

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Talotekniikan koulutusohjelma

Juho Hirvisaari

Are Sensus® -järjestelmä talviolosuhteissa

Insinööritö 19.5.2009

Ohjaaja: suunnittelupäällikkö Heikki Mäki
Ohjaava opettaja: lehtori Hanna Sulamäki

Tekijä Otsikko	Juho Hirvisaari Are Sensus®-järjestelmä talviolosuhteissa
Sivumäärä Aika	78 sivua 19.5.2009
Koulutusohjelma	talotekniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja Ohjaava opettaja	suunnittelupäällikkö Heikki Mäki lehtori Hanna Sulamäki
<p>Tarve tämän insinööriyön laatimiselle on lähtöisin siitä, että Are Sensus® -järjestelmällä saavutettavista lämpöoloista talvitilanteessa ei ole aikaisemmin tehty tämän tyyppistä laajempaa kirjallista tutkintaa. Työn tarkoituksena on toimia dokumenttina, jota voidaan käyttää esimerkiksi Are Sensus® -järjestelmää ja sillä saavutettavia hyviä sisäolosuhteita esiteltäessä asiakkaille. Työssä tutustutaan Are Sensus® -järjestelmään yleisellä tasolla ja sen toimintaan käytännössä talviolosuhteissa suorittamalla tavanomaisen toimistohuoneen lämpötilamittaukset, joita vertaillaan sisäilmastoluokituksen 2008 tavoitearvoihin.</p> <p>Ensimmäiseksi työssä tutustutaan Are Sensus® -järjestelmään ja sen etuihin, kuten vähäiseen energiankulutukseen ja hyviin sisäolosuhteisiin. Tämän lisäksi työssä käydään järjestelmän toimintaa läpi yleisellä tasolla.</p> <p>Työssä tutustutaan lisäksi Sisäilmayhdistyksen sisäilmastoluokituksen 2008 sisältöön. Työssä kerrotaan sisäilmastoluokituksen käytöstä, sisäilmastoluokista ja erityisesti sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista. Työssä kerrotaan myös sisäilmastoluokituksen käytöstä lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän suunnittelun apuna.</p> <p>Tärkeimpänä osana työssä suoritettiin tavanomaisen toimistohuoneen lämpötilamittaukset. Mittaukset suoritettiin kolmella eri ulkolämpötilalla talviolosuhteissa, kun lämpötila oli selkeästi alle 0 °C. Saatuja tuloksia vertailtiin lopuksi sisäilmastoluokituksen asettamiin tavoitearvoihin ja arvioitiin, kuinka hyvin Are Sensus® -järjestelmä täyttää sisäilmastoluokituksen lämpöoloille asettamat tavoitteet. Mittaustulosten perusteella voidaan todeta, että Are Sensus® -järjestelmällä saavutetaan erittäin hyvät ja tasaiset lämpöolosuhteet. Tämän lisäksi järjestelmä täyttää sisäilmastoluokituksen S1-luokan asettamat tavoitearvot lämpöoloille.</p>	
Hakusanat	Are Sensus, Sensus-paneeli, sisäolosuhteet, sisäilmastoluokitus, sisäilmastoluokat, sisäilmaston tavoitearvot, oleskeluvyöhyke, lämpötilamittaukset

Author Title	Juho Hirvisaari Are Sensus® system in winter conditions
Number of Pages Date	78 19 May 2009
Degree Programme	Building Services Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor Supervisor	Heikki Mäki, Design Manager Hanna Sulamäki, Senior Lecturer
<p>The need for writing this bachelor's thesis was derived from the fact that there was not an extensive written study of this type made before about the heat conditions achievable in winter conditions with the Are Sensus® system. The thesis aims to serve as a document that can be used for example when introducing the Are Sensus® system and the good indoor conditions it provides to customers.</p> <p>At first was examined the Are Sensus® system, as well as its advantages such as low energy consumption and good indoor conditions. In addition, the operation of the system on a universal level was discussed.</p> <p>The application of the Classification of Indoor Climate 2008, different indoor climate classes, and especially the desired values set by the Classification of Indoor Climate were included in the thesis. How to utilize the Classification of Indoor Climate when designing a heating and cooling system was also explained.</p> <p>The most important part of the final year project was measuring the temperatures of an ordinary office room in three different outdoor temperatures in winter conditions. The results were then compared with the desired values set by the Classification of Indoor Climate. The measurements indicated that the Are Sensus® system achieves extremely good heat conditions and it also meets the desired temperature values set by the S1 class of the Classification of Indoor Climate.</p>	
Keywords	Are Sensus, Sensus panel, indoor conditions, Classification of Indoor Climate, indoor climate classes, desired values of indoor climate, staying zone, temperature measuring

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	6
2 Are Sensus®-järjestelmä	6
2.1 Yleistä	6
2.2 Are Sensus® -järjestelmän edut	7
2.3 Tyypilliset kohteet	8
2.4 Toimintaperiaate	9
2.4.1 Lämmitys ja jäähdytys	9
2.4.2 Huonekohtainen lämpötilan säätö	12
2.4.3 Ilmanvaihto	13
2.4.4 Valaistus	14
2.4.5 Sähkö	15
2.4.6 Automatiikka	16
2.4.7 Energiansäästö	16
3 Sisäilmastoluokitus	18
3.1 Yleistä sisäilmastoluokituksesta	18
3.2 Sisäilmastoluokituksen käyttö	18
3.3 Sisäilmasto luokat	19
3.4 Sisäilmaston lämpöolosuhteiden tavoitearvot	20
3.5 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän suunnittelu	23
4 Mittaukset	26
4.1 Kohteen ja tarkasteltavan huoneen tiedot	26
4.2 Mittalaitteet	26
4.3 Lämpöolojen mittausten suoritus	28
4.4 Mittaustulokset	30
4.4.1 Tulokset ulkolämpötilalla -6,0 °C	30
4.4.2 Tulokset ulkolämpötilalla -10,5 °C	33
4.4.3 Tulokset ulkolämpötilalla -4,5 °C	35
4.5 Mittaustulosten arviointi ja vertailu sisäilmastoluokitukseen	38
4.5.1 Tulokset ulkolämpötilalla -6,0 °C	40
4.5.2 Tulokset ulkolämpötilalla -10,5 °C	42
4.5.3 Tulokset ulkolämpötilalla -4,5 °C	45
5 Yhteenveto	48
Lähteet	50

Liitteet

Liite 1: Sensus-toimistohuoneen periaatekuva	51
Liite 2: Mittauspöytäkirja 12.2.2009 ulkolämpötilalla -6,0 °C	52
Liite 3: Mittauspöytäkirja 16.2.2009 ulkolämpötilalla -10,5 °C	60
Liite 4: Mittauspöytäkirja 23.2.2009 ulkolämpötilalla -4,5 °C	68
Liite 5: Säähavainnot 12.2.2009	76
Liite 6: Säähavainnot 16.2.2009	77
Liite 7: Säähavainnot 23.2.2009	78

1 Johdanto

Rakennusten energiataloudellisuus ja hyvät sisäolosuhteet ovat viime vuosina nousseet yhä tärkeämpään asemaan rakentamisessa. Are Sensus® on Aren kehittämä talotekninen kokonaisjärjestelmä, jolla saavutetaan alhainen energiankulutus sekä hyvät sisäolosuhteet.

Insinööriyön tavoitteena on tutkia Are Sensus® -järjestelmää ja sen toimintaa käytännössä talviolosuhteissa ja sitä, kuinka hyvin se täyttää uuden sisäilmastoluokituksen 2008 asettamat vaatimukset. Työtä voidaan käyttää esiteltäessä asiakkaille Are Sensus® -järjestelmää ja sillä saavutettavia korkeatasoisia sisäolosuhteita.

Työssä on tarkoituksena suorittaa tavanomaisen toimistohuoneen lämpötilamittaukset ja vertailla saatuja tuloksia Sisäilmayhdistyksen sisäilmastoluokitukseen 2008.

2 Are Sensus®-järjestelmä

2.1 Yleistä

Are Sensus® on talotekninen kokonaisjärjestelmä, jossa huonetilat lämmitetään ja jäähdytetään kattoon asennettavilla paneeleilla. Are Sensus® -järjestelmässä yhdistyvät työympäristöön vaikuttavat ominaisuudet toimivaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmällä saavutetaan työympäristön hyvät lämpötila-, valaistus- ja ääniolosuhteet. [1]

Are Sensus® -järjestelmän tarkoituksena on hyvien sisäolosuhteiden saavuttamisen lisäksi alentaa energiankulutusta huomattavasti verrattuna perinteisiin ratkaisuihin. Järjestelmällä saavutetaan alhaiset lämmön- ja sähkönkulutus sekä jäähdytysenergian kulutus, jolloin paremman energiatodistuksen ansiosta myös kiinteistön arvo nousee [2].

Kuvassa 1 on esitetty kiinteistön tasapainoiset ominaisuudet, joihin Are Sensus® -järjestelmä perustuu.



Kuva 1. Kiinteistön tasapainoiset ominaisuudet

2.2 Are Sensus® -järjestelmän edut

Are Sensus® -järjestelmän edut rakennuksen käyttäjälle ja omistajalle ovat

- alhainen energiankulutus
- hyvät vedottomat lämpöolosuhteet
- laadukas sisäilma
- hyvät akustiset olosuhteet
- häikäisemätön epäsuora valaistus
- tilojen hyvä muunneltavuus
- yksilöllisesti säädettävät olosuhteet
- läsnäolon mukaan ohjautuva automatiikka
- alhaiset käyttö- ja huoltokustannukset
- vakioitu, luotettava toiminta [3].

Kuvassa 2 on lisäksi esitetty erikseen Sensus-kattopaneelilla saavutettavat edut, kuten tasaiset ja vedottomat lämpöolosuhteet.



Kuva 2. Are Sensus -kattopaneelin edut

2.3 Tyypilliset kohteet

Are Sensus® -järjestelmä on suunniteltu toteuttamaan korkeatasoiset työskentelyolosuhteet toimistotiloihin. Järjestelmä mahdollistaa tilojen erittäin hyvän muunneltavuuden, jonka ansiosta se sopii erilaisiin toimistotiloihin sekä käyttäjien eri tarpeisiin.

Järjestelmä mahdollistaa huonejaon helpon ja edullisen muunneltavuuden, sillä huoneiden seinissä ei ole talotekniikkaa. Huonejakoa voidaan siis muuttaa ilman mainittavia taloteknisiä asennustöitä. Lisäksi työpisteiden sijoittelua huoneisiin helpottaa epäsuora valaistus. [2]

Kuvassa 3 on Are Oy:n pääkonttori Sensus House. Muita toteutettuja Sensus-kohteita ovat mm.

- Technopolis, Helsinki-Vantaa
- Technopolis, Ruoholahti
- Technopolis, Tallinna
- Foster Wheeler energiaosaamiskeskus, Varkaus
- Ammattikorkeakoulu IT-Dynamo, Jyväskylä
- Leija yrityspalvelukeskus, Vantaa.



Kuva 3. Are Oy:n pääkonttori Sensus House

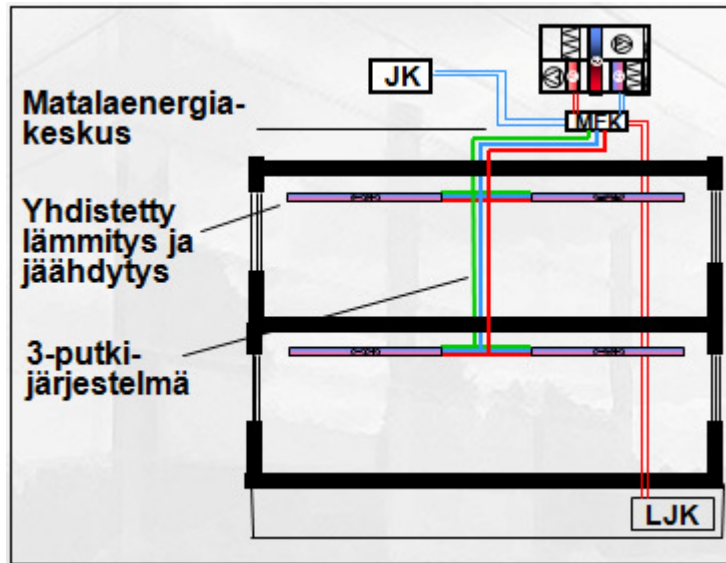
Sensus® -järjestelmä sopii erinomaisesti myös saneerauskohteisiin. Sensus-paneeli vie vain vähän tilaa vapaasta huonekorkeudesta, joka mahdollistaa hyvin järjestelmän käytön korjausrakentamisessa. Lisäksi järjestelmän etuna korjausrakentamisessa on se, että hankalia seinärakenteiden muutostöitä ei tarvita. [2]

2.4 Toimintaperiaate

2.4.1 Lämmitys ja jäähdytys

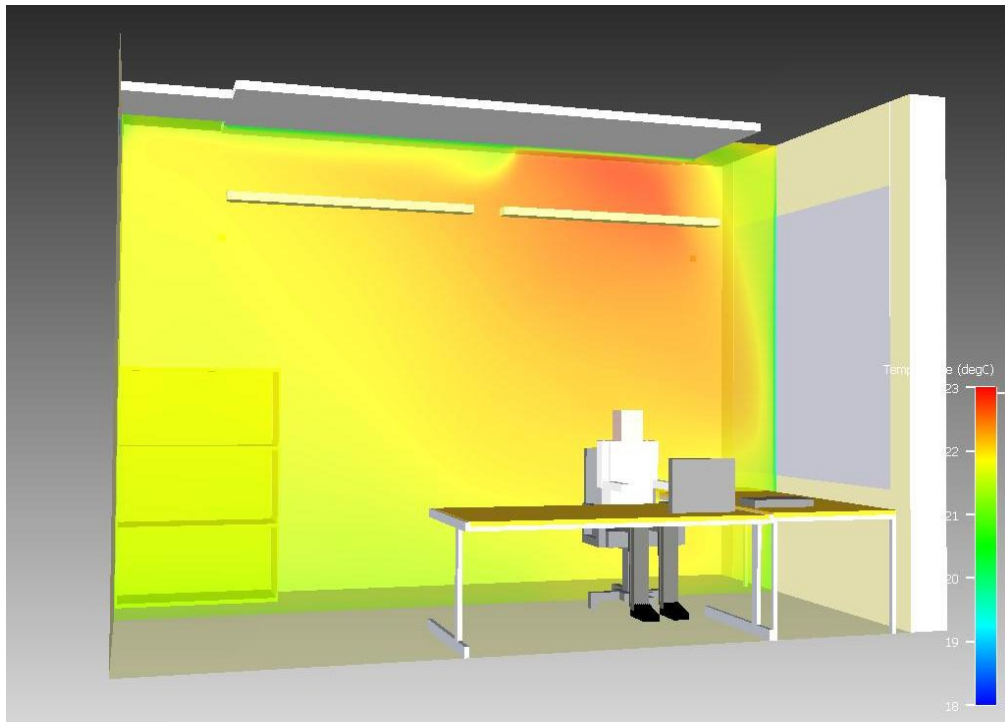
Are Sensus® -järjestelmässä esim. toimistohuoneen lämmitys ja jäähdytys tapahtuu kattoon asennettavilla Sensus-paneeleilla. Paneeleissa kiertää tarpeen mukaan joko lämmin tai viileä vesi riippuen siitä onko huoneessa tarvetta lämmitykselle vai jäähdytykselle [3]. Liitteessä 1 on esitetty Sensus -järjestelmän periaatekuva perinteisessä toimistohuoneessa.

Paneelit asennetaan tavanomaisesti joko suoraan kattoon ripustettuna noin 100-150 mm:n etäisyydelle katosta tai alakatolla varustetuissa tiloissa osaksi alakattoa. Paneelin alapinta on maalattua alumiinia. Vesi kiertää paneelissa olevissa kupariputkissa, joista tilanteen mukaan lämmitys tai jäähdytys siirtyy paneelin kautta huoneeseen pääosin lämpösäteilyn avulla [3; 4.]. Kuvassa 4 on esitetty Sensus-järjestelmän lämmitys- ja jäähdytyslaitteet.

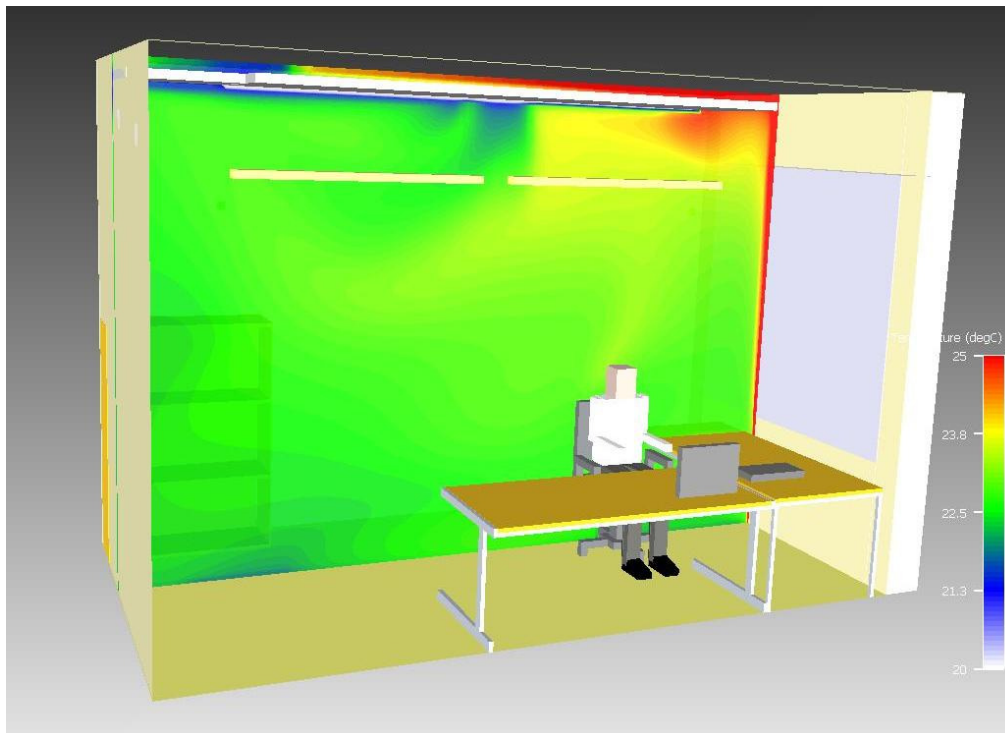


Kuva 4. Sensus-järjestelmän lämmitys- ja jäähdytyslaitteet.

Tavanomaisemmissa ratkaisuissa lämmitys ja jäähdytys tuodaan huoneeseen kierrättämällä huoneilmaa lämmitys- ja jäähdytyslaitteen läpi, jolloin ongelmana saattaa olla vedontunne huoneessa. Tätä ongelmaa ei synny Sensus-paneelissa, sillä se ei kierrätä huoneilmaa. Lisäksi paneelilla saadaan aikaan tasaisempi lämpötilajakauma kuin esimerkiksi perinteisellä patterilämmityksellä [3; 4.]. Esimerkitapaukset lämpötilan jakautumisesta huoneessa talvella ja kesällä on esitetty kuvissa 5 ja 6.



Kuva 5. Lämpötilat talvella



Kuva 6. Lämpötilat kesällä

2.4.2 Huonekohtainen lämpötilan säätö

Are Sensus® -järjestelmässä lämpötilaa voidaan säätää huonekohtaisesti eri huoneissa lämpötilansäätimellä. Suurissa tiloissa esimerkiksi, avokonttorissa useita paneeleita ohjataan rinnan samalla säätimellä.

Säätimellä työntekijä voi itse vaikuttaa oman työskentelytilansa lämpötilaan säätimessä olevan säätöpyörän avulla. Säätimellä saadaan aikaan nopeitakin lämpötilan vaihteluja, sillä paneelista tuleva säteilylämpötila tuntuu heti. Paneelin säteilylämpötila kohdistuu suoraan paneelin alapuolella oleviin ihmisiin ja pintoihin eli juuri sinne, missä lämmitystä tai jäähdytys tarvitaan. Perinteisissä ratkaisuissa lämmitys ja jäähdytys leviävät ilman mukana ympäristöön ja vaikuttavat näin huomattavasti hitaammin huoneen lämpötilaan. [3]



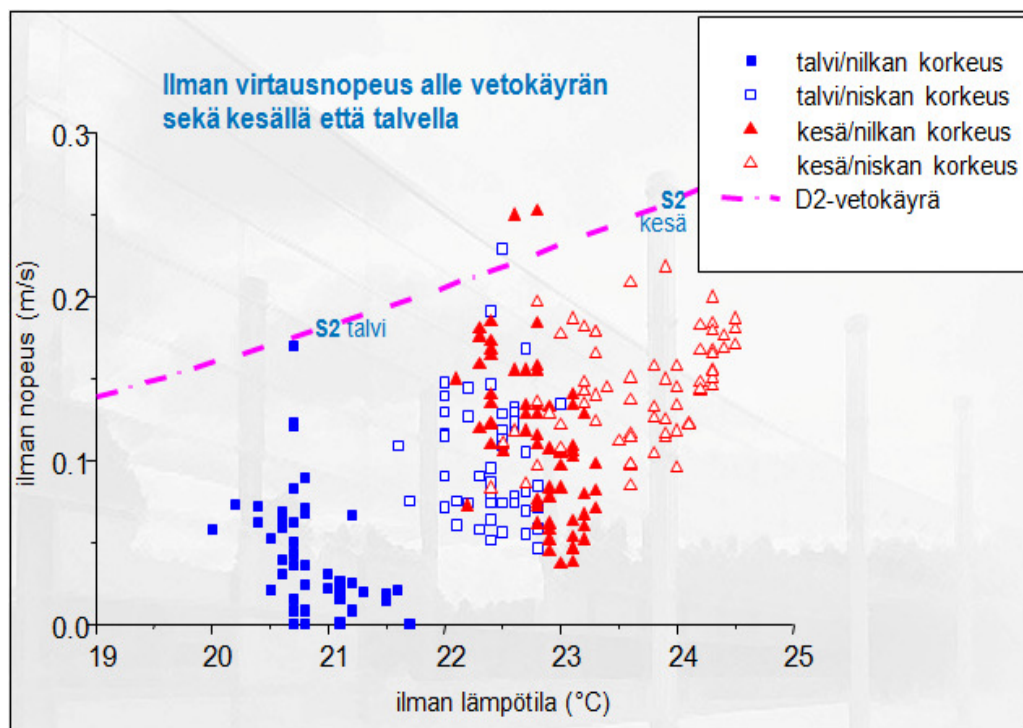
Kuva 7. Esimerkki huonesäätimestä

Kuvassa 7 on esimerkki huonesäätimestä, joka voidaan kytkeä ohjaamaan yhtä tai useampaa paneelia. Huonesäätimen keskipiste on tehdasasetuksessa 21 °C, ja säätimellä voidaan säätää huonelämpötilaa välillä 18...24 °C. [5]

Huonesäätimessä on merkkivalo, joka ilmaisee tapahtuuko paneelissa lämmitystä vai jäähdystä. Valon ollessa punainen paneeli lämmittää ja vastaavasti valon ollessa vihreä paneeli jäähdyttää. Huonesäätimessä on lisäksi aseteltavissa oleva kuollut alue (dead zone), joka on tehdasasetuksena 0,2 °C, mutta joka voidaan asettaa välille 0...3 °C. Kuollut alue tarkoittaa sitä, että silloin paneelissa ei tapahdu lämmitystä eikä jäähdystä. Tällöin ei myöskään huonesäätimessä pala kumpikaan merkkivalo. [5]

2.4.3 Ilmanvaihto

Tuloilma tuodaan huoneeseen normaalisti tuloilmaventtiilistä, joka on kuitenkin suunnattu puhaltamaan ilman paneelin alapintaa pitkin huonetilaan. Ilma liikkuu hyvin paneelin sileää pintaa pitkin, eikä se näin ollen putoa suoraan alas huoneessa työskentelevien ihmisten niskaan, jolloin ei myöskään synny ikävältä tuntuvaa vedontunnetta. Kuvassa 8 näkyvät työterveyslaitoksen suorittamat ilman virtausnopeuden ja lämpötilan mittaukset Sensus Lahden sisätiloissa.



Kuva 8. Sensus Lahti, ilman virtausnopeus ja lämpötila

Tuloilman liikkua paneelin alapintaa pitkin paneeli tilanteen mukaan lämmittää tai jäädyttää sisään puhallettavaa ilmaa juuri kyseisen huoneen tarpeen mukaan. Tällä menetelmällä saadaan aikaan huonekohtainen jälkilämmitys tai jälkijäähdytys. [3]

2.4.4 Valaistus

Sensus-paneelia hyödynnetään myös valaistuksessa. Valaisimet ripustetaan paneelin alapuolelle ja valo heijastetaan huoneeseen paneelin alapinnan kautta. Näin saadaan huoneeseen häikäisemätön ja epäsuora valaistus. Lisäksi valaisimissa on suora valo alaspäin, jonka työntekijä voi tarvittaessa laittaa päälle valaisimesta roikkuvasta vetokytimestä. Näin varmistetaan korkeatasoinen valaistus myös esimerkiksi erityistä tarkkuutta vaativassa työskentelyssä [3]. Kuvassa 9 on esimerkki Sensus-järjestelmästä avokonttorissa.

