

Marko Kukka

LANGATTOMAT ANTURIVERKOT KIINTEISTÖN
OLOSUHTEIDEN SEURANNASSA

Rakennustekniikan koulutusohjelma
2012

LANGATTOMAT ANTURIVERKOT KIINTEISTÖN OLOSUHTEIDEN
SEURANNSSA

Kukka Marko
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2012
Ohjaaja: Heinonen Jarkko
Sivumäärä: 65
Liitteitä: -

Asiasanat: langaton, anturit, mittausjärjestelmät

Langattomat anturiverkot tekevät tuloaan markkinoille. Niiden selkeimpänä etuna on asennuksen edullisuus verrattuna perinteisesti toteutettuihin langallisiin mittausjärjestelmiin. Langattomilla anturiverkoilla voidaan suorittaa mittauksia ja seurantaa sellaisissa kohteissa, joissa se ei ole ennen ollut mahdollista tai kannattavaa.

Tässä työssä tutkittiin langattomien anturiverkkojen toiminnallisia peruseriaatteita sekä tarjolla olevia mittausjärjestelmiä, jotka perustuvat langattomiin antureihin. Tämän lisäksi työssä tutkittiin näiden mittausjärjestelmien käyttömahdollisuuksia kiinteistöjen sisäilmaolosuhteiden mittauksissa ja seurannassa.

Työni pääasiallinen tarkoitus oli hankkia tarjousten perusteella langaton mittausjärjestelmä, joka ominaisuuksiensa puolesta sopii HYGTECH-projektin tarpeisiin. Työni alkaessa projekti oli vaiheessa, jossa teknologiatalo Sytyttimeen kartoitettiin mittaustarpeita. Näiden tarpeiden pohjalta lähdettiin suunnittelemaan järjestelmän hankintaa.

Sytyttimen lisäksi projekti käsittää useita muita pilottikohteita (Kankaanpäässä sijaitseva päiväkotit, Eurajoella sijaitseva omakotitalo, yli 80-vuotiaille rakennettava vuok-rakerrostalo Porissa, koulu ja sairaala), joiden mittaustarpeet eivät olleet vielä tiedossa, mutta joihin valitun järjestelmän tulisi ominaisuuksiensa puolesta sopia mahdollisimman hyvin.

Projektin keston ja pilottikohteiden luonteen vuoksi järjestelmän keskeisiksi vaatimuksiksi nousivat täysin langattomat mittalaitteet, helppo asennettavuus rakenteita rikkomatta, mittausjärjestelmän siirrettävyys ja mittaustulosten etäluettavuus.

Työhöni kuului myös mittausjärjestelmän asennus teknologiatalo Sytyttimeen ja sen toimivuuden seuranta.

MONITORING BUILDING CONDITIONS WITH WIRELESS SENSOR NETWORKS

Kukka Marko

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Civil Engineering

September 2012

Supervisor: Heinonen Jarkko

Number of pages: 65

Appendices: -

Keywords: wireless, sensor, measurement system

Wireless sensor networks are making their entry to the markets. The biggest benefit is the potential cost savings compared to traditional wired measuring systems. With wireless sensor networks it is now possible to carry out measurements and monitoring in such places where it was not possible or cost-efficient before.

This thesis studies the basic principles of wireless sensor networks and available measurement systems that use wireless sensors. Suitability of wireless sensor network at measuring and monitoring indoor air quality was also examined.

Main goal was to acquire a wireless measurement system that would meet the needs at the HYGTECH-project as well as possible. When I started my work the measurement needs of technology building Sytytin were in consideration. Through these needs the acquisition of the system was planned.

There are also other pilot buildings in this project (day care center in Kankaanpää, detached house in Eurajoki, rental apartment building for people over 80 years in Pori, school and hospital) which measurement needs are not yet decided. Nevertheless, the chosen measurement system should be able to cope with these in the future.

When considering the duration of the project and the nature of the pilot buildings, some key requirements for the system rose up; totally wireless measurement devices, device installation without breaking the fabrics, portability of the measurement system and remote access to the measurement data.

My work also included the installation of the system to technology building Sytytin and monitoring the system functionality.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	8
2	SISÄILMASTO.....	9
2.1	Sisäilmastoluokitus 2008	9
2.1.1	Lämpöolosuhteiden tavoitearvot	10
2.1.2	Ilman laadun tavoitearvot	12
2.1.3	Ilman suhteellinen kosteus	12
2.2	Kemialliset aineet.....	13
2.2.1	Ammoniakki	13
2.2.2	Asbesti	14
2.2.3	Formaldehydi	14
2.2.4	Hiilimonoksidi.....	14
2.2.5	Styreeni	15
2.2.6	VOC	15
2.3	Mikrobit	15
2.3.1	Mikrobien kasvuedellytykset rakenteissa.....	16
3	SISÄILMASTOMITTAUKSET	18
3.1	Huoneilman lämpötilan mittaus	18
3.2	Ilman kosteuden mittaus	18
3.3	Ilmavirtojen mittaus	19
4	LANGATTOMAT ANTURIVERKOT	20
4.1	Langattomat teknologiat	21
4.2	Standardit	22
4.2.1	IEEE 802.15.4	22
4.2.2	Bluetooth	22
4.2.3	ZigBee	23
4.2.4	WirelessHART	23
4.2.5	ISA100.11a	24
4.3	Verkkotopologiat	24
4.4	Vaatimukset	26
4.4.1	Vikasietoisuus	26
4.4.2	Elinikä	26
4.4.3	Skaalautuvuus	26
4.4.4	Tosiaikaisuus	27
4.4.5	Turvallisuus	27
4.4.6	Tuotantokustannukset.....	27

4.5	Sovellukset.....	28
4.5.1	Kodin automaatio	28
4.5.2	Ympäristön monitorointi	28
4.5.3	Teollisuus	28
4.5.4	Sotateollisuus	29
4.5.5	Turva-ala	29
4.5.6	Liikenteen valvonta	29
4.5.7	Terveystenhoito.....	29
5	TEKNOLOGIATALO SYTYTTIMEN MITTAUSTARPEET	30
5.1	Mittauskohteet.....	30
5.1.1	Vesi-Instituutin käytävätila	31
5.1.2	Vesi-Instituutin wc-tilat.....	31
5.1.3	B-osan inva-wc.....	32
5.1.4	B-osan yleisö-wc:t.....	32
6	LANGATON MITTAUSJÄRJESTELMÄ.....	34
6.1	Si-Tecno Oy	34
6.1.1	Mittausjärjestelmän toiminta	35
6.1.2	Langattomat anturit	36
6.1.3	Järjestelmän hankintakustannukset	37
6.1.4	Järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset	37
6.2	Wirepas Oy	38
6.2.1	Mittausjärjestelmän toiminta	38
6.2.2	Langattomat anturit	38
6.2.3	Järjestelmän hankintakustannukset	40
6.2.4	Järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset	41
6.3	Itä-Suomen yliopisto	42
6.3.1	Mittausjärjestelmän toiminta	42
6.3.2	Langattomat anturit	42
6.3.3	Järjestelmän hankintakustannukset	43
6.3.4	Järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset	43
6.4	Järjestelmien arviointi & valinta.....	44
7	MITTAUSJÄRJESTELMÄ	47
7.1	Palvelinohjelmiston asennus.....	48
7.2	Mittausjärjestelmän testaus.....	48
7.3	Wirepas Control Panel & Wirepas Mobile	50
7.4	Vesi-Instituutin mittalaitteiden asennus.....	52
7.4.1	Vesi-Instituutin tulokset	54
7.5	Sytyttimen mittalaitteiden asennus	56

7.5.1 Sytyttimen tulokset.....	58
7.6 Havaitut ongelmat.....	60
8 LOPPUSANAT.....	62
LÄHTEET.....	63
LIITTEET	

LYHENTEET

GSM	Global System for Mobile Communications, <i>matkapuhelinverkko</i>
HIPERLAN	High Performance Radio Local Area Networks, nopea langaton lähiverkko
HIPERMAN	High Performance Radio Metropolitan Area Network, nopea pitkän kantaman langaton verkko
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers, <i>kansainvälinen tekniikan alan järjestö</i>
ISA	International Society of Automation, <i>kansainvälinen organisaatio, joka mm. kehittää standardeja teollisuusautomaation</i>
Mbps	Megabits Per Second, <i>tiedonsiirtonopeus</i>
QoS	Quality of Service, <i>tietoliikenteen palvelunlaatu & priorisointi</i>
RFID	Radio Frequency Identification, <i>radiotaajuinen etätunnistus</i>
TVOC	Total Volatile Organic Compounds, <i>kaikki haihtuvat orgaaniset aineet</i>
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System, <i>GSM:n seuraajaksi suunniteltu kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia</i>
VOC	Volatile Organic Compounds, <i>haihtuvat orgaaniset yhdisteet</i>
WWAN	Wireless Wide Area Network, <i>langaton suuralueverkko</i>
WLAN	Wireless Local Area Network, <i>langaton lähiverkko</i>
WMAN	Wireless Metropolitan Area Network, <i>langaton kaupunkiverkko</i>
WPAN	Wireless Personal Area Network, <i>langaton henkilökohtainen verkko</i>
WSN	Wireless Sensor Network, <i>langaton anturiverkko</i>

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehdään osana Kiinteistöjen hygieniakonsepti ”HYGTECH” – hanketta. Hanke kokoaa yhteen useita tutkimustahoja sekä alalla toimivia yrityksiä. HYGTECH - hanke koostuu neljästä osakokonaisuudesta; WP1 asennettavat tuotteet ja mikrobiologiset määrytykset, WP2 jatkuvatoimiset mittaukset, tiedonhallinta ja välittäminen kiinteistön käyttäjille, WP3 käyttäjien huomioiminen ja WP4 hygieniakonseptin luonti ja kaupallistamisen mahdollisuudet. (Kiinteistöjen hygieniakonsepti HYGTECH 2012, 6-8.)

Hankkeesta on käynnissä WP1, jossa tutkitaan mm. miten LVI-suunnittelussa ja rakennusteknisesti voidaan ottaa huomioon hygieenisten tuotteiden ja materiaalien käyttö. Pilottikohteina toimivat Teknologiatalo Sytytin Raumalla, yli 80-vuotiaalle rakennettava vuokrakerrostalo, omakotitalo, päiväkotia, koulu ja sairaala. Pilottikohteista otetaan näytteitä vesijärjestelmistä, pinnoilta ja ilmasta. Taustatiedoksi tarvitaan tulo-, sisä- ja ulkoilman tila sekä taloteknisten järjestelmien toiminta, jotta voidaan tarkastella, mikä vaikutus sisäilmastolla on mikrobikasvustoon. (Kiinteistöjen hygieniakonsepti HYGTECH 2012, 2.)

Mittausten toteuttamiseksi tarvitaan mittausjärjestelmä joka on luotettava, helposti asennettavissa ja siirrettävissä kohteesta toiseen. Mittaustulokset tulee voida lukea myös etänä esim. web-selaimen kautta, jotta käyntitarve pilottikohteissa voidaan pitää mahdollisimman pienenä.

Opinnäytetyössä kartoitetaan nykyiset mittaustarpeet ensimmäisessä pilottikohteessa (teknologiatalo Sytytin) sekä mahdollisuuksien mukaan otetaan huomioon myös tulevat kohteet. Näiden perusteella tutkitaan tarjolla olevia langattomia anturiverkkoja, jotka sopivat ominaisuuksiltaan mahdollisimman hyvin kaikkien pilottikiinteistöjen mittausten toteuttamiseen. Työhön kuuluu myös järjestelmän asennus ensimmäiseen pilottikohteeseen sekä järjestelmän toimivuuden seuranta.

2 SISÄILMASTO

Sisäilmasto koostuu useista eri tekijöistä, jotka vaikuttavat ihmisten viihtyvyyteen ja terveyteen. Näistä keskeisimpiä ovat lämpö- ja kosteusolosuhteet, kaasumaiset ja hiukkasmaiset epäpuhtaudet, allergeenit, maaperästä ja rakennusmateriaaleista peräisin oleva radioaktiivisuus, valaistuksen voimakkuus ja melu.

Hyvää sisäilmastoa voidaan siis pitää rakentamisen yhtenä tärkeimmistä tavoitteista. Keskeisimmät tekijät sisäilmaston laadussa ovat lämmitys, ilmanvaihto- ja ilmastointilaitteet, käytetyt materiaalit, rakennustekniikka ja rakennustöiden suorittaminen sekä rakennuksen käyttö ja ylläpito. (Sisäilmastoluokitus 2008, 3; Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2012.)

2.1 Sisäilmastoluokitus 2008

Sisäilmayhdistys ry on laatinut Sisäilmastoluokitus 2008-asiakirjan, joka on tarkoitettu suunnittelun, urakoinnin ja rakennustarviketeollisuuden avuksi, kun halutaan rakentaa terveellisiä ja viihtyisämpiä rakennuksia. Alla on esitetty sisäilmaston laatu-
luokat. (Sisäilmastoluokitus 2008, 5, 8.)

S1: Yksilöllinen sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on erittäin hyvä eikä tiloissa ole havaittavia hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat viihtyisät eikä vetoa tai yllilämpenemistä esiinny. Tilan käyttäjä pystyy yksilöllisesti hallitsemaan lämpöoloja. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset erittäin hyvät ääniolosuhteet ja hyviä valaistusolosuhteita tukemassa yksilöllisesti säädettävä valaistus.

S2: Hyvä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu on hyvä eikä tiloissa ole häiritseviä hajuja. Sisäilmaan yhteydessä olevissa tiloissa tai rakenteissa ei ole ilman laatua heikentäviä vaurioita tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot ovat hyvät. Vetoa ei yleensä esiinny, mutta yllilämpeneminen on mahdollista kesäpäivinä. Tiloissa on niiden käyttötarkoituksen mukaiset hyvät ääni- ja valaistusolosuhteet.

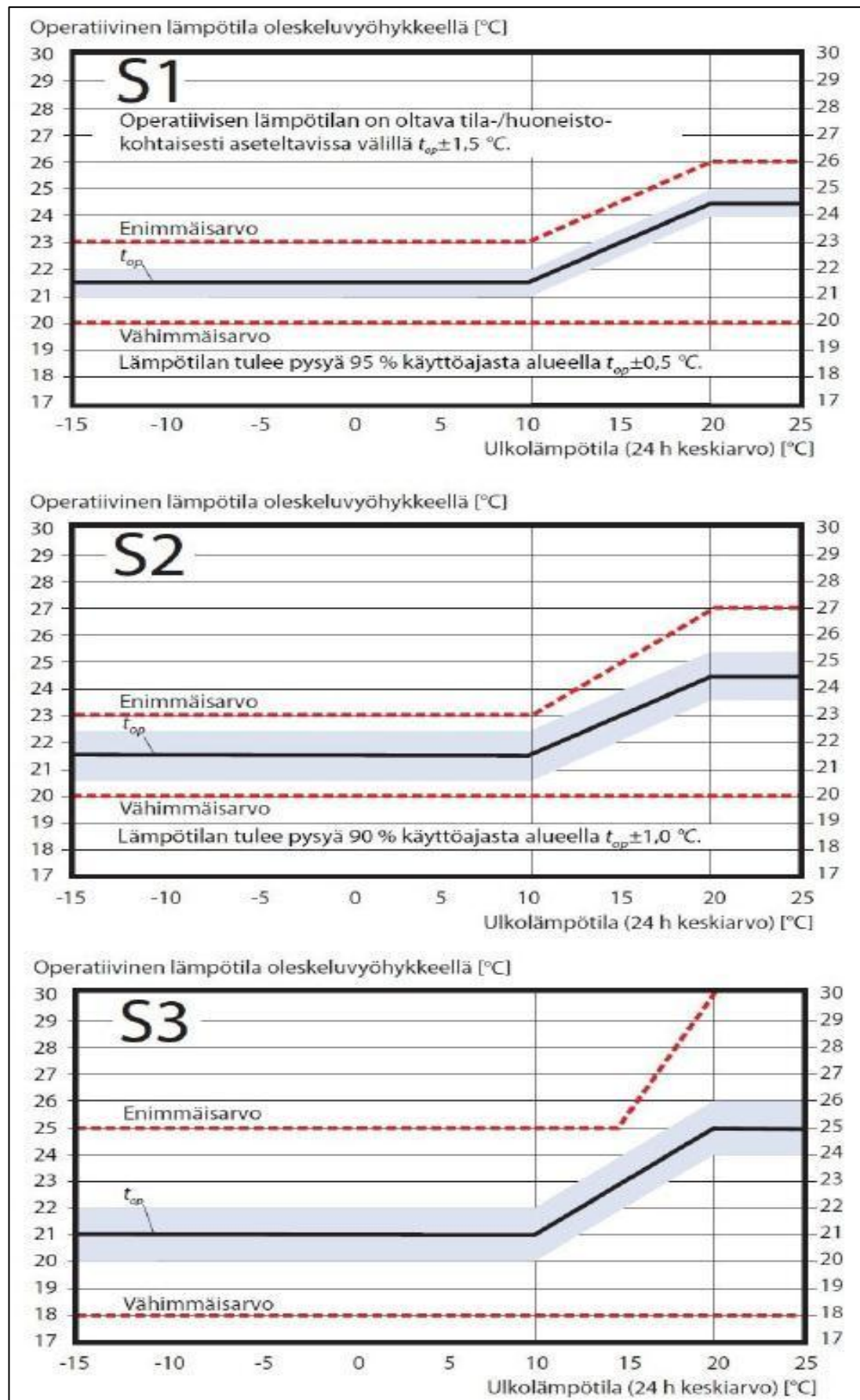
S3: Tyydyttävä sisäilmasto

Tilan sisäilman laatu ja lämpöolot sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräysten vähimmäisvaatimukset. Eri suureiden tavoite- ja suunnitteluarvot voidaan valita eri laatuluokista tai tarvittaessa määritellä jonkin suureen arvo.

