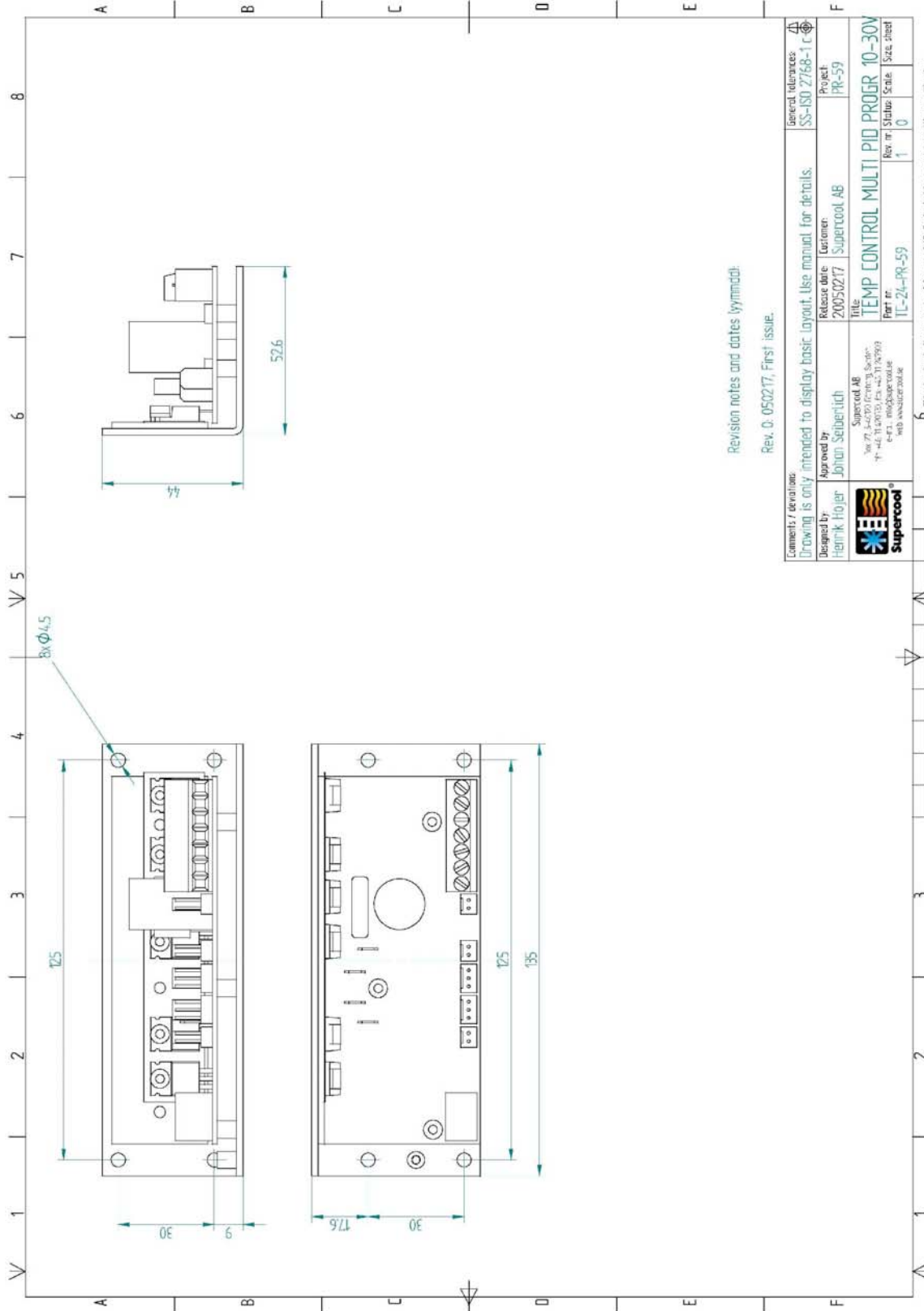
- I_s is positive when I_p flows in the direction of the arrow.
- Temperature of the primary conductor should not exceed 90°C.
- Dynamic performances (di/dt and response time) are best with a primary bar in low position in the through-hole.
- In order to achieve the best magnetic coupling, the primary windings have to be wound over the top edge of the device.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.



Comments / deviations:
Drawing is only intended to display basic layout. Use manual for details.

Designed by:	Jouko Seiberlich	Customer:	Supercool AB
Approved by:	Supercool AB	Release date:	20050217
Title: TEMP CONTROL MULTI PID Progr 10-30V			
General references:	SS-ISO 2768-1	Project:	PR-59
Rev. no.	Status	Scale	Scale
1	0	1:1	A3, A2

6 This drawing is the property of Supercool AB. Protected in accordance with prevailing law.



Revision notes and dates (yy/mm/dd):

Rev. 0: 05/02/17, First issue.

Comments / deviations:		General tolerances:	
Drawing is only intended to display basic layout. Use manual for details.		SS-ISO 2768-1 cM	
Designed by:	Approved by:	Release date:	Project:
Henrik Hojar	Jonan Seberitich	20050217	PR-59
 Supercool AB Box 7, 24200 Petri, Suominen FIN-21100 Naantali 0431210000 info@supercool.fi www.supercool.fi		Title:	Scale:
		TEMP CONTROL MULTI PID PROGR 10-30V	1:0
		Part nr:	Size, sheet
		TC-24-PR-59	1 / 0

This drawing is the property of Supercool AB. Protected in accordance with prevailing law.