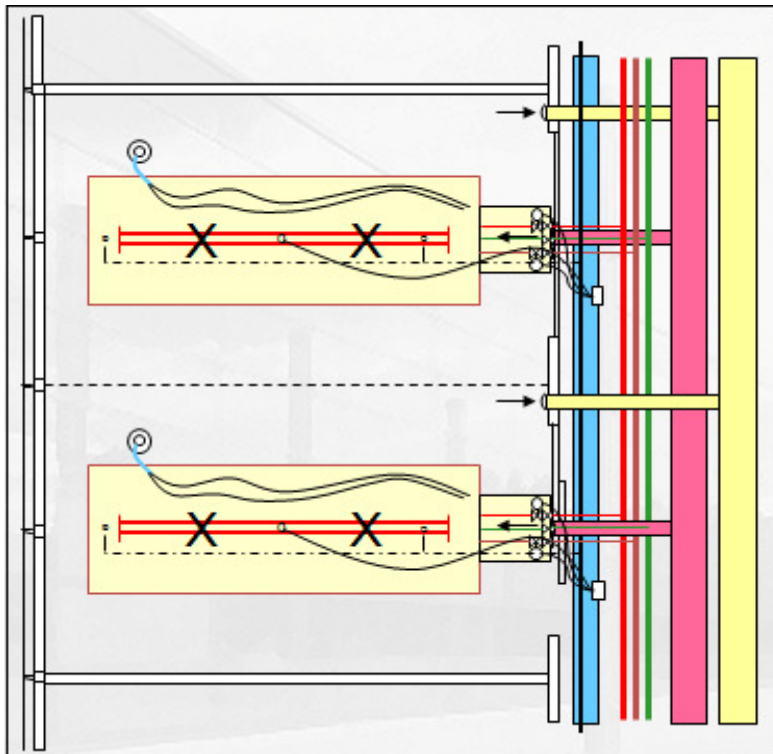


Kuva 9. Sensus-järjestelmä avokonttorissa

2.4.5 Sähkö

Sensus-toimistohuoneen sähkönjakelu toteutetaan yläjakoisesti kaapelipylväiden avulla, joissa on myös kaikki tarvittavat ATK-liitännät. Kaapelit asennetaan paneelin yläpuolelle, jolloin ne jäävät näkymättömiin.

Kaapelipylväiden ansiosta toimistohuoneen sähkönjakelua on lisäksi helppo muuttaa, kun esimerkiksi huoneen kalustusta muutetaan [3]. Kuvassa 10 on esitetty Sensus-huoneiden sähköistyksen periaate.



Kuva 10. Sensus-huoneiden sähköistys

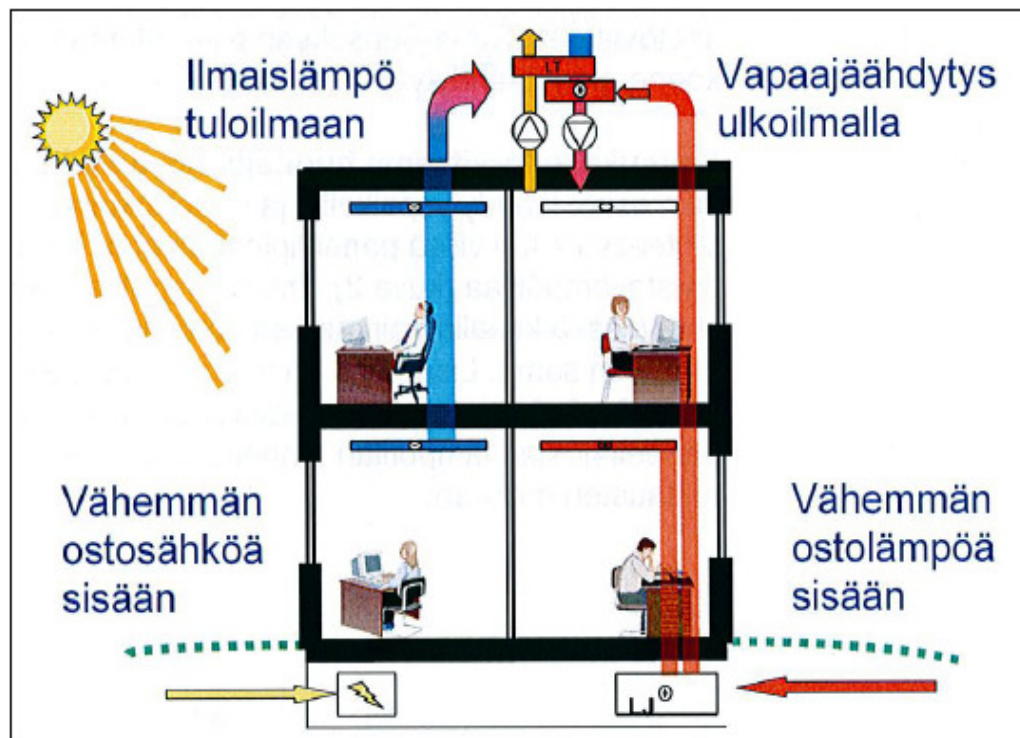
2.4.6 Automaatiikka

Automaatiikkajärjestelmä toteutetaan ohjelmoitavalla DDC-tekniikalla, joka ohjaa, säätää ja valvoo seuraavia laitteita [3]:

- IV-koneet ja niiden matalaenergiakeskukset
- jäähdytyskoneet
- huippuimurit
- lämmönjakokeskus
- vesi- ja energialaitoksen mittarit
- huonelämpötila ja -kosteus kerroksittain
- sähkönohjauspisteet.

2.4.7 Energiansäästö

Sensus-järjestelmän IV-kone on matalaenergiakone. Koneen vieressä on matalaenergiakeskus, jossa on kaikki toiminnan tarvitsemat lämmönsiirtimet, venttiilit, anturit ja koneen kiertopumppu. Kone toimii alhaisella lämmitysveden lämpötilalla ja korkealla jäähdytysnesteen lämpötilalla. Kone jäähdyttää paneelien jäähdytysvettä ilmaisella viileällä ulkoilmalla. Sensus-järjestelmä siirtää huoneiden yllämmön eli ilmaisenergian IV-koneelle. Koneelle tuotava huoneiden yllämpö lämmittää näin ulkoa otettavaa ilmaa, jolloin säästetään lämmitysenergiaa. Koneessa on lisäksi tehokas pyörivä lämmöntalteenottolaite [3; 6.]. Kuvassa 11 on esitetty, kuinka Sensus-järjestelmä hyödyntää ilmaislämpöjä.



Kuva 11. Sensus-järjestelmän energiansäästöperiaate

Sensus-järjestelmän IV-koneessa on tehokas vapaaäähdytys. Vapaaäähdytys toimii myös rinnan koneellisen jäähtymisen kanssa, minkä ansiosta sen vuotuinen hyödyntämisaika on huomattavasti pidempi kuin perinteisellä vapaaäähdytyksellä.

Sensus-järjestelmässä huoneen lämpötilaa säädetään yhdellä säätimellä, jolloin ei tule päällekkäistä lämmitystä ja jäähtymistä. Tämä säästää sekä lämpö- että jäähtymisenergian kulutusta. Tavanomaisimmissa ratkaisuissa on usein erilliset säätölaitteet lämmitykselle ja jäähtymiselle, jolloin tulee tilanteita, että huoneessa on käynnissä samanaikaisesti lämmitys ja jäähtymis.

Sensus-järjestelmän tarvitsema huonejäähtymisteho on noin 20-25 % pienempi kuin esim. puhallinkonvektoreilla ja jäähtymispalkeilla. Lisäksi paneelin hyödyntäminen epäsuorassa valaistuksessa laskee valaistuksen sähkönkulutusta. [3]

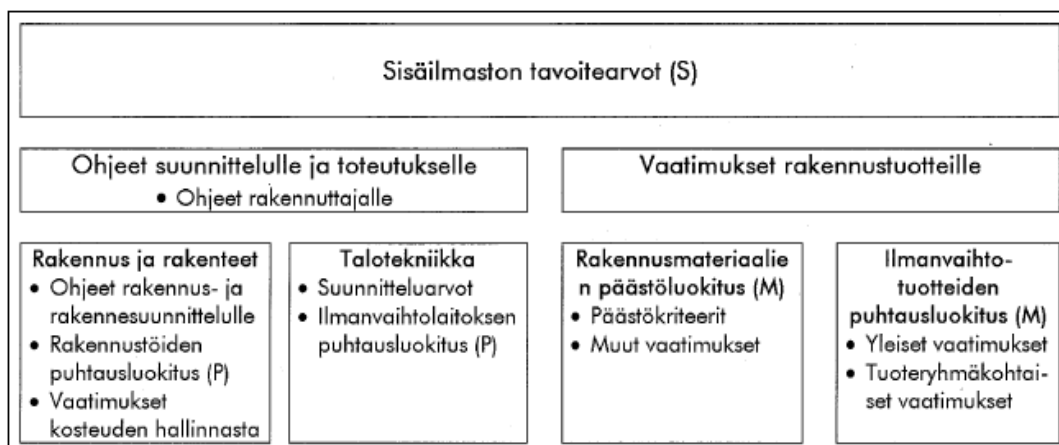
3 Sisäilmastoluokitus

3.1 Yleistä sisäilmastoluokituksesta

Hyvä sisäilmasto on yksi tärkeimmistä rakennuttamiseen liittyvistä tavoitteista ja erittäin tärkeä asia rakennuksen käyttäjien viihtyvyyden kannalta. Rakennuksen hyvään sisäilmastoon vaikuttaa niin lämmitys-, jäähdytys- ja ilmanvaihtojärjestelmät kuin myös rakentamisessa käytetyt materiaalit sekä rakennustöiden oikeaoppinen suorittaminen. Myös rakennuksen käyttö ja rakennuksen kunnossapito vaikuttavat sisäilmaston laatuun. Hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi täytyy nämä kaikki seikat ottaa huomioon rakennuttamisen kaikissa vaiheissa suunnittelusta lähtien. Sisäilmastoluokituksen tarkoituksena on ohjeistaa toteuttamaan rakennuttaminen niin, että saavutettaisiin entistä paremmat sisäolosuhteet.

3.2 Sisäilmastoluokituksen käyttö

Sisäilmastoluokitus 2008 on tarkoitettu käytettäväksi rakennuttamisen ja suunnittelun apuna, jotta saavutettaisiin parhaat mahdolliset sisäolosuhteet. Sisäilmastoluokitusta voidaan käyttää uudisrakentamisen lisäksi myös korjausrakentamisen apuna tähän soveltuvien osien [7]. Kuvassa 12 on esitetty sisäilmastoluokituksen rakenne.



Kuva 12. Sisäilmastoluokituksen rakenne [7]

Sisäilmastoluokitus antaa sisäilmastolle asetettavat suunnittelu- ja tavoitearvot sekä tukee suunnittelijoiden, rakennuttajien, urakoitsijoiden, käyttäjähenkilöstön ja laitevalmistajien työtä. Luokituksen asettamat tavoitteet, vaatimukset ja ohjeet tulee ottaa huomioon rakennushankkeen jokaisessa vaiheessa. Tavoitearvot valitaan yhdessä rakennuttajan ja suunnittelijoiden kanssa. Sisäilmastoluokitus ei kumoa viranomaismääräyksiä eikä niiden eri tulkintoja. Luokitusasiakirjaan voidaan viitata esimerkiksi LVI-työselostuksessa, ja se täydentää muita rakentamiseen liittyviä asiakirjoja, kuten Suomen rakentamismääräyksiä ja rakennustöiden yleisiä laatuvaatimuksia. [7]

3.3 Sisäilmasto luokat

Sisäilmastoluokitus on jaettu kolmeen eri luokkaan, jotka ovat S1, S2 ja S3.

S1 (yksilöllinen sisäilmasto)

- Käyttäjän on mahdollista yksilöllisesti vaikuttaa työskentelytilansa lämpöolosuhteisiin.
- Lämpöolosuhteet ovat viihtyisät eikä vedontunnetta tai yllämpenemistä esiinny.
- Sisäilman laatu on erittäin hyvä.
- Ei ole havaittavia hajuja.
- Rakenteissa ja tiloissa ei ole ilmanlaatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauksien lähteitä.
- Tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet.
- Tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät yksilöllisesti säädettävät valaistusolosuhteet. [7]

S2 (hyvä sisäilmasto)

- Hyvät lämpöolosuhteet, eikä vedontunnetta yleensä esiinny. Kesäisin yllilämpeneminen on mahdollista.
- Sisäilmanlaatu on hyvä.
- Ei ole häiritseviä hajuja.
- Rakenteissa ja tiloissa ei ole ilmanlaatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauksien lähteitä.
- Tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääniolosuhteet.
- Tiloissa on käyttötarkoituksen mukaiset hyvät valaistusolosuhteet. [7]

S3 (tyytyttävä sisäilmasto)

- Tilojen lämpö-, ääni- ja valaistusolosuhteet sekä sisäilmanlaatu täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. [7]

3.4 Sisäilmaston lämpöolosuhteiden tavoitearvot

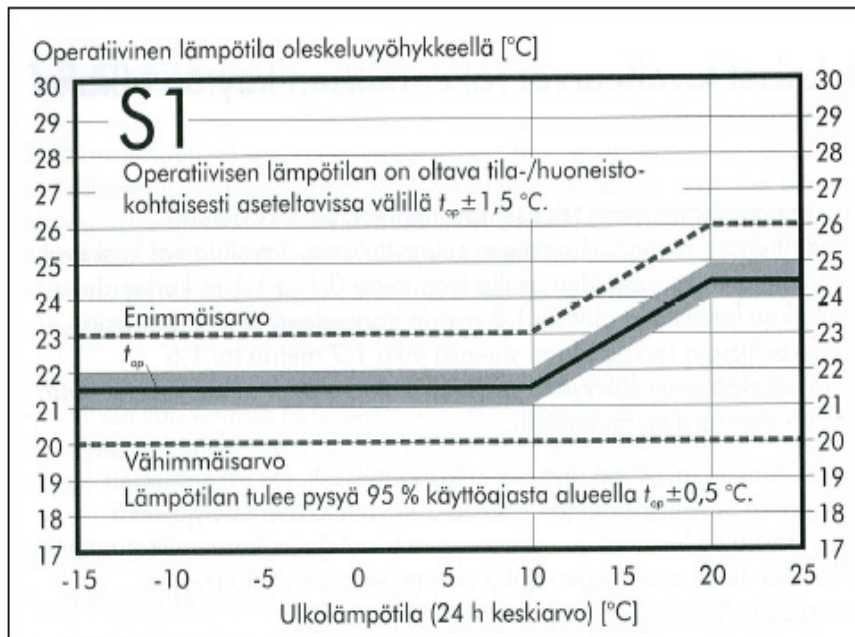
Taulukossa 1 on esitetty lämpötilojen tavoitearvot eri sisäilmastoluokissa. Nämä tavoitearvot tulee saavuttaa huonetilan oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhykkeellä tarkoitetaan huoneen tilaa, jossa sisäilmastovaatimukset on suunniteltu toteutuvan. Oleskeluvyöhykkeen yläpinta on 1,8 metrin korkeudella lattiasta, ja se alkaa 0,6 metrin etäisyydeltä seinästä. [8]

Taulukko 1. Lämpötilojen tavoitearvot [7]

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5 ¹⁾	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$ ¹⁾	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5 ¹⁾	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $21,5 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{u\max} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
▪ toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	--
▪ asunnot	90 %	80 %	--
1) S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitearvona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.			

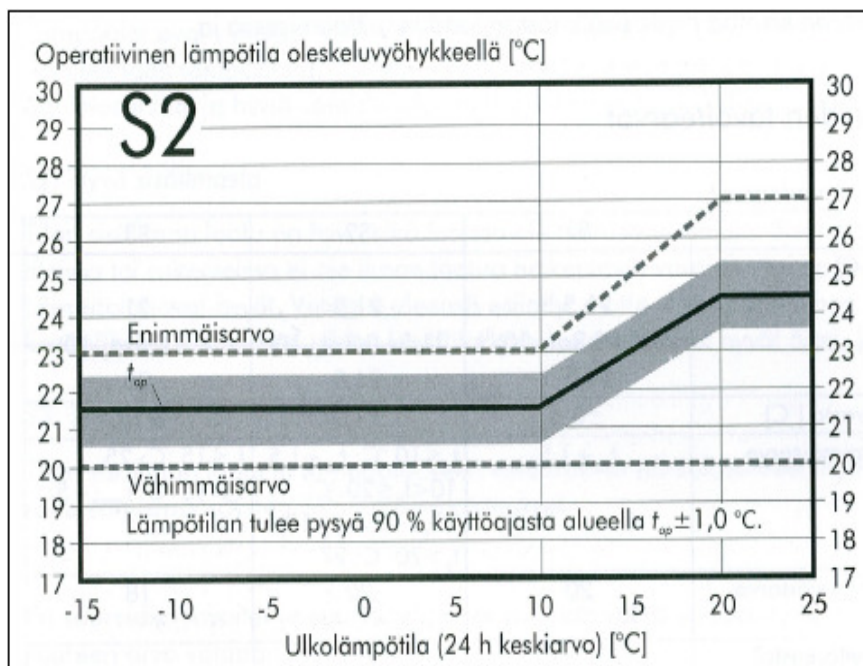
Ulkolämpötila t_u tarkoittaa ulkolämpötilan liukuvaa 24 tunnin keskiarvoa lähimmällä säähavaintopaikalla ja $t_{u\max}$ tarkoittaa ulkoilman viiden tunnin enimmäisjakson keskiarvoa. Lämpötilan täytyy pysyä sallitun poikkeaman rajoissa olosuhteiden pysyvyyden edellyttämän ajan laskettuna rakennuksen suunnitellusta käyttöajasta, eikä lämpötilan yhden tunnin liukuva keskiarvo saa mitoitussäällä tarkasteltuna suunnitellulla käytöllä käyttöaikana ylittää enimmäis- tai alittaa vähimmäisarvoja. Lämpötila tulee mitata 1,1 metrin korkeudelta oleskeluvyöhykkeellä. Lämpötilamittauksissa voidaan tarkastella operatiivisen lämpötilan sijaan huonelämpötilaa, jos pintojen lämpötilat eivät poikkea oleellisesti ilman lämpötilasta. Jos huoneessa on esimerkiksi huonosti eristetty vaippa, 2-lasiset ikkunat, tavallista suuremmat ikkunat, useita ulkoseiniä, lattialämmitys tai lattian alla lämmittämätön tila, määritetään operatiivinen lämpötila huoneessa esimerkiksi mittaamalla se pallolämpömittarilla. [7]

Kuvassa 13 on esitetty operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä sisäilmastoluokassa S1.



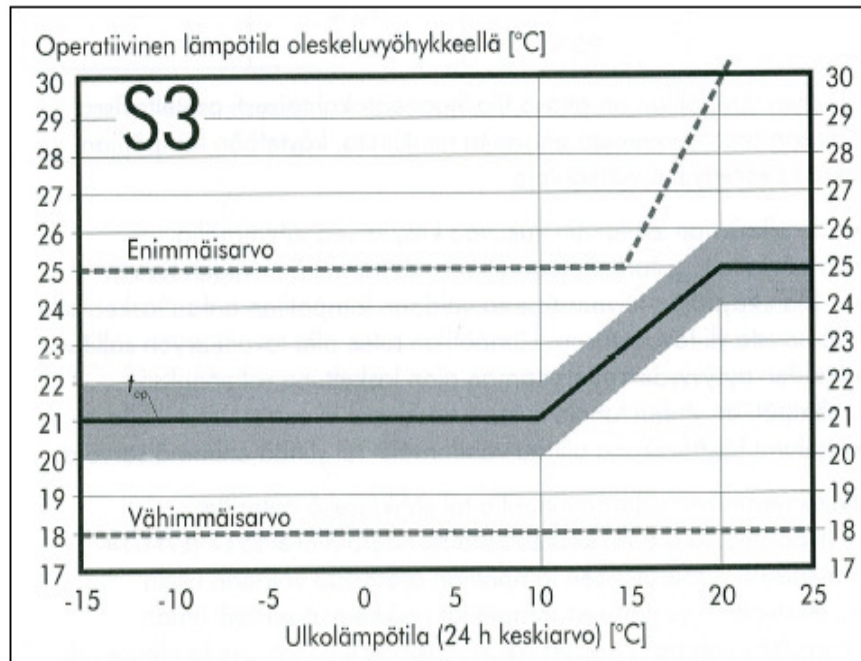
Kuva 13. Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä luokassa S1 [7]

Kuvassa 14 on esitetty operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä sisäilmastoluokassa S2.



Kuva 14. Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä luokassa S2 [7]

Kuvassa 15 on esitetty operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä sisäilmastoluokassa S3.



Kuva 15. Operatiivinen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä luokassa S3 [7]

3.5 Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmän suunnittelu

Taulukossa 2 on esitetty erilaisten tilojen käyttöprofiilit ja lämpökuormat, joita voidaan hyödyntää tilojen suunnittelussa. Suunnittelijoiden tulee lisäksi määrittää olosuhteet kuten rakenteiden tekniset ominaisuudet ja tilan ulkoiset kuormitukset, joissa suunnitteluarvot toteutuvat.

Taulukko 2. Sisäiset lämpökuormat ja käyttöprofiilit [7]

Rakennus/tila	kellonaika	Käyttöaika		Henkilötiheys m ² /hlö	Käyttö- aste, -	Valaistus W/m ²	Laitteet W/m ²	Ihmiset ^{1,4)} W/m ²
		h/vrk	vrk/vko					
Asuintilat (pientalo)	00:00-24:00	24	7	37	0,6	8 ²⁾	2,4 ³⁾	2
Asuintilat (kerrostalo)	00:00-24:00	24	7	25	0,6	8 ²⁾	3 ³⁾	3
Toimistotilat	07:00-18:00	11	5	12	0,55	12	15	6
Neuvottelutilat	08:00-17:00	9	5	3	0,6	12	18...60	25
Luokahuoneet	08:00-16:00	8	5	2	0,5	18	12	35
ATK-luokat	08:00-16:00	8	5	2	0,6	18	75	35
Päiväkotitilat	07:00-18:00	12	5	2	0,4	18	12	35
Liiketilat	07:00-21:00	14	7	17	0,55	15...70	8	5
Majoitustilat (hotelli)	00:00-24:00	24	7	19	0,5	14	7	4
Ravintolatilat	10:00-22:00	10	7	3	0,4	20	20	26
Urheiluhallit	07:00-23:00	14	7	21	0,6	20	24	5
Terveydenhoitotilat	00:00-24:00	24	7	8	0,8	9	3	10

1) ei sisällä latenttia lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6
2) asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1
3) asuinrakennusten laitteiden sähkönkäyttö lasketaan jakamalla lämmönluovutus kertoimella 0,7
4) Simulointiohjelmissa käytetään henkilön lämmönluovutuksena 125 W (1,2 met, kehon pinta-ala 1,8 m²). Kouluissa ja päiväkodeissa käytetään lasten lämmönluovutuksena 110 W (1,0 met, kehon pinta-ala 1,8 m²).

Taulukossa 3 on esitetty suunnittelu-arvoja erilaisille opetus-, työ- ja toimitiloille, joita voidaan hyödyntää tilojen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelussa.

Taulukko 3. Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelu-arvoja mm. opetus-, työ- ja toimitiloille. [7]

Suure	Yksikkö	S1	S2	S3	Huom.
Jäähdytysjärjestelmän suunnittelu-arvo	°C	25	25	--	I
Lämmitysjärjestelmän suunnittelu-arvo	°C	21,5	21,5	21,5	I
Lämpötilan tilakohtainen säädettävyys, talvi	°C	20...23	--	--	II
Lämpötilan tilakohtainen säädettävyys, kesä	°C	23...25	--	--	II
Ilman nopeus, $t_{ilma} = 21$ °C	m/s	<0,14	<0,17	<0,20	III
Ilman nopeus, $t_{ilma} = 23$ °C	m/s	<0,16	<0,20	<0,25	III
Ilman nopeus, $t_{ilma} = 25$ °C	m/s	<0,20	<0,25	<0,35	III
Pystysuuntainen lämpötilaero	°C	2	3	4	IV
Lattian pintalämpötila, vähintään	°C	19	19	17	V
Lattian pintalämpötila, enintään (lattialämmitys)	°C	29	29	31	V
Ilman suhteellinen kosteus, talvi	%	>25	--	--	VI

--tarkoittaa, että ei ole asetettu vaatimuksia

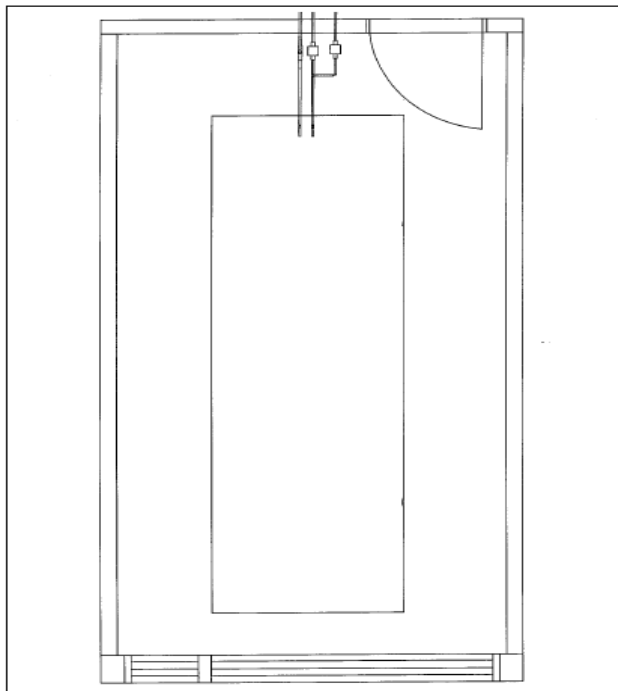
- I Lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien suunnittelu-arvot ovat tarkoitettu tehomitoituksen ja komponenttien valinnan ensimmäisiksi oletusarvoiksi. Valitun järjestelmän toiminta on tarkastettava laskennallisesti eri mitoitustilanteissa, ja suunnitteluratkaisua on muutettava, jos taulukossa 1.3.1. esitetyt lämpötilatavoitteet eivät täyty.
- II Lämpötilan säädettävyydellä tarkoitetaan huonelämpötilan säätömahdollisuutta suunnittelu-arvosta. Mitoitavissa sääolosuhteissa kesällä edellytetään säätömahdollisuutta vain suunnittelu-arvoa korkeampiin lämpötiloihin ja talvella suunnittelu-arvoa alhaisempiin lämpötiloihin. Vyöhyke- tai järjestelmäkohtaisessa säädössä samaan vyöhykkeeseen kuuluvien huoneiden lämpötilat saavat poiketa toisistaan enintään ± 1 °C, kun ko. tilojen sisäiset kuormat ovat tilan suunnitellun käytön mukaiset.
- III Ilman nopeudella tarkoitetaan kolmen minuutin suuntariippumatonta keskiarvoa oleskeluvyöhykkeellä. Se mitataan esimerkiksi kuimalanka-anemometrillä standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti.
- IV Lämpötilaerolla pystysuunnassa tarkoitetaan lämpötilaeroa nilkkojen ja niskan välillä, mittauskorkeudet 0,1 m ja 1,1 m (istumatyö).
- V Lattian pintalämpötila ei saa missään oleskeluvyöhykkeen kohdassa olla esitetyn alueen ulkopuolella. Kylpy- ja pesuhuoneissa suositeltava lattian pintalämpötila on korkeintaan 27 °C. Pintalämpötila mitataan esimerkiksi infrapunälämpömittarilla tai kosketusanturilla standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti.
- VI Ilman suhteellinen kosteus voi lyhytaikaisesti pakkashuippujen aikana laskea alle tavoitearvon. Ilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 %. Ilmaa kostutettaessa on kiinnitettävä erityistä huomiota siihen, etteivät kostutuslaitteet lisää ilman epäpuhtauksia. Ilman suhteellinen kosteus mitataan esimerkiksi psykometrillä tai kapasitiivisella anturilla standardin SFS 5511 (LVI 014-10187, SFS-käsikirja 103) mukaisesti.