2.1.1 Lämpöolosuhteiden tavoitearvot

Lämpötilan tulee pysyä tavoitearvon sallitun poikkeaman alueella olosuhteiden pysyvyyden edellyttämän ajan. Luokassa S1 olosuhteiden pysyvyys toimi- ja opetustiloissa on 95 % käyttöajasta ja asunnoissa 90 %. Luokassa S2 vastaavat arvot ovat 90 % ja 80 %. Lämpötilan voidaan antaa laskea alle tavoitetason tai vastaavasti nousta kesällä yli tavoitetason, jos tilan käyttäjä näin toivoo.

Kuvassa 1 on esitetty operatiivisen lämpötilan tavoitearvot luokkien mukaan. Tummennettu alue kuvaa kyseisen luokan tavoitearvoaluetta, joka muodostuu tavoitelämpötilasta ja sallitusta poikkeamasta. (Sisäilmastoluokitus 2008, 9-10.)



Kuva 1 Operatiivisen lämpötilan tavoitearvot

2.1.2 Ilman laadun tavoitearvot

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava niin, että sisäilmassa ei esiinny viihtyvyyttä alentavia hajuja eikä kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja niin, että niistä olisi haittaa terveydelle. Alla olevassa taulukossa on esitetty tavoitearvot hiilidioksidi- ja radonpitoisuuksille sisäilmastoluokkien mukaan. (Sisäilmastoluokitus 2008, 11; Suomen RakMK D2 2012, 11.)

Taulukko 1 Ilman laadun tavoitearvot

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	<750	<900	<1200
Radonpitoisuus [Bq/m ³]	<100	<100	<200
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttöajasta]			
Toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	-
Asunnot	90 %	80 %	-

2.1.3 Ilman suhteellinen kosteus

Toimi- ja opetustilojen ym. työtilojen ilman suhteellisen kosteuden tulisi talvella olla S1-luokan mukaan >25 %, mutta kuitenkin enintään 60 % (S2- ja S3-luokille minimivaatimuksia ei ole asetettu). Pakkashuippujen aikaan sallitaan lyhytaikainen tavoitearvojen alittaminen. Asunnoissa ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla 20–60 %. Jos ilmaa kostutetaan koneellisesti, tulee pitää huoli siitä, etteivät nämä laitteet lisää ilman epäpuhtauksia. (Asumisterveysopas, 46; Sisäilmastoluokitus 2008, 24.)

2.2 Kemialliset aineet

Kemialliset aineet (epäpuhtaudet) ovat hiukkasmaisia tai kaasumaisia aineita ja ne jaetaan orgaanisiin ja epäorgaanisiin yhdisteisiin. Sisäilma saattaa sisältää näitä epäpuhtauksia siinä määrin, että ne ovat terveydelle haitallisia. Epäpuhtauslähteinä voivat toimia rakennus- ja sisustusmateriaalit, kosteusvaurioita kärsineet rakenteet, ihmiset tai tilan ulkopuolinen ympäristö.

Rakennuksessa ja sen ulkopuolella tapahtuvat toiminnot, sääolot, sisäilman lämpötila ja kosteus sekä ilmanvaihto ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat epäpuhtauksien pitoisuuksiin. Sisäilmassa saattaa esiintyä samanaikaisesti useita yhdisteitä, joilla voi olla toisiaan vahvistava vaikutus.

Kemiallisten epäpuhtauksien enimmäispitoisuuksille sisäilmassa ei ole tällä hetkellä olemassa viranomaisstandardeja. Esitetyt arvot ovat luonteeltaan ohjeellisia ja perustuvat terveydenhoitolain nojalla julkaistuihin suosituksiin, käytännön kokemuksiin ja terveydensuojeluviranomaisten päätöksiin. Alla on esitetty joitain yleisimpiä sisäilmassa esiintyviä epäpuhtauksia. (Asumisterveysopas 2009, 128, 132–136; Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2012.)

2.2.1 Ammoniakki

Ammoniakki on huoneenlämmössä väritön ja pistävänhajuinen kaasu, joka ärsyttää silmiä ja limakalvoja. Sitä voi vapautua rakennusmateriaaleista, maaleista, lakoista, puhdistus- ja pesuaineista, ihmisten ja eläinten eritteistä sekä orgaanista materiaalia sisältävien tasoitteiden hajoamisesta kosteuden vaikutuksesta. Ammoniakin tavanomaisena pitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tavanomaista korkeampi pitoisuus on silloin, kun pitoisuus ylittää arvon 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.2 Asbesti

Asbesti on yleisnimitys eräille luonnosta löytyville mineraalikuiduille. Sitä on aikoinaan käytetty paljon rakennusmateriaaleissa sen hyvien rakennusteknisten ominaisuuksien vuoksi, mutta nykyään sen käyttö on kielletty. Asbestipitoista materiaalia käsiteltäessä ilmaan leviää hienopölyä sekä asbestikuituja, jotka kulkeutuvat hengitysilman mukana keuhkoihin. Kuiduille altistumisesta voi seurata asbestoosia, keuhkosityöpää ja keuhkopussin sairauksia. Asbestipitoisten rakenteiden purku- ja korjaustyöt ovat luvanvaraisia ja niissä tulee käyttää asianmukaisia suojavarusteita. Sisäilman asbestipitoisuuden tulee olla alle $0,01\text{cm}^3$, eikä kuitujen esiintyminen pinnoille laskeutuvassa pölyssä ole hyväksyttävää.

2.2.3 Formaldehydi

Formaldehydi on huoneenlämmössä väritön ja pistävänhajuinen kaasu, joka ärsyttää silmiä ja ylempiä hengitysteitä. Sen pääasiallinen lähde on yleensä lastulevyt, joissa on käytetty sidosaineena ureaformaldehydiliimaa. Muita mahdollisia lähteitä ovat happokovetteiset lakat, maalit, pinnoitteet ja kokolattiamatot. Formaldehydin pitoisuus sisäilmassa saa olla enintään $100\mu\text{g}/\text{m}^3$. Sen hajukynnys on huomattavasti pienempi, noin $35\mu\text{g}/\text{m}^3$, ja herkkillä ihmisillä tätäkin pienemmät pitoisuudet saattavat aiheuttaa ärsytysoireita.

2.2.4 Hiilimonoksidi

Hiilimonoksidi eli häkä on väritön, mauton ja hajuton kaasu, jota syntyy hiilipitoisten aineiden epätäydellisen palamisen seurauksena. Lievän häkämyrkytyksen oireita ovat päänsärky, pahoinvointi ja hengenahdistus ja vakava häkämyrkytys voi johtaa kuolemaan. Pääasiallisina lähteinä ovat liikenteen pakokaasut, rakennusten tulisijat, kaasuliedet sekä tupakointi. Sisäilman hetkelliseksi hiilimonoksidipitoisuudeksi sallitaan enintään $8\text{mg}/\text{m}^3$.

2.2.5 Styreeni

Styreeni on pistävän hajuinen, helposti haihtuva ja palava neste. Suurina määrinä (yli $500\mu\text{g}/\text{m}^3$) sen aiheuttamia oireita ovat ärsytys silmien sidekalvoissa ja hengitystiehyiden limakalvoissa sekä hermoston toiminnan häiriöt. Sisäilmaan sitä päätyy lähinnä rakennusmateriaaleista, joissa on käytetty polyesterihartsia tai muita vapaita styreenejä. Sisäilman normaali styreenipitoisuus on pieni, jopa alle $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Suurin sallittu pitoisuus on $40\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.6 VOC

VOC eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet. VOC kuvaa sisäilmassa esiintyvien kemiallisten aineiden pitoisuusmäärää. Yhdisteiden aiheuttamia oireita voivat olla esimerkiksi silmien ja limakalvojen ärsytys, erilaiset hajutuntemukset ja päänsärky. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden lähteinä toimivat rakennus- ja sisustusmateriaalit, ulkoilman saasteet, pakokaasut, kemikaalien käyttö ja ihmisen oma toiminta. Mittaustulokset ilmoitetaan termillä TVOC (kaikki haihtuvat orgaaniset aineet). Tulosten epätarkkuus on yleensä sen verran suuri, että niitä ei voida sellaisenaan käyttää terveyshaitan arvioinnissa. Tavanomaisena pitoisuutena sisäilmassa voidaan pitää arvoa $200\text{-}300\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kohonnut TVOC-pitoisuus (yli $600\mu\text{g}/\text{m}^3$) kertoo sisäilmassa olevan epätavallisen suuria määriä kemiallisia yhdisteitä. Tällöin voidaan aloittaa tutkimus- ja mittaustoimet yksittäisten aineiden osalta

2.3 Mikrobit

Mikrobit ovat osa ihmisen luonnollista elinympäristöä. Sisäilmassa esiintyvien mikrobien lisäksi niitä kulkeutuu myös ulkoilmasta sisätiloihin. Osa mikrobeista voi tarttua rakenteiden pinnoille ja tämän vuoksi niitä yleensä esiintyy tehdyissä mittauksissa. Rakennusteknisesti ajateltuna ne muodostuvat mahdolliseksi terveyshaitaksi vasta silloin, kun home- ja hiivasieniä tai bakteereja kasvaa rakennuksen kostuneilla pinnoilla tai rakenteissa, joista niiden haitallisia ainesosia kulkeutuu oleskelutiloihin.

Näiden lisäksi pinnoilta ja sisäilmasta voi löytyä mikrobeja, jotka aiheuttavat tauteja nopealla aikavälillä altistumisen jälkeen. Nämä mikrobit leviävät yleensä kosketus- ja pisaratartuntana. Tällaisia ovat mm. norovirus, influenssa, RS-virus sekä sairaalaympäristössä esiintyvät, antibiooteille vastustuskykyiset ”sairaalabakteerit”, kuten MRSA ja VRE. (Asumisterveysopas 2009, 146; Lumio 2010.)

2.3.1 Mikrobien kasvuedellytykset rakenteissa

Sopiva lämpötila, kosteus ja ravinteet ovat keskeisimmät tekijät mikrobien kasvussa. Lämpöolosuhteet mikrobien kasvulle ovat suotuisia silloin, kun lämpötila on 5–40 °C. Kasvu on nopeinta lämpötilan ollessa 20–30 °C.

Tarvittavan kosteuden määrä vaihtelee, mutta mikrobikasvun voidaan odottaa alkavan, kun rakenteen tasapainokosteus ylittää 80 %. Sisäilman kosteus kasvustolle on lähinnä välillinen. Pinnoille tiivistyvä kosteus saattaa johtaa mikrobikasvuston kehittymiseen tai jo olemassa olevan kasvuston leviämiseen rakenteessa. Tällainen tilanne saattaa tulla vastaan esimerkiksi ilmastointikanavissa, jos niihin muodostuu kondenssia. Yleisesti ottaen lyhytaikainen ja tilapäinen (muutamassa vuorokaudessa kuivuva) kosteusrasitus ei aiheuta haittaa.

Mikrobikasvun käynnistymiseksi ravinnoksi saattaa riittää pelkkä pöly betonin tai teräksen pinnalla. Olosuhteista riippuen mikrobikasvuston kehittyminen kestää päivistä vuosiin.

Kostuneen rakenteen väliaikainen kuivuminen ei poista ongelmaa, sillä mikrobien itiöt sietävät hyvin kuivuutta ja ne jatkavat kasvamistaan kun rakenteen kosteus kohoaa. Ongelman poistamiseksi kosteusvaurio pitää korjata välittömästi, jolloin mikrobikasvustolla ei ole enää kasvuedellytyksiä.

Tartuntatauteja aiheuttavia mikrobeja vastaan hyvä käsihygienia ja säännöllinen siivous ovat keskeisiä tekijöitä ongelman ratkaisemiseen. Rakennusteknisesti tarkasteltuna ilmanvaihdolla, ja jossain määrin myös pintamateriaaleilla, on suurin merkitys näiden mikrobien leviämiseen ja säilymiseen. Esimerkiksi sairaaloihin voidaan rakentaa yli- tai alipaineistettuja erityishuoneita ja tutkimusten mukaan mm. kuparista valmistetuilla tuotteilla ja pinnoilla on luonnostaan antimikrobisia ominaisuuksia.

Taulukossa 2 on esitetty eri mikrobiryhmien viitteelliset minimikosteusvaatimukset, kun lämpötila on 10–40 °C. (Antimicrobial Copper www-sivut 2012; Asumisterveysopas 2009, 146–148; Lumio 2010.)

Taulukko 2 Eri mikrobiryhmien viitteelliset minimikosteusvaatimukset

Mikrobiryhmä	Kasvualustan tasapainokosteus (%)
Homesienet, hiivat ja aktinomykeetit	65 – 85 %
Muut bakteerit	95 %
Sinistäjä- ja lahottajasienet	95 %*
	*vastaa puun kosteuspitoisuutta 20–30 % kuivapainosta

3 SISÄILMASTOMITTAUKSET

Sisäilmastomittaukset tehdään pääsääntöisesti oleskeluvyöhykkeeltä. Normaalisti huonetilan oleskeluvyöhyke on alue, jonka alapinta rajoittuu lattiaan, yläpinta on 1,8m korkeudella lattiasta ja sivupinnat 0,6m etäisyydellä seinistä tai vastaavista kiinteistä rakennusosista. (SFS 5511, 1.)

Mittaukset tehdään yleensä pistokokein, jolloin valitaan satunnaisotoksella osa rakennuksen huonetiloista tai huoneistoista. Tilat valitaan niin, että niiden perusteella voidaan saada käsitys koko rakennuksen toimivuudesta ja suunnitelmanmukaisuudesta. Jos rakennuksella on useita käyttötarkoituksia, tulee mittauskohteet valita niin, että kaikki tilatyypit ovat edustettuna. (SFS 5511, 2.)