Olosuhteiden tavoitearvojen toteutuminen valituilla järjestelmillä ja ratkaisulla tulee tarkastaa jo suunnitteluvaiheessa mitoitussäällä rakennuksen tuleva käyttö huomioon ottaen. Tarkastuslaskelmat liitetään suunnitelmiin ja niitä voidaan vertailla olosuhteiden toteutumisen tarkastusmittauksissa. Tarkastusmittaukset suoritetaan rakennuksen ollessa käytössä. Mittaukset suoritetaan talvella, kun ulkolämpötila on alle 0 °C, ja kesällä, kun ulkolämpötila on yli +15 °C ja sää selkeä. [7]

4 Mittaukset

4.1 Kohteen ja tarkasteltavan huoneen tiedot

Kohde on viisikerroksinen toimistorakennus, joka sijaitsee Vantaalla. Kaikki mittaukset suoritetaan yhdessä ennalta valitussa toimistohuoneessa, jonka pohjapiirustus näkyy kuvasta 16. Tarkemmat tiedot huoneessa olevista laitteista näkyvät liitteenä 1 olevasta Sensus-huoneen periaatekuvasta. Huoneen pinta-ala on $10,8 \text{ m}^2$ ($4,5 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$). Huoneessa on yksi Sensus-paneeli, jonka pituus on $3,6 \text{ m}$ ja leveys $1,18 \text{ m}$.



Kuva 16. Mitattavan toimistohuoneen pohjakuva.

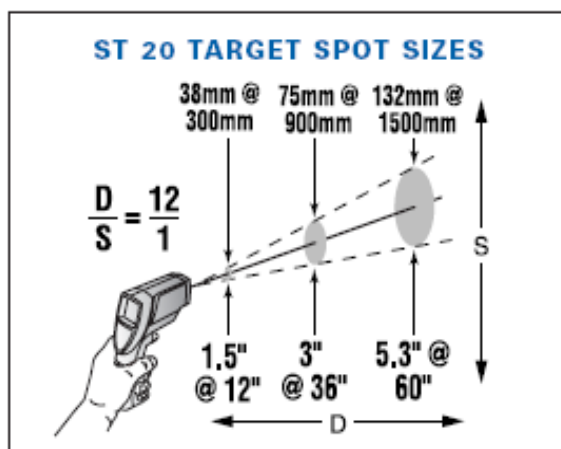
4.2 Mittalaitteet

Sensus-paneelin, katon, lattian ja seinän lämpötilamittauksiin käytetään infrapuna-lämpömittaria Raytek Raynger ST20, joka näkyy kuvassa 17.



Kuva 17. Infrapunälämpömittari

Kuvassa 18 on esitetty, kuinka mittausetäisyys vaikuttaa pinta-alaan, josta infrapunälämpömittari laskee lämpötilan. Mittalaitteen luentatarkkuus on 0,2 °C. [9]



Kuva 18. Etäisyyden vaikutus mittauspisteen pinta-alaan

Muut lämpötilamittaukset suoritetaan Eltek Squirrel -dataloggerilla, joka näkyy kuvassa 19. Dataloggeriin liitetään lisäksi lämpötila-anturi. Mittalaitteen luentatarkkuus on 0,2 °C. [10]



Kuva 19. Eltek Squirrel dataloggeri

4.3 Lämpöolojen mittauksen suoritus

Työn tarkoituksena on suorittaa Sensus-järjestelmän lämpöolojen mittaukset tyypillisessä toimistohuoneessa. Mittaukset suoritetaan kolmella eri ulkolämpötilalla. Mittauskohteet huoneessa ovat seuraavat:

1. Sensus-paneelin pintalämpötilat
2. Lämpötilat oleskeluvyöhykkeellä
3. Lattian pintalämpötilat
4. Ikkunan pintalämpötilat sekä ikkunan karmien lämpötilat
5. Ulkoseinän pintalämpötilat ikkunan alapuolella
6. Katon pintalämpötilat
7. Meno- ja paluuvien lämpötilat
8. Tulo- ja poistoilman lämpötilat.

Tärkeimmät mittaukset ovat lämpötilat oleskeluvyöhykkeellä ja Sensus-paneelin pintalämpötila. Tarkoituksena on selvittää, kuinka tasaisesti lämpötila jakautuu Sensus-paneelissa ja siitä huonetilaan. Kaikki lämpötilojen mittauspisteet ilmenevät liitteinä olevista mittauspöytäkirjoista. Mittauspisteet ja lämpötilat kyseisissä pisteissä on merkitty huoneen pohjakuviin (mittauspöytäkirjoihin), joiden mittakaava on 1:25.

Sensus-paneelin pintalämpötila mitataan infrapunalämpömittarilla viidestätoista eri pisteestä. Saadut tulokset kirjataan mittauspöytäkirjaan. Tarkemmat mittauspisteet ilmenevät liitteinä olevista mittauspöytäkirjoista.

Lämpötilat oleskeluvyöhykkeellä mitataan kolmesta eri korkeudesta 170 cm, 110 cm ja 10 cm. Näin pystytään selvittämään lämpötilan kerrostuminen huoneessa.

Sisäilmastoluokituksen mukaan lämpötilamittaukset suoritetaan oleskeluvyöhykkeellä korkeudella 110 cm, jossa operatiivinen lämpötila saa poiketa tavoitearvosta S1-luokassa $\pm 0,5$ °C. Mittauspisteitä on joka korkeudelta viisitoista. Kaikki mittauspisteet eivät ole oleskeluvyöhykkeellä, koska työssä halutaan kartoittaa lämpötilat myös huoneen reunoilla. Tarkemmat mittauspisteet ilmenevät liitteinä olevista mittauspöytäkirjoista. Tässä työssä tarkastellaan operatiivisen lämpötilan sijaan huonelämpötilaa, koska huoneen pintalämpötilat eivät poikkea merkittävästi huonelämpötilasta. Mittaukset suoritetaan dataloggeriin liitetyllä lämpötila-anturilla. Jokaisessa mittauspisteessä odotetaan niin kauan kuin lämpötila on tasaantunut, ja sen jälkeen tulos kirjataan mittauspöytäkirjaan. [7; 11.]

Meno- ja paluuveden lämpötilat mitataan kupariputkien kyljestä dataloggeriin liitetyllä lämpötila-anturilla. Anturi teipataan putken kylkeen ja päälle laitetaan eriste, jotta ympäröivä ilma ei vaikuta tulokseen. Tämän jälkeen lämpötilan annetaan tasaantua ja kirjataan saatu tulos mittauspöytäkirjaan.

Tulo- ja poistoilman lämpötilat mitataan työntämällä anturi venttiilin sisään. Lämpötilan annetaan hetki tasaantua, jonka jälkeen mittaustulos kirjataan pöytäkirjaan.

Ikkunan pintalämpötilat ja karmien lämpötilat mitataan lämpötila-anturilla teippaamalla anturi kiinni mitattavaan pintaan. Päälle asetetaan lisäksi eriste, jotta ympäröivän ilman lämpötila ei vaikuta mittaustulokseen. Lämpötilan annetaan hetki tasaantua, minkä jälkeen mittaustulos kirjataan pöytäkirjaan. Tarkemmat mittauspisteet ilmenevät liitteinä olevista mittauspöytäkirjoista.

Lattian, katon ja ulkoseinän pintalämpötilat mitataan infrapunalämpömittarilla. Saadut tulokset kirjataan mittauspöytäkirjoihin. Tarkemmat mittauspisteet ilmenevät liitteinä olevista mittauspöytäkirjoista. Ulkolämpötila tarkistetaan ulkona olevasta elohopealämpömittarista. Lisäksi mittauspäivän tarkemmat ilmatieteenlaitoksen säähavainnot tulostetaan työn liitteeksi. [12]

Meno- ja paluuveden lämpötila matalaenergiakeskuksen lämpömittareista, kirjataan myös pöytäkirjaan. Lisäksi pöytäkirjaan kirjataan kellonaika, jolloin mittaukset on aloitettu. Ennen ensimmäistä mittauskertaa huonesäätimen lämpötilaksi asetetaan 21,5 °C, ja huonesäätimen kuollut alue asetetaan arvoon 1,5 °C.

4.4 Mittaustulokset

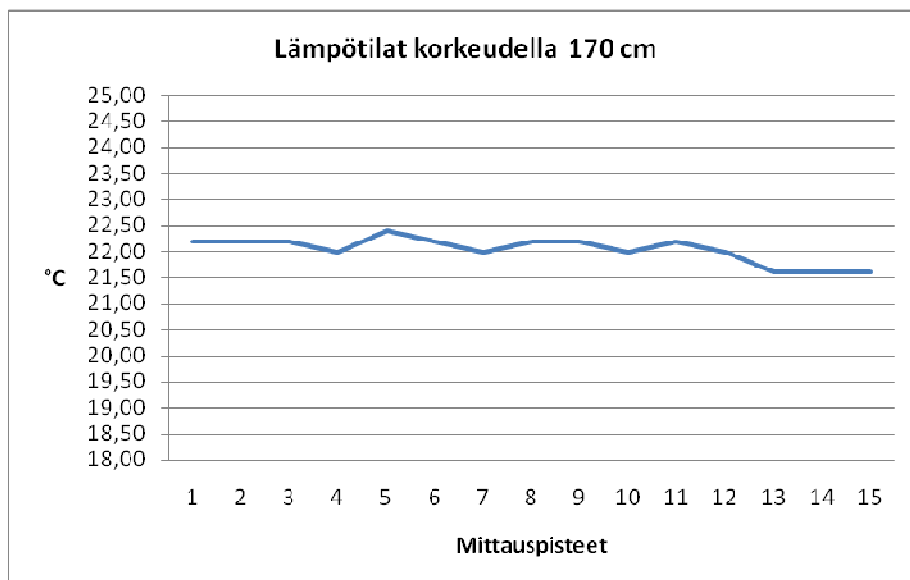
4.4.1 Tulokset ulkolämpötilalla -6,0 °C

Taulukossa 4 on esitetty mittaustulokset -6°C:n ulkolämpötilalla. Taulukkoon on laskettu keskiarvot saaduista mittaustuloksista. Mittaukset aloitettiin klo 10.30. Yksityiskohtaisemmat mittaustulokset ilmenevät liitteenä olevista mittauspöytäkirjoista. Liitteenä 5 on lisäksi säähavainnot kyseiseltä mittauspäivältä.

Taulukko 4. Mittaustulokset ulkolämpötilalla -6,0 °C

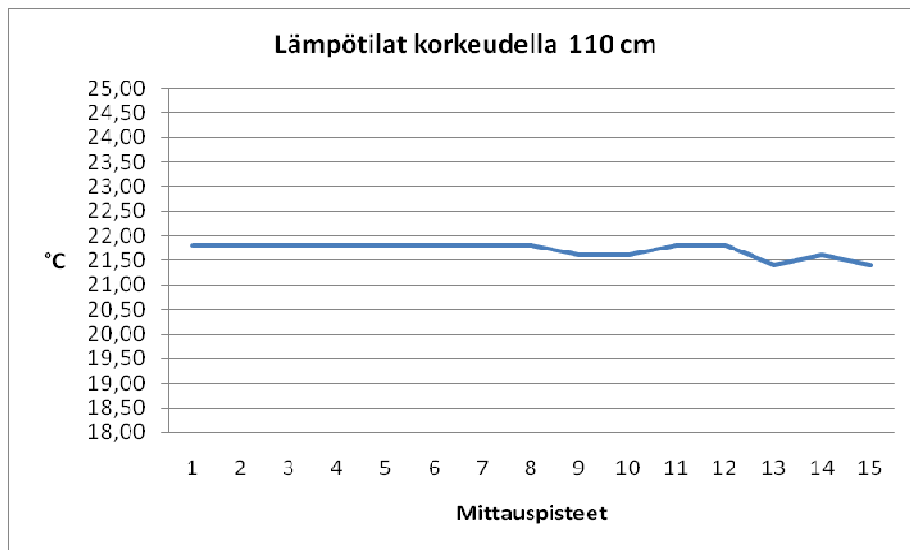
Tarkasteltava lämpötila	Saatu tulos (°C)
Ulkolämpötila (°C)	-6,00
Menoveden lämpötila matalaenergiakeskukselta (°C)	33,00
Paluuveden lämpötila matalaenergiakeskukselta (°C)	26,00
Paneelin pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	24,07
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 170 cm (°C)	22,04
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 110 cm (°C)	21,71
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 10 cm (°C)	21,21
Huonelämpötilojen keskiarvo koko huoneessa (°C)	21,65
Lattian pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,95
Ikkunan pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,64
Ikkunan karmien lämpötilojen keskiarvo (°C)	16,33
Ulkoseinän pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,27
Katon pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	21,27
Paneelin menoveden lämpötila (°C)	25,40
Paneelin paluuveden lämpötila (°C)	24,20
Tuloilman lämpötila (°C)	22,20
Poistoilman lämpötila (°C)	23,00

Kuvassa 20 on esitetty käyrästä huoneen lämpötilat korkeudella 170 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



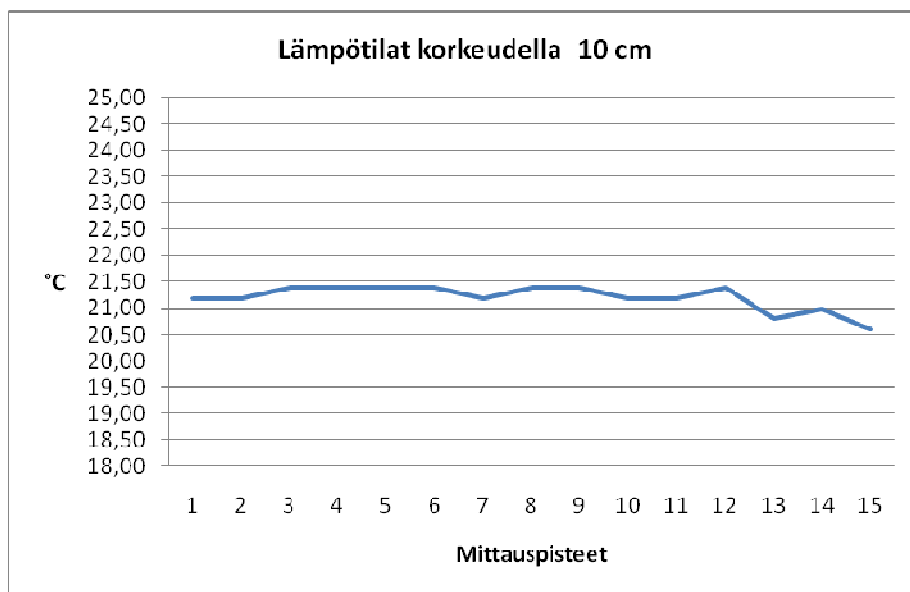
Kuva 20. Mittaustulokset käyrästä korkeudella 170 cm

Kuvassa 21 on esitetty käyrästä huoneen lämpötilat korkeudella 110 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



Kuva 21. Mittaustulokset käyrästönä korkeudella 110 cm

Kuvassa 22 on esitetty käyrästönä huoneen lämpötilat korkeudella 10 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



Kuva 22. Mittaustulokset käyrästönä korkeudella 10 cm

4.4.2 Tulokset ulkolämpötilalla -10,5 °C

Taulukossa 5 on esitetty mittaustulokset -10,5 °C:n ulkolämpötilalla. Taulukkoon on laskettu keskiarvot saaduista mittaustuloksista. Mittaukset aloitettiin klo 10.00.

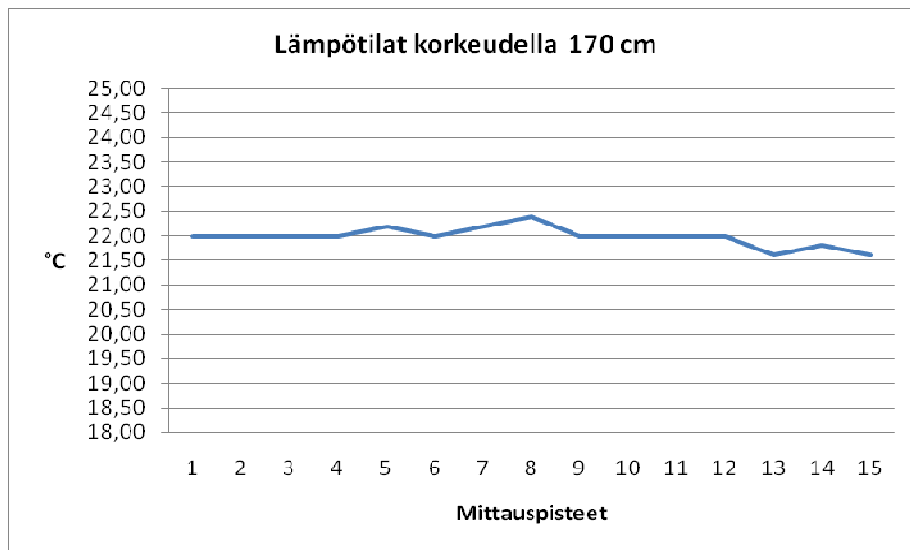
Yksityiskohtaisemmat mittaustulokset ilmenevät liitteenä olevista mittauspöytäkirjoista.

Liitteenä 6 on lisäksi säähavainnot kyseiseltä mittauspäivältä.

Taulukko 5. Mittaustulokset ulkolämpötilalla -10,5 °C

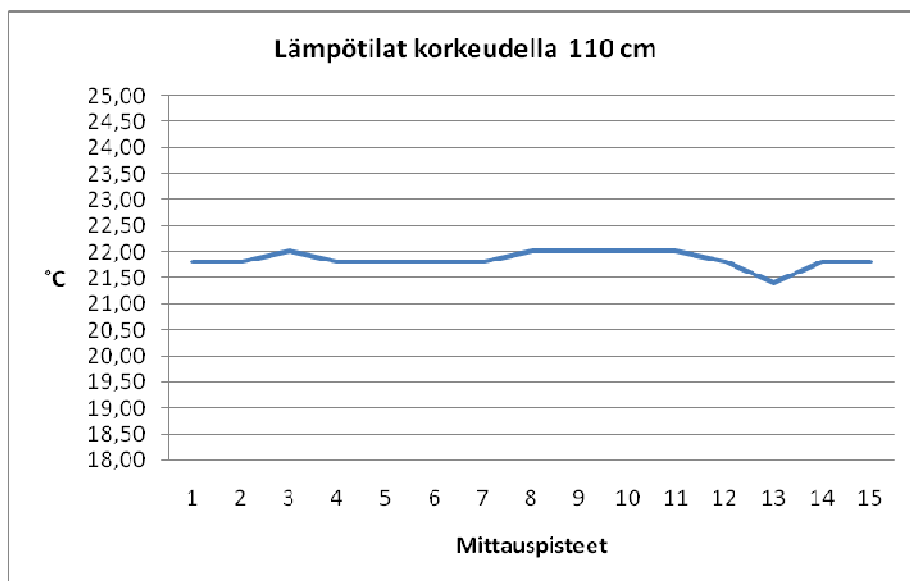
Tarkasteltava lämpötila	Saatu tulos (°C)
Ulkolämpötila (°C)	-10,50
Menoveden lämpötila matalaenergiakeskukselta (°C)	34,00
Paluuveden lämpötila matalaenergiakeskukselta (°C)	27,00
Paneelin pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	26,49
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 170 cm (°C)	21,99
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 110 cm (°C)	21,84
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 10 cm (°C)	21,21
Huonelämpötilojen keskiarvo koko huoneessa (°C)	21,68
Lattian pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,87
Ikkunan pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,91
Ikkunan karmien lämpötilojen keskiarvo (°C)	15,93
Ulkoseinän pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,00
Katon pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	21,50
Paneelin menoveden lämpötila (°C)	27,80
Paneelin paluuveden lämpötila (°C)	26,40
Tuloilman lämpötila (°C)	22,40
Poistoilman lämpötila (°C)	23,00

Kuvassa 23 on esitetty käyrästä huoneen lämpötilat korkeudella 170 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



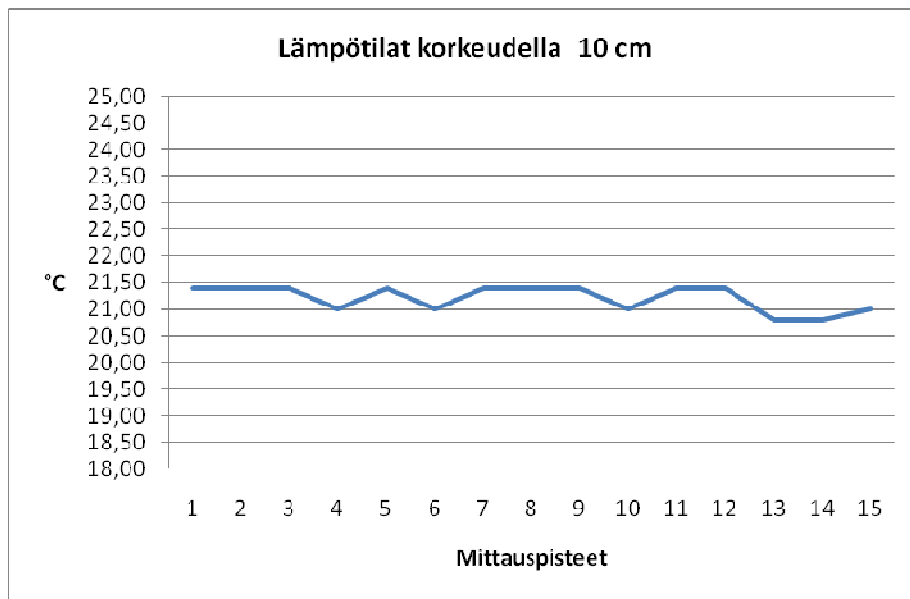
Kuva 23. Mittaustulokset käyrästönä korkeudella 170 cm

Kuvassa 24 on esitetty käyrästönä huoneen lämpötilat korkeudella 110 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



Kuva 24. Mittaustulokset käyrästönä korkeudella 110 cm

Kuvassa 25 on esitetty käyrästönä huoneen lämpötilat korkeudella 10 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



Kuva 25. Mittaustulokset käyrästä korkeudella 10 cm

4.4.3 Tulokset ulkolämpötilalla -4,5 °C

Taulukossa 6 on esitetty mittaustulokset -4,5 °C:n ulkolämpötilalla. Taulukkoon on laskettu keskiarvot saaduista mittaustuloksista. Mittaukset aloitettiin klo 11.00.

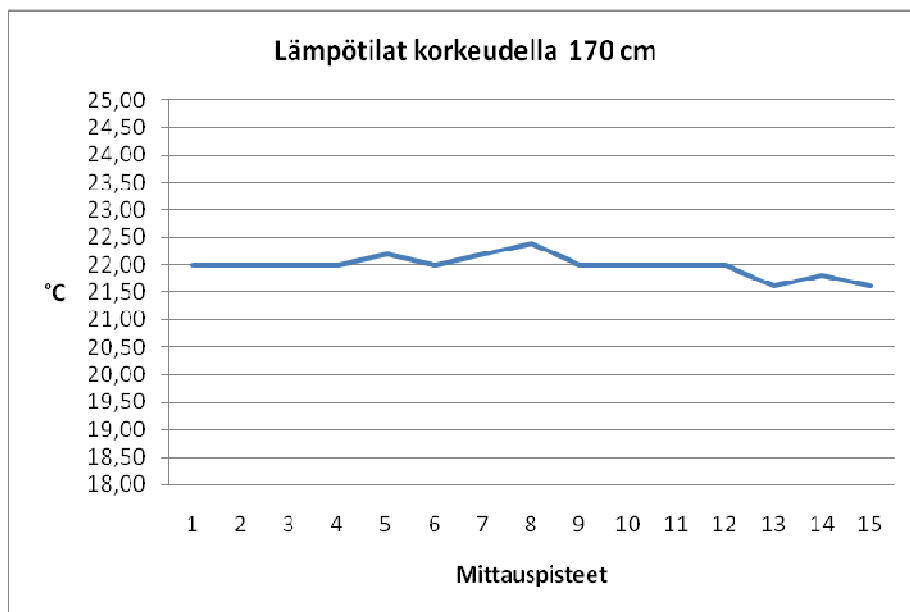
Yksityiskohtaisemmat mittaustulokset ilmenevät liitteenä olevista mittauspöytäkirjoista.

Liitteenä 7 on lisäksi säähavainnot kyseiseltä mittauspäivältä. Kyseisenä mittauspäivänä ei paneelissa tapahtunut jatkuvaa lämmitystä, ja se näkyy myös paneelin pintalämpötilojen mittaustuloksista.

Taulukko 6. Mittaustulokset ulkolämpötilalla -4,5 °C

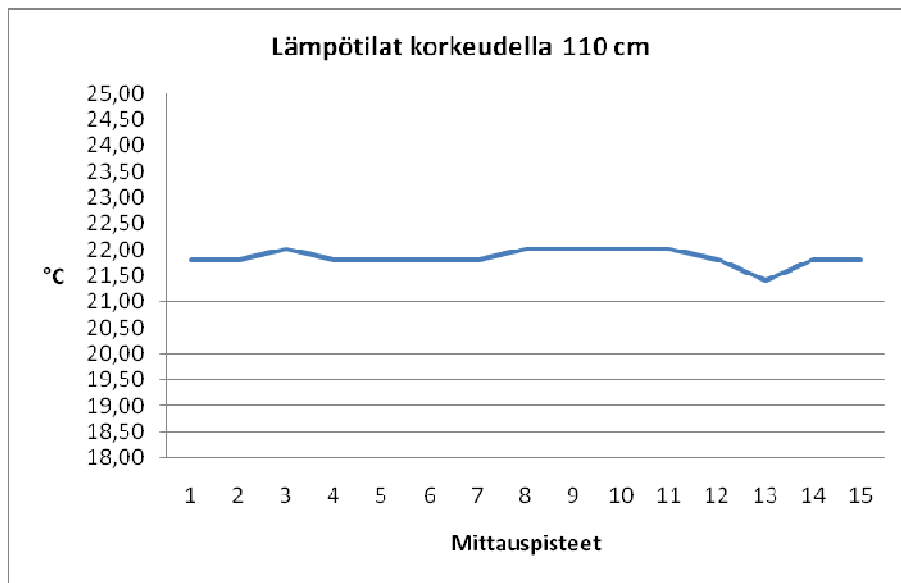
Tarkasteltava lämpötila	Saatu tulos (°C)
Ulkolämpötila (°C)	-4,50
Menoveden lämpötila matalaenergiakeskukselta (°C)	33,00
Paluuveden lämpötila matalaenergiakeskukselta (°C)	26,00
Paneelin pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	22,32
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 170 cm (°C)	21,92
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 110 cm (°C)	21,83
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 10 cm (°C)	21,15
Huonelämpötilojen keskiarvo koko huoneessa (°C)	21,63
Lattian pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	20,13
Ikkunan pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,84
Ikkunan karmien lämpötilojen keskiarvo (°C)	16,77
Ulkoseinän pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	19,53
Katon pintalämpötilojen keskiarvo (°C)	21,20
Paneelin menoveden lämpötila (°C)	23,20
Paneelin paluuveden lämpötila (°C)	22,80
Tuloilman lämpötila (°C)	22,00
Poistoilman lämpötila (°C)	22,40

Kuvassa 26 on esitetty käyrästä huoneen lämpötilat korkeudella 170 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



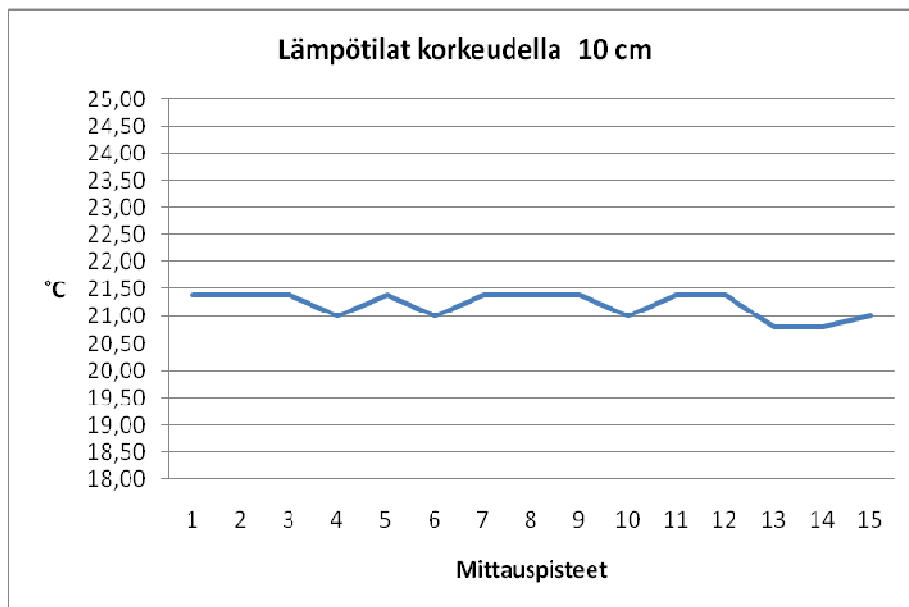
Kuva 26. Mittaustulokset käyrästä korkeudella 170 cm

Kuvassa 27 on esitetty käyrästä huoneen lämpötilat korkeudella 110 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



Kuva 27. Mittaustulokset käyrästönä korkeudella 110 cm

Kuvassa 28 on esitetty käyrästönä huoneen lämpötilat korkeudella 10 cm. Käyrästä nähdään, kuinka tasaisesti lämpö jakautuu eri puolille huonetta.



Kuva 28. Mittaustulokset käyrästönä korkeudella 10 cm

4.5 Mittaustulosten arviointi ja vertailu sisäilmastoluokituksen

Työssä mitattiin operatiivisen lämpötilan sijasta huonelämpötilaa, joka tässä tapauksessa on hyvin lähellä operatiivista lämpötilaa, sillä mitattavan huoneen seinistä vain yksi on ulkoilmaa vasten. Huoneen pintalämpötilat eivät myöskään poikkea merkittävästi huonelämpötilasta, eikä huoneessa ole erityisen suurta ikkunapinta-alaa. Tämän vuoksi mittaukset voitiin suorittaa sisäilmastoluokituksen ohjeistuksen mukaisesti tarkastelemalla huonelämpötilaa. [7]

Mittaustulokset olivat erittäin hyviä, kun tarkastellaan esimerkiksi lämpötilojen keskiarvoja oleskeluvyöhykkeellä. Oleskeluvyöhykkeen lämpötila korkeudella 110 cm oli jokaisella mittauskerralla hyvin lähellä sisäilmastoluokituksen asettamaa tavoitearvoa 21,5 °C. Työssä on vertailtu lisäksi korkeuksien 170 cm ja 10 cm lämpötiloja sisäilmastoluokituksen tavoitearvoihin, jota sisäilmastoluokituksessa ei kuitenkaan vaadita. Mittaustulokset osoittavat myös sen, että Sensus-järjestelmällä saadaan aikaan tasainen lämpötila huoneeseen. Paneelin pinnan lämpötilan jakautuminen oli erittäin tasainen ja lämpötilavaihtelut eri puolilla huonetta olivat melko vähäisiä. Taulukossa 7 on vertailtu saatuja tuloksia sisäilmastoluokituksen tavoitearvoihin.

Taulukko 7. Tulosten vertailu sisäilmastoluokituksen tavoitearvoihin

Ulkolämpötila -6,0°C	Saatu tulos (°C)	Tavoitearvo S1(110cm)	Enimmäisarvo S1(110cm)	Vähimmäisarvo S1(110cm)
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 170 cm (°C)	22,04	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 110 cm (°C)	21,71	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 10 cm (°C)	21,21	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo koko huoneessa (°C)	21,65	21,5	22	21
Ulkolämpötila -10,5°C				
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 170 cm (°C)	21,99	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 110 cm (°C)	21,84	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 10 cm (°C)	21,21	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo koko huoneessa (°C)	21,68	21,5	22	21
Ulkolämpötila -4,5°C				
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 170 cm (°C)	21,92	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 110 cm (°C)	21,83	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo korkeudella 10 cm (°C)	21,15	21,5	22	21
Huonelämpötilojen keskiarvo koko huoneessa (°C)	21,63	21,5	22	21

Mittaustuloksia tarkastellessa täytyy ottaa huomioon myös se, että osa huonelämpötilan mittauspisteistä oli oleskeluvyöhykkeen ulkopuolella, koska haluttiin selvittää lämpötilan jakautuminen koko huoneeseen. Tuloksista nähdään kuitenkin, että jopa ikkunan välittömässä läheisyydessä päästään Sensus-järjestelmällä melko hyviin lämpöoloihin.

Pienemmillä pakkasilla paneelissa ei tapahtunut jatkuvaa lämmitystä, joka näkyy selkeästi mittaustuloksissa. Esimerkiksi ulkolämpötilan ollessa $-4,5\text{ °C}$ paneelin pintalämpötila oli vain vähän huonelämpötilaa korkeampi. Paneelin pintalämpötilat olivat erittäin tasaiset jokaisella mittauskerralla, jonka ansiosta myös huonelämpötila jakautui tasaisesti.

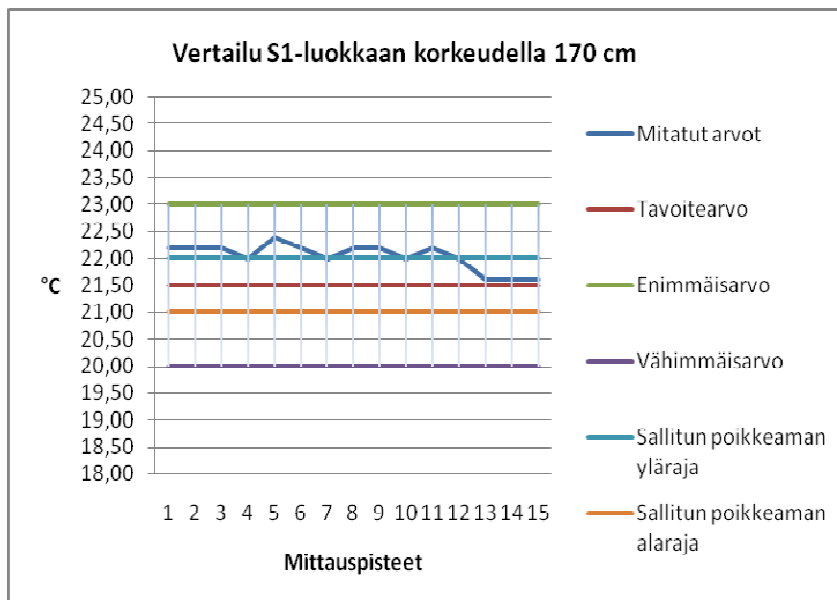
Ikkunan pintalämpötilat olivat melko lähellä huoneilman lämpötilaa, mikä johtuu hyvästä ikkunan rakenteesta sekä siitä, että Sensus-paneeli ohjaa ilman ikkunan pintaa pitkin alaspäin, jolloin se lämmittää ikkunan pintaa. Ikkunan karmin lämpötila oli selkeästi alhaisempi yhdessä mittauspisteessä, jossa oli luultavasti vaurioitunut tiiviste, jonka välistä pääsi vuotamaan kylmempää ilmaa huoneeseen.

Katon pintalämpötila oli lähes sama kuin huoneen lämpötila oleskeluvyöhykkeellä. Lisäksi ulkoseinän ja lattian pintalämpötilat olivat myös melko lähellä huoneilman lämpötilaa. Huomioitavaa on myös se, että huoneessa ei ollut minun itseni ja valaistuksen lisäksi muita sisäisiä lämpökuormia mittauksia suoritettaessa.

Mittaustulosten virheeksi voidaan arvioida $\pm 0,2\text{ °C}$ mittalaitteiden mittavirheen ja luentatarkkuuden takia. Mitattavien pintojen emissiokerroin saattaa vaihdella eri pintojen välillä jonkin verran, joka voi vaikuttaa mittaustulosten tarkkuuteen. Tätä ei kuitenkaan huomioitu työssä, koska sen vaikutus lopputulokseen on hyvin pieni.

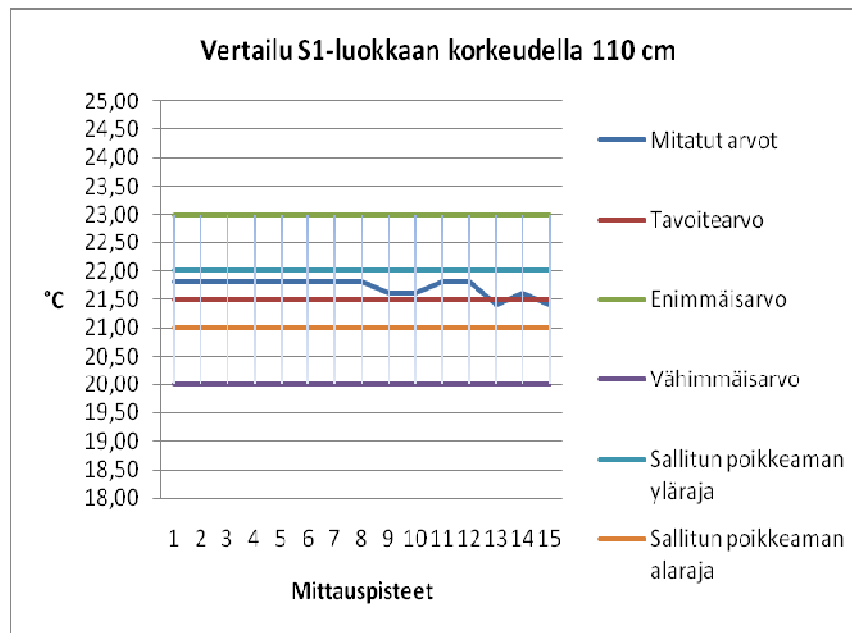
4.5.1 Tulokset ulkolämpötilalla -6,0 °C

Kuvassa 29 on esitetty korkeudella 170 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Huoneen keskellä osa mittauspisteiden lämpötiloista on hieman korkeampi kuin muualla. Tähän syynä saattaa olla mm. valaisimen tuottama lämpö juuri kyseisellä alueella. Tällä korkeudella mitatut lämpötilat voivat poiketa sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista, sillä sisäilmastoluokituksen mukaan tavoitearvojen tulee toteutua korkeudella 110 cm mitatuilla lämpötiloilla.



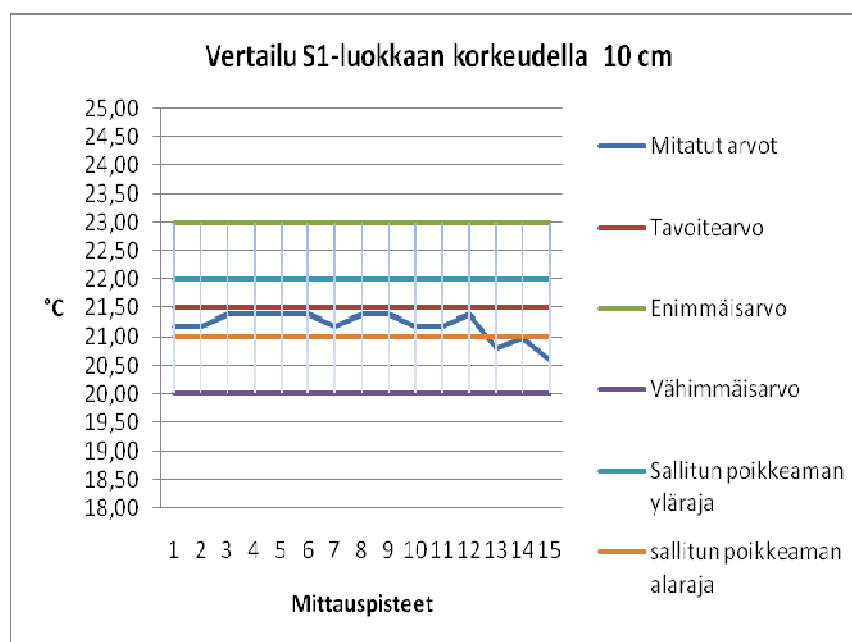
Kuva 29. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 170 cm

Kuvassa 30 on esitetty korkeudella 110 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Lämpötila pysyy jokaisessa mittauspisteessä sallitun poikkeaman raja-arvojen sisällä.



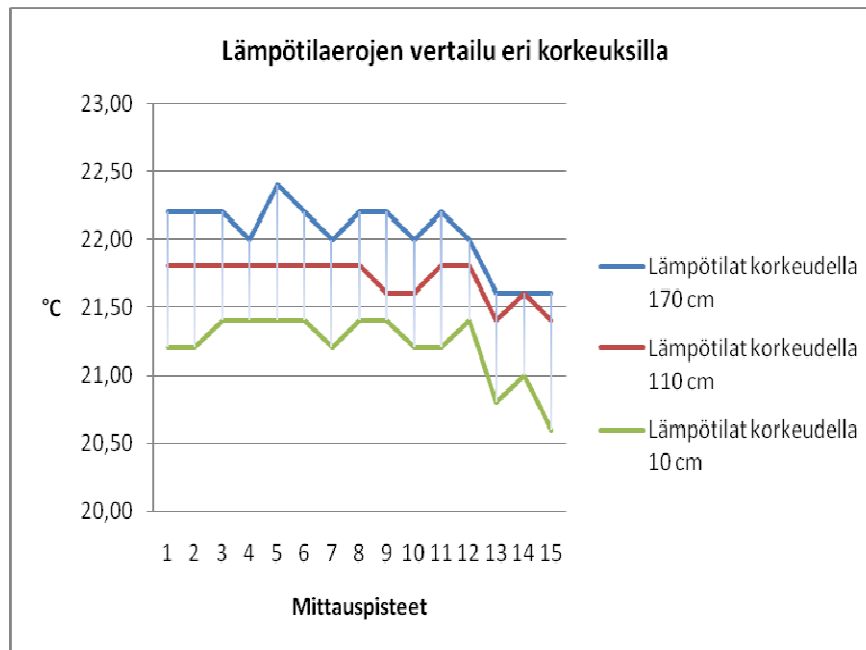
Kuva 30. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokituksen korkeudella 110 cm

Kuvassa 31 on esitetty korkeudella 10 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Tällä korkeudella mitatut lämpötilat voivat poiketa sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista, sillä sisäilmastoluokituksen mukaan tavoitearvojen tulee toteutua korkeudella 110 cm mitatuilla lämpötiloilla.



Kuva 31. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokituksen korkeudella 10 cm

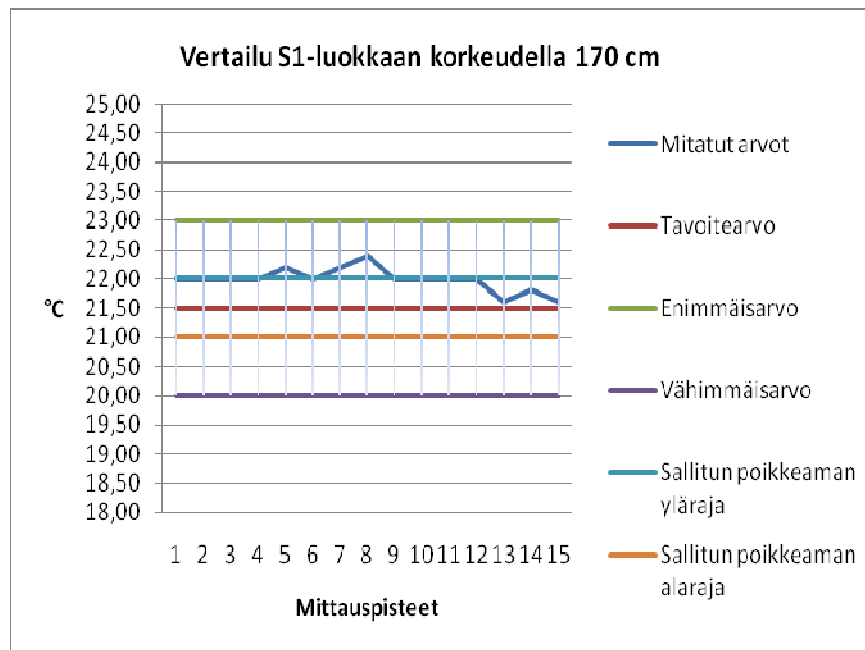
Kuvassa 32 on vertailtu lämpötilaeroja eri korkeuksien välillä. Sisäilmastoluokituksen mukaan lämpötilaero korkeuksien 110 cm ja 10 cm välillä saa olla enintään 2 °C. Käyrästä nähdään, että lämpötilaero on selkeästi alle määrätyn ohjearvon.



Kuva 32. Lämpötilaerojen vertailu eri korkeuksilla

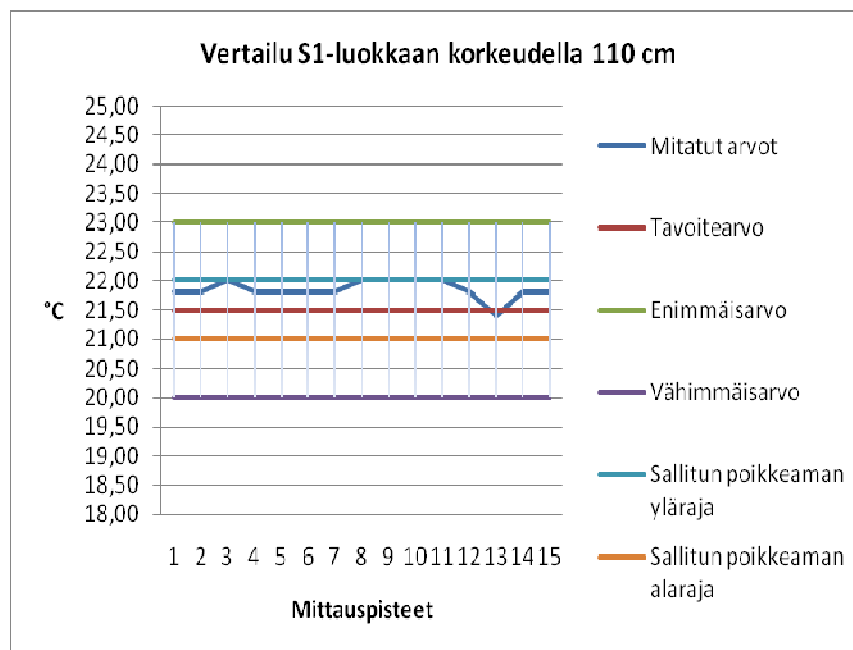
4.5.2 Tulokset ulkolämpötilalla -10,5 °C

Kuvassa 33 on esitetty korkeudella 170 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Huoneen keskellä osa mittauspisteiden lämpötiloista on hieman korkeampi kuin muualla. Tähän syynä saattaa olla mm. valaisimen tuottama lämpö juuri kyseisellä alueella. Tällä korkeudella mitatut lämpötilat voivat poiketa sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista, sillä sisäilmastoluokituksen mukaan tavoitearvojen tulee toteutua korkeudella 110 cm mitatuilla lämpötiloilla.



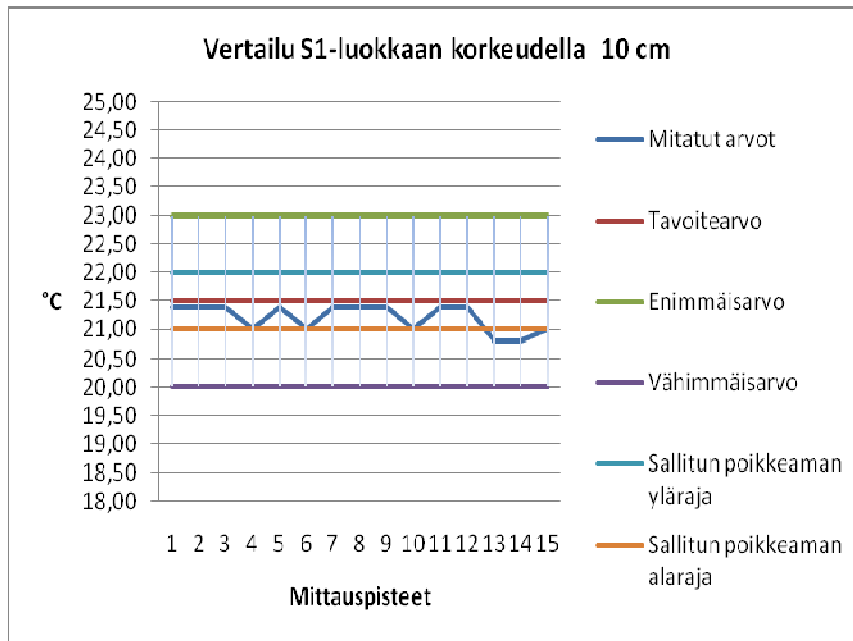
Kuva 33. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 170 cm

Kuvassa 34 on esitetty korkeudella 110 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Lämpötila pysyy jokaisessa mittauspisteessä sallitun poikkeaman raja-arvojen sisällä.



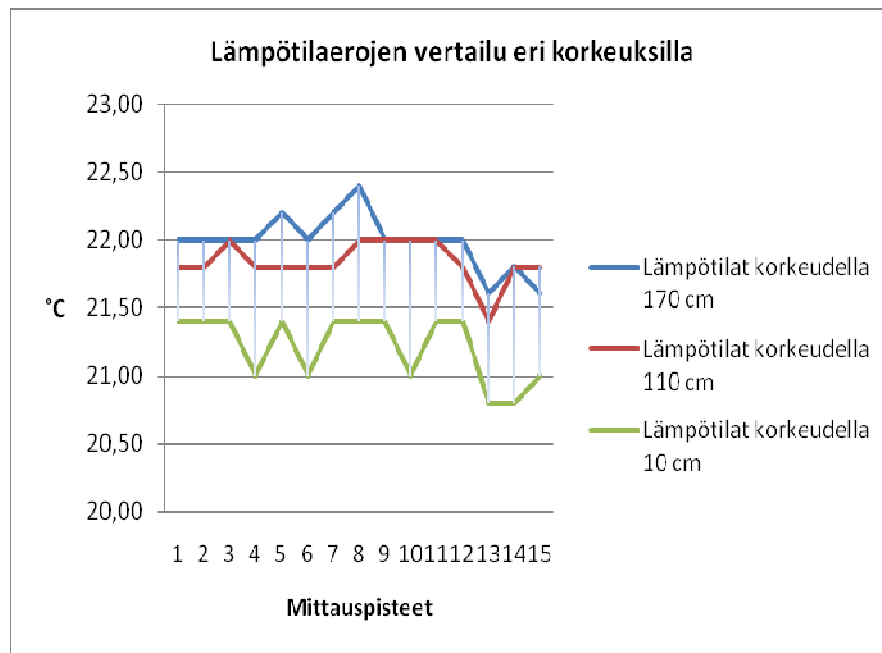
Kuva 34. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 110 cm

Kuvassa 35 on esitetty korkeudella 10 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Tällä korkeudella mitatut lämpötilat voivat poiketa sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista, sillä sisäilmastoluokituksen mukaan tavoitearvojen tulee toteutua korkeudella 110 cm mitatuilla lämpötiloilla.