3.1 Huoneilman lämpötilan mittaus

Huoneilman lämpötila mitataan pääasiallisesti työ- tai oleskelupisteestä 1,1m korkeudelta lattiasta. Jos tämä piste ei ole tiedossa, mitataan lämpötila keskeltä huonetta. Lämpötilan kerrostumisen selvittämiseksi mitataan lämpötila samalta pystyviivalta 0,1m, 1,1m ja 1,7m korkeudelta lattiasta.

Mittauksen epätarkkuudeksi sallitaan enintään ± 1 °C, joka sisältää sekä mittarin virheet että mittausepävarmuuden. (SFS 5511, 3-4.)

3.2 Ilman kosteuden mittaus

Ilman absoluuttinen kosteus on yleensä jokseenkin vakio koko huonetilan oleskeluvyöhykkeellä ja tämän vuoksi mittaus voidaan suorittaa yhdestä pisteestä isossakin tilassa. Sisäilman suhteellinen kosteus voi vaihdella voimakkaasti kosteuslähteiden ja ilmanvaihdon mukaan muutaman tunnin aikavälilläkin. Tämän vuoksi hetkellinen mittaus ei anna luotettavaa lopputulosta vaan mittauksista tulee suorittaa kohteesta riippuen 1-7 päivää. (SFS 5511, 7; Sisäilmayhdistyksen www-sivut 2012.)

3.3 Ilmavirtojen mittaus

Mittauksiin on olemassa useita eri menetelmiä, jotka on kuvattu tarkemmin taulukossa 3. Näiden lisäksi tulee ottaa huomioon mittauslaitteiden omat käyttöohjeet ja niiden noudattaminen. Taustatiedoiksi mitataan myös ilman lämpötila ja paine sekä kosteus, jos se poikkeaa tavanomaisesta.

Mittauslaitteiden tulee olla tyyppihyväksytyjä tai standardin SFS 5511 vaatimusten mukaisesti kalibroituja. Saaduille tuloksille on määritelty hyväksyttävät poikkeamat jotka sisältävät mittaustulosten poikkeaman sekä käytetyn menetelmän epätarkkuuden. Huonekohtaisissa ilmavirroissa toleranssi on $\pm 20\%$ ja järjestelmäkohtaisissa ilmavirroissa $\pm 10\%$. (SFS 5512, 2-3.)

Taulukko 3 Mittausmenetelmät

Kanava A	Poistoilmaelin B	Tulo- ja ulkoilmaelin C
A0 kiinteästi asennetut mittauselimet	B0 kiinteästi asennetut mittauselimet	C0 kiinteästi asennetut mittauselimet
A1 kiinteät mittauselimet	B1 paine-eromittaus	C1 paine-eromittaus
A2 monipistemittaus	B11 mittausanturilla	C11 mittausanturilla
A21 pyöreä kanava	B12 kiinteällä mittauselimellä tai -yhteellä/yhteillä	C12 kiinteällä mittauselimellä tai -yhteellä/yhteillä
A22 suorakaidekanava	B2 keskinopeusmenetelmä	-
(A3 merkkiainemittaus)	B3 mittaus anemometritorvella	(C3 mittaus anemometritorvella)
-	-	C4 pussimenetelmä

4 LANGATTOMAT ANTURIVERKOT

Langattomat anturiverkot, eng. Wireless Sensor Networks (WSN), ovat ajatuksen tasolla olleet jo pitkään olemassa. Vasta teknologian kehitys ja sitä kautta pienentyneet laitekoot ja energiankulutus sekä edullisemmat valmistuskustannukset ovat tehneet siitä realistisen vaihtoehdon mittaus- ja seurantajärjestelmien toteuttamiseksi. Langattomat anturiverkot muodostuvat laitteista, jotka ovat laskenta- ja energiare-sursseiltaan rajalliset. Nämä laitteet muodostavat hajautetun laskenta-alustan, jota voidaan käyttää useisiin eri tarkoituksiin. Verkon keskeisimpiä ominaisuuksia ovat itsenäinen toiminta ja huoltovapaus. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että verkko muodostuu, korjaantuu ja sopeutuu muutoksiin ilman erillistä hallintaa. Verkkoon voidaan lisätä tai poistaa mittalaitteita verkon toiminnan häiriintymättä. Puhtaimmillaan langaton anturiverkko toimii myös ilman erillisiä tukiasemia, sillä verkon laitteet välittävät tietonsa toistensa kautta kokoojapisteelle. (Tampereen teknillisen yliopiston www-sivut 2012.)

Langattomien anturiverkkojen käyttöön liittyy myös useita haasteita. Tarjolla olevien standardien määrä on runsas ja sopivimman standardin valinta on haastavaa. Valinnassa tulee ottaa huomioon mm. sovellusten vaatimat mittausetäisyydet, kaistanleveys sekä laitteiden virrankulutus. Laitevalmistajille standardien laajuuden lisäksi oman haasteensa muodostaa teknologian jatkuva kehitys ja muutokset. Riskinä on, että muutaman vuoden kuluttua nykyiset standardit eivät enää riitä ja järjestelmissä käytetty teknologia on jo vanhanaikaista.

Haasteiden ja epävarmuuden vastapainona toimivat järjestelmän mahdollistamat säästöt. Esimerkiksi tehdasympäristöissä mittaukset on suoritettu perinteisesti langallisia mittalaitteita käyttäen. Johdotukset vaativat usein kaivuutöitä ja joissain tapauksissa jopa maaperätutkimuksia, jotka kasvattavat mittausjärjestelmän kustannuksia. Langattoman anturiverkon selkeä etu on siinä, että se voidaan sen sijaan asentaa käyttökuntoon rakenteita rikkomatta.

Huollossa ja kunnossapidossa on perinteisesti toimittu kahden mallin mukaan. Ensimmäisessä mallissa odotetaan, että jokin hajoaa ja korjataan se. Toisessa taas huollot ja osien vaihdot suoritetaan ohjeiden mukaan, vaikka niillä voisi olla vielä käyttöikä jäljellä. Langattoman anturiverkon avulla voidaan luoda järjestelmä, jonka

avulla seurataan kohteiden kuntoa ja huoltotarvetta reaaliajassa. Tällöin säästöä syntyy, kun huollot voidaan ajoissa suunnitella ja suorittaa silloin, kun niille on varsinainen tarve. (Kagan 2007.)

4.1 Langattomat teknologiat

Langattomat teknologiat määritellään yleensä niiden käyttämien sovellusten, tiedonsiirtokyvyn ja peittoalueen mukaan. Lähetin-vastaanotin on yleensä radioteknologiaa käyttävä laite, mutta myös muita teknologioita (esimerkiksi infrapuna) voidaan käyttää. Taulukossa 4 on esitetty IEEE:n näkemys langattomien teknologioiden luokittelusta. Esitetyt arvot eivät ole tiukkoja määritelmiä, vaan niillä pyritään osoittamaan verkkojen väliset suhteet. (Kuorilehto ym. 2007, 3-4.)

Taulukko 4 Langattomien teknologioiden luokittelu

Luokka	Tiedonsiirto	Peittoalue	Sovellukset	Teknologiat
WWAN	<10 Mbps	>10 km	Puhelimet, mobiili Internet	GSM, UMTS, satelliitit
WMAN	<100 Mbps	<10 km	Laajakaista	IEEE 802.16, HIPERMAN
WLAN	<100 Mbps	<100 m	Langallisen lähiverkon korvaaja	IEEE 802.11, HIPERLAN/2
WPAN	<10 Mbps	<10 m	Henkilökohtainen datasiirto	Bluetooth, IEEE 802.15.3
WSN	<1 Mbps	<1 km	Monitorointi, kontrollointi	IEEE 802.15.4, RFID

4.2 Standardit

Langattomia antureita valmistetaan useisiin erilaisiin mittaustarpeisiin ja useiden valmistajien toimesta. Standardeja kehitetään monien eri tahojen toimesta ja tavoitteena on, että niiden avulla eri valmistajien anturit saadaan toimimaan samassa verkossa automaattisesti. IEEE on määritellyt langattomille anturiverkoille kaksi keskeistä standardia. IEEE 1451 standardi määrittelee rajapinnan sensoreille ja laitteille, kun taas IEEE 802.15 keskittyy langattoman tiedonsiirron rajapintoihin. (Kuorilehto ym. 2007, 19, 21.)

Alla on esitetty langattomille anturiverkoille keskeisiä tiedonsiirtostandardeja.

4.2.1 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 on IEEE:n kehittämä standardi, joka ratifioitiin vuonna 2003 vuosien työn jälkeen. Tarkoituksena oli luoda maailmanlaajuinen standardi langattomien anturiverkkojen maailmaan, sillä olemassa olevat langattomat anturiverkot toimivat sekalaisten menetelmien ja protokollien mukaan. Standardin tarkoituksena oli myös mahdollistaa edulliset ja vähävirtaiset sovellukset useiden eri toimialojen tarpeisiin. Sen tarjoamalla perustyökaluilla voidaan varmistaa luotettava tiedonsiirto useimmissa olosuhteissa. Tämä standardi on toiminut pohjana myös avoimille standardeille. (Adams 2011, 1-2, 7-8)

4.2.2 Bluetooth

Bluetooth on Bluetooth Special Interest Groupin (SIG) kehittämä standardi. Järjestöön kuuluu yli 16000 jäsenyritystä ja järjestöön liittymällä yritys saa oikeuden käyttää tätä teknologiaa valmistamissaan laitteissa sekä mahdollisuuden vaikuttaa standardin kehittämiseen. Bluetooth oli alun perin tarkoitettu sarjakaapelin korvaamiseen elektronisten laitteiden välillä, mutta sisältää nykyään useita ominaisuuksia joiden vuoksi se sopii useisiin käyttötarkoituksiin. Bluetooth 4.0 on standardin uusin versio, jossa virrankulutus on erittäin vähäinen. Tämä yhdistettynä Bluetoothin tunnettu-

teen ja sen muihin ominaisuuksiin tekee siitä varteenotettavan vaihtoehdon langattomien anturiverkkojen tiedonsiirtoon. (Bluetoothin www-sivut 2012; Kuorilehto ym. 2007, 22.)

4.2.3 ZigBee

ZigBee on ZigBee allianssin kehittämä avoin standardi pienitehoisille langattomille verkoille. Allianssiin on liittynyt satoja yrityksiä eri toimialoilta ja edustettuna on mm. puolijohdevalmistajia, ohjelmistokehittäjiä, laitevalmistajia ja palveluntarjoajia. Verkko tukee tähti, puu ja mesh topologioita. ZigBee verkon mittalaitteet voivat mennä lepotilaan lähetysten välillä minimoiden näin virrankulutuksen. ZigBee on löytänyt paikkansa koti- ja toimistoympäristössä, mutta teollisuusympäristössä se ei ole täyttänyt odotuksia. Teollisuudessa on useita haastavia mittausympäristöjä sekä mittauskohteita, joissa vaaditaan lähes langallisen verkon tiedonsiirtovarmuutta ja tähän standardi ei ole vielä täysin pystynyt vastaamaan. (Kuorilehto ym. 2007, 25; Wagner 2010, 3; ZigBee www-sivut 2012.)

4.2.4 WirelessHART

WirelessHART on avoin standardi, jonka kehittäjä toimii HART Communication Foundation. Se on voittoa tavoittelematon järjestö, jonka rahoituksesta vastaavat sen jäsenet. Jäseninä on useita keskeisiä prosessiteollisuuden ja automaatioalan toimijoita. Standardin tarkoituksena on mahdollistaa erittäin luotettava langaton mittausjärjestelmä vaativissa tehdasolosuhteissa toimiviin prosessi- ja automaatiojärjestelmiin. Verkko käyttää mesh-topologiaa, jossa kaikki pisteet toimivat reitittiminä. Verkon keskeisiä ominaisuuksia ovat mm. hyyt kanavien yli häiriöiden välttämiseksi, vapaiden kanavien haku sekä muiden laitteiden käyttämien kanavien listaus niiden välttämiseksi ja automaattinen verkon säätö optimaalisen toiminnan saavuttamiseksi. Näiden ominaisuuksien avulla voidaan saavuttaa jopa 99,9999998 % luotettavuus tiedonsiirrossa. (HART Communication Foundationin www-sivut 2012; Wagner 2010, 3-4.)

4.2.5 ISA100.11a

ISA100.11a on ISA:n kehittämä standardi, jolla on useita samoja ominaisuuksia kuin WirelessHART:lla. Standardin tarkoituksena on laajentaa verkkoympäristön käyttö eri valmistajien laitteille ja sovelluksille, sillä WirelessHART:n verkkoympäristö on tarkoitettu vain sitä varten kehitetyille laitteille. Standardi mahdollistaa siirtonopeuden kasvattamisen helpoissa mittaus- ja säätöympäristöissä, joissa tiedonsiirron luotettavuus ei ole ongelma. Vastaavasti vaativissa mittauskohteissa siirtonopeutta voidaan pienentää ja kasvattaa näin luotettavuutta. Laitehankinnoissa voidaan saada säästöjä sillä, että verkon kaikkien laitteiden ei tarvitse olla reitittäviä. ISA100.11a:n ja WirelessHART:n standardien rinnakkaiselo on tulevaisuudessa todennäköistä. Myös standardien yhdistämisestä on tehty tutkimuksia ja se nähdään yhtenä varteenotettavana vaihtoehtona. (Wagner 2010, 4-5.)

4.3 Verkkotopologiat

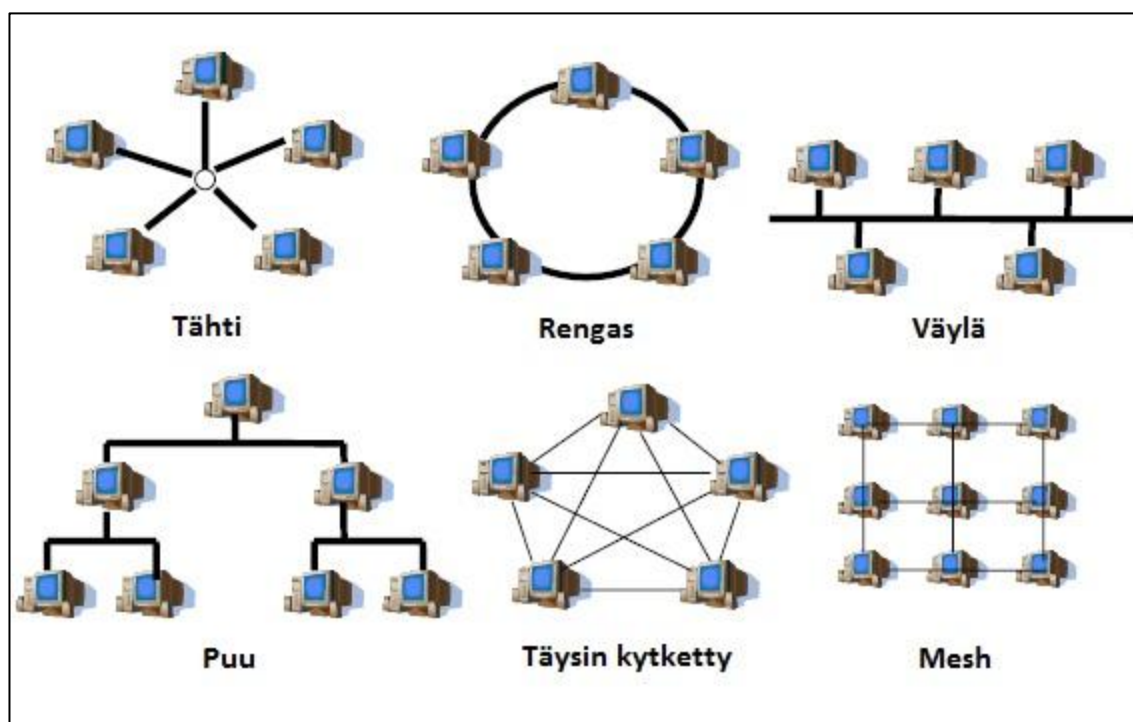
Verkot jaetaan topologioihin sillä perusteella, miten tietoa siirretään verkossa ja miten verkon laitteet ovat kytkeytyneenä toisiinsa. Keskeisimmät tekijät topologian valinnassa ovat tiedonsiirtokapasiteetti ja siirtotien laatu (QoS). QoS pitää sisällään mm. viestin siirtämiseen kuluvan ajan, virheiden määrän, datapakettien häviöt sekä lähetystehon ja kustannukset. Verkon ominaisuuksista riippuen voidaan valita jokin yksittäinen topologia tai käyttää näiden yhdistelmiä.

Yleisimmistä verkkotopologioista väylätopologia soveltuu lähinnä kaapeloituihin verkkoratkaisuihin. Siinä verkon jokainen piste on kytkeytynyt väylään, jonka kautta viestit välittyvät verkossa oleville pisteille. Rengas- ja puutopologiaa käyttämällä saavutetaan verkko, jolla on hyvä QoS. Näiden verkkojen ongelmaksi muodostuu heikko vikasietoisuus; yhdenkin pisteen vikaantuminen voi katkaista koko verkon tiedonsiirron.

Tähtitopologiassa verkon jokainen piste on itsenäisesti kytkeytyneenä yhdyskäytävään. Yhdyskäytävänä toimivalta pisteeltä vaaditaan parempaa viestien hallintaa, reititystä ja päätöksentekokykyä kuin verkon muilta pisteiltä. Tällä mallilla voidaan saavuttaa kohtalainen vikasietoisuus langattomissa anturiverkoissa, sillä yhden mit-

tapisteen vikaantuminen ei lopeta koko verkon tiedonsiirtoa. Yhdyskäytävän vikaantuessa koko verkko on kuitenkin toimintakyvytön.

Todellista vikasietoisuutta etsittäessä topologioista jää jäljelle ”täysin kytketty” ja ”mesh”. Ensinnä mainitun verkon jokainen piste on yhdistyneenä verkon kaikkiin muihin pisteisiin. Tämä muodostuu ongelmaksi silloin, kun verkon pisteiden määrä on suuri, koska viestien reitittämiseen vaaditaan suuret määrät laskentatehoa. Mesh topologia soveltuu ominaisuuksiltaan erinomaisesti langattomiin anturiverkkoihin. Tässä verkossa jokainen piste kommunikoi vain sitä lähinnä olevien pisteiden kanssa. Yksittäisten pisteiden vikaantuminen ei aiheuta suurta ongelmaa, sillä viestien kulku voidaan reitittää uudelleen muiden pisteiden kautta. Usean pisteen käyttö viestien välittämisessä saattaa johtaa heikentyneeseen QoS:een ja tämän vuoksi pyritäänkin käyttämään reititysprotokollia, jotka automaattisesti valitsevat lyhyimmän ja vahvimman linkkivälin. (Lewis 2004, 2-3; Florida Center for Instructional Technology.)



Kuva 2 Yleisimmät verkkotopologiat (Lewis 2004, 2.)

4.4 Vaatimukset

Langattomille anturiverkoille asetetut vaatimukset riippuvat käyttötarkoituksesta ja verkon toimintaympäristöstä. Tämän vuoksi vaatimuksista ei voida luoda kovinkaan yleistä ja yksityiskohtaista listaa, mutta näillä eri toimintaympäristöillä on kuitenkin yhteisiä piirteitä, joiden perusteella voidaan määritellä tiettyjä perusvaatimuksia. Alla on listattu näistä keskeisimmät. (Kuurilehto ym. 2007, 16–17.)

4.4.1 Vikasietoisuus

Anturiverkon laitteet saattavat sijaita ankarissa olosuhteissa, niistä voi loppua patterit tai niihin voi kohdistua muista ulkoisista tekijöistä aiheutuvia häiriöitä. Näin ollen verkon tulee olla vikasietoinen, oli kyse sitten yhdestä mitta-anturista tai tietyn alueen kaikista laitteista.

4.4.2 Elinikä

Langattoman anturiverkon elinikä on yksi verkon keskeisimmistä tekijöistä. Laitteet ovat yleensä paristokäyttöisiä tai sitten ne ottavat tarvitsemansa energian ympäristöstään. Verkon laitteiden, protokollien ja sovellusten suunnittelussa tulee huomioida energian säästäminen ja kuormituksen jakaminen tasaisesti laitteiden kesken. Näin verkon voidaan olettaa kestävän pitkiäkin ajanjaksoja ilman huoltamista.

4.4.3 Skaalautuvuus

Langattomassa anturiverkossa mittalaitteiden määrä on yleensä suuri ja ne voivat sijaita melko pienelläkin alueella. Tällöin on tärkeää, että verkkoprotokollat pystyvät käsittelemään mittalaitteiden lähettämän tiedon ja reitittämään sen oikein.

4.4.4 Tosiaikaisuus

Langattomat anturiverkot liittyvät tiukasti ympäröivään maailmaan. Tapahtuman reaaliaikainen tunnistaminen vaatii anturin havaitseman ärsykkeen kaappaamisen, saadun tiedon käsittelemisen, tapahtuman tunnistamisen ja lopuksi vielä tiedon välittämisen siirtämisen eteenpäin.

4.4.5 Turvallisuus

Tämä seikka nousee keskeiseksi tekijäksi erityisesti terveydenhuolto- turvallisuus- ja sotilasalalla, koska suurin osa välittyvästä datasta on yksityistä tai luottamuksellista. Yleisesti ottaen tehokkaiden salausmenetelmien algoritmit ovat yleensä monimutkaisia ja aikaa vieviä ja vastaavasti mittalaitteiden resurssit ovat melko rajallisia, jonka vuoksi näiden vaatimusten täyttäminen on haasteellista.

4.4.6 Tuotantokustannukset

Langattomat anturiverkot käsittävät useimmiten useita mittalaitteita ja ajatuksena on, että tulevaisuudessa niitä käytettäisiin kaikkialla. Tämän vuoksi tuotantokustannukset tulee saada mahdollisimman alhaisiksi.

4.5 Sovellukset

Langattomia anturiverkkoja voidaan käyttää perinteisten kaapeloinneilla toteutettujen sovellusten korvaajina, mutta laitteiden pieni koko, helppo asennettavuus ja huoltovapaus avaavat kokonaan uusia mahdollisuuksia. Laitteilla voidaan mitata koko joukko erilaisia fysikaalisia suureita, joista yleisimmät ovat lämpötila, kosteus, paine, kiihtyvyys, ääni, valo, infrapuna, magneettikentät, säteily, sijainti, kemialliset yhdisteet ja mekaaninen rasitus. Alla on lueteltu tyypillisiä langattomien anturiverkkojen toimialoja. (Kuorilehto ym. 2007, 11–12.)

4.5.1 Kodin automaatio

Langaton anturiverkko on olennainen elementti älykkäiden talojen rakentamisessa. Anturit voivat seurata lämmityksen, ilmanvaihdon ja jäähdytyksen toimintaa ja tarpeen mukaan säätää sitä. Verkkoa voidaan käyttää myös kodin eri laitteiden etäohjaukseen.

4.5.2 Ympäristön monitorointi

Anturien helpon sijoitettavuuden ansiosta niitä voidaan sijoittaa laajoillekin alueille. Näin voidaan esimerkiksi seurata viljelyalueiden olosuhteita ja villieläimiä. Langattomia antureita voidaan käyttää myös luonnonkatastrofeista varoittavassa järjestelmässä (metsäpalot, maanjäristykset, tsunamit) ja katastrofiavun järjestämisessä.

4.5.3 Teollisuus

Langattomilla antureilla on hyvät edellytykset korvata tehtaiden seuranta- ja hallintajärjestelmien kiinteät kaapeloinnit.

4.5.4 Sotateollisuus

Langattomilla antureilla on useita käyttökohteita sotateollisuudessa. Niiden avulla voidaan mm. toteuttaa tiedustelua ja tarkkailua sekä kohteen paikannusta. Anturien etu on niiden nopeassa asennettavuudessa sekä siinä, että niiden tuottama data on välittömästi käytössä. Langaton anturiverkko voidaan liittää myös osaksi viestiverkkoa.

4.5.5 Turva-ala

Verrattuna vanhoihin langallisesti toteutettuihin turvajärjestelmiin langattomat anturiverkot tarjoavat helpomman asennettavuuden, mukautuvuuden ja häiriönsietokyvyn. Erilaisten turva- ja hälytinja järjestelmien kysyntä tulee tulevaisuudessa kasvamaan sekä julkisella että yksityisellä sektorilla.

4.5.6 Liikenteen valvonta

Langattomat anturiverkot tarjoavat helpon tavan seurata ja kontrolloida liikenneolosuhteita etenkin ruuhkahuippujen aikaan. Järjestelmä soveltuu hyvin myös väliaikaisiin kohteisiin, kuten tietöiden ja onnettomuuksien seurantaan paikanpäällä. Järjestelmä voidaan integroida esimerkiksi liikennevalojen ohjaamiseen.

4.5.7 Terveysthuolto

Vartaloon kiinnitettävää anturiverkkoa voidaan käyttää potilaiden fysiologisen tilan seurantaan tai anturit voidaan valjastaa potilaiden, lääkäreiden, laitteiston yms. paikallistamiseen ja seurantaan.

5 TEKNOLOGIATALO SYTYTTIMEN MITTAUSTARPEET

HYGTECH-projektin ensimmäisenä kohteena toimii teknologiatalo Sytytin, joka on vuonna 2011 valmistunut toimistotalo. Kerrosalaa teknologiatalossa on 6000 neliometriä, joista vuokrattavia tiloja on 5300 neliometriä. Sytyttimen valttina on tilojen muunneltavuus asiakkaan tarpeiden mukaan. (Rauman kaupungin www-sivut 2012.)

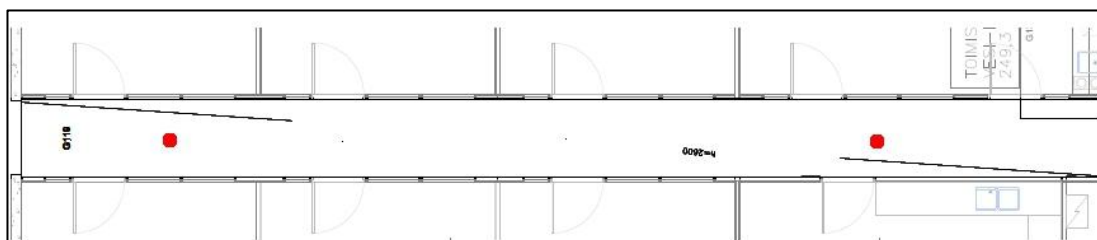
Monien muiden yritysten kanssa talossa toimii Prizztech Oy:n kehittämis- ja tutkimusyksikkö Vesi-Instituutti WANDER, joka pilottihankkeessaan tutkii rakennuksessa käytettävää talousvettä ja veden kanssa kosketuksissa olevia materiaaleja sekä asentavat eri materiaaleista valmistettuja ovien avauspainikkeita ja kosketusvapaita hanoja ym. hygieniatuotteita omiin tiloihinsa sekä aulatilan läheisyydessä oleviin julkisiin wc-tiloihin. Osa tiloista toimii referenssinä näille tiloille johon on asennettu hygienia-tuotteita, jotta voidaan arvioida eri laitteiden ja materiaalien vaikutusta. Tutkittavien tilojen olosuhteita seurataan ja tämän kohteen osalta mittausdata koostuu lämpötila- ja kosteustiedoista. (Kiinteistöjen hygieniakonsepti HYGTECH 2012, 2-3.)

5.1 Mittauskohteet

Mittauskohteet sijaitsevat teknologiatalo Sytyttimen B- ja C-osassa. Vesi-Instituutin tilat sijaitsevat C-osan ensimmäisessä kerroksessa ja siellä mittauskohteina ovat molemmat wc:t ja käytävätila. C-osassa sijaitsevat naisten ja miesten yleiset wc-tilat ja inva-wc. Kuvissa esiintyvät punaiset pallot kuvaavat mittauspisteitä, joista mitataan lämpötilaa ja kosteutta. Niiden sijainti kuvissa on viitteellinen.

5.1.1 Vesi-Instituutin käytävätila

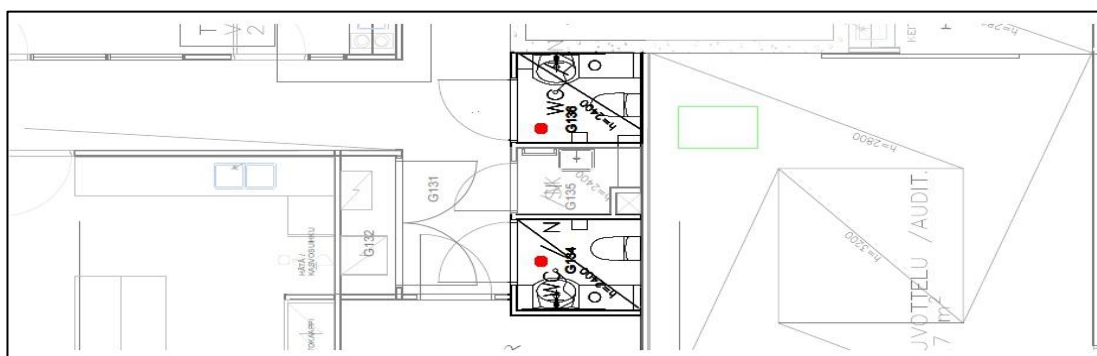
Käytävätilan molemmin puolin sijaitsee Vesi-Instituutin työntekijöiden työhuoneita. Tilasta on myös pääsy tutkimustilaan, keittiöön ja kokous/taukotilaan ja wc-tiloihin. Käytävän päässä sijaitsee uloskäynti pihalle. Käytävätilassa on yksi tuloilmaventtiili, jossa mitattu ilmavirta on 12 l/s.



Kuva 3 Vesi-Instituutin käytävätila

5.1.2 Vesi-Instituutin wc-tilat

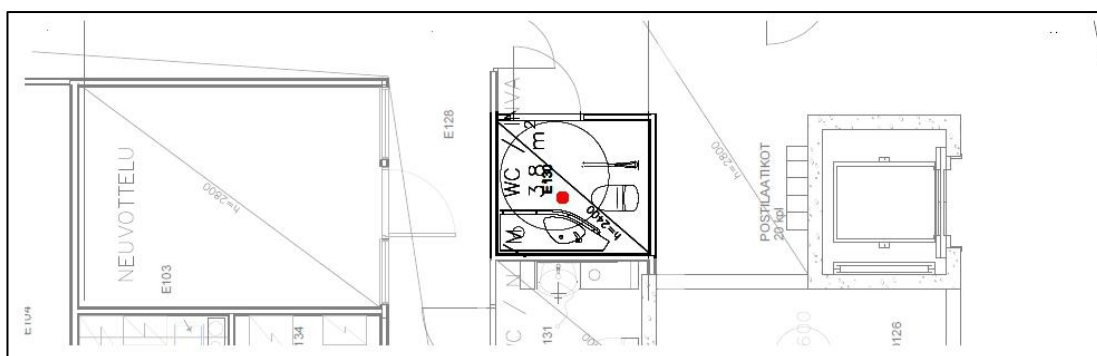
Nämä ovat työntekijöiden käytössä olevat wc-tilat. Tilat ovat varustukseltaan ja ulkonäöltään identtiset. Molemmissa on poistoilmaventtiilit sekä lämmityspatterit.