Kuva 35. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 10 cm

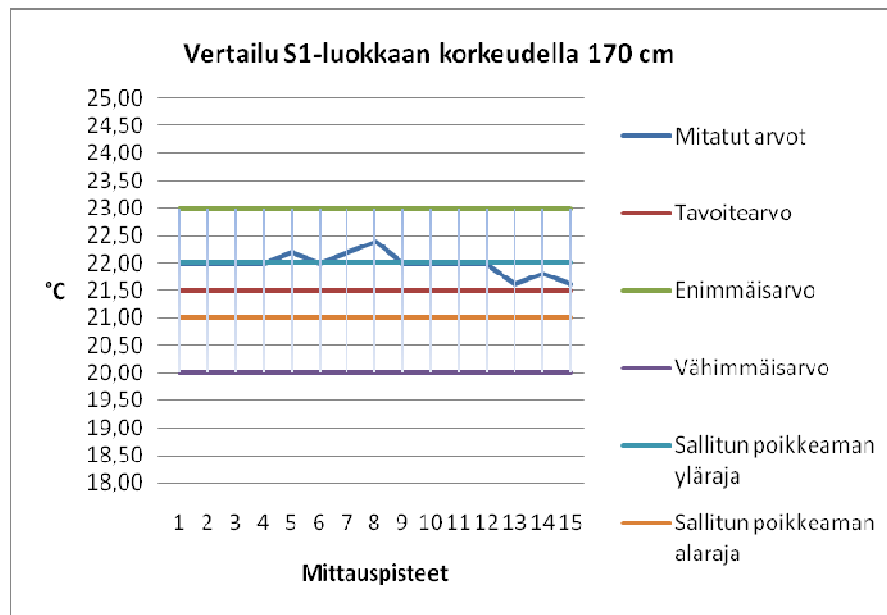
Kuvassa 36 on vertailtu lämpötilaeroja eri korkeuksien välillä. Sisäilmastoluokituksen mukaan lämpötilaero korkeuksien 110 cm ja 10 cm välillä saa olla enintään 2 °C. Käyrästä nähdään, että lämpötilaero on selkeästi alle määrätyn.



Kuva 36. Lämpötilaerojen vertailu eri korkeuksilla

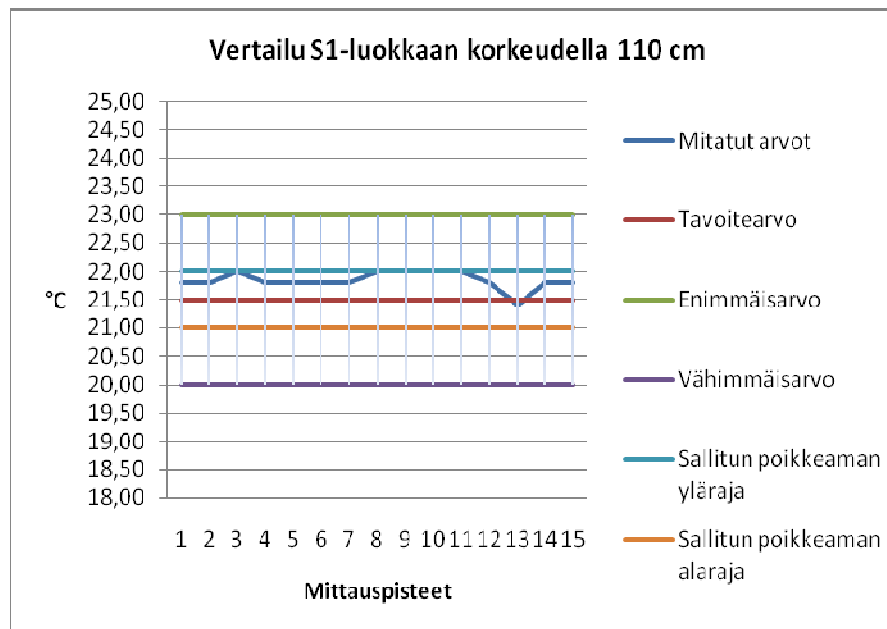
4.5.3 Tulokset ulkolämpötilalla -4,5 °C

Kuvassa 37 on esitetty korkeudella 170 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin S1-luokassa. Huoneen keskellä osa mittauspisteiden lämpötiloista on hieman korkeampi kuin muualla. Tähän syynä saattaa olla mm. valaisimen tuottama lämpö juuri kyseisellä alueella. Tällä korkeudella mitatut lämpötilat voivat poiketa sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista, sillä sisäilmastoluokituksen mukaan tavoitearvojen tulee toteutua korkeudella 110 cm mitatuilla lämpötiloilla.



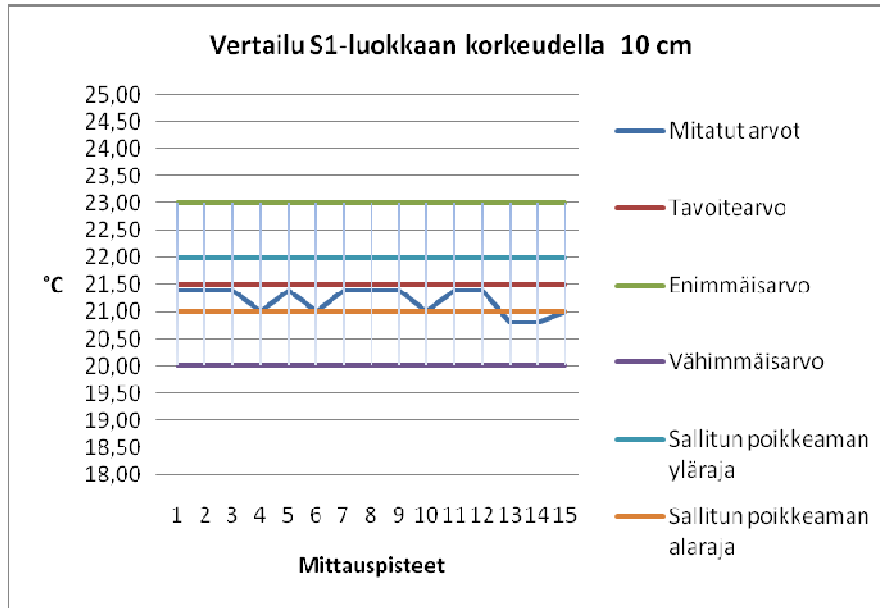
Kuva 37. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 170 cm

Kuvassa 38 on esitetty korkeudella 110 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin S1-luokassa. Lämpötila pysyy jokaisessa mittauspisteessä sallitun poikkeaman raja-arvojen sisällä.



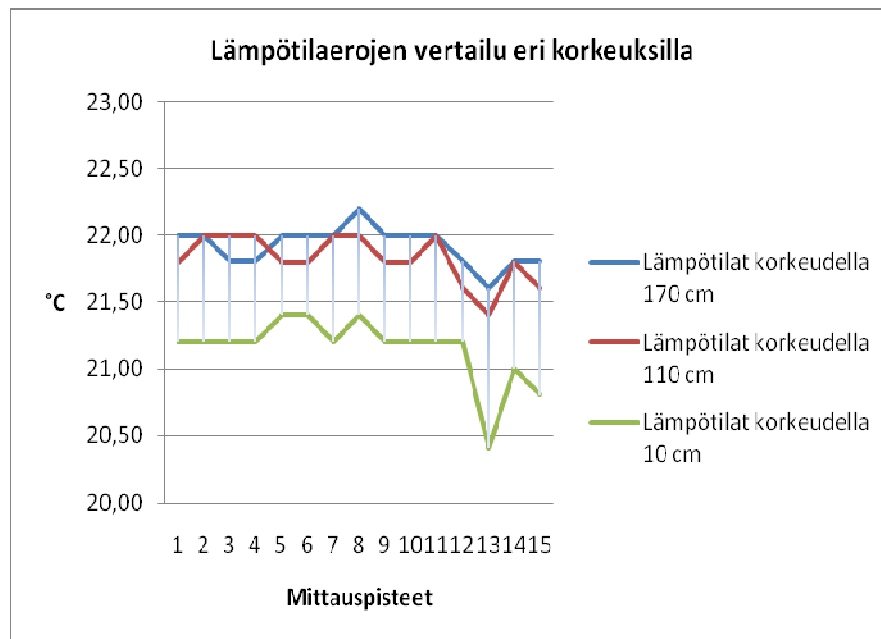
Kuva 38. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 110 cm

Kuvassa 39 on esitetty korkeudella 10 cm mitattujen huoneen lämpötilojen vertailu sisäilmastoluokituksen oleskeluvyöhykkeen tavoitearvoihin korkeudella S1-luokassa. Tällä korkeudella mitatut lämpötilat voivat poiketa sisäilmastoluokituksen asettamista tavoitearvoista, sillä sisäilmastoluokituksen mukaan tavoitearvojen tulee toteutua korkeudella 110 cm mitatuilla lämpötiloilla.



Kuva 39. Mittaustulosten vertailu sisäilmastoluokitukseen korkeudella 10 cm

Kuvassa 40 on vertailtu lämpötilaeroja eri korkeuksien välillä. Sisäilmastoluokituksen mukaan lämpötilaero korkeuksien 110 cm ja 10 cm välillä saa olla enintään 2 °C. Käyrästä nähdään, että lämpötilaero on selkeästi alle määrätyn.



Kuva 40. Lämpötilaerojen vertailu eri korkeuksilla

5 Yhteenveto

Are Sensus® -järjestelmällä saavutetaan erittäin hyvät sisäolosuhteet ja alhainen energiankulutus, jotka ovat rakennuksen käyttäjän ja omistajan kannalta hyvin tärkeitä asioita. Sensus-järjestelmällä voidaan säästää vuosittain huomattavia määriä energiankulutuksesta aiheutuvista kustannuksista. Esimerkiksi TKK:n Clima 2007 -konferenssiin tehdyssä julkaisussa, jossa tarkasteltiin Jyväskylän IT-Dynamo -todettiin, että järjestelmällä säästetään energiaa noin 240 000 € kymmenessä vuodessa. Tämä tulos perustuu todellisiin mittauksiin. [13]

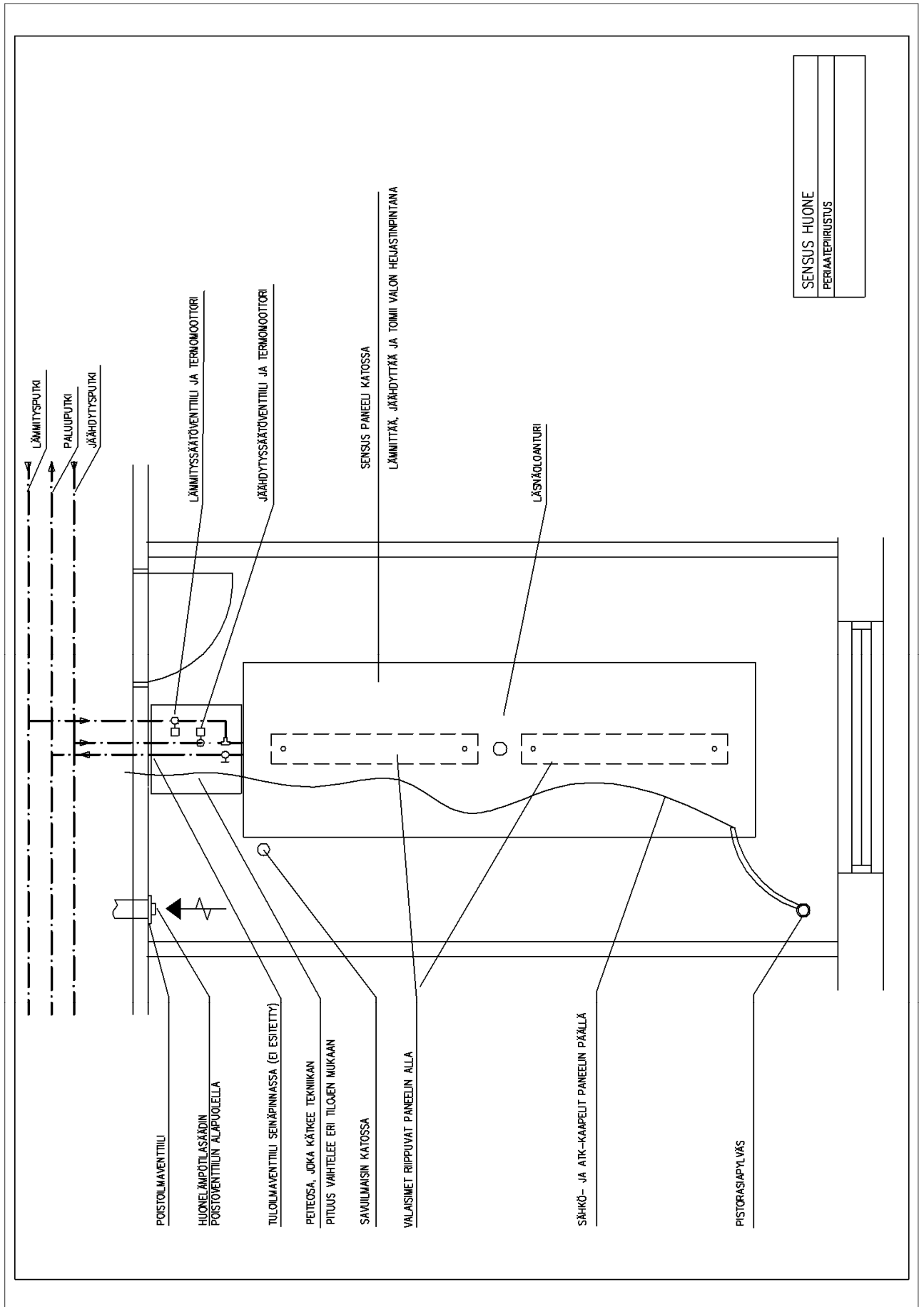
Sisäilmastoluokituksen tarkoituksena on ohjeistaa rakennuttajia, urakoitsijoita ja suunnittelijoita. Sisäilmastoluokitus asettaa tavoitearvoja hyvän sisäilmaston saavuttamiseksi rakennuksessa. Sisäilmastoluokitusta voidaan käyttää suunnittelun apuvälineenä, kun halutaan rakennukseen hyvät sisäolosuhteet.

Are Sensus® -järjestelmällä on pyritty alhaisen energian kulutuksen lisäksi saavuttamaan sisäilmastoluokituksen asettamat tavoitteet hyvälle sisäilmalle. Työssä tehtyjen mittausten tulokset olivat erittäin hyviä ja niistä nähdään, että lämpötila jakautuu Sensus-järjestelmässä erittäin tasaisesti koko huoneeseen. Tämä johtuu mm. paneelin suuresta pinta-alasta, joka lämmittää huoneilmaa tasaisesti. Mittaustuloksista nähdään lisäksi, että mitattujen pintojen lämpötilat ovat melko lähellä huoneilman lämpötilaa. Tästä syystä voidaan olettaa myös, että mitatut huoneilman lämpötilat vastaavat ihmisen tuntemaa operatiivista lämpötilaa melko tarkasti.

Tässä työssä suoritettujen lämpöolojen mittaukset tukevat sitä, että Are Sensus® -järjestelmällä saavutetaan erittäin hyvät sisäolosuhteet. Suoritettujen mittausten perusteella voidaan lisäksi todeta, että Are Sensus® -järjestelmä täyttää talviolosuhteissa uuden sisäilmastoluokituksen S1-luokan asettamat lämpöolosuhteiden tavoitearvot.

Lähteet

- 1 Are Sensus® -järjestelmällä korkeatasoiset olosuhteet toimitiloihin (WWW-dokumentti.) Are Oy. <http://www.are.fi/FI/Tuotteetjapalvelut/Jarjestelma_tuotteet/Sivut/AreSensus.aspx>. Luettu 7.1.2009.
- 2 Are Sensus® -esite (WWW-dokumentti.) Are Oy. <http://www.are.fi/FI/Documents/AreSensus-esite_katseluversio.pdf>. Luettu 21.1.2009.
- 3 Are Sensus® -järjestelmäkuvaus. Are Oy, Vantaa, 2007.
- 4 Are Sensus® talotekniikkajärjestelmä. Are Oy, Vantaa, 2008
- 5 Huonelämpötilasäädin HLS 21-esite. (WWW-dokumentti.) Produal Oy. <http://www.produal.fi/files/325_HLS21.pdf>. Luettu 22.1.2009.
- 6 Sensus® -ilmastointikoneen toimintaselostus. Are Oy, Vantaa, 2008.
- 7 Sisäilmastoluokitus 2008. Espoo: Sisäilmayhdistys ry, 2008.
- 8 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Suomen rakentamismääräyskokoelma, osa D2. Helsinki: ympäristöministeriö, 2003.
- 9 Infrapunalämpömittari Raytek Raynger ST-esite. (WWW-dokumentti.) E & E Process Instrumentation. <http://www.eeprocess.com/ee_pdf/raytek_pdf/rayst-infrared-thermometers.pdf>. Luettu 23.2.2009.
- 10 Eltek Datalogger-esite. (WWW-dokumentti.) Eltek. <http://www.eltekdataloggers.co.uk/450_logger.shtml>. Luettu 20.2.2009.
- 11 SFS 5511. 1991. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.
- 12 Säähavainnot. (WWW-dokumentti.) Ilmatieteen laitos. <<http://www.fmi.fi/saa/paikalli.html?place=Vantaa>>. Luettu 23.2.2009.
- 13 Rakennusten energiatehokkuuden ja sisäilmaston arviointi. Koekohteena Jyväskylän IT-Dynamo-rakennus. Tampereen teknillinen yliopisto, energia- ja prosessitekniikan laitos. Raportti 183. Tampere: 2006.



Mittaukset aloitettu n. klo:

10.30

Ulkolämpötila (°C):

-6,0

Matalaenergiakeskus

Menoveden lämpötila (°C):

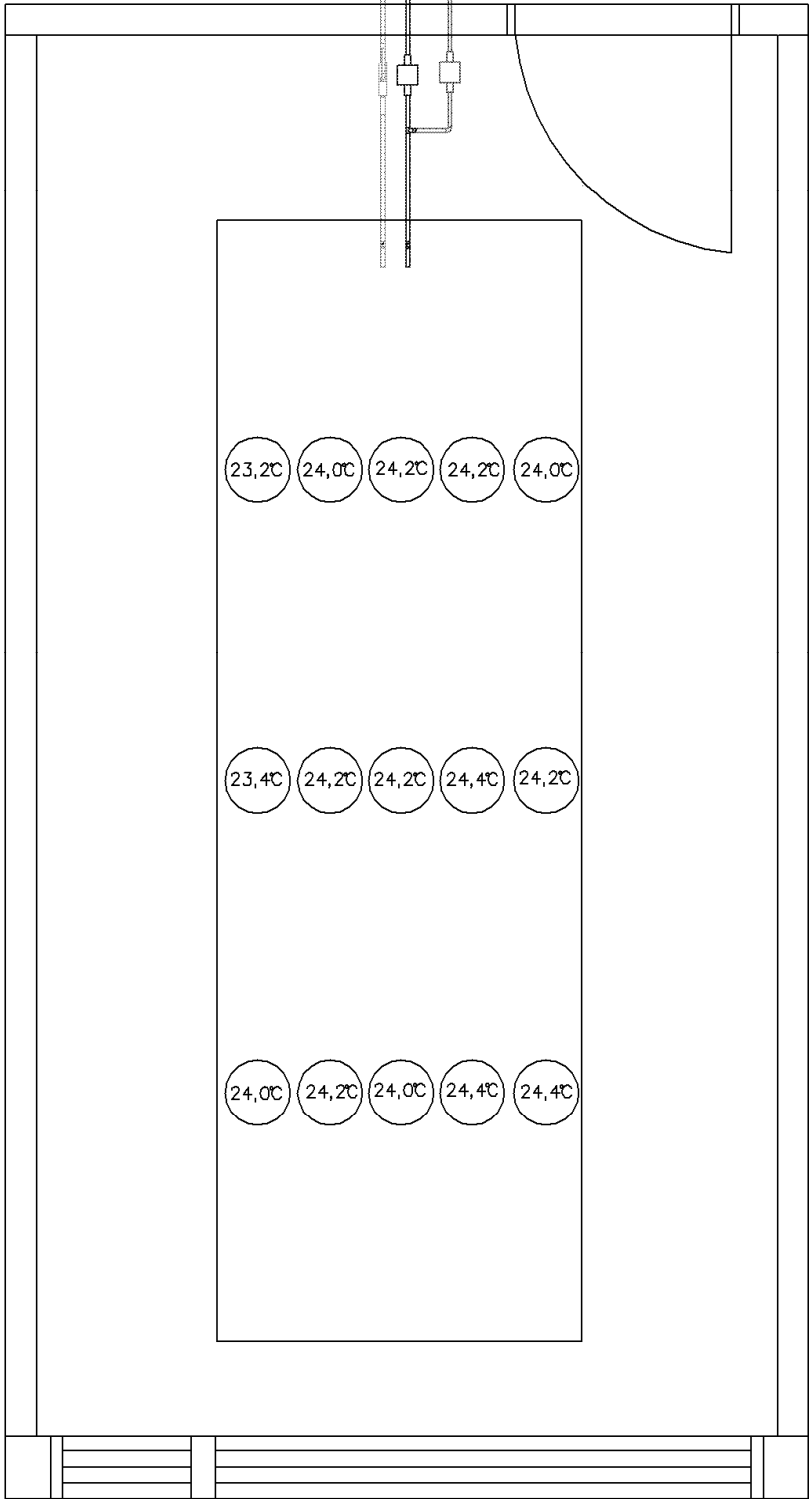
+33,0

Paluuveden lämpötila (°C):

+26,0

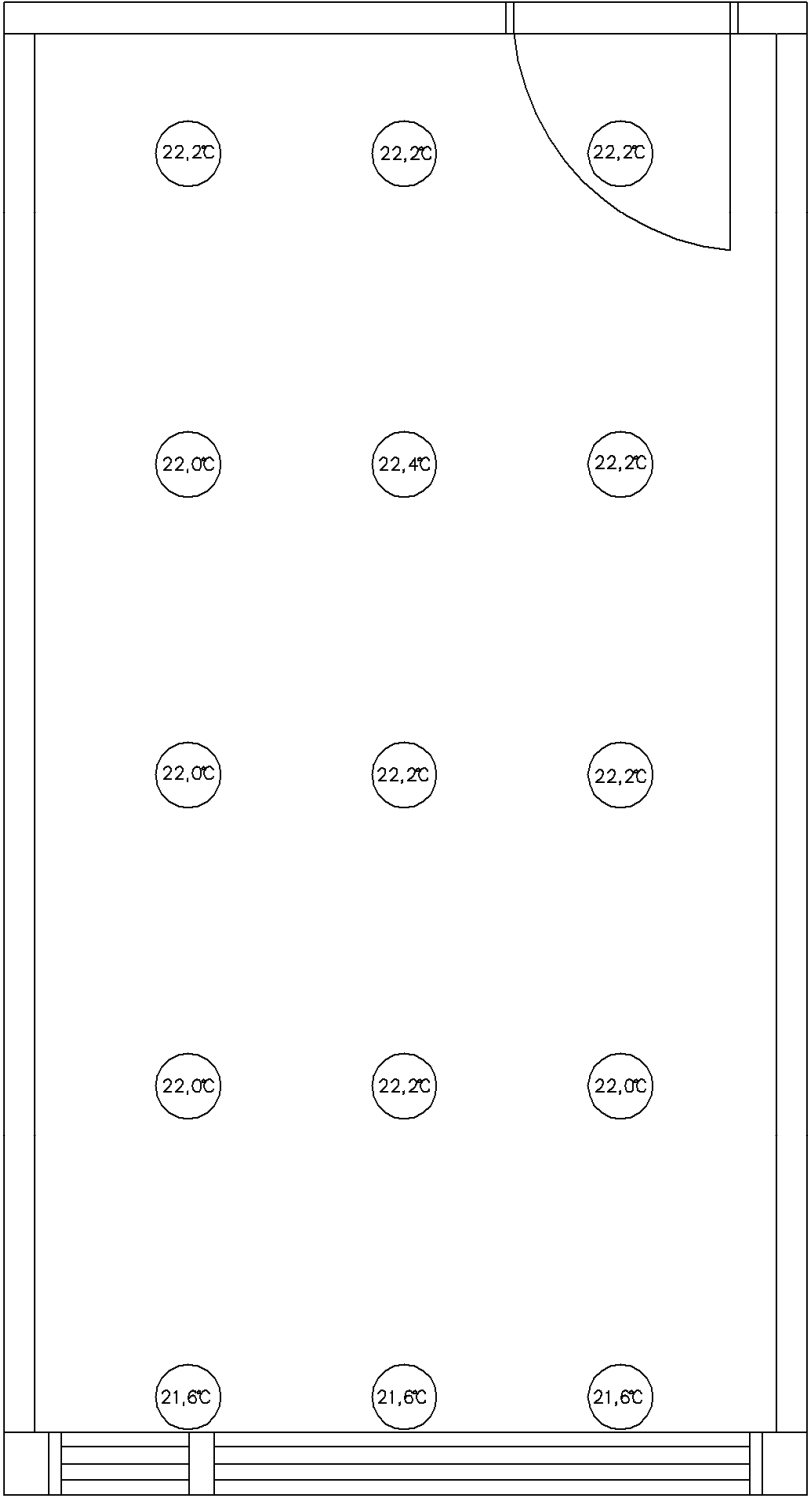
Sensus-paneelin
lämpötilat

PVM: 12.02.09



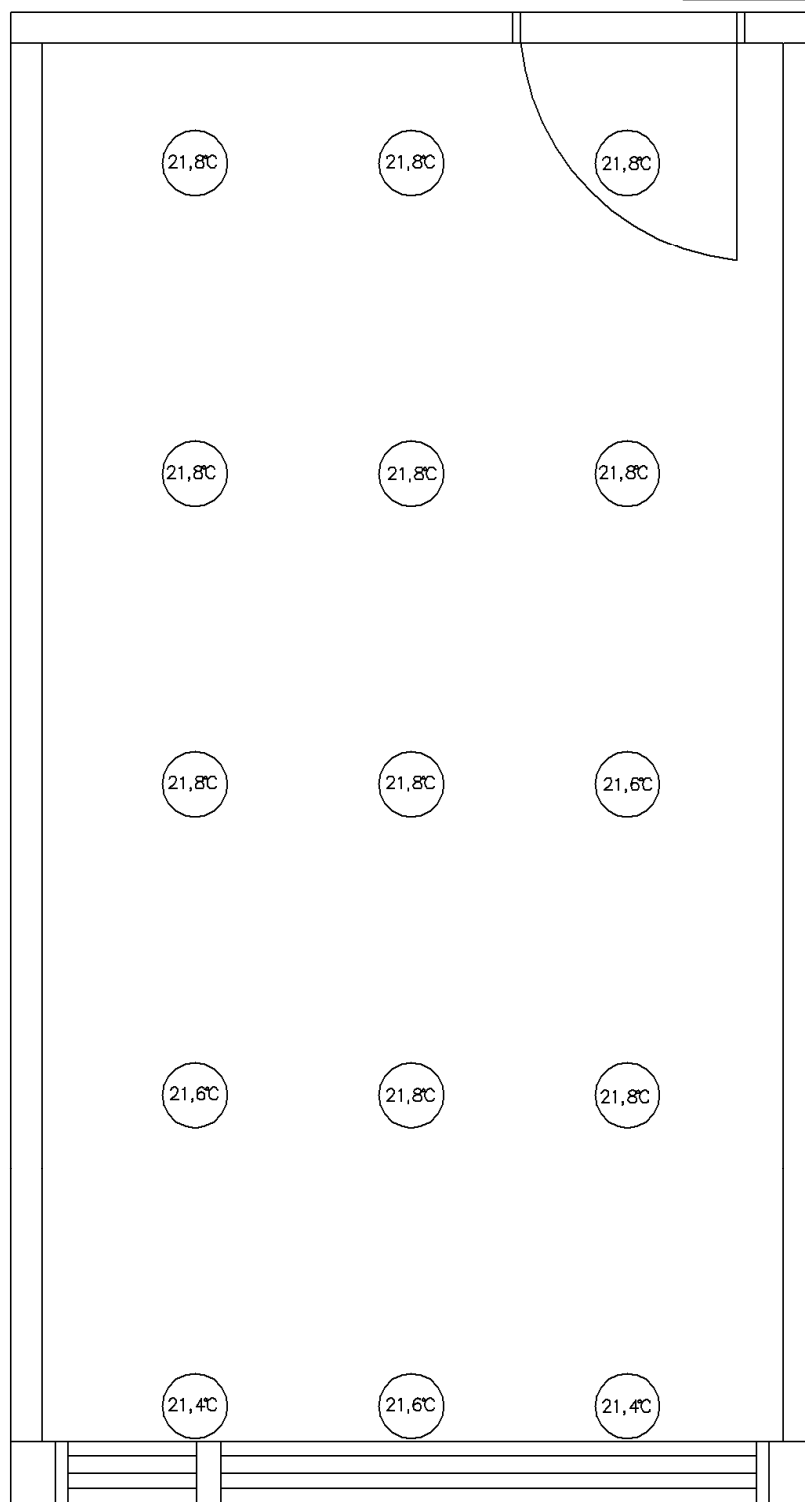
Lämpötilat korkeudella 170 cm lattiapinnasta

PVM: 12.02.09



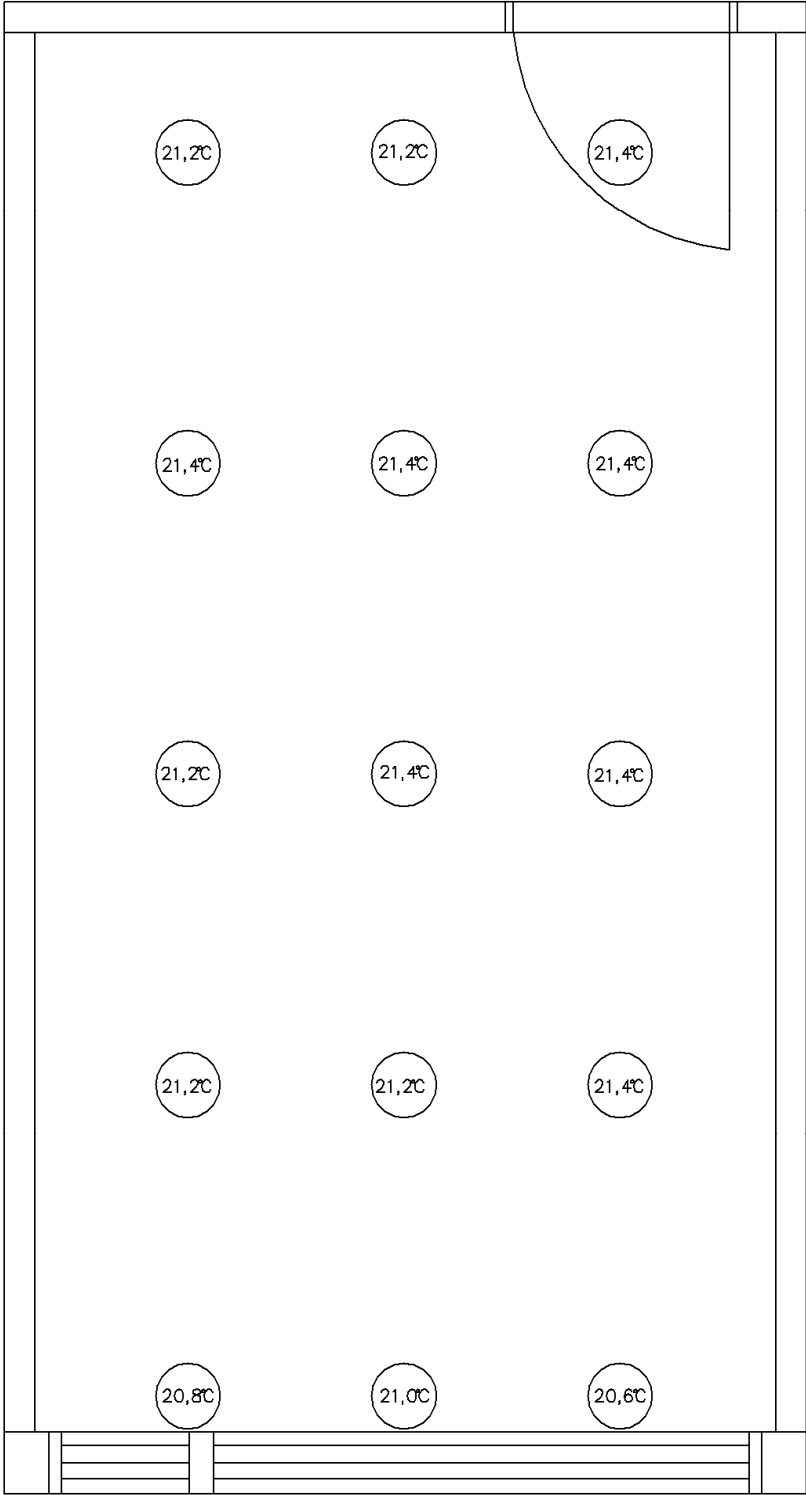
Lämpötilat korkeudella 110 cm lattiapinnasta

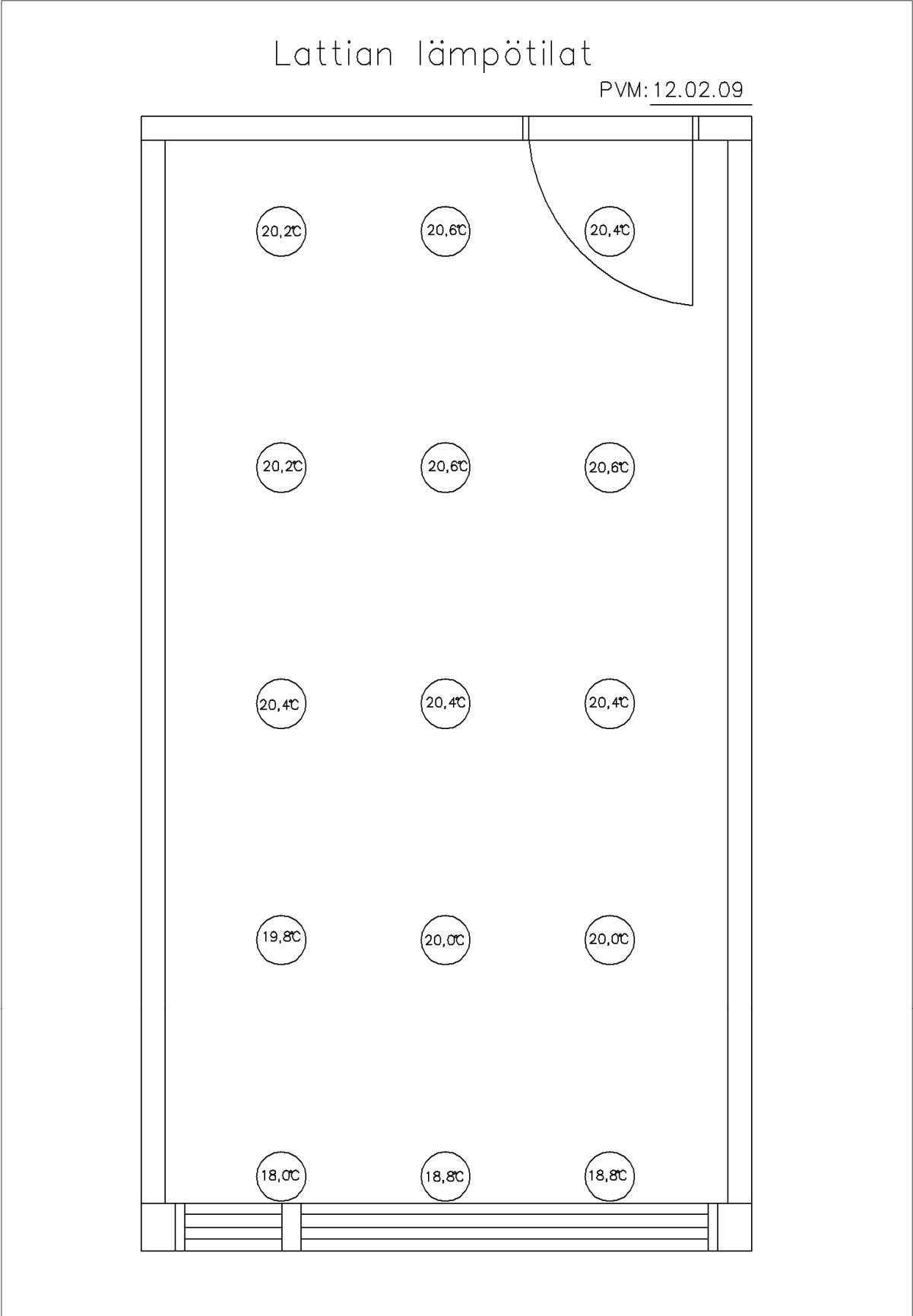
PVM: 12.02.09

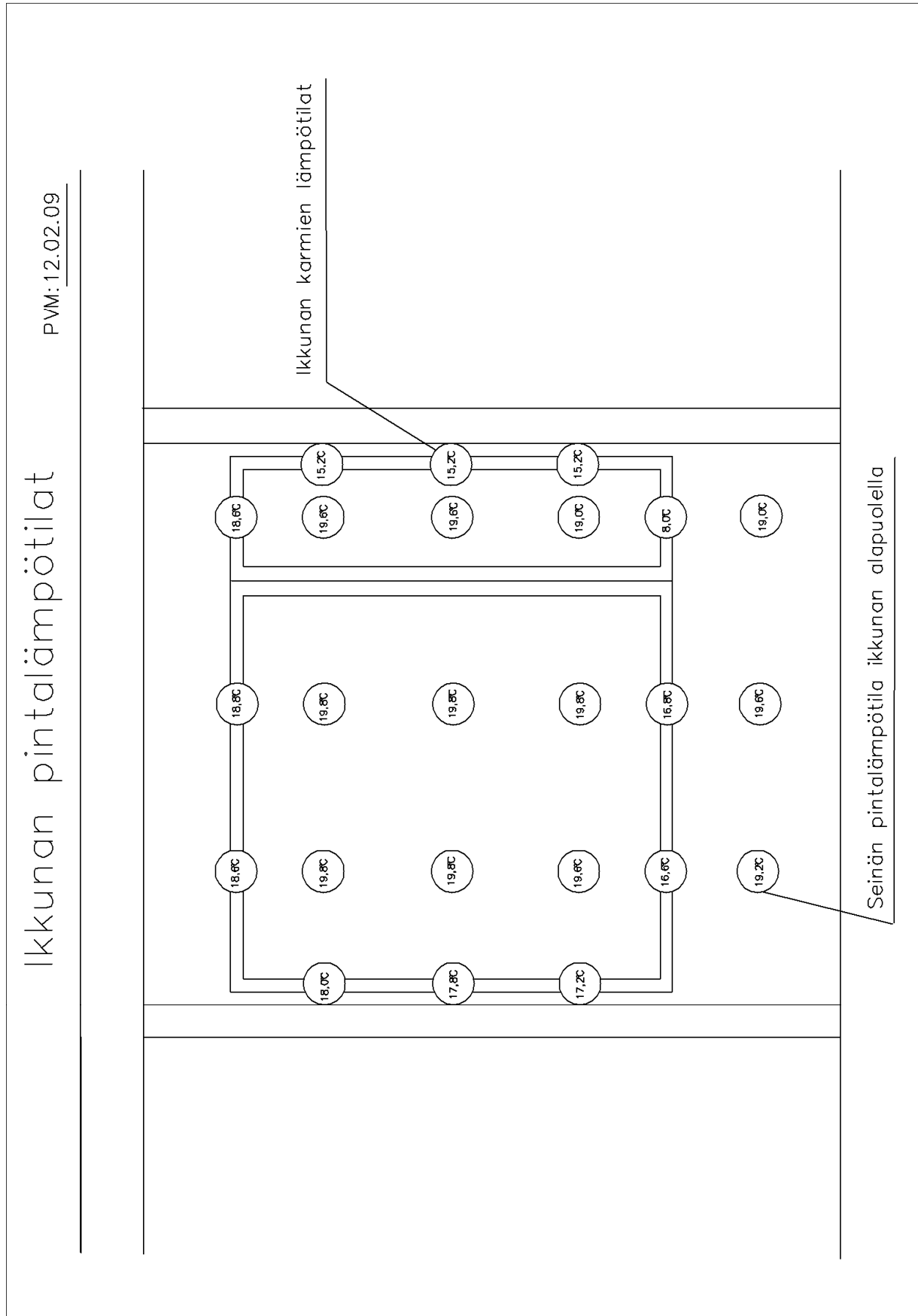


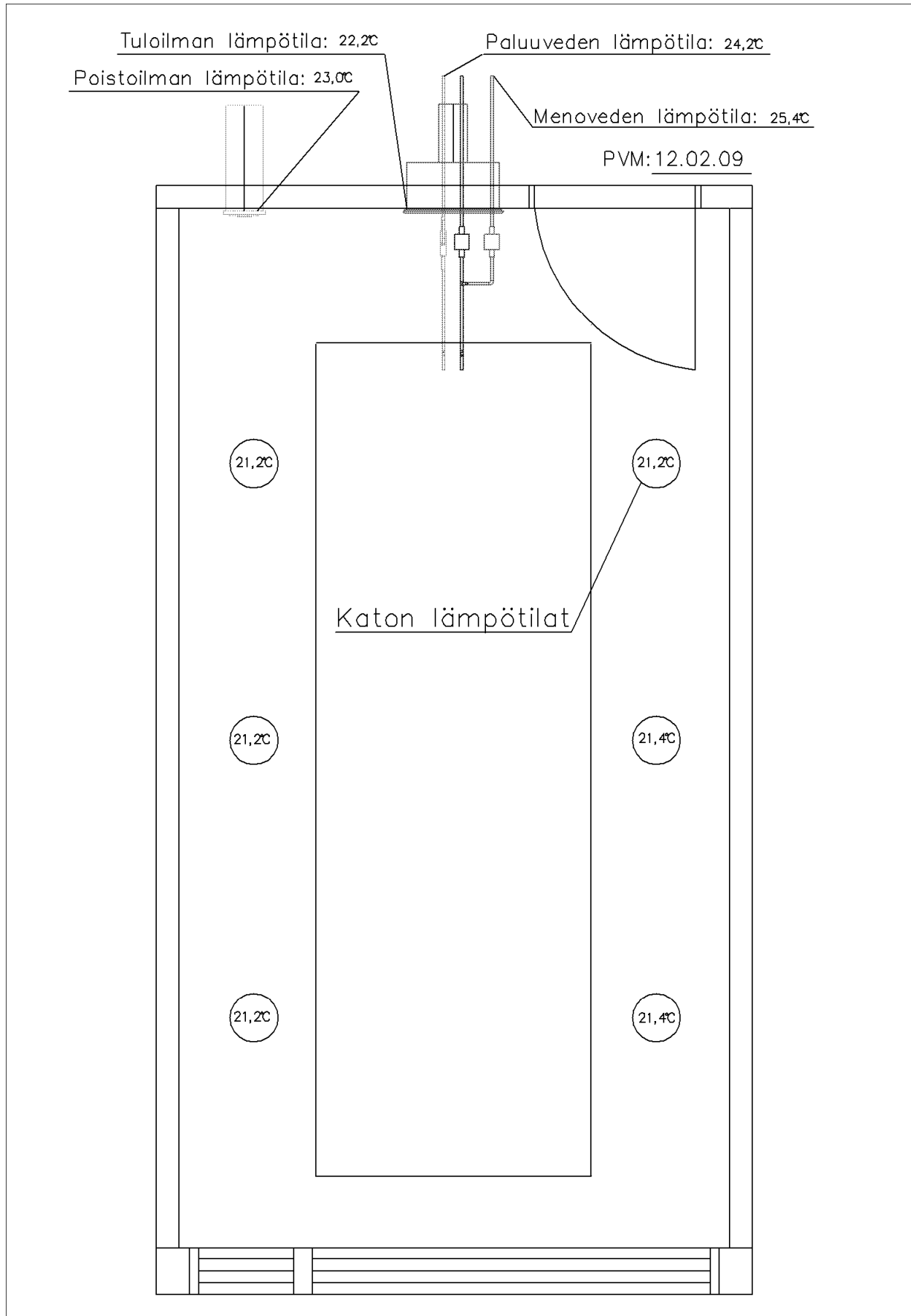
Lämpötilat korkeudella 10 cm lattiapinnasta

PVM: 12.02.09









Mittaukset aloitettu n. klo:

10.00

Ulkolämpötila (°C):

-10,5

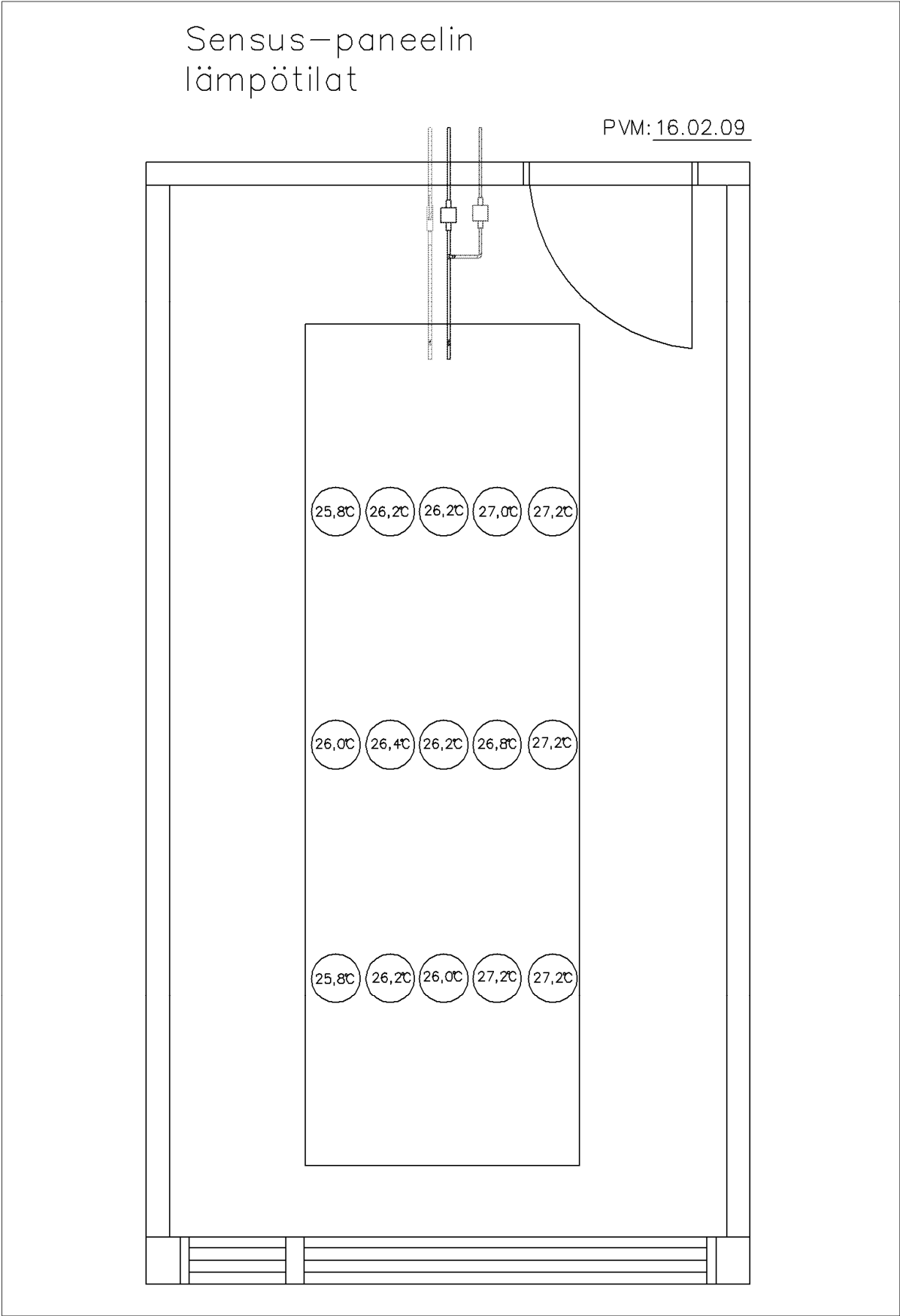
Matalaenergiakeskus

Menoveden lämpötila (°C):

+34,0

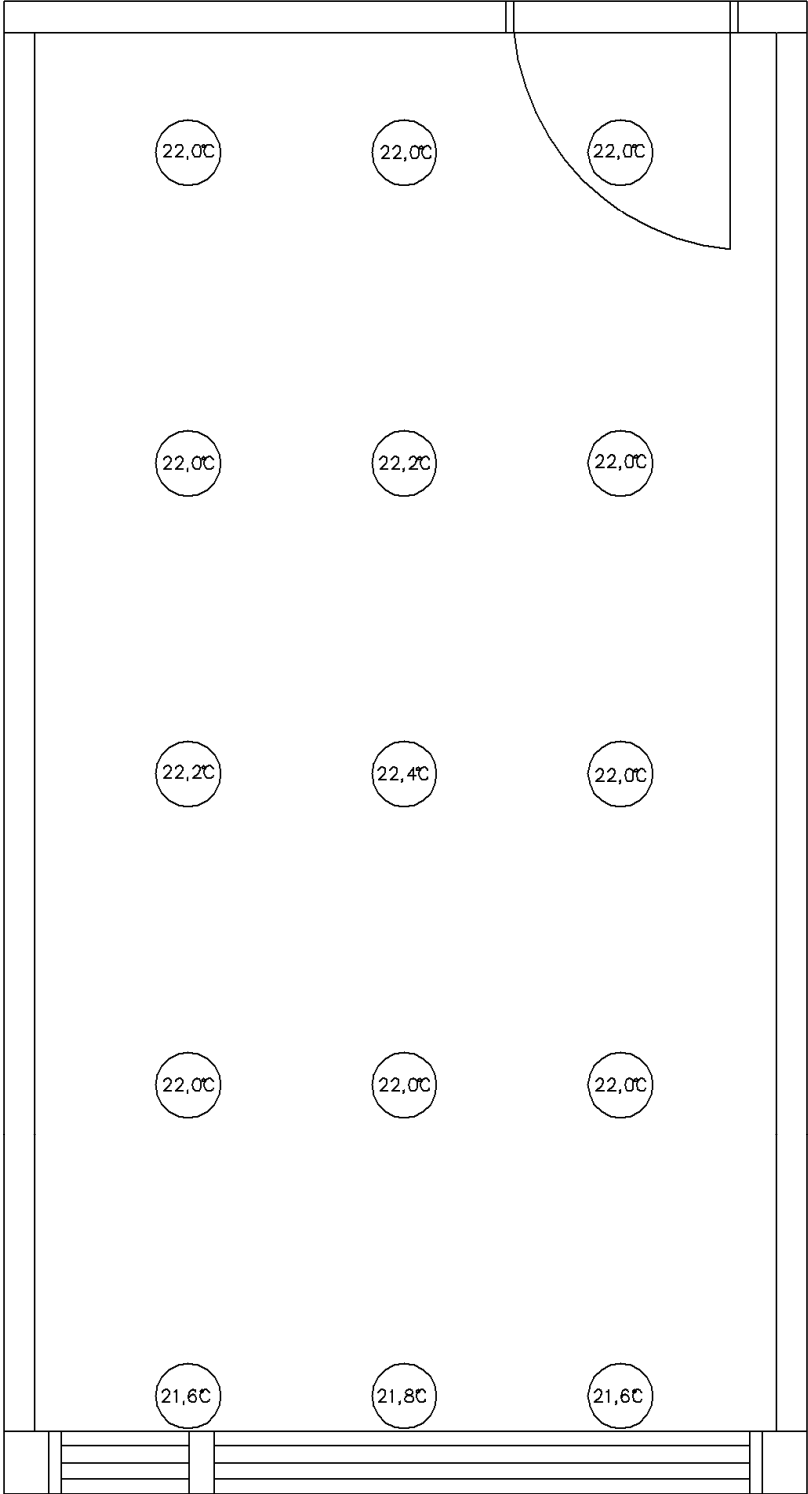
Paluuveden lämpötila (°C):