Kuva 4 Vesi-Instituutin wc-tilat

5.1.3 B-osan inva-wc

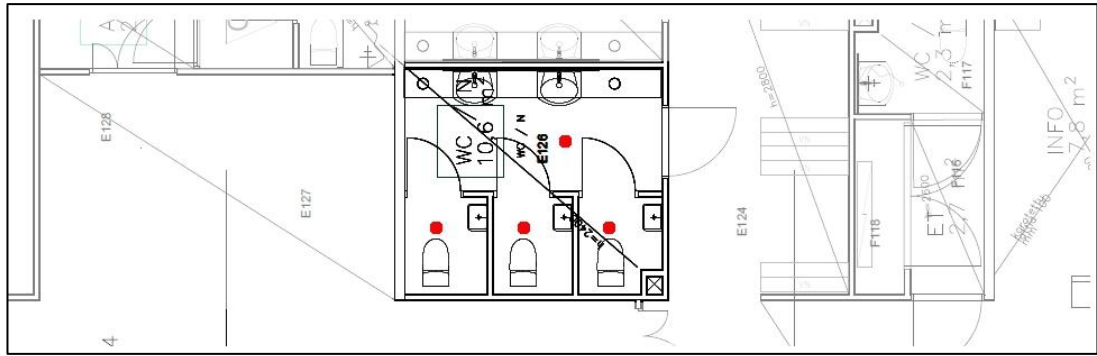
Inva-wc sijaitsee Sytyttimen B-osan julkisissa tiloissa info-tiskin välittömässä läheisyydessä. Tilassa on lämmityspatteri ja poistoilmaventtiili.



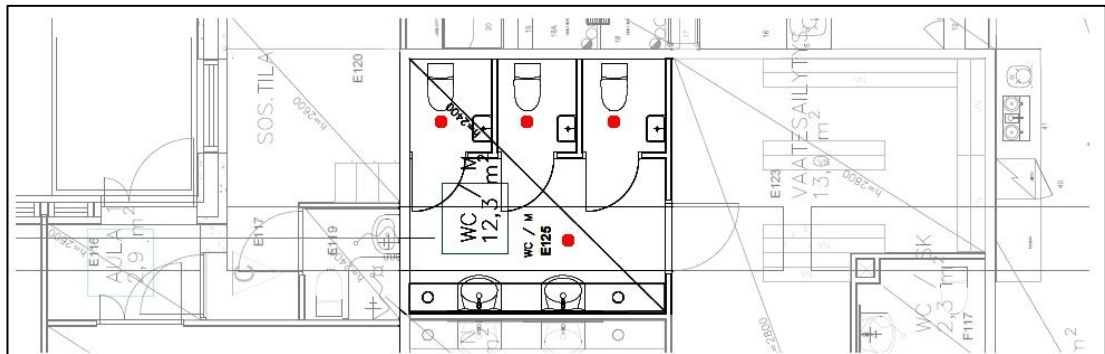
Kuva 5 B-osan inva-wc

5.1.4 B-osan yleisö-wc:t

Yleisö-wc:t sijaitsevat Sytyttimen B-osan julkisissa tiloissa naulakkojen ja infopisteen läheisyydessä. Tilat ovat vastakkain. Miesten wc-tila on pari neliötä suurempi kuin naisten, mutta muuten tilat ovat ulkoasultaan yhteneväiset. Wc-koppien rakenne on sellainen, että niistä jokainen voidaan luokitella omaksi tilakseen. Wc:n yleisessä tilassa sijaitsee tuloilmahajottaja ja jokaisessa wc-kopissa on lämmityspatteri ja poistoilmaventtiili. Miesten wc:n tuloilmahajottajan mitattu ilmavirta on 43 l/s ja naisten wc:n 40 l/s.



Kuva 6 B-osan naisten wc-tila



Kuva 7 B-osan miesten wc-tila

6 LANGATON MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Suomessa langattomat anturiverkot ovat toteutettuina mittausjärjestelminä vielä suhteellisen tuore ala. Niitä on kehitetty eri yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen toimesta ja näiden valmiusasteet ja käyttötarkoitukset vaihtelevat. Näiden lisäksi löytyy myös kaupallisia toimijoita, joiden tarjoamat mittalaittevalikoimat ja järjestelmän kustannukset eroavat suuresti toisistaan.

Järjestelmälle on asetettu useita odotuksia, joista keskeisimpiä ovat helppo asennus, siirrettävyys, luotettava toiminta ja tulosten etäluettavuus. On myös oleellista, että pilottikohteiden lisääntyessä mittausjärjestelmä voidaan mahdollisimman pienin muutoksin siirtää niihin tai vaihtoehtoisesti hankkia kustannustehokkaasti vastaavia järjestelmiä samanaikaisesti mittauksiin. Tulevat mittaustarpeet ja -tyypit eivät vielä ole täysin tiedossa, joten tarjolla olevien mittalaitteiden laajuus ja niiden asiakaskohdainen räätälöinti sekä järjestelmän joustavuus ovat valintaa tehdessä keskeisessä osassa.

6.1 Si-Tecno Oy

Si-Tecno Oy on kehittänyt langattoman etäkäyttöisen SiMAP-mittausjärjestelmän. Yritys markkinoi järjestelmäänsä lämpökartoitukseen ja patteriverkoston tasapainotukseen, lämmönjakokeskuksen toiminnan seurantaan, suhteellisen kosteuden mittaamiseen huoneilmasta ja rakenteista sekä hiilidioksidipitoisuuden mittaamiseen huoneilmasta. Heidän järjestelmällänsä on myös mahdollista toteuttaa automaattinen lämmityksen säätöjärjestelmä, joka perustuu jatkuvaan huoneistokohtaiseen lämpötilan mittaukseen. Säätöjärjestelmä ohjaa kiinteistön lämmitystä lämpötilojen keskiarvon mukaan. (SiMAP [www-sivut](#) 2012.)

6.1.1 Mittausjärjestelmän toiminta

Järjestelmän kiintopisteenä toimii SiMAP - salkku. Salkku sisältää virtalähteen, paikalliset 16 anturille, GSM-antennin sekä kontrollerin. GSM-antenni hoitaa tiedonvälityksen ja kontrolleri vastaanottaa langattomien antureiden lähettämät mittaukset ja välittää ne edelleen GPRS - yhteyden kautta palvelimelle tulosten tallennusta ja analysointia varten. (SiMAP-tarjous 2012; SiMAP www-sivut 2012.)

Salkun kontrolleri voi vastaanottaa ja edelleen välittää 64 mitta-anturin tiedot. Anturit eivät välitä tietoa eteenpäin keskenään vaan jokainen kommunikoi itsenäisesti mittasalkun kanssa langattomasti 433MHz:n taajuuskaistan kautta. Mitta-antureille ei ole ilmoitettu tarkkaa kantamaa, mutta käyttämänsä taajuuskaistan takia omaavat hyvän kantaman sisätiloissa, joka on rakenteista riippuen useita kymmeniä metrejä. Järjestelmään voidaan asentaa anturisignaalin toistin, jolloin anturien ja mittasalkun välistä etäisyyttä voidaan kasvattaa ja lisätä näin toimintavarmuutta esim. kerrostalo-kohteissa. (SiMAP-tarjous 2012; SiMAP www-sivut 2012.)

Antureita voidaan lisätä järjestelmään tarpeen mukaan mittauksia keskeyttämättä. Mittausväli voidaan asettaa yhden sekunnin välein välillä 60–65 000 sekuntia. Paris-ton laskennallinen käyttöikä on 10 minuutin mittausvälillä jopa 10 vuotta, lukuun ottamatta CO₂-anturia, jonka tehonkulutus on suurempi. Antureissa on sisäinen muisti johon mittausdata tallentuu kahdeksaksi viikoksi 10 minuutin mittausvälillä ja tämä data voidaan lukea langattomasti Pc:llä. (SiMAP-tarjous 2012; SiMAP www-sivut 2012.)

6.1.2 Langattomat anturit

Si-Tecno Oy:llä on tällä hetkellä tarjolla seitsemää erilaista langatonta mittalaitetta, joiden tekniset ominaisuudet on esitelty heidän tarjouksessaan ja kuvattu taulukossa 5.

Taulukko 5 Si-Tecno-anturit

Anturi	Mittausalue	Tarkkuus	Malli	Sähkölähde
Sisälämpötila	0 – +60 °C	±0,3 °C	Temp (MRTI02)	Paristo
Sisälämpötila/ kosteus	0 – +60 °C 0 – 100 %RH 20 – 80 %RH	±1,0 °C ±5 % ±3 %	Hum (MRHI02)	Paristo
Ulkolämpötila/ sisälämpötila	-40 – +130 °C 0 – +60 °C	±0,5 °C ±0,5 °C	ExtTemp (MRTE02)	Paristo
Ulkoinen kosteus/ ulkolämpötila/ sisälämpötila	0 – 100 %RH 20 – 80 %RH -30 – +90 °C 0 – +60 °C	±5 % ±3 % ± 2,0 °C ± 2,0 °C	ExtHum (MRHE02)	Paristo
Hiilidioksidi	-	-	Co2 (MRCI02)	Paris- to/verkkovirta
Langaton analogiatulo	(4 – 20 mA)	-	AI4/20 (MRAIC01)	Paris- to/verkkovirta
Langaton analogiatulo	(0 – 10 V)	-	AI0/10 (MRAIV01)	Paris- to/verkkovirta

6.1.3 Järjestelmän hankintakustannukset

Anturit ja muut järjestelmään kuuluvat laitteet olivat yksikköhinnoiteltuja Si-Tecno Oy:n toimittamassa tarjouksessa. Saatujen tietojen pohjalta mittausjärjestelmän laajentamisesta syntyviä kustannuksia on helppo arvioida.

Hankintakustannukset (ALV 0 %) tämänhetkisillä mittaustarpeilla SiMAP - järjestelmällä ovat:

• Salkku G02 (salkku, virtalähde, kontrolleri, GSM-antenni)	527€
• Temp MRTI02 (lämpötila-anturi x 13kpl)	1235€
• Hum MRHI02 (kosteus-/lämpötila-anturi x 3kpl)	294€
<hr/>	
Yhteensä	2056€

6.1.4 Järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset

Järjestelmän hankintakustannusten lisäksi kustannuksia tulee Si-Tecno Oy:n etäkäyttöliittymän käyttöoikeudesta. Käyttöoikeus on salkkukohtainen, joten useamman kohteen mittauksessa kustannukset kertaantuvat.

Etäkäyttöliittymän vuosittaiset käyttökustannukset (ALV 0 %) yhdellä salkulla ovat:

• Etäkäyttöliittymä (pääsy Si-Tecno palvelimelle)	66€/kk
<hr/>	
Yhteensä	792€/vuosi

6.2 Wirepas Oy

Wirepas Oy on perustettu keväällä 2010. Yrityksen omistajina ovat Tuotekehitys Oy Tamlink sekä henkilöstö. Heidän käyttämänsä teknologia on kehitetty Tampereen Teknillisessä Yliopistossa vuosina 2002–2010 ja se on kansainvälisesti patentoitu. Wirepas Oy markkinoi järjestelmäänsä mm. tilojen energiatehokkuuden parantamiseen sekä olosuhteiden hallintaan, henkilöiden ja kohteiden älykkääseen paikannukseen ja kohteiden turvallisuuden parantamiseen. (Wirepas Oy:n www-sivut 2012.)

6.2.1 Mittausjärjestelmän toiminta

Wirepas Mittaussalkku sisältää tilaajan määrittelemät langattomasti toisiinsa kytkeytyvät mittalaitteet eli nodet sekä kerätyn mittausdatan palvelimelle reitittävän gateway-laitteen. Nodet muodostavat keskenään mittausverkon kytkeytymällä toisiinsa mesh-teknologian avulla. Nodet on konfiguroitu liittymään automaattisesti mittausverkkoon, joten uusia nodeja on helppo lisätä. Tällä tavoin voidaan myös kasvattaa anturiverkon peittoaluetta. Jonkin mittauspisteen vikaantuessa nodet pyrkivät automaattisesti uudelleenreitittämään mittausdatan lähetyksen muiden nodejen kautta gateway-laitteelle. Jos yhteys katkeaa verkon sisällä, voi jokainen node tallentaa keräämänsä mittausdatan flash-muistiinsa ja lähettää sen eteenpäin heti, kun yhteys verkkoon on palautunut. (Wirepas Mittaussalkku 2011.)

6.2.2 Langattomat anturit

Wirepas Oy:ltä löytyy kattava valikoima eri mittaustarkoituksiin suunnattuja antureita, joiden ominaisuudet on esitelty tarkemmin taulukossa 6. Näistä antureista asiakkaat voivat koota haluamansa mittalaitteet käyttötarpeidensa mukaan. Yksi mittalaite voi sisältää jopa seitsemän erilaista mitta-anturia. Mittalaitteet käyttävät tiedonsiirtoon 2,4GHz:n taajuuskaistaa, jolla saavutetaan olosuhteista riippuen 10-50m kantama ja tiedonsiirto-protokollana toimii TUTWSN. (Wirepas Oy Älykästä läsnäoloa 2011; Wirepas-anturit.)

Taulukko 6 Wirepas-anturit

Anturi	Mittausalue	Tarkkuus	Malli	Sähkölähde
Ilmankosteus	0 – 100 %	±2 %	SHT15	Paristo
Lämpötila	-40°C – +125 °C	±0.5 °C	TMP102	Paristo
Valovoimakkuus	5 – 10.000 lux	± 30 %	ADPS-9002	Paristo
PIR	0 – 5 m, 70°	-	MS300	Paristo
CO2	0 – 2000 ppm	±50 ppm +2 %	EE891	Paristo
CO2	0 – 5000 ppm	±50 ppm +3 %	EE891	Paristo
Ilmavirtaus	0 – 20 m/s	± 0.4 m/s + 6 %	EE575	Verkkovirta
Ovi-ikkunakytkin	-	-	Wirepas	Paristo
Melu	55 – 90 dB	± 5 dB	Wirepas	Verkkovirta
Pietsokaapeli	1 m x kaapelin pituus	-	Wirepas	Paristo
Virta	0 – 20 mA	± 1 %	Wirepas	Paristo
Jännite	0 – 10 V	± 1 %	Wirepas	Paristo
Maakosteus	0 – 100 % VWC	± 5 %	EC-5	Paristo
Paine-ero	-500 Pa – +500 Pa	± 3 %	SDP600	Verkkovirta
Barometri	300 – 1100 hPa	± 1hPa	BMP085	Paristo
Vuotovahti	2 metriä	-	FLA2100	Paristo

6.2.3 Järjestelmän hankintakustannukset

Wirepas Oy:ltä löytyy kattava listahinnasto keskeisimmistä mittalaitteista, josta voi suuntaa antavasti kartoittaa järjestelmän laajennuskustannuksia. Saimme mittaustarpeidemme perusteella Wirepas Oy:ltä kaksi tarjousta (ALV 0 %):

Tarjous 1

- **16kpl ilmankosteusnode** (mittaa: lämpötila, ilmankosteus, valon voimakkuus)
 - **1kpl 3G Ethernet GW node**
 - **Tarvittavat litiumparistot ja virtalähteet**
 - **Etäkäyttöliittymä** (Asiakaskohtaisen ympäristön asennus ja ohjelmistopalvelun avaus pilvipalveluna)
 - **Säilytyssalkku sekä käyttöohjeet**
-
- | | |
|-----------------|-----------------|
| Yhteensä | 6243,88€ |
|-----------------|-----------------|

Tarjous 2

- **16kpl ilmankosteusnode** (mittaa: lämpötila, ilmankosteus, valon voimakkuus)
 - **1kpl 3G Ethernet GW node**
 - **Tarvittavat litiumparistot ja virtalähteet**
 - **Etäkäyttöliittymä** (Asiakaskohtainen palvelinympäristö paikallisesti asennettuna etäyhteydellä asiakkaan omalle palvelimelle, sisältää web- ja mobiilikäyttöliittymät)
 - **Säilytyssalkku sekä käyttöohjeet**
-
- | | |
|-----------------|-----------------|
| Yhteensä | 8148,88€ |
|-----------------|-----------------|

6.2.4 Järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset

Järjestelmän hankintakustannusten lisäksi kustannuksia tulee etäkäyttöliittymästä (web- ja mobiilipalvelun käyttöoikeus sekä laitekohtainen SaaS-pilvipalvelumaksu). Etäkäyttöliittymän ensimmäinen vuosi on ilmainen, jonka jälkeen yhteenlasketut vuosittaiset käyttökustannukset (ALV 0 %) ovat:

Tarjous 1

• Etäkäyttöliittymä (web- ja mobiilipalvelu + päivitykset)	595€/vuosi
• SaaS-pilvipalvelumaksu (per laite)	35€/vuosi
<hr/>	
Yhteensä	1190€/vuosi

Tarjouksesta 2 ei tule kiinteitä vuosittaisia käyttökustannuksia, sillä siinä asiakaskohdainen palvelinympäristö (sisältää web- ja mobiilikäyttöliittymät) ostetaan tutkimuskäyttöön kertosuorituksella, joka on jo otettu huomioon hankintakustannuksia laskettaessa. Palvelinympäristö ei sisällä mahdollisia päivityksiä eikä uusien anturien ohjelmointia. Nämä veloitetaan tarvittaessa erikseen kulloinkin voimassa olevan hinnaston mukaisesti.

6.3 Itä-Suomen yliopisto

Vuonna 2009 Itä-Suomen yliopisto aloitti järjestelmän kehittämisen sisäilman laadun ja energiankulutuksen mittaamiseksi. Tämä järjestelmä on toiminut pohjana kehitysvaiheessa olevalle langattomalle seuranta- ja hallintajärjestelmälle. Aiemmin mainittujen käyttökohteiden lisäksi järjestelmää voidaan käyttää mm. kemiallisten päästöjen havaitsemiseen ilmassa, tunnistamiseen, lyhytaikaisiin mittauksiin rakennuksissa ja rakennusautomaatiojärjestelmien hallintaan. (Skön ym. 2, 6.)

6.3.1 Mittausjärjestelmän toiminta

Mittalaitteet koostuvat antureista ja ne kytkeytyvät langattomasti toisiinsa ja välittävät kerätyn mittausdatan tiedonkeruuyksikölle. Langattomaan tiedonsiirtoon käytetään ZigBee:n kehittämää teknologiaa. Tiedonkeruuyksikkö kytkeytyy Internetiin joko ethernet- tai 3G-yhteyden kautta ja loppukäyttäjällä on näin ollen mahdollisuus lukea tuloksia web-sovelluksen kautta. (Skön ym., 4.)

6.3.2 Langattomat anturit

Tarjolla olevat anturityypit ja niiden ominaisuudet on esitelty taulukossa 7. Näistä antureista voidaan koota mittalaitteita asiakkaan mittaustarpeiden mukaan. Anturit käyttävät hyväkseen 2,4GHz:n taajuuskaistaa, jolloin kantama vaihtelee 10-100m välillä tehosta ja rakenteista riippuen. (Itä-Suomen yliopisto tarjous 2012; Skön sähköposti 15.8.2012; ZigBee www-sivut 2012.)

Taulukko 7 Itä-Suomen yliopiston anturit

Anturi	Mittausalue	Tarkkuus	Malli	Sähkölähde
Lämpötila	0 – 50 °C	±0,25 °C	EE80	Verkkovirta
Kosteus	10 – 90 %RH	±2 %	EE80	Verkkovirta
	40 – 60 %RH	±3 %		
CO ₂	0 – 5000 ppm	±50 ppm + 3 %	EE80	Verkkovirta
CO	0 – 500 ppm	<1 ppm (20±5°C /50±20 %RH)	F2000TSM-CO- C101	Verkkovirta
TVOC	0 – 30 ppm	-	TSM-VOC-L100	Verkkovirta
Paine-ero	50 – 100 – 500 – 1250 Pa	±1 %	Dwyer MS-221	Verkkovirta
	25 – 250 Pa	±2 %		

6.3.3 Järjestelmän hankintakustannukset

Saimme mittaustarpeidemme perusteella seuraavanlaisen tarjouksen (ALV 0 %):

• MOSE-tiedonkeruuyksikkö (3G/Ethernet-versio)	990€
• 16 kpl langaton T- ja RH-anturi (lämpötila- ja kosteus)	4480€
Yhteensä	5470€

6.3.4 Järjestelmän vuosittaiset käyttökustannukset

Itä-Suomen yliopisto tarjosi tietojen toimittamista ja käyttöliittymän vapaata käyttöä osana heidän työtään HYGTECH-projektissa, joten tämän perusteella vuosittaisia käyttökustannuksia järjestelmän toimittajalle ei kerry.

6.4 Järjestelmien arviointi & valinta

Järjestelmän valinnassa käytettiin useita kriteereitä. Teknisistä ominaisuuksista keskeisiksi tekijöiksi nousivat mittalaitteiden täydellinen langattomuus, niiden kytkeytyminen toisiinsa mesh-topologiaa käyttäen, päätelaitteen/tiedonsiirtoyksikön toiminta ethernet-liitännän lisäksi myös 3G/GPRS-yhteydellä sekä mittalaitteiden räätälöiminen tilaajan tarpeiden mukaan.

Toiminnallisten ominaisuuksien osalta mittaustulosten etälukumahdollisuus, järjestelmän laajennettavuus mittaustarpeiden kasvaessa, tarjolla olevien mitta-anturien valikoima sekä ylläpidon helppous olivat haettuja ominaisuuksia. Taloudellisesta näkökohdasta katsottuna järjestelmän hankintakustannusten lisäksi kiinnitettiin huomiota järjestelmän vuosittaisiin käyttökustannuksiin.

Yritysten tarjoamat järjestelmät olivat tasavahvoja, kun tarkasteltiin mittaustulosten etälukumahdollisuutta, järjestelmän laajennettavuutta ja ylläpidon helppoutta. Tarjolla olevien mitta-anturien valikoimassa Wirepas Oy oli selkeästi vahvin kuudellatoista mitta-anturillaan, joista voidaan tarpeiden mukaan koota erilaisia mittalaittekokonaisuuksia. Si-Tecno Oy ja Itä-Suomen yliopisto tarjoavat tällä hetkellä kuutta mitta-anturia. Itä-Suomen yliopiston antureista on mahdollista koota tarpeiden mukaan erilaisia mittalaittekokonaisuuksia, kun taas Si-Tecno Oy tarjoaa vakioituja mittalaitteita muutamilla anturivaihtoehdoilla.

Teknisten ominaisuuksien osalta mitta-laitteiden täydellinen langattomuus nykyisillä mittaustarpeilla toteutui Wirepas Oy:n ja Si-Tecno Oy:n mittalaitteissa. Itä-Suomen yliopiston kaikki mitta-anturit toimivat verkkovirralla, joten heidän laitteissaan täydellinen langattomuus ei toteudu. Wirepas Oy:n ja Itä-Suomen yliopiston mittalaitteet muodostavat anturiverkoston mesh-topologiaa käyttäen ja täyttävät näin asetetut vaatimukset. Si-Tecno Oy:n mittalaitteet eivät muodosta anturiverkostoa, vaan jokainen kommunikoi itsenäisesti tiedonkeruuyksikön kanssa. Päätelaitteen/tiedonsiirtoyksikön osalta vaatimukset täytyivät kaikkien toimittajien kohdalla.

Hankintakustannusten osalta (kaikissa ALV 0 %) edullisin oli Si-Tecno Oy:n mittausjärjestelmä, jolle hintaa tulee 2056 euroa. Seuraavana oli Itä-Suomen yliopiston tarjous 5470 euroa ja viimeisenä Wirepas Oy 6243,88 euroa (ohjelmisto vuokrapalveluna) ja 8148,88 euroa (ohjelmisto ostettuna). Wirepas Oy:n tarjouksen korkeampi hinta selittyi osittain sillä, että mitta-laitteissa on yksi mitta-anturi enemmän (valovoimakkuus) ja lisäksi he veloittavat ohjelmistoympäristön avauksesta ja asennuksesta erikseen.

Käyttökustannusten osalta (kaikissa ALV 0 %) edullisimmaksi olisi tullut Itä-Suomen yliopiston tarjous, jossa olisimme saaneet ohjelmiston käyttöömme veloituksetta projektiyhteistyön merkeissä. Si-Tecno Oy:n vuosittaiset käyttökustannukset ovat 792 euroa ja Wirepas Oy:n ensimmäisen tarjouksen mukaan 1190 euroa. Toisessa tarjouksessa ohjelmisto hankitaan kertakustannuksella (2500€) käyttöömme, jolloin yritykselle maksettavia käyttökustannuksia ei synny.

Vuosittaiset käyttökustannukset ovat keskeisessä asemassa, kun mietitään tulevia mittaustarpeita. Jos mittauksia tehdään esimerkiksi viidestä kohteesta samanaikaisesti, nousevat Si-Tecno Oy:n käyttökustannukset 3960 euroon vuodessa nykyisen tarjouksen mukaan. On toki huomioitava, että mittaussalkun kuukausihinnointelu ei välttämättä ole kiinteä, jolloin useamman salkun käyttö laskisi jonkin verran kokonaiskustannuksia. Tästä huolimatta puhuttaisiin silti muutamasta tuhannesta eurosta. Wirepas Oy:n kohdalla ohjelmiston vuosimaksu on kiinteä (595€), mutta jokaisesta mittalaitteesta menee SaaS-pilvipalvelumaksu (35€), jonka määrä tarkistetaan isompien mittalaitemäärien kohdalla erikseen. Viidellekymmenelle mittalaitteelle vuosittaiset käyttökustannukset olisivat 1750 euroa, johon lisätään ohjelmiston vuosimaksu. Tällöin puhuttaisiin 2345 euron käyttökustannuksista.

Kaikista toimittajista Wirepas Oy oli ainoa, joka pystyi täyttämään kaikki järjestelmälle asetetut vaatimukset. Itä-Suomen yliopiston tarjoama järjestelmä oli ominaisuuksiltaan ja kustannuksiltaan pitkälti tasoissa Wirepas Oy:n järjestelmän kanssa. Heidän mittalaitteensa toimivat kuitenkin vain verkkovirralla, jolloin ongelmaksi muodostuu se, että kaikissa pilottikohteen mittauspisteissä ei ole verkkovirtaa saatavilla tai lähin pistorasia sijaitsee suhteellisen kaukana.

Si-Tecno Oy:n osalta kriittisiksi tekijöiksi nousi mitta-anturien suppeus sisäilmasto-olosuhteiden osalta, korkeat vuosittaiset käyttökustannukset mittaustarpeiden kasvaessa sekä se, että mittalaitteet eivät muodosta keskenään anturiverkosta.

Näiden tietojen perusteella teimme ratkaisun, jossa mittausjärjestelmän toimittajaksi valittiin Wirepas Oy. Heiltä valittiin tarjous, jossa ohjelmisto ostetaan käyttöömme kertakustannuksella. HYGTECH-projektin jälkeen mittausjärjestelmää saatetaan käyttää opetusvälineenä LVI-laboratorioissa, joka tarkoittaa sitä, että mittausjärjestelmä on tuolloin satunnaisessa käytössä. Ostamalla ohjelmiston käyttöömme emme joudu maksamaan käyttökustannuksia, kun mittausjärjestelmä ei ole käytössä. Lisäksi tällä varmistetaan se, että mittalaitteiden määrää voidaan tarpeen tullen kasvattaa ilman kohoavia käyttökustannuksia. Wirepas Oy:n kattava anturivalikoima takaa myös sen, että tulevat mittaustarpeet saadaan tällä järjestelmällä hyvin todennäköisesti täytettyä.

7 MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Mittausjärjestelmä toimitettiin tukevassa alumiinisessa salkussa. Se sisälsi mittalaitteet sekä niiden seinäkiinnikkeet ja paristot. Mittausdatan keräystä ja lähetystä varten oli gateway-laite, laitteen antenni sekä virtalähde. Näiden lisäksi salkusta löytyi laminoitu pikaohje järjestelmän asennukseen, kattavampi ohje Wirepas-mittausjärjestelmästä paperiversiona sekä muistitikku, jossa on edellä mainittujen ohjeiden lisäksi ohjelma gateway-laitteen yhteysosoitteen selvittämiseen ja ohjeet laitteen konfigurointiin.



Kuva 8 Wirepas-mittasalkku

7.1 Palvelinohjelmiston asennus

Wirepas Oy toimitti meille ohjeet tarvittavista toimenpiteistä, jotka palvelimelle pitää tehdä, että heidän suorittamansa etäasennus on mahdollista. Ohjelmisto toimii sekä Windows- että Linux- ympäristössä, joista meidän tapauksessa valittiin Linux-pohjainen palvelinympäristö. Laitteistovaatimuksille ei ole määritelty tarkkoja arvoja, mutta toimittajan mukaan 1,2GHz prosessoritehoa, 1,7Gb RAM muistia ja 5Gb levytilaa riittää ohjelmiston pyörittämiseen ja ylläpitoon. Järjestelmäasiantuntijamme loi projektia varten virtuaalipalvelimen, jolle ohjelmisto asennettiin. Varsinaisesta asennuksesta vastasi Wirepas Oy:n järjestelmäympäristöstä vastaava henkilö, joka tämän jälkeen toimitti tarkemmat tiedot asennuksesta järjestelmäasiantuntijallemme ohjelmiston ylläpitoa varten.

7.2 Mittausjärjestelmän testaus

Ennen varsinaista asennusta mittalaitteiden toimintaa testattiin lyhyellä kokeella Satakunnan ammattikorkeakoulun tekniikan ja merenkulun Porin yksikön tiloissa. Ensimmäisenä kytkettiin päälle gateway-laite ja liitettiin se oppilaitoksen verkkoon ethernet-kaapelilla ja todettiin laitteen toimivan oikein. Toiminnan voi todeta laitteen takana vilkkuvasta punaisesta valosta, joka vilkkuu, kun se muodostaa yhteyttä palvelimelle. Valon sammussa yhteys palvelimeen on muodostettu ja laite toimii oikein. Jos punainen valo jää vilkkumaan, niin yhteyttä palvelimeen ei ole. Tällöin tulee tarkistaa, että gateway-laitteen asetukset ovat oikein määritelty, palvelimelle on tarvittavat portit avattu liikennettä varten ja että palomuuuri ei estä tulevaa yhteyttä.

Mittalaitteet kytketään päälle asentamalla niihin paristot. Mittalaite vilkuttaa vihreää valoa neljästi, joka indikoi laitteen olevan päällä. Laitteen etupuolella oleva painonappi painetaan pohjaan noin seitsemän sekunnin ajaksi, jonka jälkeen laite siirtyy asennustilaan. Asennustilassa painonapissa sijaitsevat punainen ja vihreä valo palavat sen merkiksi, että laite mittaa kuuluvuutta. Vihreän valon palaessa kyseessä on erittäin hyvä asennuspaikka ja sen vilkkuessa hyvä asennuspaikka. Punaisen valon vilkkuminen indikoi välttävää asennuspaikkaa ja punaisen valon palaminen huonoa asennuspaikkaa.

Laitteita asennettaessa tulee huomioida, että vain sillä hetkellä asennettava laite on kytketty. Tämä sen vuoksi, että mittalaitteet mittaavat kuuluvuutta lähimpään kytkettyyn laitteeseen. Jos kaikki ovat päällä ja mukana asennuksessa, ne mittaavat kuuluvuutta toistensa välillä ja näin ollen mittausverkon kuuluvuudesta gateway-laitteelle asti ei ole varmuutta. Jos kaikki mittalaitteet halutaan kytkeä päälle kerralla, tulee ne jättää gateway-laitteen viereen ja noutaa sieltä yksitellen asennuksen edessä.

Mittalaitteet olivat Wirepas Oy:n puolesta konfiguroitu, kalibroitu ja testattu ennen niiden toimittamista. Ennen varsinaisia asennuksia päätimme kuitenkin suorittaa lyhyen testimittauksen, jolloin voisimme tutustua paremmin mittausjärjestelmän toimintaan.