+27,0



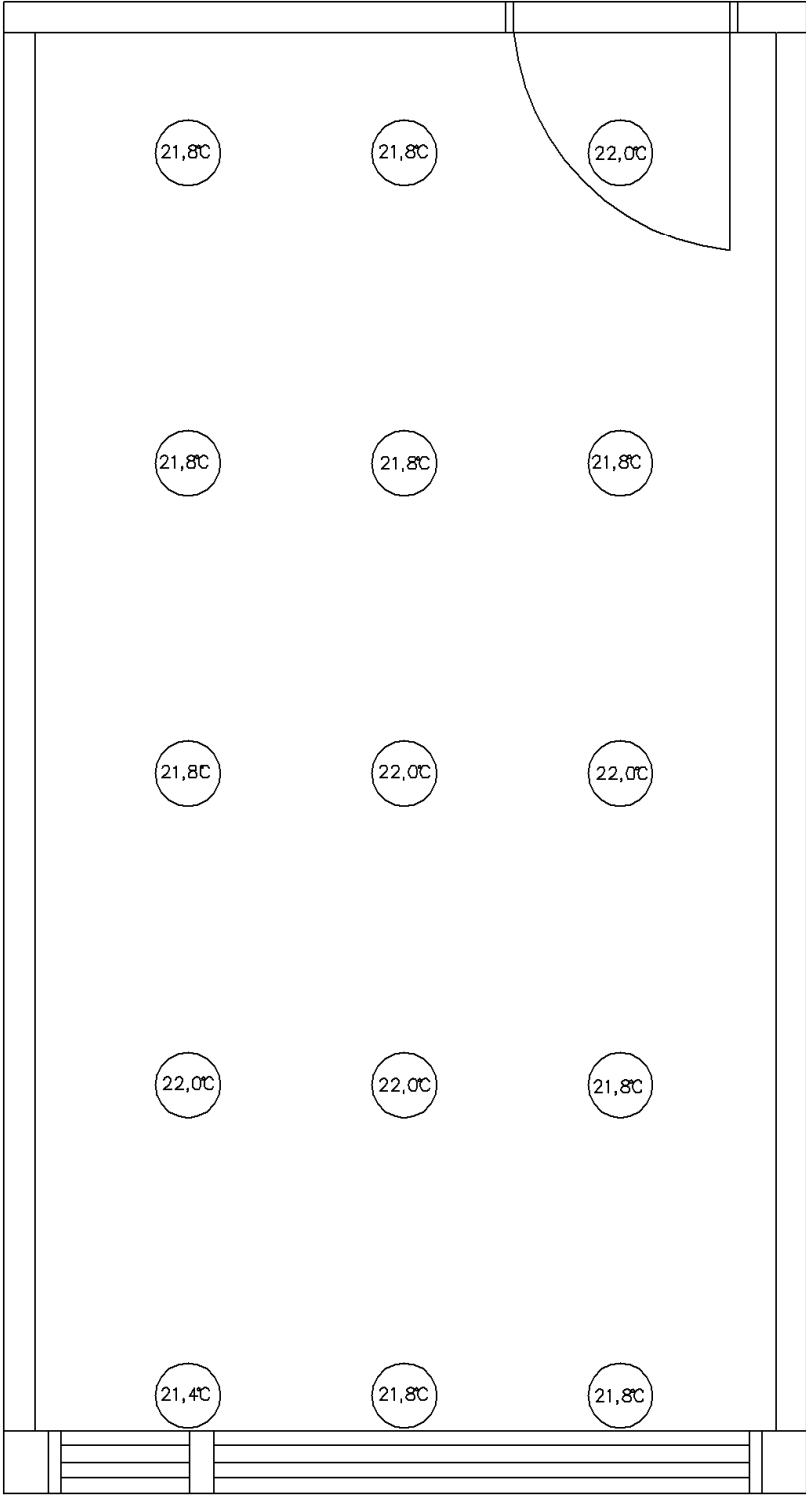
Lämpötilat korkeudella 170 cm lattiapinnasta

PVM: 16.02.09



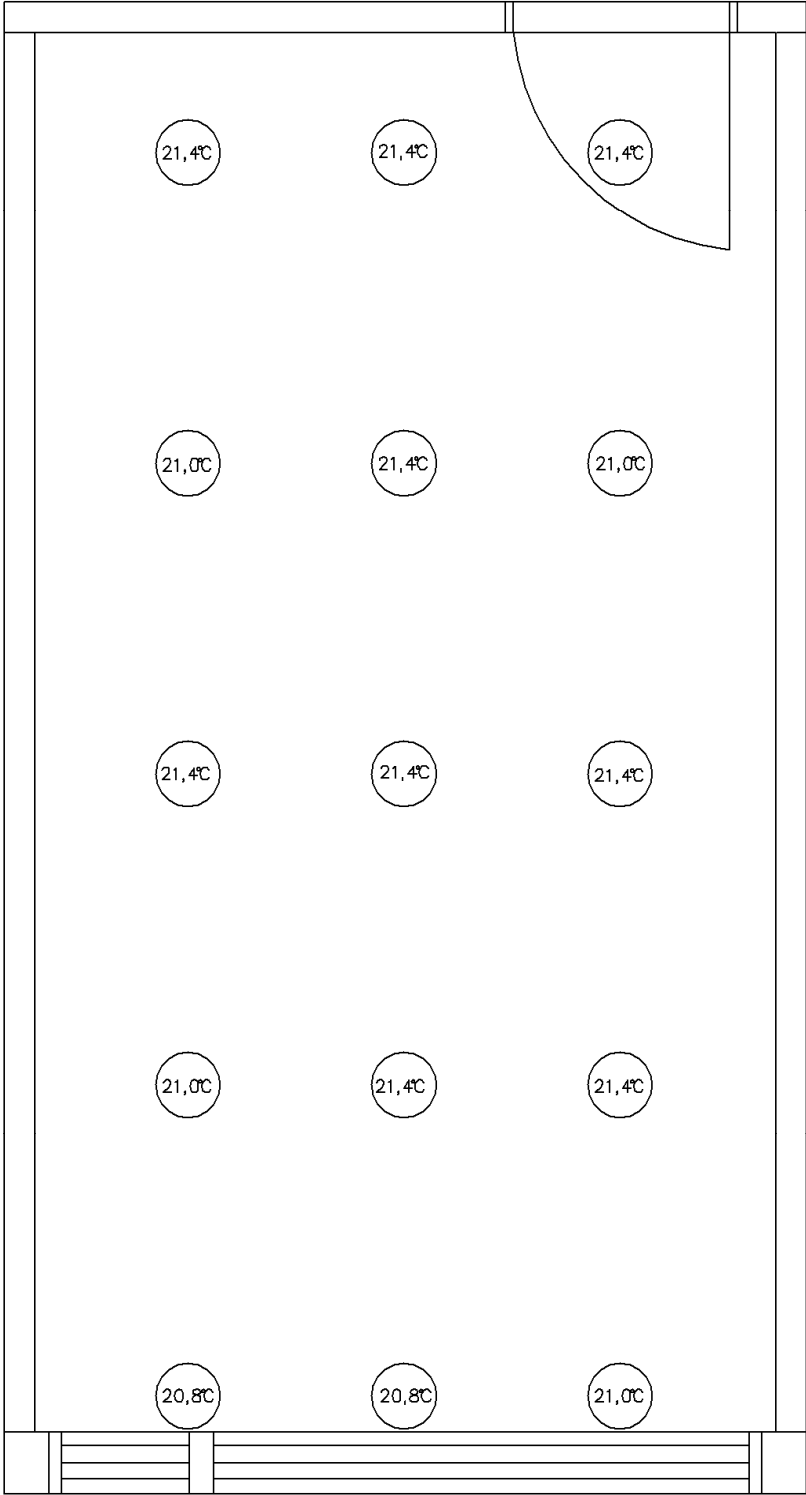
Lämpötilat korkeudella 110 cm lattiapinnasta

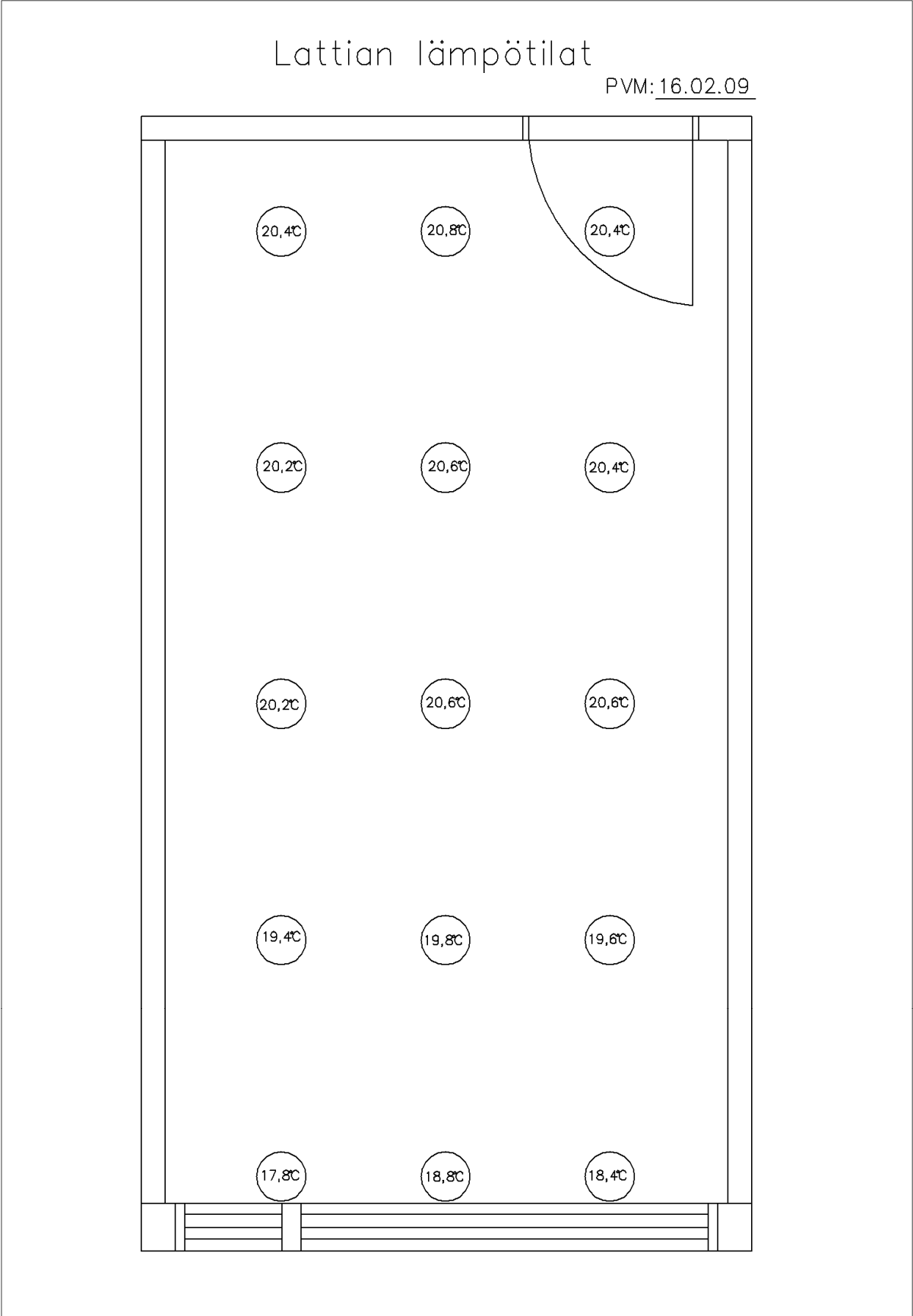
PVM: 16.02.09

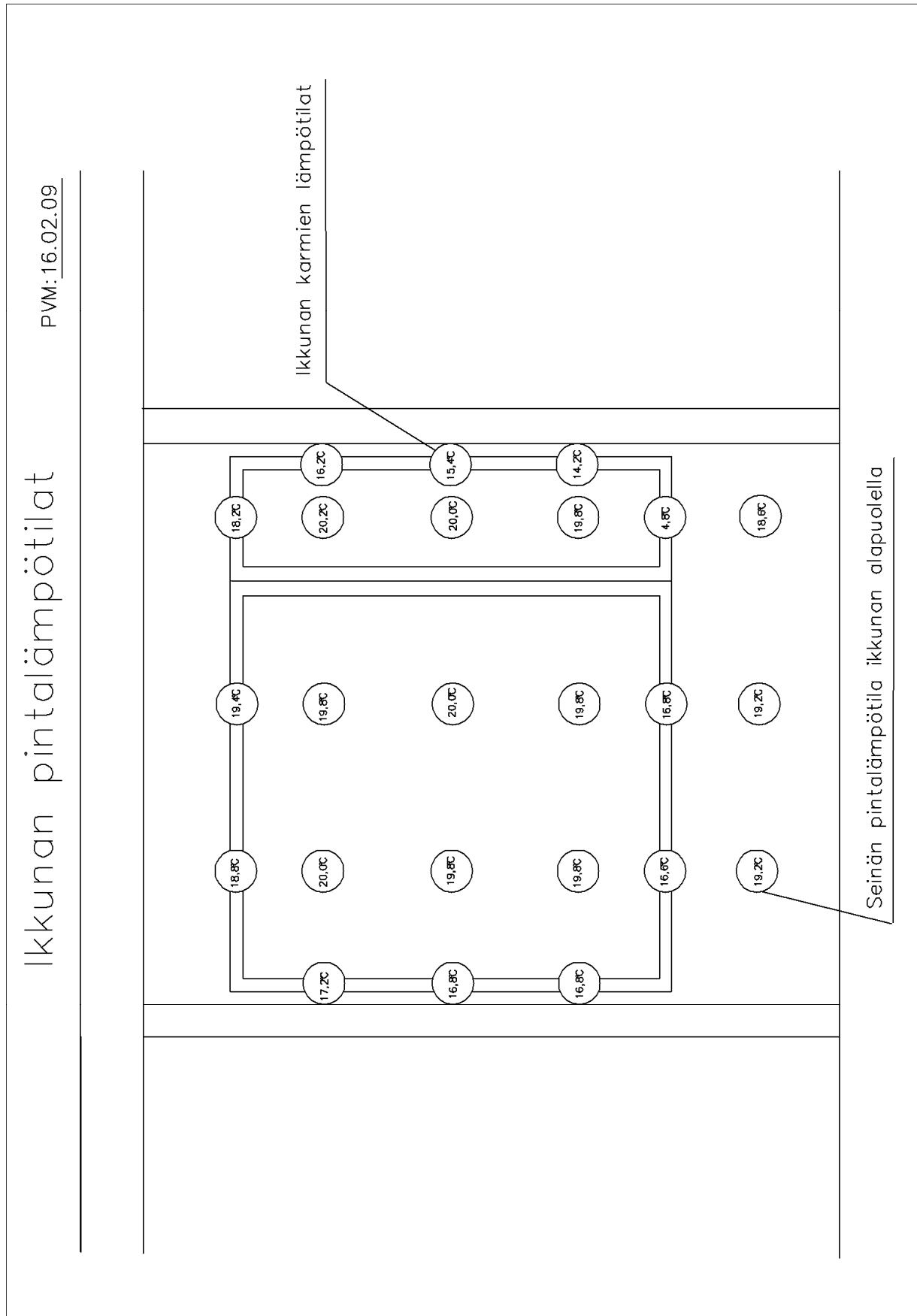


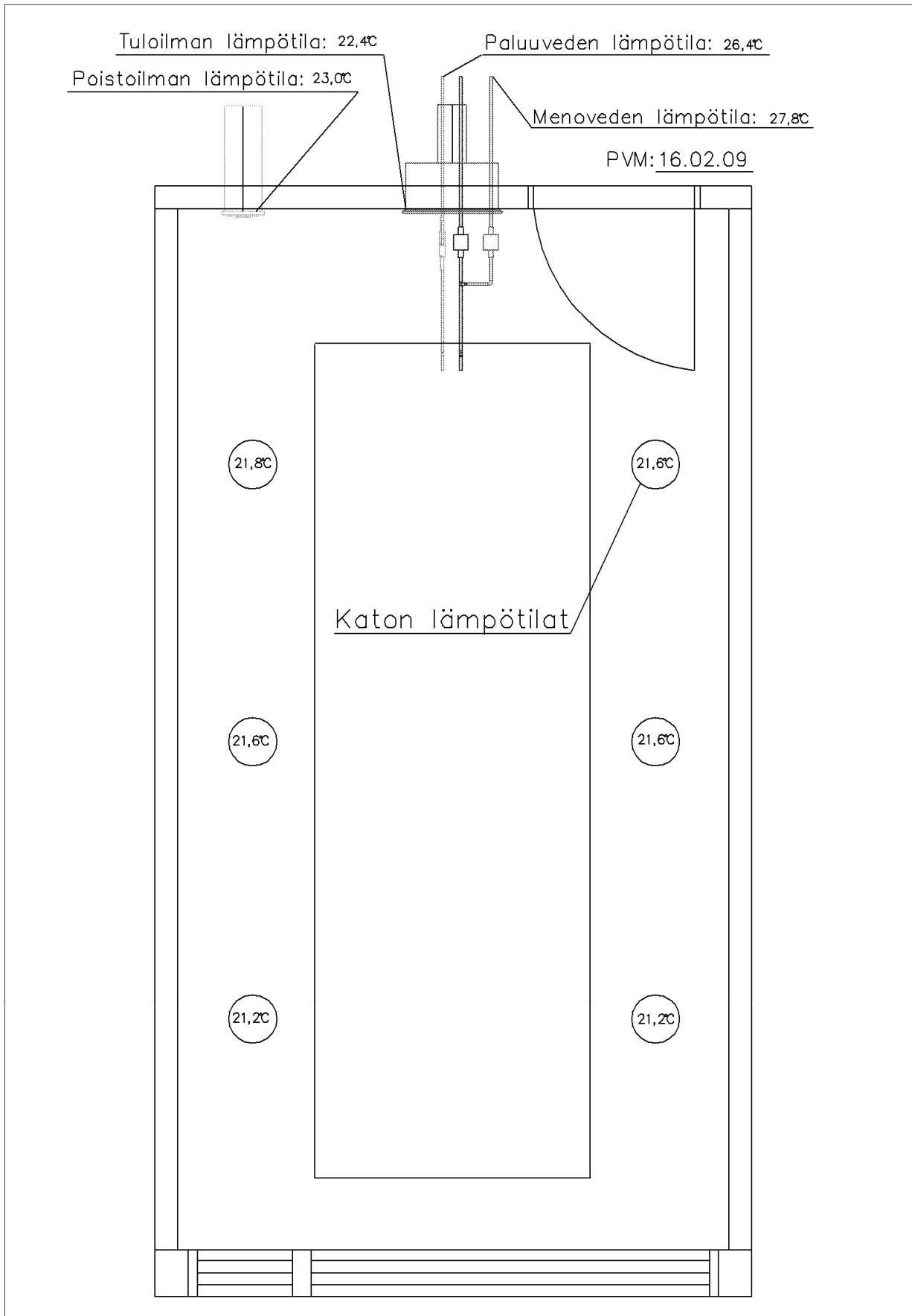
Lämpötilat korkeudella 10 cm lattiapinnasta

PVM: 16.02.09









Mittaukset aloitettu n. klo:

11.00

Ulkolämpötila (°C):

-4,5

Matalaenergiakeskus

Menoveden lämpötila (°C):

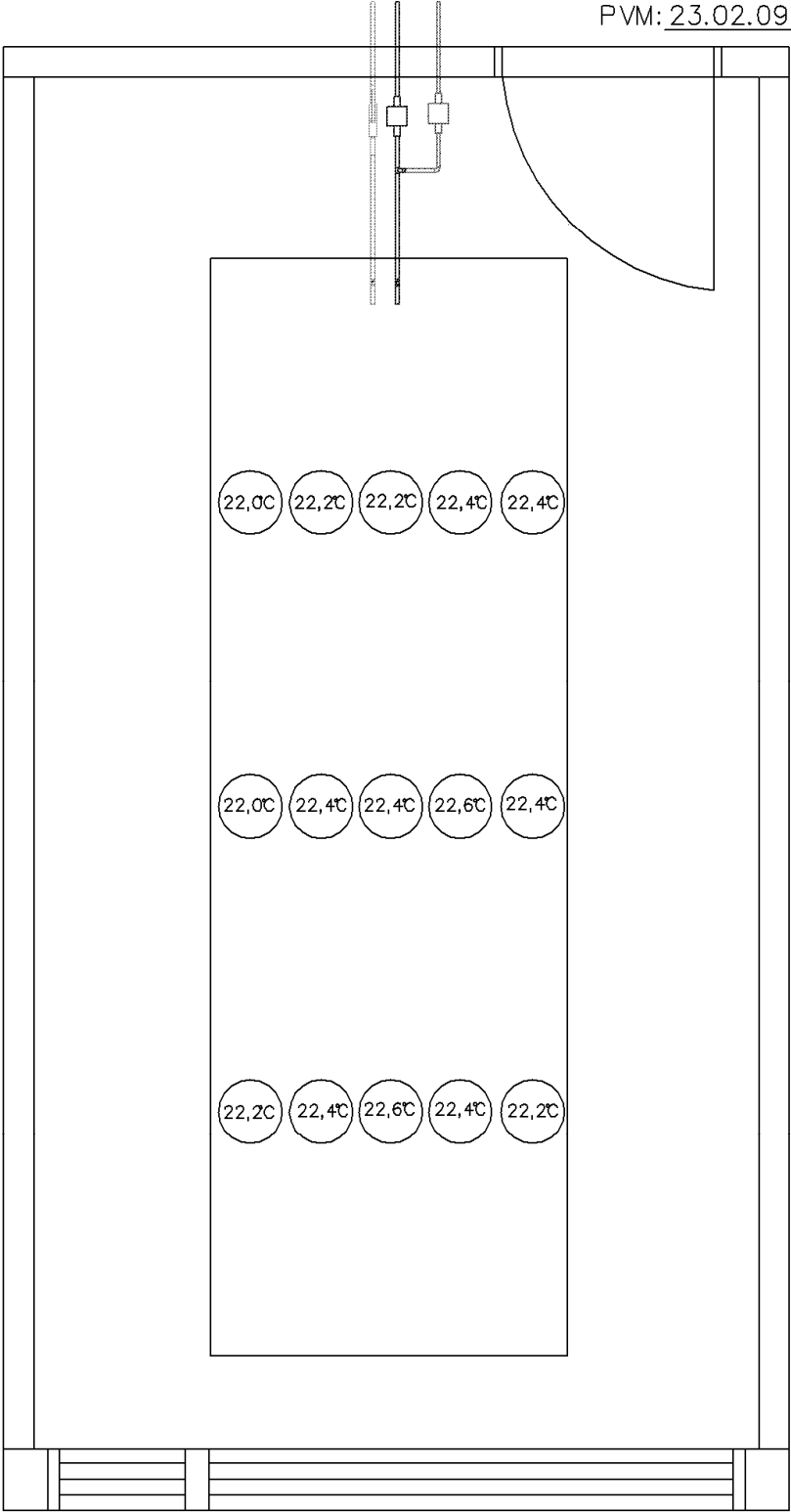
+33,0

Paluuveden lämpötila (°C):