Mittausjärjestelyissä laitteet asetettiin huonetilaan vierekkäin tasaiselle pinnalle samoihin olosuhteisiin, jotta voitaisiin todeta mittausdatan yhteneväisyys tai mahdolliset poikkeamat. Samalla saataisiin varmuus siitä, että jokainen mittalaite mittaa ja lähettää dataa. Mittalaitteiden asetuksia pääsee muuttamaan ohjelmiston kautta (Wirepas Control Panel). Sieltä voidaan valita esimerkiksi mittausväli ja se mitä antureita mittalaitteesta halutaan mittauksessa käyttää. Tässä tapauksessa mittausväli asetettiin 30 sekuntiin ja kaikki kolme anturia (lämpötila, kosteus ja valonvoimakkuus) olivat käytössä. Vuorokauden kestäneen testausosion jälkeen mittauksista voitiin havaita, että jokainen mittalaite toimii ja mittausdata välittyy palvelimelle sekä on luettavissa ohjelmasta.

7.3 Wirepas Control Panel & Wirepas Mobile

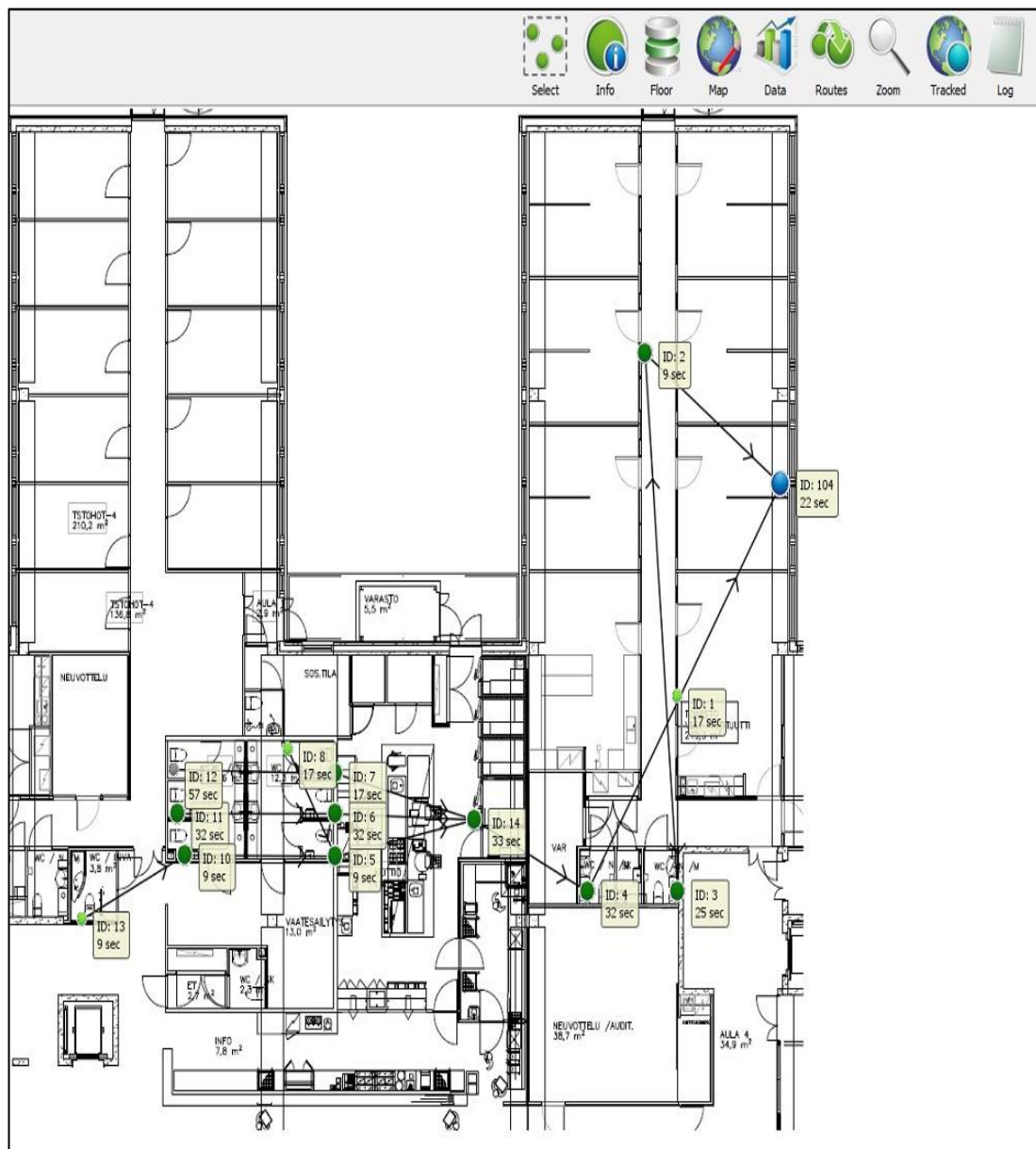
Wirepas Control Panel on ohjelmisto, jolla mittaustulosten tarkastelun lisäksi voidaan suorittaa koko joukko muita tehtäviä. Ohjelmistossa on mahdollista luoda kerroksia, jonka pohjaksi voidaan ladata esimerkiksi rakennuksen pohjakuva. Mittalaitteet on mahdollista määrittää toimimaan halutussa kerroksessa, jolloin kohdekohtainen tarkastelu on selkeää. Mittalaitteet tunnistetaan niiden id-numerosta, mutta tämän lisäksi ne voidaan myös nimetä käyttäjän haluamalla tavalla.

Wirepas Control Panelin kautta tapahtuu myös mittalaitteiden konfigurointi. Sieltä voidaan valita, mitkä mittalaitteen sensorit mittaavat ja millä aikavälillä. Diagnostiikkamittausten avulla voidaan selvittää mittalaitteiden kytkeytyminen naapureihinsa nähden, niiden vastaanottama ja välittämä mittausdata ja verkon reitittyminen. Tämä ominaisuus on hyödyllinen verkon vikatilanteiden valvonnassa ja ennaltaehkäisyssä.

Mittalaitteille voidaan asettaa myös hälytyksiä ja kytkeä tämä toiminto toimimaan tietyillä aikaväleillä. Mittalaitteesta valitaan seurattavat suureet (sensorit) ja määritellään niille halutut raja-arvot, jolloin ohjelmisto lähettää sähköpostina hälytyksen määritellyille tahoille, kun kyseiset arvot ylittyvät tai alittuvat. Tämä on erityisen hyödyllistä esimerkiksi tilojen valvonnassa.

Wirepas Control Panel tarjoaa tulosten tarkasteluun oman alustansa, jossa voidaan valita esitettävät suureet ja se miltä aikaväliltä tuloksia halutaan tarkastella. Näiden valintojen jälkeen ohjelma piirtää mittaustuloksista kuvaajan valitulle aikavälille. Tulokset on myös mahdollista tallentaa suoraan Exceliin, jolloin ne ovat käytettävissä raakadatamuodossa.

Wirepas Mobile soveltuu nimensä mukaisesti mittaustulosten tarkasteluun mobiililaitteilla, mutta se toimii myös web-selaimissa. Palveluun kirjaututaan samoilla tunnuksilla kuin Wirepas Control Paneliin. Kirjautumisen jälkeen näkyvissä ovat aktiiviset mittausverkot ja verkon valitsemisen jälkeen avautuu yleiskatsaus mittalaitteista. Klikkaamalla mittalaitetta pääsee tarkastelemaan sen tuloksia viimeisen vuorokauden ajalta.



Kuva 9 Wirepas Control Panel mittalaite-näkymä

7.4 Vesi-Instituutin mittalaitteiden asennus

Huoneilman lämpötilamittausten mukaisesti kaikki mittalaitteet asetettiin 1,1 metrin korkeuteen lattiasta. Mittausten pitkästä kestosta ja tilojen luonteesta johtuen mittalaitteita ei voitu kuitenkaan sijoittaa keskelle mitattavaa tilaa vaan ne pyrittiin sijoittamaan paikkaan, jossa ne eivät haittaa päivittäistä toimintaa, mutta antavat silti mahdollisimman luotettavan mittaustuloksen.

Ensimmäiseksi sijoitettiin gateway-laite Vesi-instituutin kokous-/taukotilaan ja lähdettiin rakentamaan mittauserkkoa. Käytävätilaan asennettiin kaksi mittalaitetta, joista toinen tuli sen alku- ja toinen loppupäähän. Wc-tiloihin, joista toiseen on asennettu HYGTECH-tuotteita ja joista toinen toimii tämän referenssinä, asennettiin myös mittalaitteet.

Mittalaitteiden asennus haluttiin tehdä rakenteita rikkomatta, joten ne kiinnitettiin vahvalla kaksipuoleisella teipillä rakenteen pintaan. Mittalaitteiden väliset etäisyydet toisistaan ja gateway-laitteesta olivat sen verran lyhyet, että ongelmaa kuuluvuuksien kanssa ei ilmennyt.



Kuva 10 Vesi-Instituutin käytävä



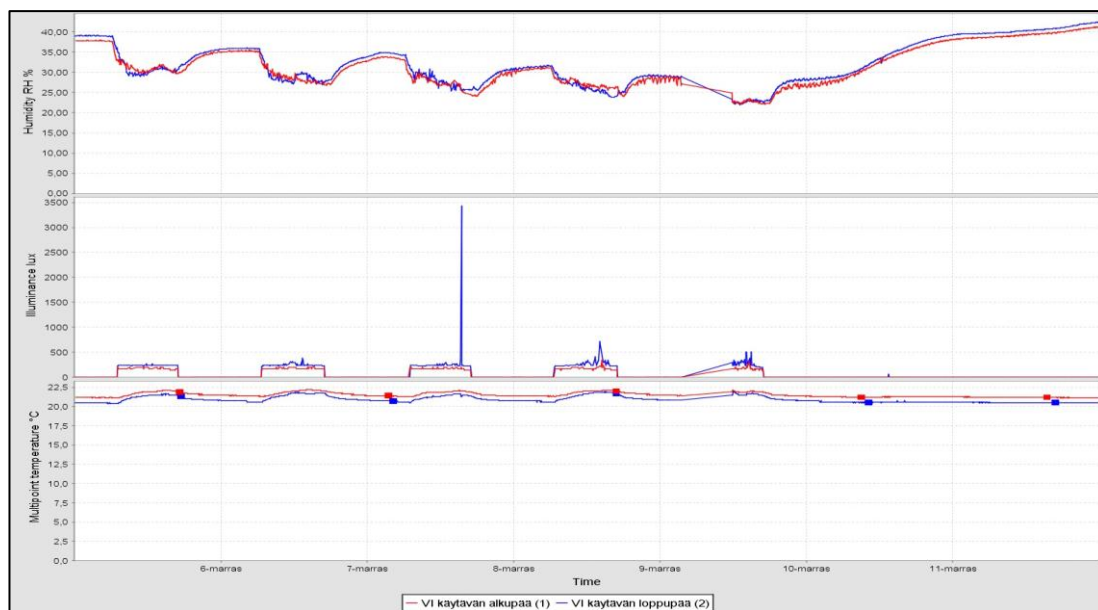
Kuva 11 Vesi-Instituutin wc-tila

7.4.1 Vesi-Instituutin tulokset

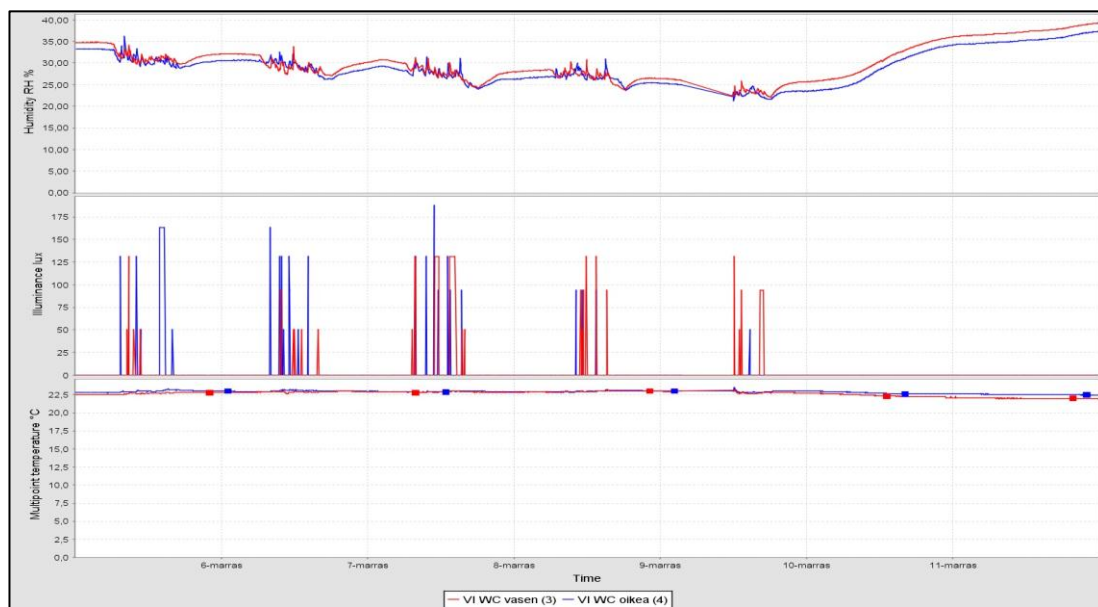
Mittaustuloksia ei ollut tarkoitus käydä läpi tässä työssä kovinkaan analyttisesti. Tulosten tarkastelulla oli tarkoitus varmistua mittausjärjestelmän toiminnasta.

Mittausdataa tarkasteltiin viikon ajalta (ma-su) ja mittausvälinä jokaisella sensorilla oli viisi minuuttia. Kuvassa 12 on esitetty käytävän alku- ja loppupään mittaustulokset ja Kuvassa 13 wc-tiloissa sijaitsevien mittalaitteiden tulokset. Ylin laatikko kuvassa ilmaisee suhteellista kosteutta (RH %), keskimäinen laatikko valon voimakkuutta (lux) ja alin laatikko lämpötilaa (°C).

Saadut mittaustulokset on esitetty seuraavalla sivulla graafisessa muodossa ja voidaan todeta, että ne ovat linjassa tilojen käytön kanssa ja tilojen tulokset ovat yhteneväisiä ja loogisia.



Kuva 12 Vesi-Instituutin käytävän mittaustulokset



Kuva 13 Vesi-Instituutin wc-tilojen mittaustulokset

7.5 Sytyttimen mittalaitteiden asennus

Vesi-Instituutin toimivan mittausympäristön jälkeen oli aika kasvattaa mittausverkon laajuutta Sytyttimen B-osan mittauskohteisiin. Mittalaitteita asennettiin näihin tiloihin yhteensä yhdeksän kappaletta. Näistä kahdeksan asennettiin naisten- ja miesten wc-tiloihin ja yksi kappale inva-wc:n tilaan. Asennus aloitettiin miesten wc-tiloista, jossa ensimmäisen mittalaitteen asennuksen yhteydessä testattiin kuuluvuutta olemassa olevaan mittausverkkoon. Mittalaitteen asennustyökalu vilkutti punaista valoa, joka tarkoittaa että kuuluvuus lähimpään laitteeseen on välttävä. Päätimme tästä huolimatta seurata järjestelmän toimintaa pidemmällä aikavälillä ja katsoa kuinka paljon heikompi kuuluvuus vaikuttaa datan siirtymiseen.



Kuva 14 Sytytin wc-koppi



Kuva 15 Sytytin wc:n käsienvesutila



Kuva 16 Sytytin inva-wc

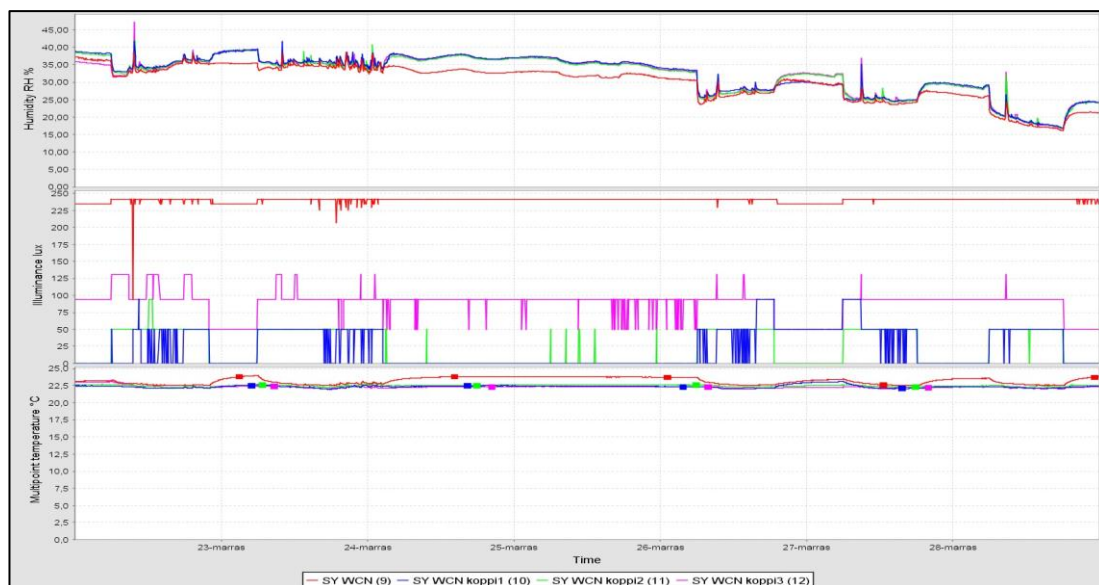
7.5.1 Sytyttimen tulokset

Pidempiaikainen mittaustulosten tarkastelu osoitti, että vaikka dataa liikkuukin näiden eri tilojen mittalaitteiden välillä, niin suurin osa mittausdatasta ei välity palvelimelle asti. Raakadatasta voitiin havaita datan siirtymisen olevan satunnaista ilman johdonmukaisuutta. Välillä dataa liikkui tasaisesti viiden minuutin välein, kuten on tarkoitus, ja välillä tuli taukoja jolloin dataa ei kertynyt ollenkaan.

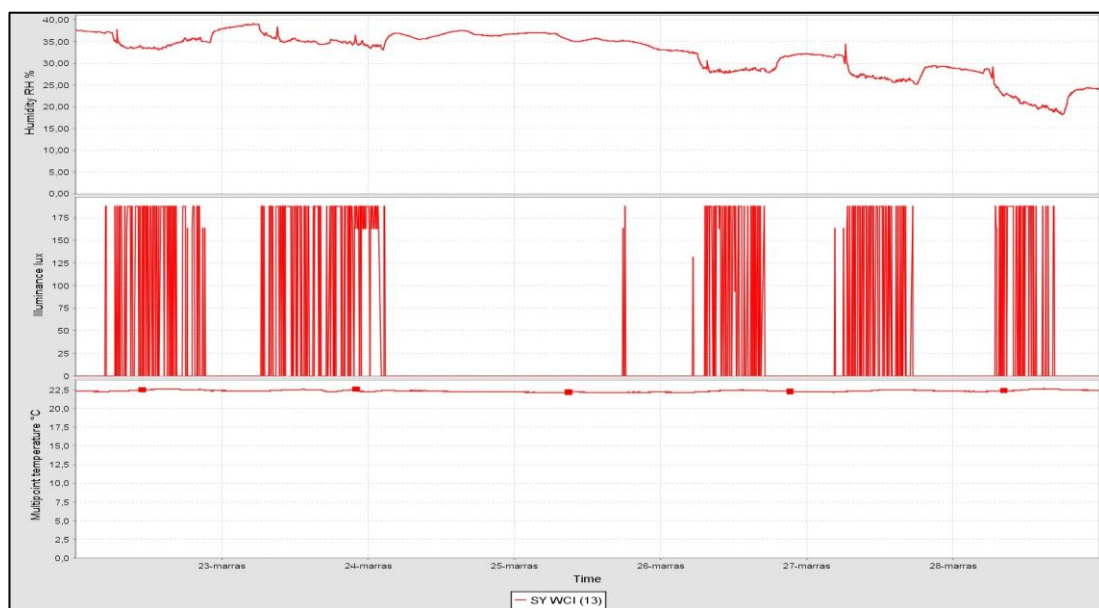
Graafisia kuvaajia tarkastelemalla käyttäjä ei välttämättä huomaa puuttuvaa dataa, sillä ohjelmisto piirtää kuvaajat olemassa olevien mittaustulosten välillä. Datan siirtyminen voidaan helposti varmistaa raakadataa tarkastelemalla. Saadut mittaustulokset olivat kuitenkin loogisia ja tilojen käytön mukaisia.



Kuva 17 Sytyttimen miesten wc-tilan mittaustulokset



Kuva 18 Syyttimen naisten wc-tilan mittaustulokset



Kuva 19 Syyttimen inva-wc:n mittaustulokset

7.6 Havaitut ongelmat

Testiosion aikana törmäsimme ongelmaan, jossa emme päässeet käsiksi Wirepas Control Paneliin. Mittaustietojen seuraaminen onnistui edelleen mobiilisovelluksen kautta, mutta tätä kautta asetusten muuttaminen ei ollut mahdollista. Asiaa selviteltiin sekä Wirepas Oy:n että järjestelmäasiantuntijamme kanssa useampaan otteeseen, mutta selkeää vikaa ohjelmiston toimimattomuudelle ei löydetty. Se alkoi kuitenkin toimia normaalisti muutaman päivän katkoksen jälkeen. Oppilaitoksessamme tehtiin samana ajankohtana päivityksiä atk-järjestelmäämme tietohallinnon puolesta, joten saattaa olla, että tällä on ollut vaikutusta myös palvelimen toimintaan, jolla ohjelmisto sijaitsee.

Toinen havaittu ongelma koski gateway-laitteen 3G-yhteyttä. Projektille tilattu DNA:n 3G-dataliittymä ei ollut vielä saapuneet, joten laitetta testattiin väliaikaisesti 3G:n osalta Saunalahden dataliittymällä. Gateway-laitteesta muutettiin ohjeiden mukaisesti 3G-asetukset vastaamaan Saunalahden dataliittymää ja tarkistettiin, että signaalin vahvuus on kunnossa ja laitteen tila on online. Näistä toimenpiteistä huolimatta mittausdataa ei saatu liikkumaan laitteelta palvelimelle. Heti, kun laite kytkettiin ethernet-kaapelilla verkkoon, alkoi muistikortille kertynyt mittausdata siirtyä palvelimelle.

Wirepas Oy:n mukaan heidän viimeisimpään eräänsä gateway-laitteita on valmistajan puolelta asennettu väärä 3G-komponentti, joka saattaa aiheuttaa ongelmia alueilla, joissa yhteys verkkoon on heikko. Meidän tapauksessamme verkkoyhteyden vahvuus oli hyvä, joten sen ei pitäisi aiheuttaa ongelmia.

Ongelman selvittelyä jatkettiin Wirepas Oy:n ja järjestelmäasiantuntijamme kanssa ja pyrittiin sulkemaan pois mahdollisia ongelman aiheuttajia. Gateway-laitteen asetukset käytiin kaikki kohta kohdalta kertaalleen läpi ja todettiin niiden olevan oikein. Järjestelmäasiantuntijamme kävi läpi palvelimen ja palomuurin asetukset läpi ja niiden puolesta mittausdatan siirtymisessä palvelimelle ei pitäisi olla estettä.

Teimme järjestelmänasiantuntijamme kanssa testin, jossa 3G-kortti liitettiin mokuulaan ja mokuula reitittimeen joka taas kytkettiin ethernet-kaapelilla gateway-laitteeseen. Tällä tavoin saimme todennettua sen, että dataa liikkuu 3G:n välityksellä palvelimelle ja että vika todennäköisesti piilee gateway-laitteen 3G komponentissa.

Ongelma ratkesi, kun Wirepas sai uuden erän gateway-laitteita ja saimme heiltä takuun piiriin uuden gateway-laitteen jonka 3G ominaisuus toimi moitteetta.

Itse mittausverkostoon liittyvä ongelma liittyi Vesi-Instituutin ja Sytyttimen yleisten tilojen mittalaitteiden datan välitykseen. Lyhyin etäisyys on mittalaitteiden 4 (Vesi-Instituutin oikean puolen wc) ja 5 (Sytyttimen miesten wc:n ensimmäinen koppi) välillä. Laitteet ovat luvatus kantaman sisällä, joten ongelmana on hyvin todennäköisesti näiden kahden tilan välissä sijaitseva ammattikeittiö. Keittiön useat teräksiset laitteet ja eristetyt kylmätilat aiheuttavat häiriöitä signaalin etenemiselle, joka taas aiheuttaa mittausdatan häviöitä kyseisten mittalaitteiden välillä.

Pyrimme ratkaisemaan ongelman pyytämällä keittiöpäälliköltä luvan asentaa yhden mittalaitteen heidän tilaansa välittämään mittausdataa. Tämä ratkaisu osoittautui onnistuneeksi, sillä mittalaitteen asennuksen jälkeen tiedonsiirto tilojen välillä palautui normaalitilaan.

8 LOPPUSANAT

Nykypäivänä ollaan yhä enemmän kiinnostuneita rakennusten sisäilmaolosuhteista, rakennusteknisten järjestelmien ja rakenteiden toimivuudesta sekä energiatehokkuudesta. Näiden tekijöiden seurantaan markkinoilla on jo useita laitteita ja ratkaisuja, joista suurin osa perustuu kuitenkin perinteisiin ratkaisuihin.

Langattomat mittausjärjestelmät tekevät vielä tuloaan Suomen markkinoille. Useimmat tarjolla olevat ratkaisut liittyvät tilojen perusolosuhteiden mittaamiseen, kiinteistöjen lämmitysjärjestelmien energiatehokkuuteen ja paikannustietojärjestelmiin.

Nämä järjestelmät koostuvat yleensä hyvin samankaltaisista komponenteista, mutta niiden käyttökustannukset ja hankintahinnat vaihtelevat suuresti. On ymmärrettävää, että yritykset hakevat itselleen lisäarvoa ohjelmistojen yms. kuukausimaksujen muodossa, mutta yhdessä laitteiden hankintahinnan kanssa kustannuksista muodostuu yleensä sen verran suuret, että pienemmissä kohteissa järjestelmän hankinta ei ole mielekäästä.

Projektin luonteesta johtuen omassa työssäni oli useita avoimia tekijöitä mittausjärjestelmän lopullisten suoritusvaatimusten osalta, joten lähtökohtaisesti mahdollisimman mukautuvan järjestelmän valinta oli tärkeää. Tarjolla olevien kaupallisten järjestelmien tarjonta ei ollut laaja, mutta uskon, että tästä huolimatta löysimme järjestelmän, joka täyttää projektin tarpeet nyt ja jatkossa.

Wirepas Oy:n mittausjärjestelmän asennus ja käyttöönotto oli yleisesti ottaen yksinkertaista, vaikka törmäsimmekin muutamiiin ongelmiin matkan varrella. Saimme ne kuitenkin ratkaistua yhdessä toimittajan kanssa. Kaiken kaikkiaan järjestelmä on helposti hallinnoitavissa ja käyttäjän ei tarvitse normaaliolosuhteissa kiinnittää huomiota sen toimintaan, joka on hyvä ominaisuus kun ajatellaan yleisiä markkinoita ja markkinaosuuksien mahdollista kasvua.

Omalta osaltani katsottuna tässä projektissa työskentely oli erittäin antoisaa ja seuraankin mielenkiinnolla millaiseen asemaan langattomat anturiverkot nousevat tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Adams, J.T. 2011. An Introduction to IEEE STD 802.15.4. Viitattu 16.7.2012.

http://www.sonoma.edu/users/f/farahman/sonoma/courses/cet543/resources/802_intro_01655947.pdf

Antimicrobial Copper www-sivut. Viitattu 28.9.2012. www.antimicrobialcopper.com

Asumisterveysopas. Ympäristö ja Terveys-lehti. 2009. Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen soveltamisopas. 3. korjattu painos. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.

Bluetooth www-sivut. Viitattu: 17.7.2012. www.bluetooth.com

Florida Center for Instructional Technology www-sivut. Viitattu: 23.7.2012. <http://fcit.usf.edu>

HART Communication Foundation www-sivut. Viitattu 20.7.2012. www.hartcomm.org

Itä-Suomen yliopisto tarjous. 14.8.2012. Pdf-dokumentti. Itä-Suomen yliopisto.

Kagan H. 2007. Implementing wireless networks in a manufacturing environment. Viitattu: 13.7.2012. www.automationmag.com

Kiinteistöjen hygieniakonsepti "HYGTECH". 2012. Projektisuunnitelma. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Kiinteistöjen hygieniakonsepti "HYGTECH". 2012. Projektisuunnitelma 1. jakso 2/2012-3/2012. Satakunnan ammattikorkeakoulu.

Kuorilehto, M., Kohvakka, M., Suhonen, J., Hämäläinen, P., Hännikäinen, M. & Hämäläinen, T.D. 2007. Ultra-Low Energy Wireless Sensor Networks in Practice. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.

Lewis, F.L. 2004. Wireless Sensor Networks. Viitattu 23.7.2012.

<http://arri.uta.edu/acs/networks/WirelessSensorNetChap04.pdf>

Lumio J. 2010. Sairaalainfektiot ja sairaalabakteerit. Viitattu 28.9.2012.

www.terveyskirjasto.fi

Rauman kaupungin www-sivut. Viitattu 9.7.2012. www.rauma.fi

SFS 5511. Ilmastointi. Rakennusten sisäilmasto. Lämpöolojen kenttämittaukset. 1993. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki: SFS. Viitattu 25.6.2012.

www.sfs.fi

SFS 5512. Ilmastointi. Ilmavirtojen ja painesuhteiden mittaus ilmastointilaitoksissa. 1989. Suomen Standardisoimisliitto SFS. Helsinki SFS. Viitattu 25.6.2012.

www.sfs.fi

SiMAP tarjous. 20.6.2012. Pdf-dokumentti. Si-Tecno Oy.

SiMAP www-sivut. Viitattu: 26.6.2012. www.simap.fi

Sisäilmayhdistys ry. 2008. Sisäilmastoluokitus 2008: Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rauma: Painorauma Oy

Sisäilmayhdistyksen www-sivut. Viitattu 28.6 & 20.8.2012. www.sisailmayhdistys.fi

Skön, J-P., Johansson, M., Kauhanen, O., Raatikainen, M., Leiviskä, K. & Kolehmainen, M. Wireless Building Monitoring and Control System.

Skön, J-P. RE: Langaton monitorointijärjestelmä. Vastaanottaja: mar-ko.kukka@student.samk.fi. Lähetetty 15.8.2012 klo 13:54. Viitattu 16.8.2012.

Suomen RakMK D2. 2011. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.

Tampereen teknillisen yliopiston www-sivut. Viitattu 10.7.2012. www.tut.fi

Wagner, R.S. 2010 Standards-Based Wireless Sensor Networking Protocols for Spaceflight Applications. Viitattu: 19.7.2012.

http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100001311_2010000452.pdf

Wirepas anturit. Pdf-dokumentti. Wirepas Oy.

Wirepas Mittaussalkku. 2011. Pdf-dokumentti. Wirepas Oy.

Wirepas Oy Älykästä läsnäoloa. 2011. Pdf-dokumentti. Wirepas Oy.

Wirepas tarjous. 10.7.2012. Pdf-dokumentti. Wirepas Oy.

Wirepas tarjous. 18.7.2012. Pdf-dokumentti. Wirepas Oy.

Wirepas www-sivut. Viitattu 28.6.2012. www.wirepas.com

ZigBee www-sivut. Viitattu 28.8.2012. www.zigbee.org