+26,0

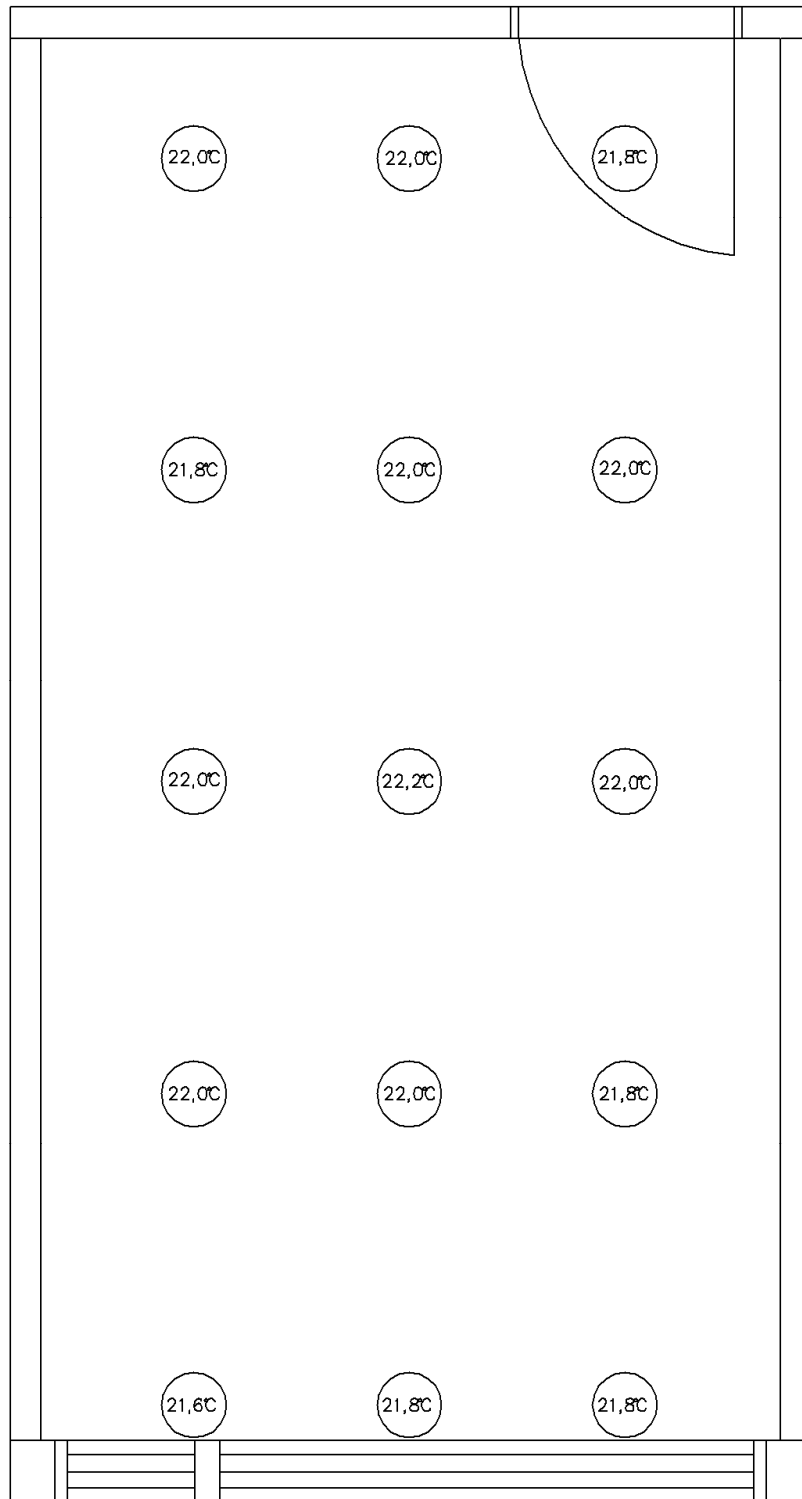
Sensus-paneelin
lämpötilat

PVM: 23.02.09



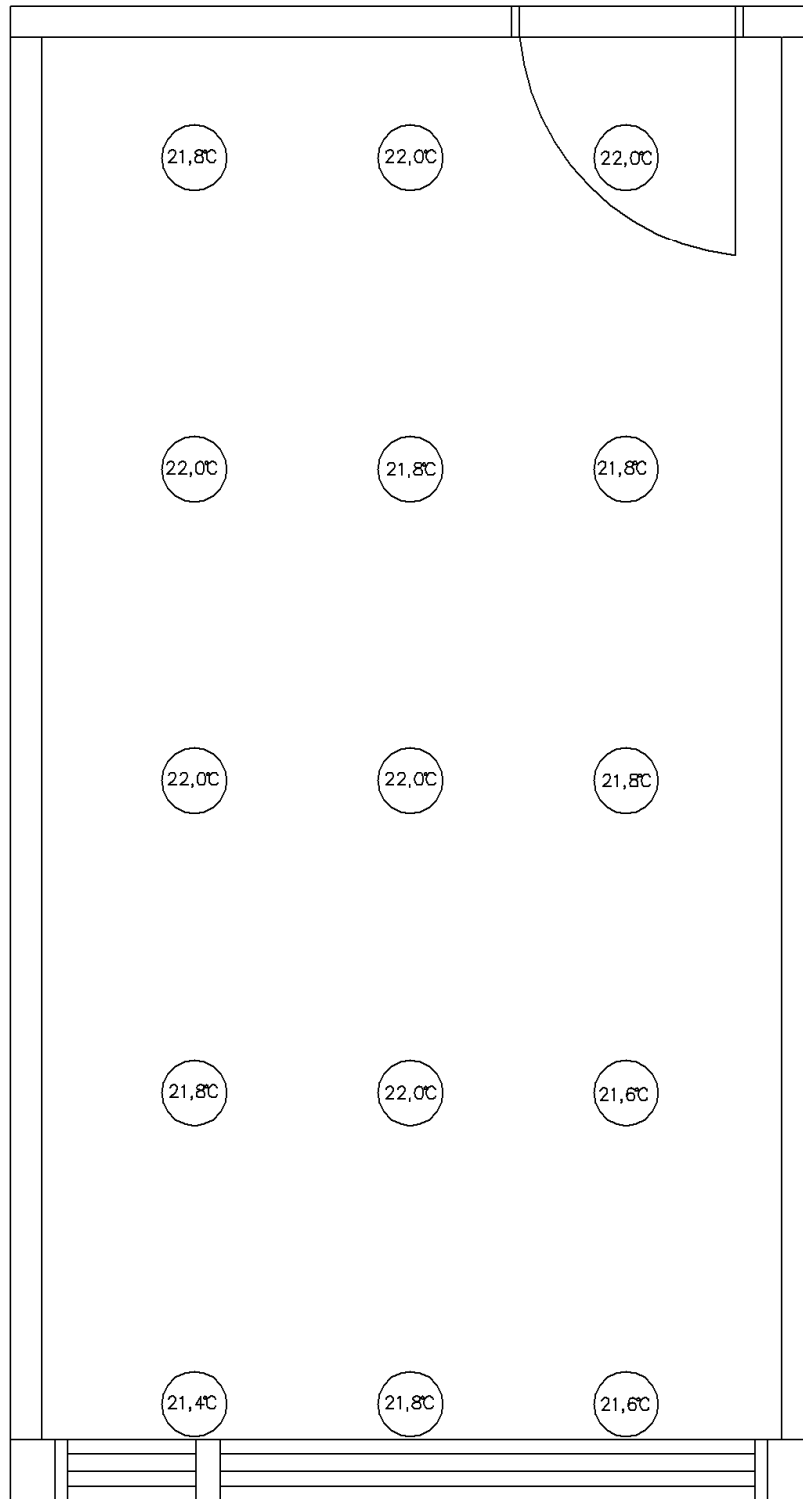
Lämpötilat korkeudella 170 cm lattiapinnasta

PVM: 23.02.09



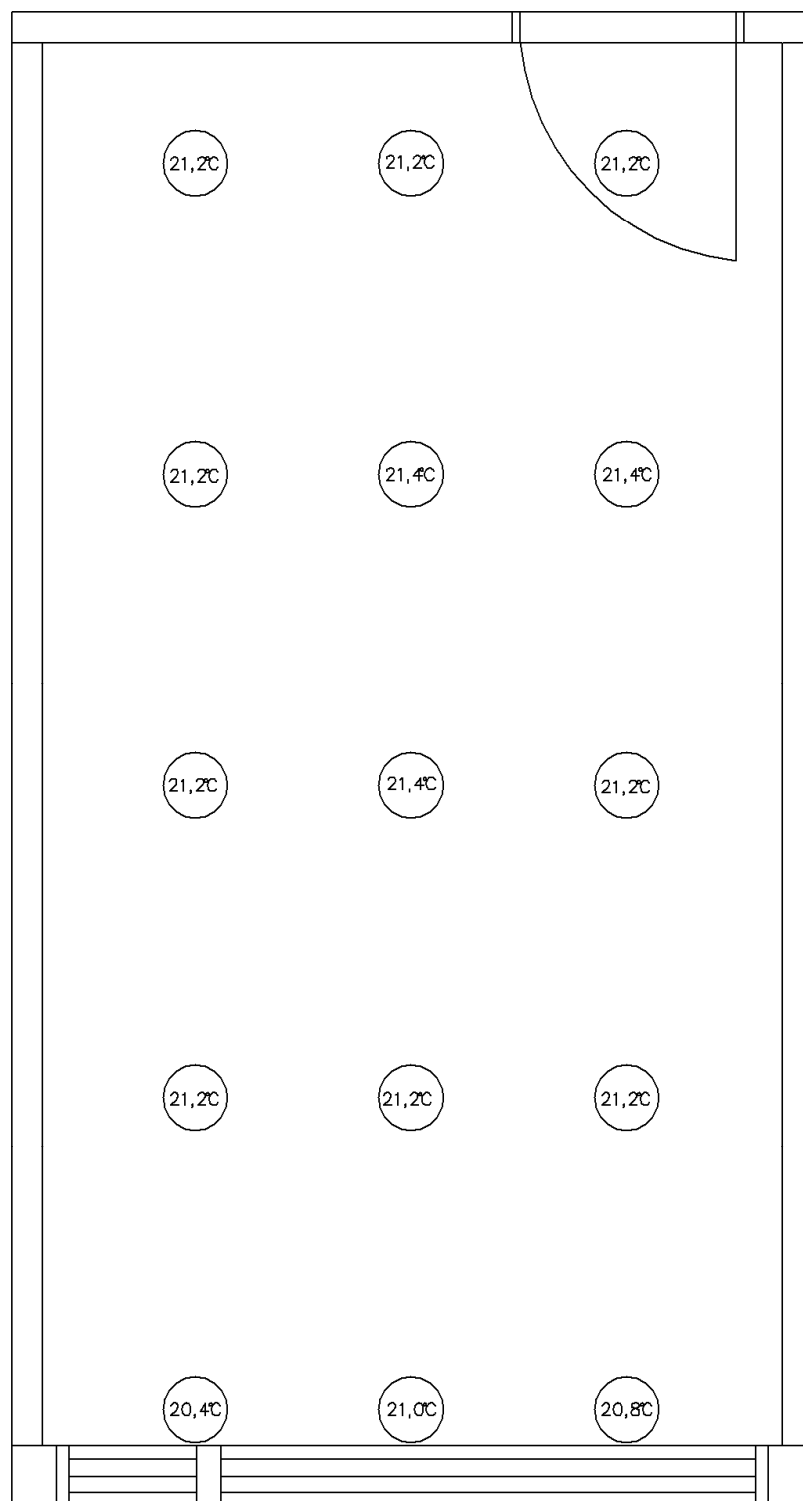
Lämpötilat korkeudella 110 cm lattiapinnasta

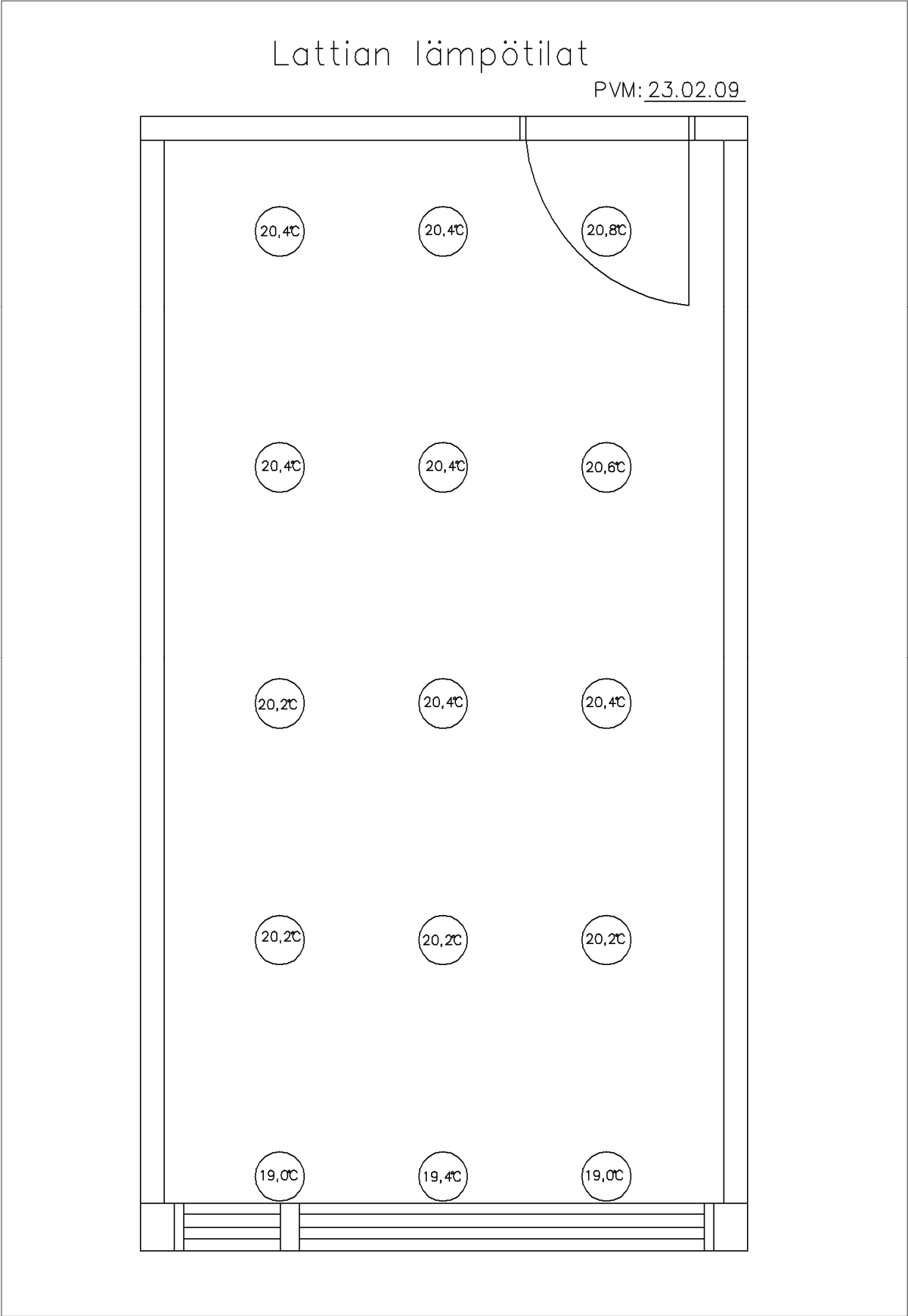
PVM: 23.02.09

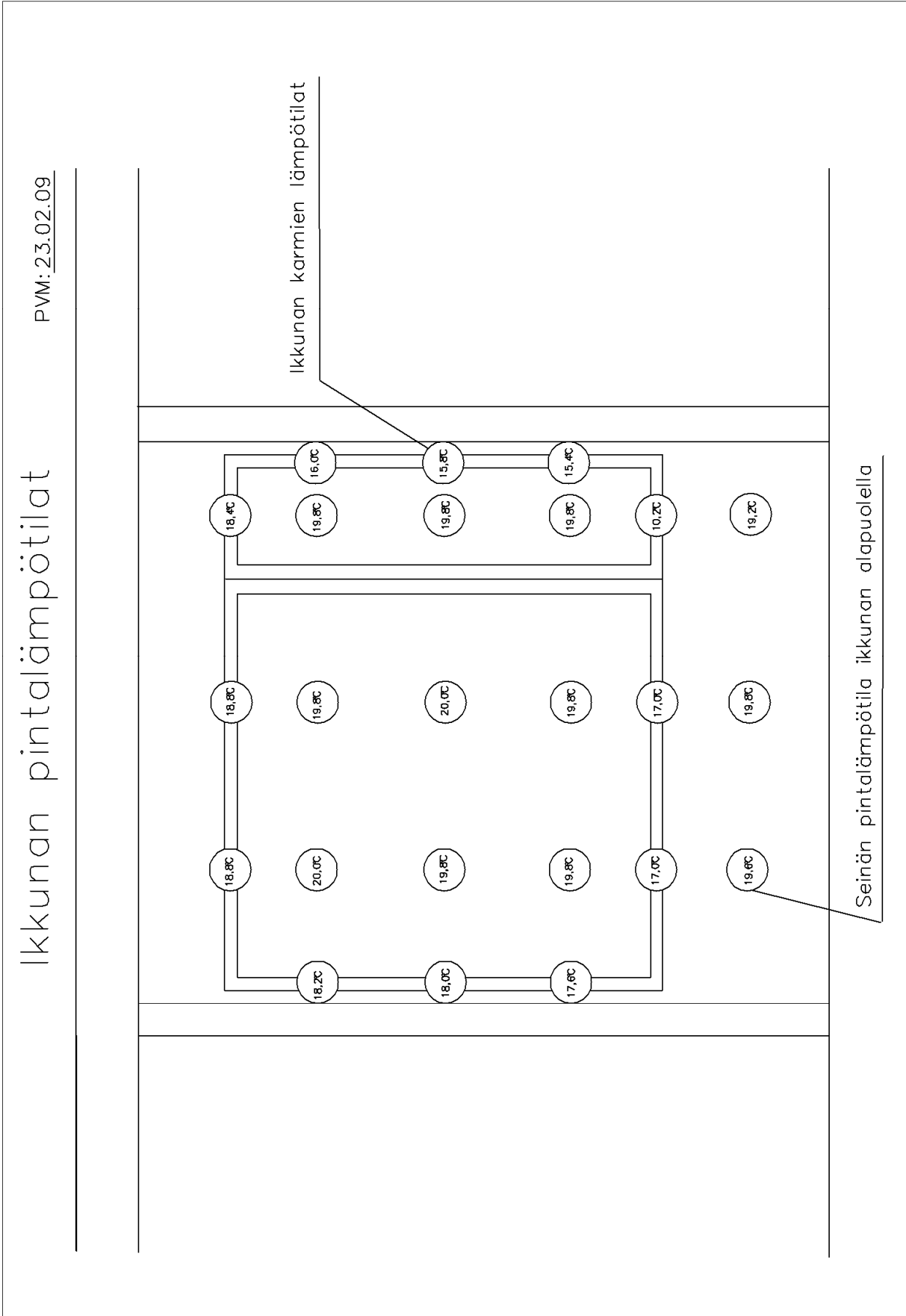


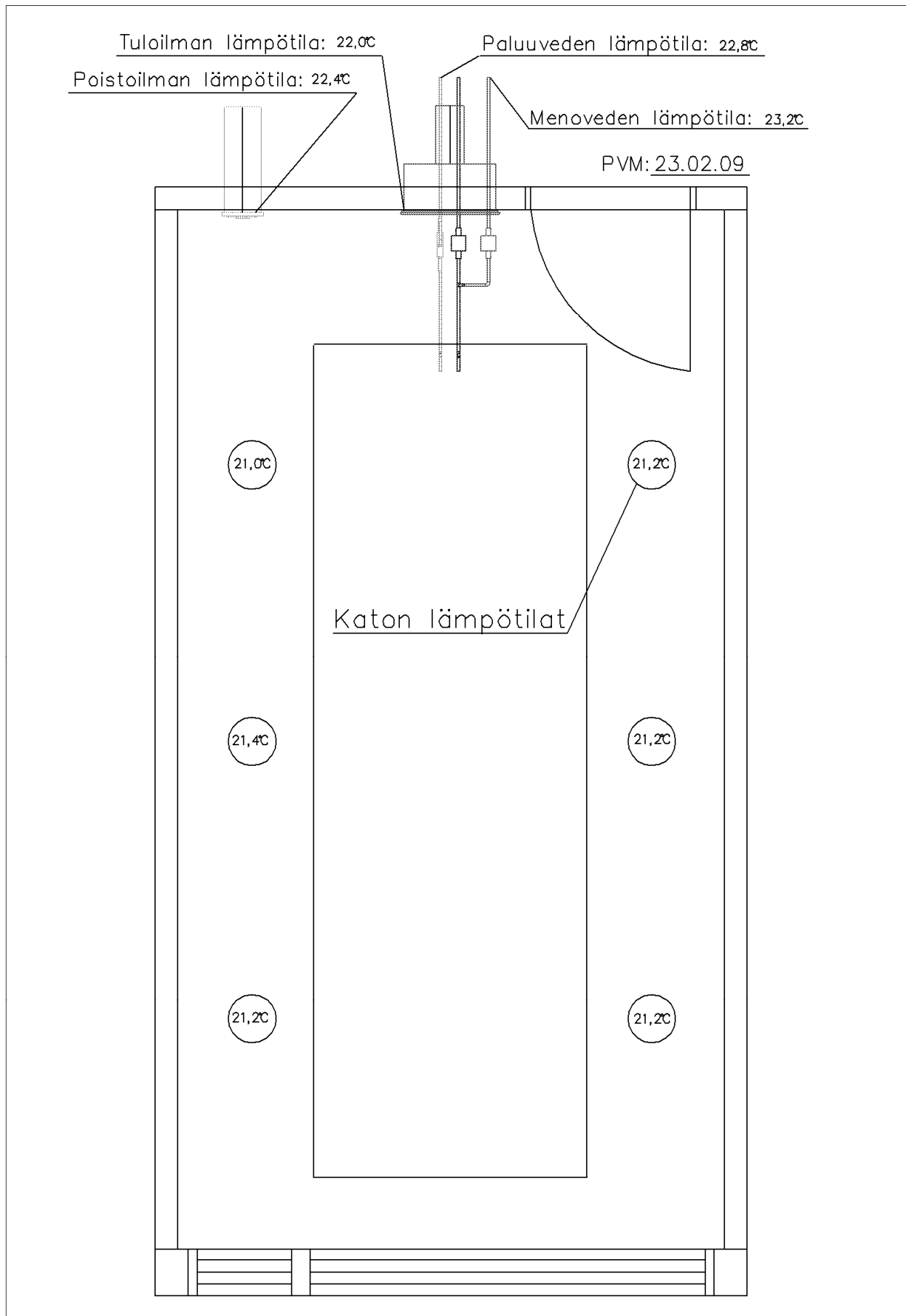
Lämpötilat korkeudella 10 cm lattiapinnasta

PVM: 23.02.09





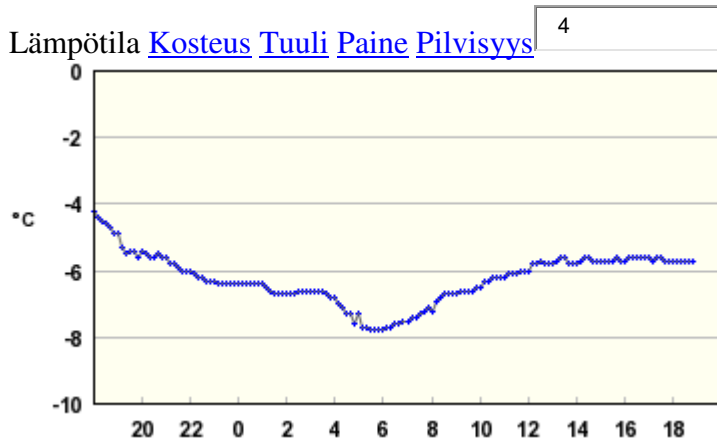




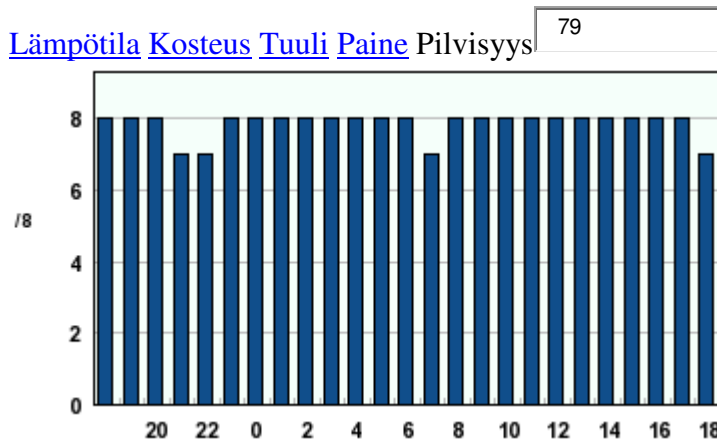
Ilmatieteenlaitos

Tuorein säähavainto: 12.2.2009 18:40 Suomen aikaa
 Lämpötila **-5,7 °C**; kosteus **91 %**; kastepiste **-6,9 °C**; koillistuulta **4 m/s**; puuska **5 m/s**;
 paine **1013,2 hPa**; 12 tunnin sadekertymä **0 mm** (8:00); lumen syvyys **13 cm** (8:00);
 melkein pilvistä (7/8) (18:00); näkyvyys **yli 20 km**.

Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:



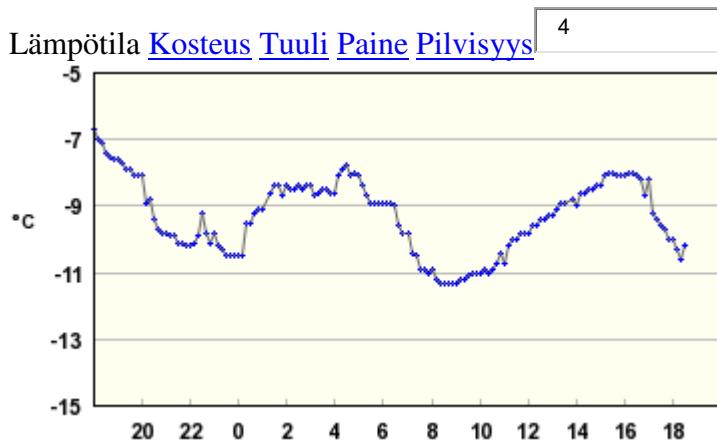
Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:



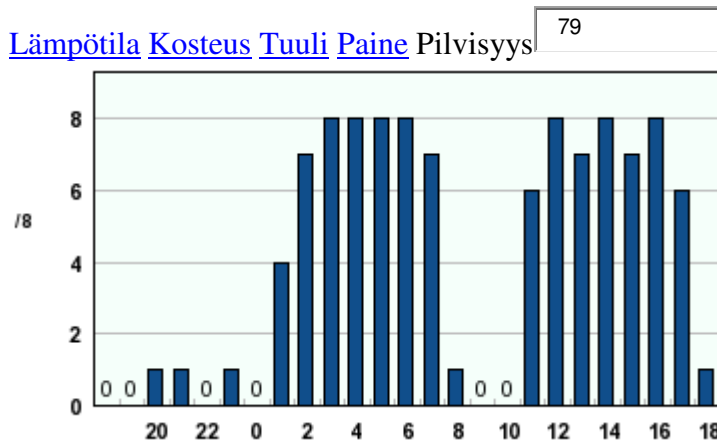
Ilmatieteenlaitos

Tuorein säähavainto: 16.2.2009 18:30 Suomen aikaa
 Lämpötila **-10,2 °C**; kosteus **81 %**; kastepiste **-12,8 °C**; pohjoistuulta **2 m/s**; puuska **3 m/s**;
 paine **1022,0 hPa**; 12 tunnin sadekertymä **0 mm** (8:00); lumen syvyys **14 cm** (8:00);
 pilvisyys: melkein selkeää (1/8) (18:00); näkyvyys **yli 20 km**.

Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:



Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:

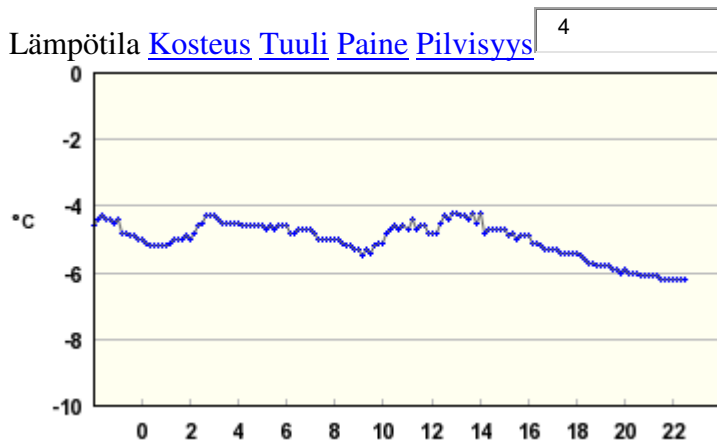


Ilmatieteenlaitos

Tuorein säähavainto: 23.2.2009 22:30 Suomen aikaa

Lämpötila **-6,2 °C**; kosteus **89 %**; kastepiste **-7,8 °C**; koillistuulta **2 m/s**; puuska **2 m/s**;
 paine **1016,1 hPa**; 12 tunnin sadekertymä **0 mm (20:00)**; lumen syvyys **15 cm (20:00)**;
 pilvistä **(8/8) (22:00)**; näkyvyys **15 km**.

Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:



Viimeisimmät 24 tunnin havainnot:

