

Simo Alaranta

# Edullisen hintaluokan meteorologinen sääasema

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Elektroniikka

Insinöörityö

12.5.2013

|   |   |
|---|---|
| Tekijä<br>Otsikko   | Simo Alaranta<br>Edullisen hintaluokan meteorologinen sääasema                    |
| Sivumäärä<br>Aika   | 62 sivua<br>12.5.2013   |
| Tutkinto  | insinööri (AMK)   |
| Koulutusohjelma   | elektroniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto  |   |
| Ohjaajat  | elektroniikan lehtori Timo Kasurinen<br>tutkimus- ja kehityspäällikkö Aki Huovila |
| <p>Tässä insinööriyössä suunniteltiin kaksi toteutusvaihtoehtoa edullisen hintaluokan meteorologiselle sääasemalle. Työ tehtiin Vaisalan tuotekehityksen <i>Weather Stations</i>-tuotealueelle. Työssä tutkittiin millä keinoilla uuden sukupolven systeemikomponentteihin pohjautuvan sääaseman kustannuksia saadaan laskettua merkittävästi.</p> <p>Työssä suunniteltiin useita eri rakennevaihtoehtoja järjestelmälle sekä useita eri tapoja muokata systeemikomponentteja. Rakenne- ja systeemikomponenttivaihtoehtoista valittiin kaksi sopivinta kokonaisuutta, joista tehtiin prototyypit. Sääaseman ominaisuudet määräytyivät sille asetettujen vaatimusten mukaan. Järjestelmän suunnittelussa huomioitiin erityisesti kustannukset, asiakkaiden tarpeet, tuotannollisuus sekä huollettavuus.</p> <p>Suunnitelluista järjestelmätoteutuksista edullisimman arvioitu myyntihinta on vaatimuksissa asetetun tavoitteen mukainen. Molemmat järjestelmien toteutusideat arvioitiin useiden Vaisalan työntekijöiden kesken, ja edullisempaa järjestelmätoteutusta pidettiin parempana vaihtoehtona.</p> <p>Suunnitellut sääasemat otetaan mukaan etenemissuunnitelmakeskusteluihin, joissa päätetään tulevaisuudessa kehitettävät tuotteet. Edullisempaa järjestelmätoteutusta voidaan pitää hyvänä pohjana, jos edullinen sääasema päätetään kehittää tuotteeksi asti.</p> |   |
| Avainsanat  | sääasema, AWS   |

|  |   |
|--|---|
| Author<br>Title  | Simo Alaranta<br>Mid Price Weather Station for Meteorological Application |
| Number of Pages<br>Date  | 62 pages<br>12 May 2013   |
| Degree   | Bachelor of Engineering   |
| Degree Programme   | Electronics   |
| Specialisation option  |   |
| Instructors  | Timo Kasurinen, Senior Lecturer<br>Aki Huovila, R&D Manager               |
| <p>This thesis was made for Vaisala product development's Weather Station -product area. The aim of this thesis was to design two concepts of a weather station with remarkably lower costs than in present weather stations. Different solutions were researched for reducing costs of a weather station based on next generation system components.</p> <p>In this project, several different structure and system component integration choices were designed. From the designed structures and system components, two most suitable choices were chosen and implemented to prototypes. Features of the designed weather station were defined in requirements. In designing of the Mid Price Weather Station, especially costs, customer needs, serviceability and producibility were taken into account.</p> <p>Approximated sales price of the most economically designed weather station concept achieved the price level defined in the requirements. Both designed weather station concepts were evaluated with several employees of Vaisala. The concept with lower costs was found to be better. The designed concepts will be taken into roadmap discussions where new products to be developed will be chosen.</p> |   |
| Keywords   | Weather Station, AWS  |

## Sisällys

Tiivistelmä  
Abstract  
Sisällys  
Lyhenteet

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>Johdanto</b>   | 1  |
| <b>2</b> | <b>Edullisen AWS:n suunnittelun lähtökohdat</b>         | 1  |
| <b>3</b> | <b>Edullisen AWS:n yleiset vaatimukset</b>              | 3  |
| <b>4</b> | <b>Sääasemien rakenne</b>                               | 5  |
| 4.1      | Yleistä sääasemien rakenteesta                          | 5  |
| 4.2      | Sääaseman tiedonkerääjä                                 | 6  |
| 4.3      | AWS:n tehonsyötön hallinta                              | 7  |
| 4.4      | AWS:n anturit   | 7  |
| 4.4.1    | Vaisala BAROCAP® -teknologia                            | 8  |
| 4.4.2    | Vaisala HUMICAP® -teknologia                            | 9  |
| 4.4.3    | Vaisala WINDCAP® -teknologia                            | 10 |
| 4.5      | Sääasemien kustannusrakenne                             | 10 |
| <b>5</b> | <b>Edullisen AWS:n toiminnallisuudet</b>                | 14 |
| 5.1      | Edullisen AWS:n keskusyksikön toiminnallisuudet         | 14 |
| 5.2      | Suunniteltavaan AWS:ään valitut anturit                 | 15 |
| 5.3      | Suunniteltavan AWS:n tehonkulutus                       | 17 |
| 5.3.1    | Suunniteltavan AWS:n antureiden tehonkulutus            | 17 |
| 5.3.2    | Suunniteltavan AWS:n telemetriamoduulien tehonkulutus   | 19 |
| 5.3.3    | AWS:n CPU-yksikön ja tehonhallinnan tehonkulutus        | 19 |
| 5.3.4    | Suunniteltavan AWS:n teholähteen mitoitus               | 21 |
| 5.3.5    | Suunniteltavan AWS:n akunvarainen toiminta-aika         | 22 |
| <b>6</b> | <b>Edullisen AWS:n rakennevaihtoehtojen suunnittelu</b> | 24 |
| 6.1      | Yleistä edullisen AWS:n rakennevaihtoehtoista           | 24 |



|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 6.2       | Ensimmäinen AWS:n rakennevaihtoehto                            | 24        |
| 6.3       | Toinen AWS:n rakennevaihtoehto                                 | 25        |
| 6.4       | Kolmas AWS:n rakennevaihtoehto                                 | 26        |
| 6.5       | Neljäs AWS:n rakennevaihtoehto                                 | 26        |
| <b>7</b>  | <b>DPMU-yksikön vaihtoehtojen suunnittelu</b>                  | <b>27</b> |
| 7.1       | Yleistä edullisen AWS:n DPMU-yksiköstä                         | 27        |
| 7.2       | Ensimmäinen DPMU-yksikön vaihtoehto                            | 28        |
| 7.3       | Toinen DPMU-yksikön vaihtoehto                                 | 29        |
| 7.4       | Kolmas DPMU-yksikön vaihtoehto                                 | 30        |
| <b>8</b>  | <b>Edullisen AWS:n teholähteen valinta</b>                     | <b>32</b> |
| <b>9</b>  | <b>Suunniteltavan AWS:n telemetriamoduulivaihtoehdot</b>       | <b>34</b> |
| 9.1       | Yleistä suunniteltavan AWS:n telemetriamoduuleista             | 34        |
| 9.1.1     | Yleistä 3G- ja GPRS -teknologioista                            | 35        |
| 9.1.2     | Yleistä Ethernetistä   | 35        |
| 9.1.3     | Yleistä GOES:sta   | 36        |
| 9.1.4     | Yleistä RS485-sarjaliikenneväylästä                            | 36        |
| 9.2       | Suunniteltavan AWS:n GPRS- ja 3G-moduulivaihtoehdot            | 37        |
| 9.3       | Suunniteltavassa AWS:ssä käytettävä GOES-moduuli               | 38        |
| <b>10</b> | <b>Prototyypeiksi toteutettavien AWS-vaihtoehtojen valinta</b> | <b>38</b> |
| <b>11</b> | <b>Ensimmäisen AWS-prototyypin suunnittelu</b>                 | <b>40</b> |
| 11.1      | Yleistä AWS-prototyypin suunnittelusta                         | 40        |
| 11.2      | DPMU-prototyypin suunnittelu                                   | 40        |
| 11.3      | Ensimmäisen prototyypin kotelon suunnittelu                    | 44        |
| <b>12</b> | <b>Toisen AWS-prototyypin suunnittelu</b>                      | <b>47</b> |
| 12.1      | DPMU-prototyypin suunnittelu                                   | 47        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 12.2      | Toisen AWS-prototyypin kotelon suunnittelu                   | 50        |
| <b>13</b> | <b>Akkuyksikön prototyypin suunnittelu</b>                   | <b>51</b> |
| <b>14</b> | <b>Edullisen AWS:n prototyyppien yhteenveto ja arviointi</b> | <b>52</b> |
| 14.1      | Ensimmäisen AWS-prototyypin yhteenveto ja arviointi          | 52        |
| 14.2      | Toisen AWS-prototyypin yhteenveto ja arviointi               | 56        |
| <b>15</b> | <b>Yhteenveto</b>  | <b>58</b> |
|           | <b>Lähteet</b>   | <b>60</b> |

## Lyhenteet

|                |   |
|----------------|---|
| AWS            | <i>Automatic Weather Station.</i> Automaattinen sääasema.   |
| PIC            | <i>Product Inventory Cost.</i> Tuotteen kustannus Vaisalalle.   |
| SDI-12         | <i>Serial Data Interface at 1 200 Baud.</i> Sarjaliikenneväylä, jonka nopeus on 1 200 baudia.         |
| DMU            | <i>Data Management Unit.</i> Sääaseman tiedonhallintayksikkö.   |
| PMU            | <i>Power Management Unit.</i> Sääaseman tehonhallintayksikkö.   |
| TOF            | <i>Time of Flight.</i> Ultraääniäallon siirtymisen kesto muuntimesta toiseen WINDCAP-anturissa.       |
| MT             | Myyntitilaus. Lista, joka sisältää tilaukseen kuuluvat materiaalit.                                   |
| DPMU           | <i>Data and Power Management Unit.</i> Sääaseman tiedon- ja tehonhallintayksikkö.                     |
| Interface Card | Moduuli, joka sisältää kaksi anturirajapintaa sekä niiden suojaukset.                                 |
| SIU            | <i>Sensor Interface Unit.</i> Yksikkö, johon <i>interface Cardit</i> liitetään.                       |
| GPRS           | <i>General Packet Radio Service.</i> GSM-verkossa käytettävä pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu. |
| 3G             | <i>Third Generation.</i> Kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia.                                 |
| EDGE           | <i>Enhanced Data rates for GSM Evolution.</i> Yksi 3G-teknologioista.                                 |
| FOMA           | <i>Freedom of Mobile Multimedia Access.</i> Ensimmäinen kaupallinen 3G-standardi.                     |

- CDMA/CD *Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection*. Tietoliikenteen siirtotien kilpavarausjärjestelmä.
- MAC-osoite *Media Access Control*. Ethernet-verkossa olevan laitteen yksilöllinen tunnistus.
- GOES *Geostationary Operational Environmental Satellites*. Amerikassa käytetty sääsatelliittijärjestelmä.
- ABS Akrylinitriilibutadieenistyreeni. Koteloissa usein käytettävä edullinen muovilaatu.

## 1 Johdanto

Erilaisia meteorologian sovelluksia on käytetty jo vuosikymmeniä tarkkaan säähavainnointiin. Ilmatieteenlaitokset sekä säästä riippuvaiset toimialat tarvitsevat jatkuvasti reaaliaikaista tietoa eri sääilmiöistä. Vaisala on tarjonnut pitkään erilaisia mittausratkaisuja näille toimijoille. Vaisala on maailman johtava ympäristön sekä teollisuuden mittauksiin mittausratkaisuja tarjoava yritys. Asemasta huolimatta kilpailu markkinoilla on kovaa ja tarjottavien järjestelmien tulisi olla entistä laadukkaampia ja edullisempia.

Vaisalan tuotekehityksen *Weather Stations* -tuotealueelle tehdyssä insinööriyössä tutkitaan erilaisia ratkaisuja, joilla pystyttäisiin tekemään selvästi nykyisiä meteorologian sovelluksiin tarkoitettuja sääasemia edullisempi järjestelmä. Työssä keskitytään erityisesti siihen, miten järjestelmän rakennetta sekä komponentteja pystyttäisiin muuttamaan, jotta järjestelmästä tulisi mahdollisimman yksinkertainen ja edullinen kokonaisuus.

Työn tavoitteena on luoda toteutusidea merkittävästi edullisemmasta sääasemasta kuin mitä nykyään Vaisalasta on saatavilla. Suunniteltavista toteutusideoista valitaan kaksi sopivinta, joista tehdään prototyypit. Sääaseman suunnittelu sisältää antureiden valinnan sekä keskusyksikön suunnittelun systeemikomponentteineen.

## 2 Edullisen AWS:n suunnittelun lähtökohdat

Vaisala on tarjonnut erilaisia meteorologian sovelluksia jo vuosikymmeniä, joissa erilaiset AWS:t (Automatic Weather Station) ovat usein olennainen osa sovellusta. Nykyään meteorologian sovelluksiin on tarjolla kiinteästi asennettavat HydroMET™ MAWS100' MAWS110' MAWS301 -sääasemat sekä siirrettävä MAWS201-sääasema. Näiden lisäksi myynnissä on valmiiksi konfiguroitu AWS330 sekä meriympäristöön tarkoitettut MAWS410 ja MAWS430. AWS330 nähdään kuvassa 1 (ks. seur. s.). [1.]



Kuva 1. Vaisalan sääasema AWS330 [1]

MAWS:t ovat räätälöitäviä laitteita, joihin asiakas voi valita haluamansa ominaisuudet tietyissä rajoissa. Laitteiden muunneltavuus on tärkeää asiakkaiden erilaisten tarpeiden vuoksi. Koska laitteissa on käytännössä aina eroavaisuuksia, niiden kokoonpano vie enemmän aikaa kuin täysin standardien tuotteiden. Järjestelmien joustavuus aiheuttaa sen, että myös yksinkertaisten muutaman anturin järjestelmien tuotanto on hidasta. Osittain tämän takia muutaman anturin järjestelmät eivät ole kovin kilpailukykyisiä hinnassa.

Vaisalalla on tarve selvästi näitä järjestelmiä edullisemmalle sääasemalle, joka on tarkoitettu yksinkertaisempien järjestelmien markkinoille. Vaisalan kilpailijoita ovat sekä pienet paikalliset, että monikansalliset toimijat. Euroopassa merkittäviä kilpailijoita ovat esimerkiksi saksalainen Seba Hydrometrie ja itävaltalainen ADCON. Pohjois-, Etelä- ja Väli-Amerikassa Vaisalan suurin kilpailija on yhdysvaltalainen SUTRON. [2.]

Tässä työssä tutkitaan ratkaisuja, joilla saataisiin tehtyä selvästi nykyisiä sääasemia edullisempi sääasema. Laitteen myyntihinnan tulisi olla n. kolmasosa nykyisten laitteiden hinnasta. Suunniteltava AWS pohjautuu seuraavan sukupolven systeemikomponentteihin.

AWS:n hinnan laskemisessa otetaan huomioon kaikkien järjestelmään tulevien osien PIC:t (Product Inventory Cost) sekä kokoonpanosta koituvat kustannukset. PIC on Vaisalan määrittelemä tehdashinta kullekin komponentille. Myyntihinta saadaan, kun PIC:in lisätään Vaisalan määrittelemä kate. AWS:ien tuotannosta ja toimituksesta syntyy myös jonkin verran välillisiä kustannuksia, joita ei oteta tässä työssä huomioon AWS:n hintaa laskiessa.

### 3 Edullisen AWS:n yleiset vaatimukset

Sääaseman tavoitteena on olla myyntihinnaltaan edullinen sekä vastata ominaisuuksiltaan asiakkaiden tarpeita. Vaatimukset ja muut huomioitavat asiat on tehty tavoitteiden pohjalta. Vaatimukset ovat seuraavat:

- Sääaseman pitää olla saatavissa globaaleilla markkinoilla.
- Myyntihinnan tulee olla n. kolmasosa MAWS:ien hinnasta.
- Sääasemalla pitää pystyä mittaamaan kuutta parametria.
- Järjestelmällä pitää pystyä tekemään mittaukset tarkkuuksilla, jotka ovat
  - ilmanpaine, BARO-1 Class A -tarkkuus
  - ilmanlämpötila, HMP155 -tarkkuus
  - ilmankosteus, HMP155 -tarkkuus
  - tuulen nopeus, mittausalue 0 - 65 m/s, -tarkkuus 0.3 m/s
  - tuulen suunta, -tarkkuus 3 °
  - sademäärä, -tarkkuus 5 %, voimakkuus 0 - 200 mm/h
  - auringon säteily, mittausalue 400 - 1100 nm
  - maan lämpötila, PT-100 -tarkkuus
  - pinnankorkeustutka, QHR104-3 -tarkkuus
- Järjestelmässä pitää pystyä käyttämään WXT520-anturia.
- Järjestelmän tehonsyötön vaihtoehtoina pitää olla
  - aurinkopaneeli ja akku
  - sähköverkko ja akku, 110 V/230 V
  - ulkoinen tasajännitelähde, 12 V/24 V
  - akunvarainen toiminta-aika yhden viikon

- Sääasemassa pitää olla yksi telemetria käytettävissä kerrallaan, ja telemetriavaihtoehdot ovat
  - GPRS-telemetria
  - 3G-telemetria
  - RS-485-telemetria
  - Ethernet-telemetria
  - GOES-telemetria
- Sääaseman pitää täyttää ympäristövaatimukset, jotka ovat
  - lämpötila-alue -20 - +60 °C
  - IP 66 -luokitus
  - UV-säteilyn sieto
- Järjestelmän käyttäjärajapinnassa pitää olla
  - huoltoliitin
  - ohjelmisto
  - asetusten käyttöliittymä
- Järjestelmän toimitusajan pitää olla
  - 4 viikkoa.

Muita huomioitavia asioita ovat

- Järjestelmän EMC-ominaisuuksissa pitää huomioida ulkoiset häiriöt.
- Järjestelmän konfiguroinnista pitää huomioida
  - laskennat ja raportit
  - anturirajapinnan ohjelmisto
- Järjestelmän ylläpitokuluista pitää huomioida
  - edullisin vaihdettava osa
  - keskimääräinen aika laitteen vikaantumiseen
  - varaosahinnat
  - huoltokäyntien lukumäärä
  - etäyhteydet. [3.]



## 4 Sääasemien rakenne

### 4.1 Yleistä sääasemien rakenteesta

Vaisalan nykyiset sääasemat koostuvat yleensä mastosta, antureista, keskusyksiköstä sekä erilaisista akku- ja aurinkopaneelijärjestelmistä. Sääasemia on sekä kiinteästi asennettavia että siirrettäviä. Kiinteästi asennettavat asemat ovat tyypillisesti sellaisia, että ne asennetaan kerran mittauspaikalle, ja ovat siellä koko elinkaarensa ajan, joka voi olla jopa yli kymmenen vuotta. Asemat ovat täysin automaattisia eikä niille yleensä tarvitse tehdä mitään huoltotoimenpiteiden lisäksi. Laitteistojen suurin uhka on lähelle iskevät salamet, joista indusoituu usein suuria virtoja antureiden kaapeleihin. Kaapeleihin indusoitunut virta kulkee keskusyksikköön asti, jolloin sen sisältämät systeemikomponentit ovat vaarassa vaurioitua.

Liikutettavat asemat ovat usein kolmijalkaisia keveärakenteisia järjestelmiä, jotta siirtäminen olisi helppoa (kuva 2).



Kuva 2. Vaisalan MAWS201 väliaikaisella mittauspaikalla [1]

Tällaisia asemia käytetään tyypillisesti väliaikaisilla mittauspaikoilla. Tässä työssä suunniteltava sääasema on kiinteästi asennettava järjestelmä, johon kuuluu anturit, akku, aurinkopaneeli sekä keskusyksikkö systeemikomponentteineen. Masto kuuluu myös asemaan, mutta sen valintaan ei keskitytä tässä työssä.

AWS-järjestelmien systeemikomponentteihin kuuluu mm. tiedonkeräin, akkulaturi ja teholähde suojauksineen. Systeemikomponentit ovat pääasiassa keskusyksikön sisällä. Keskusyksikön sisälle tulee tilauksesta riippuen muita komponentteja, kuten telemetriamoduuli, paineanturi tai erilaisia datalinjojen suojauskomponentteja. Seuraavassa kuvassa 3 nähdään MAWS301:n keskusyksikkö (ks. seur. s.): [1.]



Kuva 3. MAWS301:n keskusyksikkö [1]

Tässä työssä suunniteltavaan sääasemaan tulevat systeemikomponentit pohjautuvat uuden sukupolven komponentteihin, jotka eivät ole vielä käytössä. Nykyiset AWS:t käyttävät QML201C-tiedonkeräintä. Uuden sukupolven laitteissa QML201C korvataan DMU703:lla (Data Management Unit). Uusien järjestelmien tehonhallinnassa käytetään tulevaisuudessa PMU701:tä (Power Management Unit).

#### 4.2 Sääaseman tiedonkerääjä

Tiedonkerääjä on sääaseman CPU-yksikkö, joka kerää antureilta tulevan datan, tallentaa sen ja telemetria moduulin välityksellä lähettää sen eteenpäin. Anturit kommunikoivat tiedonkerääjän kanssa tyypillisesti analogisilla kanavilla tai erilaisilla sarjaliikenneväylillä, kuten RS232:lla ja RS485:llä. Erillisillä moduuleilla saadaan käytettyä myös muita väyliä, kuten Ethernetiä.

Esimerkiksi nykyisten AWS:ien käyttämässä QML201C-tiedonkerääjässä on 10 analogista kanavaa, joista 8 on toteutettu 16-bittisillä A/D-muuntimilla ja kaksi 12-bittisillä A/D-muuntimilla. Niiden lisäksi siinä on standardisti yksi SDI-12 (Serial Data Interface at 1200 Baud) -rajapinta sekä *Multi-protocol*-sarjaliikennöintikanava, jossa on ohjelmallisesti valittavissa joko RS232 tai RS485. SDI-12 on sarjaliikenneprotokolla, joka on kehitetty erityisesti ympäristöä mittaavia antureita varten [5]. QML201C:ssä on myös kaksi paikkaa erillisille kommunikaatiomoduuleille, joilla sen sarjaliikenneporttien määrä saadaan kasvatettua kuuteen. [4.]

Uuden sukupolven sääasemissa tullaan käyttämään DMU703-yksikköä, johon tässä työssä suunniteltavan aseman CPU-yksikkö tulee myös pohjautumaan.

Työssä suunniteltavan laitteen CPU-yksikköön haluttavat ominaisuudet perustuvat tarvittaviin anturirajapintoihin sekä telemetrioihin (ks. 3). CPU-yksikkö pohjautuu DMU703:een, mutta siitä on karsittu ylimääräiset ominaisuudet pois.

#### 4.3 AWS:n tehonsyötön hallinta

Sääasemiin otetaan käyttövirta joko suoraan sähköverkosta, aurinkopaneeleista, akusta tai ulkoisesta tasajännitelähteestä. Myös kaikkien näiden yhdistelmiä voidaan käyttää. Järjestelmissä käytetään usein varalla akkua, jolloin laite ei sammu, vaikka sähköverkon sähkönsyöttö katkeisi yllättäen. Verkkosähköä käytettäessä AWS:n sisään tulee AC/DC-hakkuriteholähde, joka muuntaa vaihtosähkön tasasähköksi, jolla systeemi-komponentit toimivat. MAWS:eissa on tyypillisesti 60 W:n hakkuriteholähde, mutta lämmitettävien anturien kanssa tarvitaan usein enemmän tehoa. MAWS:eihin voidaan laittaa maksimissaan kolme teholähdettä, jolloin tehokapasiteettia saadaan kasvatettua maksimissaan 180 W:in. [1.]

Järjestelmissä käytetään QBR101C-akkulaturia, joka on suunniteltu siten, että siihen saadaan liitettyä kaksi aurinkopaneelia sekä tasajännitelähde. Laturi toimii automaattisesti, eikä järjestelmä sammu, vaikka verkkovirta katkeaisi yllättäen.

Uuden sukupolven sääasemiin on tulossa uusi tehonhallintayksikkö PMU701. Siinä on QBR101C:n toiminnallisuudet, sähkönsyötön ohjaukset sekä CPU-yksikön datalinjojen suojaukset integroitu yhteen. Suojaukset ovat toteutettu erillisillä korteilla, jotka valitaan tarpeen mukaan.

#### 4.4 AWS:n anturit

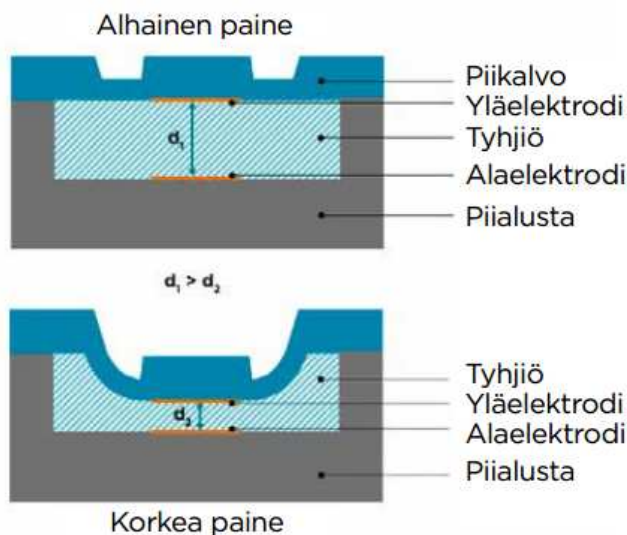
Sääasemissa anturit ovat olennainen osa järjestelmää, sillä ne tekevät mittaukset. Sääasemien anturikokoonpanot määräytyvät aina tilauskohtaisesti. Eri tuotteilla on eri anturikokoonpanojen variointimahdollisuudet. Eri sovelluksissa käytettävien järjestelmien anturikokoonpanot vaihtelevat toisistaan huomattavasti, mutta yleisimpiä mitattavia ilmiöitä ovat tuulen nopeus ja suunta, ilmanlämpötila, ilmankosteus, ilmanpaine sekä sademäärä.

Meteorologisissa sovelluksissa käytetään pääosin ilman tutkimiseen käytettäviä antureita, kun taas esimerkiksi hydrologisissa sääasemissa käytetään pääosin veden tutkimiseen liittyviä antureita.

Vaisalan sääasemissa käytetään pääasiassa Vaisalan omia antureita, mutta tarpeen mukaan käytetään myös kolmannen osapuolen antureita. Vaisalalla on useita patentoituja anturitekniologioita. Tämän työn sääasemaan tulevista antureista osa on Vaisalan omia ja osa kolmannen osapuolen antureita (ks. 5.2). (ks. käytettävien Vaisalan antureiden teknologiat 4.4.1 - 4.4.3.)

#### 4.4.1 Vaisala BAROCAP® -teknologia

BAROCAP-teknologiaa käytetään useissa Vaisalan paineantureissa. Mikromekaanisen anturin toiminta perustuu piikalvon mittojen muuttumiseen. Anturin sisällä on tyhjiö, jonka korkeus kasvaa tai pienenee kalvon taipuessa ympäröivän paineen muuttuessa. Anturissa mitataan kapasitanssia kahden elektrodin välillä, jotka sijaitsevat tyhjiön vastakkaisilla puolilla (kuva 4). Kapasitanssi riippuu elektrodien välisestä etäisyydestä, joka muuttuu paineen muuttuessa. Kapasitanssi mitataan, ja se muunnetaan painelukemaksi. Anturin rakenne nähdään seuraavassa kuvassa 4:

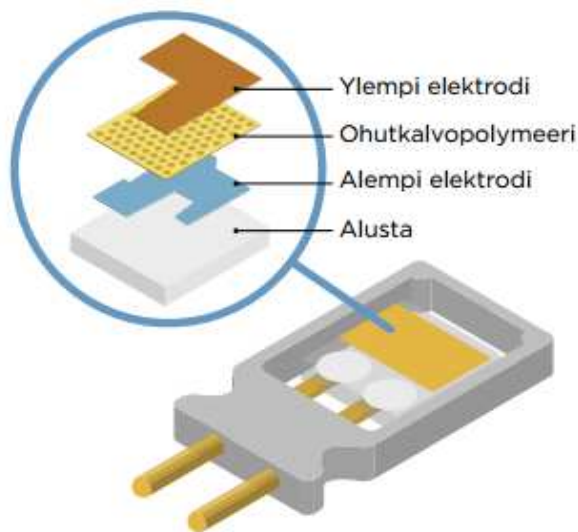


Kuva 4. BAROCAP-anturin rakenne [6]

Anturissa käytetään yksikiteistä piimateriaalia, minkä ansiosta anturilla on hyvä elastisuus, pieni hystereesi, erinomainen toistettavuus, vähäinen lämpötilariippuvuus ja pitkäaikainen stabiilisuus. Meteorologiassa ilmanpainemittauksia käytetään paljon. Pääasiassa tietoa käytetään ilmakehässä tiivistyvän vesihöyryn määrän arviointiin. [6.]

#### 4.4.2 Vaisala HUMICAP® -teknologia

Vaisalan ensimmäinen kapasitiivinen HUMICAP-ohutkalvopolymeerianturi on tuotu markkinoille vuonna 1973. Anturissa on kaksi johtavaa elektrodia, joiden välissä on ohutkalvopolymeeri (kuva 5). Nämä ovat lasista tai keraamisesta aineesta tehdyn substraatin päällä. Anturin toiminta perustuu kapasitanssin muutoksen mittaamiseen, joka muuttuu suhteellisen kosteuden muuttuessa. Suhteellisen ilmankosteuden vaihdellessa kapasitanssi muuttuu, koska polymeerin eristeominaisuudet riippuvat absorboidun veden määrästä. Ohutkalvopolymeeri joko vapauttaa tai absorboi vesihöyryä riippuen ympäristön suhteellisesta ilmankosteudesta. Anturin rakenne esitetään seuraavassa kuvassa 5:



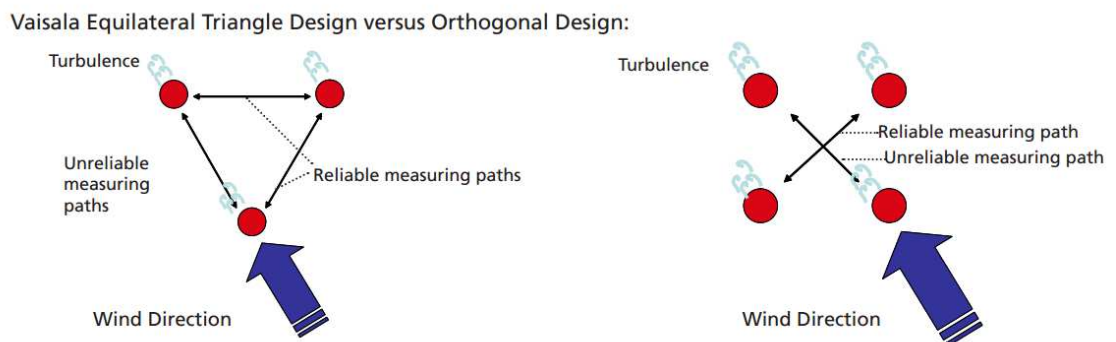
Kuva 5. HUMICAP-anturin rakenne [7]

HUMICAP-antureiden mittausalue on 0 - 100 % RH ja tarkkuus jopa  $\pm 1$  %. Anturin hyviä puolia ovat mm. stabiilisuus pitkällä aikavälillä sekä hyvä pölyn ja useiden kemikaalien sietokyky. Lämmityksen johdosta mittaustulokset ovat luotettavia myös olosuhteissa, joissa voi muodostua kondensaatiota ja kostuneen anturin suorituskyvyn palautuminen ennalleen. [7.]

#### 4.4.3 Vaisala WINDCAP® -teknologia

Vaisalan WINDCAP-teknologiaan perustuvat anturit käyttävät ultraääntä mittaamaan horisontaalista tuulen nopeutta ja suuntaa. WINDCAP-anturit käyttävät kolmea ultraäänimuunninta, jotka muodostavat tasasivuisen kolmion. Mittaus perustuu TOF:iin (Time of Flight), eli mitataan ultraääniaallon siirtymiseen muuntimesta toiseen kuluva aika. TOF mitataan molemmista suunnista jokaisen muunninparin kesken. Vertaamalla vastakkaisuuntaisten ultraäänisignaalien TOF:ja saadaan yhdensuuntainen tuulen nopeuskomponentti jokaiselle muunninparille. TOF-aika on kaikilla pareilla sama tuulettomassa tilassa. Tuullessa muunninparien väliset TOF:t alkavat muuttua ja niitä käsittelemällä saadaan laskettua tarkasti tuulen nopeus ja suunta.

Anturin mittaussykli koostuu jokaisen muuntimen lähettämästä 16 ultraäänipulssista kahdelle toiselle muuntimelle. Sykli sisältää 96 TOF-laskentaa, ja syklejä suoritetaan neljä sekunnissa. Anturin kolmikulmainen konfiguraatio ja kaksisuuntainen TOF-mittaus jokaisen parin välillä tuottaa kolme eri vektoria. Tuulen nopeuden ja suunnan laskemiseen riittää kaksi vektoria. Tästä syystä mittausten laatu arvioidaan, ja kaksi parasta vektoria huomioidaan laskennassa. Kolmikulmaisen mittauksen etuna on, että kaikissa tuuliolosuhteissa saadaan kaksi luotettavaa mittausta. Seuraavassa kuvassa nähdään kolmi- ja nelikulmisen mittaustekniikan erot (kuva 6). [8.]

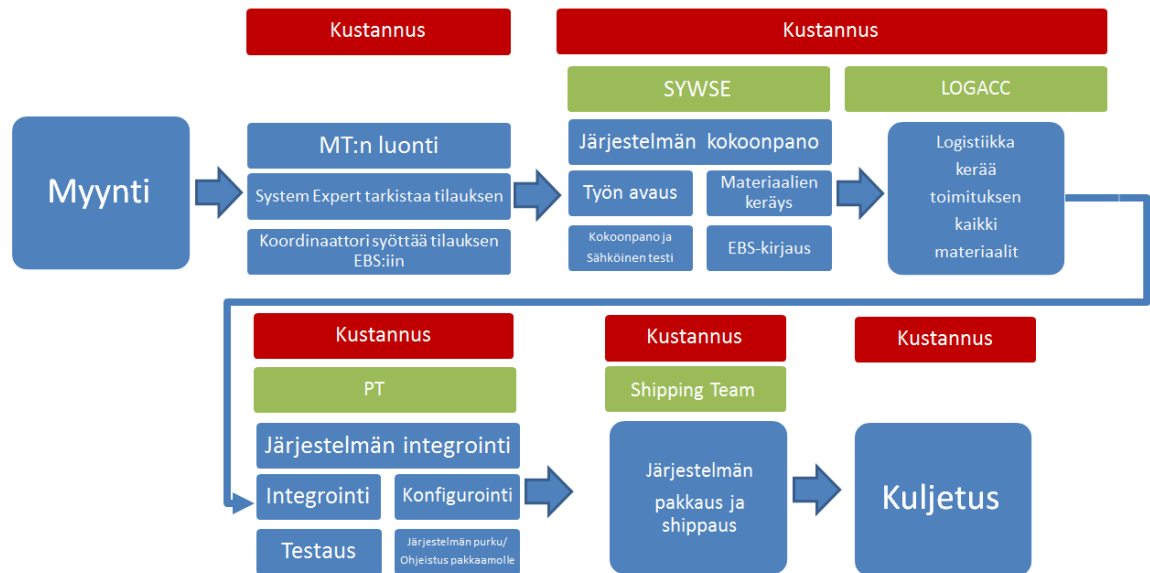


Kuva 6. Vaisalan kolmikulmainen toteutus verrattuna nelikulmaiseen toteutukseen [8]

#### 4.5 Sääasemien kustannusrakenne

Sääasemien kustannukset koostuvat useasta eri tekijästä, minkä takia nykyään yksittäisten sääasemien kustannukset vaihtelevat merkittävästi.

Kustannukset koostuvat itse sääsaman sisältämien komponenttien lisäksi antureista, tuotantoprosessin eri vaiheista sekä mastosta. Nykyiset MAWS:t ovat asiakaskohtaisesti räätälöitäviä, mikä tarkoittaa, että niiden rakenne on käytännössä aina erilainen. MAWS:ien räätälöintimahdollisuudet vaikuttavat suoraan tuotantoprosessiin. Seuraavassa kuvassa 7 esitetään, miten MAWS:ien systeemitoimitusprosessi toimii:

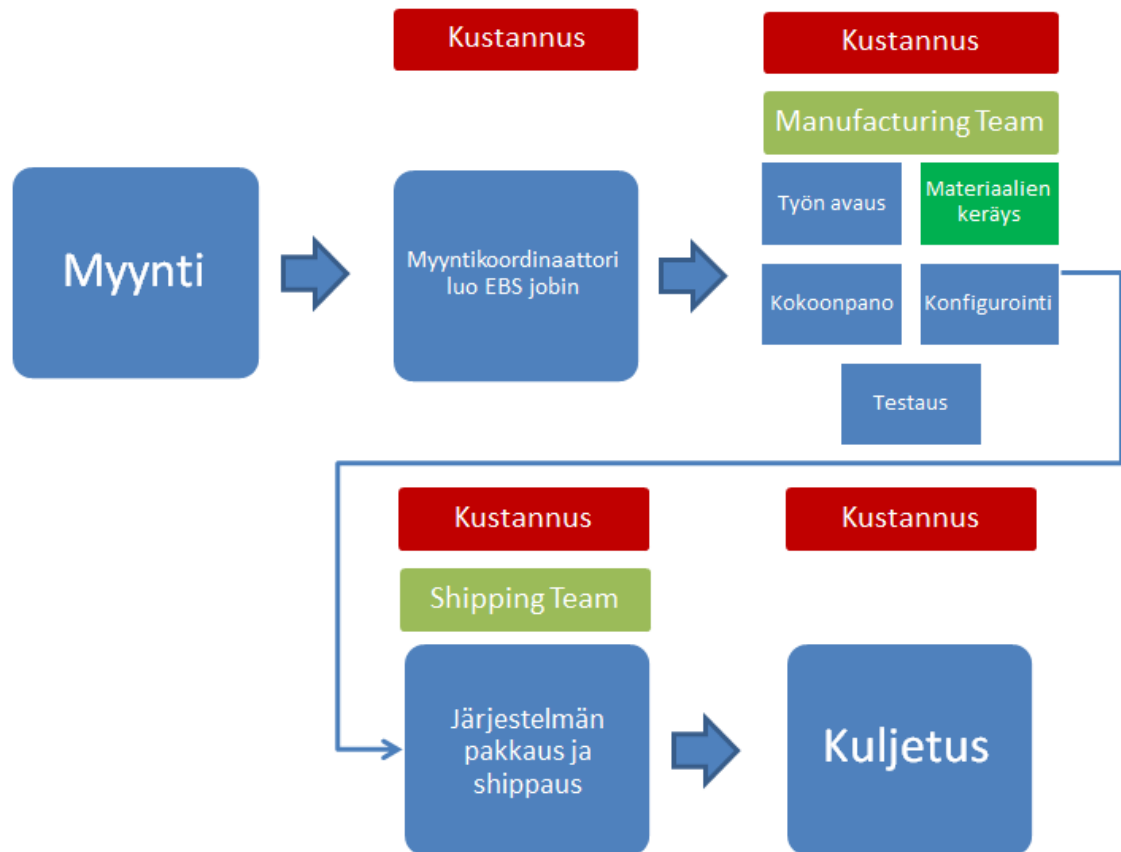


Kuva 7. MAWS:ien systeemitoimitusprosessi [9]

Edellisessä kuvassa 7 esitettyjen vaiheiden kustannukset riippuvat niiden kestosta. Prosessin eri vaiheilla on eri tekijöitä, jotka vaikuttavat vaiheen kestoon. MT:n eli myyntitilauksen luontivaiheen kestoon vaikuttaa eniten laitteen rakenne. Mitä monimutkaisempi järjestelmä on, sitä enemmän siinä on työtä. Järjestelmän kokoonpanovaiheessa myös suurin vaikutus on järjestelmän rakenteella. Seuraavassa vaiheessa logistiikan suorittamaan materiaalien keräykseen vaikuttaa kerättävän materiaalin määrä.

PT (Project Technicians) -tiimissä suoritettavaan järjestelmän integrointiin vaikuttaa MAWS:n rakenne. Tässä vaiheessa erityisesti MAWS:iin valitut optiot vaikuttavat työvaiheen kestoon. Optioilla tarkoitetaan eri toiminnallisuuksia, mitä MAWS:iin on valittu. Optioiden ollessa standardeja, eri välivaiheet vievät vähemmän aikaa. Jos MAWS:iin on valittu räätälöitäviä optioita, kestää konfigurointi huomattavasti pidempään. Järjestelmän pakkaukseen kuluva aika vaihtelee myös paljon laitekohtaisesti ja se riippuu pakattavien materiaalien määrästä ja laadusta. Vaiheet, joihin tuotteen suunnittelussa voidaan parhaiten vaikuttaa, ovat järjestelmän kokoonpano, järjestelmän integrointi ja järjestelmän pakkaus.

Kuvassa 7 (ks. ed. s.) esitetty toimitusprosessi koskee vain systeemitoituksia. Standarditoimitusten toimitusprosessi eroaa siitä huomattavasti. Vaisalalla on nykyään yksi standardi sääsama, joka on AWS330. Standardituotteiden toimitusprosessi nähdään seuraavasta kuvasta 8:



Kuva 8. AWS330:n toimitusprosessi [9]

Kuvasta 8 voitiin havaita, että toimitusprosessista puuttuu kokonaan PT-tiimissä tehtävät työvaiheet. Tämä on yksi standarditoimituksen suurimmista eduista kustannuksia ajatellen. Standardituotteen toimitusprosessin eri vaiheiden kustannukset vaihtelevat huomattavasti vähemmän kuin systeemitoituksissa. Myyntikoordinaattorin työ prosessin alussa vie pääasiassa aina yhtä paljon aikaa. *Manufacturing*-tiimissä suoritettavat toimenpiteet eivät myöskään vaihtelee merkittävästi. Myös AWS330:ssä on variaiontimahdollisuuksia antureita valittaessa, mutta vaihtoehdot ovat huomattavasti suppeammat verrattuna MAWS:eihin. [9.]

Ideaalitilanteessa järjestelmän pakkaus ja lähetys toimivat jokaisen toimituksen kanssa samalla tavalla, koska toimitus sisältää aina samat materiaalit.



Todellisuudessa pakkaukseen kuluva aika vaihtelee riippuen järjestelmän sisältämistä materiaaleista sekä oheismateriaaleista, mitä asiakas on tilannut järjestelmän mukana. Kuljetuskustannukset ovat usein samat, sillä käytettävät pakkaukset ovat pääasiassa samoja.

Työssä suunniteltava AWS pyritään suunnittelemaan siten, että sen toimitusprosessi toimii kuvan 8 (ks. ed. s.) kaltaisesti. Toimitusprosessin kustannusten lisäksi sääasemaan tulee kustannuksia sen sisältämistä materiaaleista, antureista ja mastosta. Kaikkien näiden kustannusten määrä sekä osuus kokonaiskustannuksesta vaihtelee todella paljon tilauksittain. Seuraavassa taulukossa 1 esitetään tyypillisen MAWS301-toimituksen kustannusten jakautuminen:

Taulukko 1. MAWS301-toimituksen kustannusten jakautuminen [10].

|                         | %    |                        | %    |
|-------------------------|------|------------------------|------|
| keskusyksikkö (työ 6 h) | 42.6 | keskusyksikkö (työ 6h) | 61.1 |
| anturit                 | 27.2 | anturit                | 38.9 |
| masto                   | 30.2 |                        |      |
| yhteensä                | 100  | yhteensä               | 100  |

Esitetystä taulukosta 1 voitiin nähdä MAWS301:n kustannusten jakautuminen sekä maston kanssa että ilman mastoa. Koska tässä työssä ei tutkita eri mastovaihtoehtoja, vertaillaan kustannuksia pääasiassa ilman mastoa. Taulukosta 1 voitiin havaita, että ilman mastoa keskusyksikön osuus kokonaiskustannuksesta on n. 61 %. Antureiden osuus on n. 39 %. Antureina tarkasteltavassa MAWS301:ssä ovat

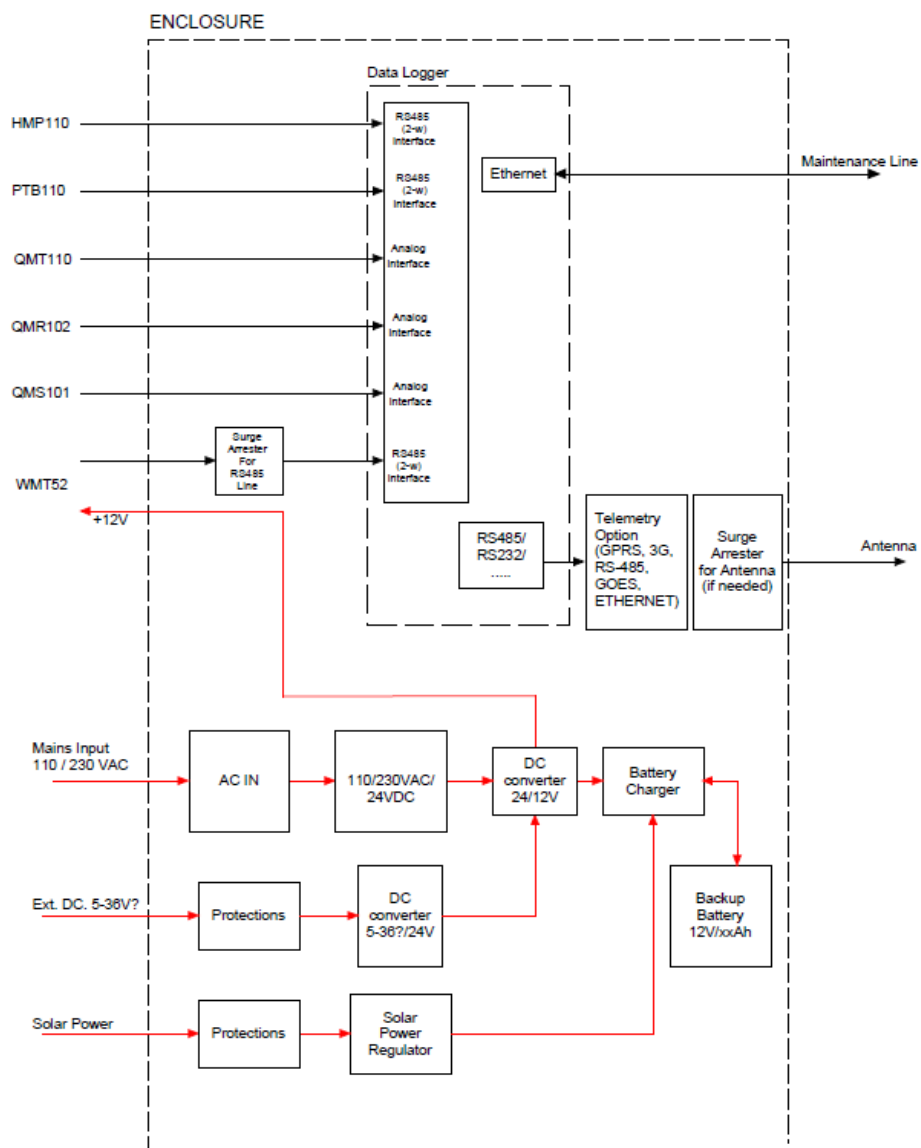
- HMP155-ilmanlämpötila- ja kosteusanturi
- RG13-sadeanturi
- BARO-1QML-ilmanpaineanturi
- WA15-tuulianturi
- CMP6-auringon säteilyanturi. [10.]

Sääaseman suunnittelussa voidaan vaikuttaa eniten keskusyksiköstä sekä työstä koituviin kustannuksiin. Tässä työssä suunniteltavilla ratkaisuilla pyritään pääasiassa alentamaan keskusyksikön kustannuksia sekä työstä tulevia kustannuksia. Suunniteltavaan järjestelmään valitaan mahdollisimman edulliset anturit.

## 5 Edullisen AWS:n toiminnallisuudet

### 5.1 Edullisen AWS:n keskusyksikön toiminnallisuudet

Ennen tarkempaa AWS-vaihtoehtojen suunnittelua täytyi selvittää, mitä toiminnallisuuksia suunniteltavaan AWS:ään halutaan. Järjestelmälle asetetut vaatimukset rajaavat tarvittavat toiminnallisuudet melko hyvin (ks. 3). Vaatimusten pohjalta valitut anturit määrittelevät anturirajapinnat, jotka CPU-yksikössä pitää olla (ks. 5.2) Jotta tarvittavat ominaisuudet nähtäisiin selkeästi, järjestelmästä tehtiin aluksi toiminnallinen lohkokaavio, joka esitellään seuraavassa kuvassa 9:



Kuva 9. Toiminnallinen lohkokaavio

Edellisen kuvan 9 (ks. ed. s.) lohkokaaviosta voitiin havaita vain vaatimusten mukaiset toiminnallisuudet. Näiden lisäksi järjestelmään on lisätty toiminnallisuuksia, jotta se vastaisi asiakkaiden tarpeita paremmin ja olisi paremmin muunneltavissa. CPU-yksikköön tarvittavat toiminnallisuudet nähdään tarkemmin taulukosta 2:

Taulukko 2. Tarvittavat CPU-yksikön ominaisuudet.

| <b>CPU-yksikön ominaisuudet</b> |
|---------------------------------|
| 2x Ethernet interface           |
| 2x RS485 interface              |
| RS232/RS485 interface           |
| 2 x 12-bit analog interface     |
| 2 x 16-bit analog interface     |
| Digital I/O                     |
| SDI-12 interface                |
| GPS                             |
| SD-Card slot                    |

DMU703:een verrattuna CPU-yksikössä on melko vähän ominaisuuksia. Kustannusten alentamisen lisäksi ominaisuuksien rajaamisella pyritään siihen, että suunniteltavassa AWS:ssä on riittävän rajalliset ominaisuudet, jotta sen ja kalliimpien AWS-mallien välillä olisi selvä ero.

Tehonhallintaan tarvittavat ominaisuudet nähdään pääpiirteittäin kuvasta 9 (ks. ed. s.). Toiminnallisuuksien toteutukset pohjautuvat PMU701:sen toteutuksiin. PMU701 ominaisuuksista karsitaan tarpeettomat toiminnot pois. Tärkeimmät ominaisuudet, jotka tehonhallintaan tarvitaan, ovat akkulaturi, 24 VDC/12 VDC-muunnin, 12 VDC/3.3 VDC-muunnin ja prosessori, joka ohjaa yksikön toimintoja.

## 5.2 Suunniteltavaan AWS:ään valitut anturit

Antureiden valinnan kriteereinä ovat hinta sekä vaatimusten täyttäminen. Sääasemaan on valittu mahdollisimman edulliset anturit, jotka täyttävät vaatimukset (ks. 3). Sääasemaan valitut anturit näkyvät taulukossa 3 (ks. seur. s.):

Taulukko 3. Valitut anturit.

| Mittaus                       | Anturi             |
|-------------------------------|--------------------|
| ilmanlämpötila / ilmankosteus | HMP110             |
| tuulen nopeus / tuulen suunta | WMT52              |
| sademäärä                     | QMR102             |
| ilmanpaine                    | PTB110 / BARO-1QML |
| auringon säteily              | QMS101             |
| maanlämpötila                 | QMT110             |
| useita suureita               | WXT520             |

Taulukosta 3 voitiin nähdä suunniteltavassa AWS:ssä käytettävät kuusi anturia sekä vaihtoehtoisesti yksinään käytettävä *multi-weather*-anturi WXT520. WXT520-anturissa on yhdistetty useiden antureiden toiminnallisuuksia. Sillä pystytään mittaamaan eri suureita, jotka ovat

- ilmanpaine
- tuulen nopeus ja suunta
- ilmanlämpötila
- ilmankosteus
- sademäärä. [11.]

Käytettäväksi paineanturiksi on kaksi eri vaihtoehtoa PTB110 ja BARO-1QML. Paineanturi on ainoa anturi, joka vaihtelee eri toteutusvaihtoehdoissa.

Vaikka lähtökohtaisesti anturit ovat valittu siten, että ne täyttävät vaatimusten kriteerit, HMP110 sekä WMT52 eivät kaikilta osin ole vaatimusten mukaiset. WMT52 poikkeaa vaatimuksista ainoastaan tuulen nopeuden mittausalueessa. WMT52:n mittausalue on 0 - 60 m/s, kun vaatimuksissa mittausalueeksi on määritelty 0 - 65 m/s (ks. 3) [12]. Anturin mittausalue on kuitenkin usein riittävä, joten se soveltuu hyvin tämän työn sääasemaan. Vaatimuksissa ilmanlämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaustarkkuuden tulee olla HMP155 mukainen (ks. 3). HMP110:n ja HMP155:n väliset tarkkuuserot nähdään taulukosta 4:

Taulukko 4. HMP110:n mittaustarkkuus verrattuna HMP155:n tarkkuuteen [13; 14].

|           |        |   |
|-----------|--------|---|
| Air Temp. | HMP155 | at 20 °C Voltage $\pm 0.17$ °C, RS485 $\pm 0.12$ °C         |
| Air Temp. | HMP110 | 0...+40 °C $\pm 0.2$ °C, -40...0 °C, +40...+80 °C $\pm 0.4$ |
| Humidity  | HMP155 | $\pm 1$ % RH (0 ... 90 %), $\pm 1.7$ % RH (90 ...100%)      |
| Humidity  | HMP110 | $\pm 1.7$ % RH (0 ... 90 %), $\pm 2.5$ % RH (90 ...100%)    |

Taulukosta 4 (ks. ed. s.) voitiin havaita, että 20 °C lämpötilassa ilmanlämpötilaa mitattaessa anturien välinen tarkkuusero on  $\pm 0.03$  °C. Suhteellista ilmankosteutta mitattaessa alueella 0 - 90 %, HMP155:n ja HMP110:n mittaustarkkuuden ero on 0.7 %. Suhteellisen kosteuden ollessa 90 - 100 %, kasvaa ero 0.8 %:in.

Valittujen antureiden (taulukko 3, ks. ed. s.) lisäksi järjestelmässä voidaan käyttää QHR104-3 pinnankorkeustutkaa. Joidenkin valittujen antureiden tilalla voidaan käyttää myös muita vastaavia, mutta tarkempia antureita. Esimerkiksi HMP110 voidaan korvata HMP155:llä, jos asiakas tarvitsee tarkempaa mittaustietoa. WMT52 voidaan puolestaan korvata esim. WMT700:lla.

### 5.3 Suunniteltavan AWS:n tehonkulutus

Suunniteltavan AWS:n tehonkulutus täytyy laskea, jotta siihen voidaan valita sopiva teholähde ja akku. AWS:n tehonkulutus vaikuttaa myös akunvaraiseen toiminta-aikaan, jonka tulee olla viikon (ks. 3). Tehonkulutusta laskettaessa täytyy huomioida eri systeemikomponenttien sekä antureiden tehonkulutus. Teholähde täytyy mitoittaa maksimaalisen tehonkulutuksen mukaan, ettei se ylikuormitu missään tilanteessa. Akunvaraisen toiminta-ajan laskemisessa huomioidaan ainoastaan tehonhallinnan, CPU-yksikön sekä anturien tehonkulutus.

#### 5.3.1 Suunniteltavan AWS:n antureiden tehonkulutus

Teholähteen mitoitusta varten antureiden maksimaalinen tehonkulutus tulee laskea. Antureiden datalehdistä selvitetään anturin käyttämä maksimivirta ja käyttöjännite, joista teho lasketaan kaavan 1 mukaan:

$$P = UI \quad (1)$$

Kaavan 1 U on jännite, joka on tässä tapauksessa anturin käyttöjännite. Kaavan I on tässä tapauksessa anturin käyttämä maksimivirta. Useimpien antureiden käyttöjännitealue on laaja, mutta laskuissa käytetään kaikkien antureiden käyttöjännitteenä 12 V:n arvoa. Kaavan 1 mukaan lasketut antureiden maksimitehokulutukset esitetään taulukossa 5 (ks. seur. s.):

Taulukko 5. Anturien maksimaalinen tehonkulutus [ 11; 12; 14; 15].

| <b>anturi</b>   | <b>maksimaalinen tehonkulutus [mW]</b> |
|-----------------|--|
| HMP110          | 60                                     |
| WMT52           | 70                                     |
| QMR102          | <1                                     |
| PTB110          | 48                                     |
| QMS101          | <1                                     |
| QMT110          | <1                                     |
| <b>yhteensä</b> | <b>178</b>                             |
| WXT520          | 36                                     |

Edellisestä taulukosta 5 voitiin havaita, että QMR102, QMS101 ja QMT110 käyttävät niin vähän tehoa, ettei näillä tehonkulutusarvoilla ole tehonlähteen valintaan vaikutusta. Taulukosta 5 voitiin nähdä myös, että WXT520:n tehonkulutusta ei ole laskettu kokonaiskulutukseen mukaan, sillä tätä anturia käytetään useimmiten yksinään sääsemassa.

Antureiden keskimääräinen tehonkulutus on myös selvitettävä, jotta akunvarainen toiminta-aika pystytään laskemaan. Keskimääräinen tehonkulutus lasketaan myös kaavaa 1 käyttäen, mutta tässä tapauksessa I on anturin keskimääräinen virrankulutus. Jos anturin datalehdessä ei ole erikseen mainittu keskimääräistä virrankulutusta, virran arvona käytetään maksimiarvoa. Antureiden keskimääräiset tehonkulutukset esitetään seuraavassa taulukossa 6:

Taulukko 6. Antureiden keskimääräinen tehonkulutus [11; 12; 14; 15].

| <b>anturi</b>   | <b>keskimääräinen tehonkulutus [mW]</b> |
|-----------------|---|
| HMP110          | 2.2                                     |
| WMT52           | 36                                      |
| QMR102          | <1                                      |
| PTB110          | 48                                      |
| QMS101          | <1                                      |
| QMT110          | <1                                      |
| <b>yhteensä</b> | <b>86.2</b>                             |
| WXT520          | 36                                      |

Edellisestä taulukosta 6 voitiin havaita, että keskimääräinen tehonkulutus on lähes puolet pienempi kuin maksimaalinen.

### 5.3.2 Suunniteltavan AWS:n telemetriamoduulien tehonkulutus

Vaatimuksien määrittelemistä telemetriavaihtoehdoista GPRS/3G, GOES ja Ethernet toteutetaan erillisillä moduuleilla. Erillisten moduulien maksimaalinen tehonkäyttö tulee laskea. Tehonkäytön laskemiseen käytetään kaavaa 1 ja moduulien maksimaalinen tehonkäyttö esitetään taulukossa 7:

Taulukko 7. Telemetriamoduulien maksimaalinen tehonkäyttö [16; 17].

| <b>telemetriamoduuli</b> | <b>maksimaalinen tehonkulutus [W]</b> |
|--------------------------|---------------------------------------|
| GPRS (BGS2T)             | 2.4                                   |
| GOES (QST102-3)          | 21.6                                  |

Taulukosta 7 voitiin nähdä, että telemetriamoduuleista eniten tehoa kuluttaa GOES-moduuli, jonka tehonkulutus lähettäessä on 21.6 W. GPRS-moduulin tehonkulutus on selvästi pienempi, sillä se on vain 2.4 W. Moduulit käyttävät eniten tehoa, kun ne lähettävät tietoa. Telemetriasta riippuen tiedonsiirto tapahtuu tietyin välein, jotka määritellään konfiguroitaessa järjestelmää. Tyypillisesti meteorologisissa sovelluksissa GPRS-moduuli lähettää tietoa 10 minuutin välein 60 sekunnin ajan. GOES puolestaan lähettää tyypillisesti kerran tunnissa 15 sekunnin ajan. Moduulit kuluttavat eniten tehoa lähettäessä, joten niiden keskimääräinen tehonkulutus jää reilusti alle maksimaalisen tehonkulutuksen (ks. 5.3.5). [16; 17.]

### 5.3.3 AWS:n CPU-yksikön ja tehonhallinnan tehonkulutus

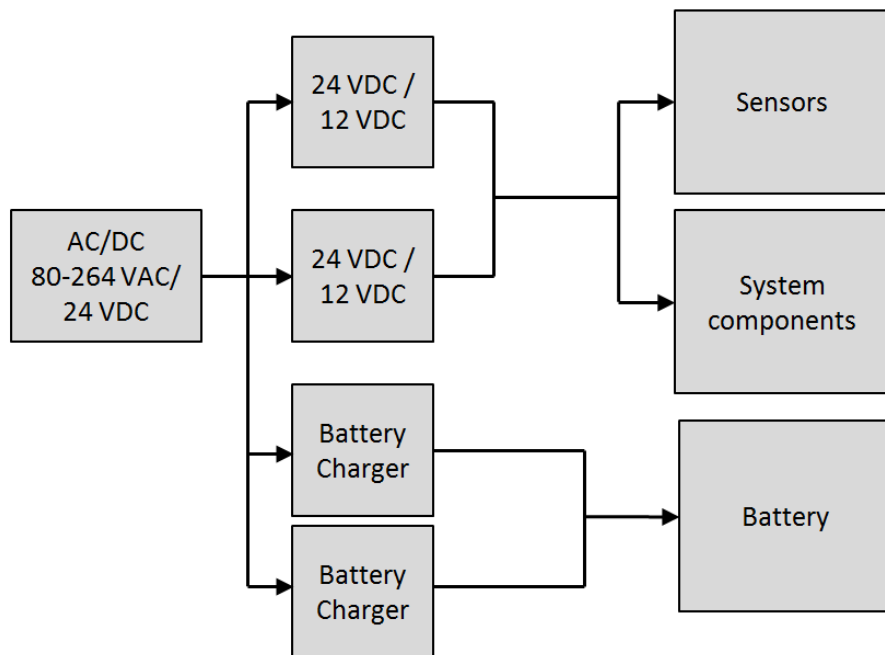
CPU-yksikön tehonkulutus arvioidaan DMU703:n tehonkulutuksen mukaan. DMU703 tehonkulutus vaihtelee 1 - 3 W. Sen keskimääräinen tehonkulutus riippuu ominaisuuksista, joita käytetään. Koska tässä työssä suunniteltavan AWS:n CPU-yksikkö on karstittu versio DMU703:sta, voidaan olettaa, että myös tehonkulutus on pienempää kuin DMU703:lla. Maksimaalista tehonkulutusta laskettaessa käytetään kuitenkin 3 W arvoa.

Tehonhallinnan tehonkulutuksen arviointi perustuu PMU701:n tehonkulutukseen. PMU701:n tehonkulutus riippuu siitä, kuinka paljon siitä otetaan tehoa ulos. Sen maksimiantoteho on n. 150 W, jolloin häviötä syntyy arviolta 10 W. [18.]

DMU703:n, antureiden ja telemetriamoduulien tehonkulutuksista voidaan huomata, ettei PMU-yksiköstä tarvita 150 W:n antotehoa.

PMU701:ssä ovat rinnakkain kaksi 24 VDC/12 VDC-muunninta, kaksi 9-36 VDC/12V-muunninta sekä kaksi akkulaturia, joilla päästään n. 150 W:n antotehoon sekä n. 53 W:n akunlataustehoon. Näistä komponenteista jätetään jäljelle ainoastaan yksi 24 VDC/12VDC-muunnin sekä yksi akkulaturi. [18; 19; 20.]

Merkittävimmin PMU:n tehohäviöön vaikuttaa käytettävien DC-konvertertien ja akkulaturin kautta kulkevan virran määrä. Seuraavassa kuvassa 10 on havainnollistettu miten AC/DC-teholähteen syöttämä virta jakautuu:



Kuva 10. PMU:n tehohäviöön merkittävimmin vaikuttavat komponentit

Edellisestä kuvasta voitiin nähdä, että kaikki systeemikomponentit käyttävät 12 V:n jännitettä. Tämän takia teholähteen jännite täytyy muuntaa 24 V:sta 12 V:in. Muunnos tehdään Linear Technologyn LTM8025 -piirillä, minkä hyötysuhde on 91 % [19]. Konverterista suurimmillaan aiheutuva tehohäviö saadaan laskemalle antureiden, GOES:in sekä DMU703:n maksimitehonkulutukset yhteen.

Antureiden maksimaalinen tehonkulutus on taulukon 5 mukaan 178 mW (ks. 5.3.1). GOES-moduuli käyttää maksimissaan 21.6 W ja DMU703:n maksimikulutus on 3 W (ks. 5.3.2) Näiden summa on n. 25 W. Kaavaa 2 (ks. seur. s.) käyttäen, saadaan laskettua muuntimen kuluttama teho:



$$P_{pow} = \frac{P_{komp}}{\text{hyötysuhde \%}/100} \quad (2)$$

Kaavan 2  $P_{komp}$  on komponenttien tehonkulutuksien summa, ja  $P_{pow}$  on tehontarve teholähteeltä. Käyttämällä kaavaa 2, saadaan teholähteeltä vaadituksi tehoksi 27.5 W. Muuntimessa tapahtuva tehohäviö on tällöin 2.5 W.

PMU701:ssä käytettävä akkulaturi on Linear Technology:n LTM8062. Kyseisellä laturilla voidaan ladata kolmea eri akkutyyppiä, jotka ovat

- lyijyhappoakku
- litium-rautafosfaattiakku
- litiumpolymeeriakku. [20.]

Akun latausjännite riippuu akkutypistä. Laskuissa käytetään 14.4V:n jännitettä, mikä on lyijyhappoakun latausjännite. Akkulaturin hyötysuhde on 24 V:n sisäänmenojännitteellä ja 14.4 V:n latausjännitteellä 85 %. Laturin ideaalilatausvirta on n. 1.8 A. Kaavaa 1 käyttämällä saadaan teholähteen kuormitukseksi n. 26 W. Laturin hytyösuhteen ollessa 85 %, akku latautuu 1.5 A:n virralla. Laturissa tapahtuva tehohäviö on näin ollen n. 4 W. [20.]

PMU:ssa on lisäksi muita komponentteja, jotka kuluttavat pieniä määriä tehoa, mutta niiden tehohäviöitä ei tarkastella lähemmin tässä työssä. Edellisten laskujen perusteella PMU:ssa tapahtuva tehohäviö on maksimissaan n. 6.5 W.

#### 5.3.4 Suunniteltavan AWS:n teholähteen mitoitus

Teholähteen mitoituksessa tulee huomioida kaikkien systeemikomponenttien sekä antureiden maksimitehokulutukset. Antureiden maksimitehokulutus nähdään taulukosta 5, joka on n. 178 mW (ks. 5.3.1). Telemetriamoduuleista GOES käyttää eniten tehoa, joten sitä tulee käyttää teholähdettä mitoittaessa. GOES:in maksimitehokulutus nähdään taulukosta 7, ja se on 21.6 W (ks. 5.3.2). DMU703 kuluttaa maksimissaan 3 W tehoa (ks. 5.3.3).

Näiden yhteenlaskettu tehonkulutus on n. 25 W ja akunlatauksen vaatima teho on 26 W. PMU-yksikön DC/DC-muuntimesta aiheutuu 2.5 W:n tehohäviö, kun siitä otetaan 25 W ulos (ks. 5.3.3). Näillä arvoilla yhteenlaskettu tehonkulutus olisi 53.5 W. Näin ollen, teholähteen todellisen antotehon tulisi olla n. 54 W.

Muiden telemetriamoduulien kanssa maksimitehontarve on vain 30 W:n luokkaa. Hakuriteholähteiden hyötysuhteet ovat yleisesti hyviä, mutta usein 60 W:n teholähteiden todelliset antotehot ovat alle 54 W (ks. 8). Tämän vuoksi, GOES-moduulia käytettäessä voidaan ohjelmallisesti tehdä ratkaisu, jossa akunlataus keskeytyy aina GOES-lähetyksen ajaksi. Tällöin voidaan varmistua siitä, ettei teholähdettä kuormiteta liikaa. Näin ollen suunniteltavaan AWS:ään riittää 60 W:n teholähde.

### 5.3.5 Suunniteltavan AWS:n akunvarainen toiminta-aika

Suunniteltavalle sääasemalle on asetettu vaatimuksissa akunvaraiseksi toiminta-ajaksi yksi viikko (ks. 3). Järjestelmän akunvarainen toiminta-aika riippuu systeemikomponenttien sekä antureiden tehonkulutuksesta. Sääasemat ovat usein konfiguroitu siten, että ne tekevät mittauksia harvemmin, ja antureiden lämmitys kytkeytyy pois toimiesaan akunvaraisesti. Suunniteltavalle AWS:lle tehtiin kaksi eri tehobudjettimallia.

Ensimmäisessä tehobudjettimallissa anturit tekevät mittauksia koko ajan ja GPRS-moduuli suorittaa 30 sekunnin mittaisen lähetyksen kuusi kertaa tunnin aikana. Antureiden ja telemetriamoduulin virrankulutus lasketaan kertomalla operointiaika tunnissa komponentin virrankulutuksella. Sääaseman tehobudjetti kyseisillä operointiajoilla esitetään seuraavassa taulukossa 8 (ks. seur. s.):

Taulukko 8. Ensimmäinen tehobudjettimalli

| Module  | Transmissions per hour | Transmission time / Operation time in hour | Total [Ah] |
|---|------------------------|--|------------|
| HMP110  |                        | 1  | 0.001      |
| WMT52   |                        | 1  | 0.0058     |
| QMR102  |                        | 1  | 0          |
| PTB110  |                        | 1  | 0.004      |
| QMS101  |                        | 1  | 0          |
| QMT110  |                        | 1  | 0          |
| BGS2T (GPRS)                                    | 6                      | 1/20                                       | 0.01       |
| PMU   |                        | 0  | 0          |
| DMU   |                        | 1  | 0.16       |
| Total   |                        |  | 0.18 Ah    |
| Total per day                                   |                        |  | 4.33 Ah    |
| Battery size                                    |                        |  | 26 Ah      |
| Maximum system working time with backup battery |                        |  | 4.8 day    |

Taulukosta 8 voitiin havaita, että järjestelmän toiminta-aika akun varassa on 4.8 päivää, eli se ei pääse vaatimusten mukaiseen 7 päivän toiminta-aikaan. Akun kapasiteetista on laskuissa käytössä vain 80 %, ettei toiminta-aikaa ylimitoiteta. Toisessa tehobudjettimallissa telemetriamoduulin lisäksi HMP110, PTB110 ja WMT52 tekevät 30 sekunnin mittaukset kuusi kertaa tunnissa. Näillä mittauksilla laskettu tehobudjetti nähdään seuraavasta taulukosta 9:

Taulukko 9. Toinen tehobudjettimalli

| Module  | Transmissions per hour | Transmission time / Operation time in hour | Total [Ah] |
|---|------------------------|--|------------|
| HMP110  | 6                      | 1/20                                       | 0.00005    |
| WMT52   | 6                      | 1/20                                       | 0.00029    |
| QMR102  |                        | 1  | 0          |
| PTB110  | 6                      | 1/20                                       | 0.0002     |
| QMS101  |                        | 1  | 0          |
| QMT110  |                        | 1  | 0          |
| BGS2T (GPRS)                                    | 6                      | 1/20                                       | 0.01       |
| PMU   |                        | 0  | 0          |
| DMU   |                        | 1  | 0.16       |
| Total   |                        |  | 0.17 Ah    |
| Total per day                                   |                        |  | 4.09 Ah    |
| Battery size                                    |                        |  | 26 Ah      |
| Maximum system working time with backup battery |                        |  | 5.1 days   |

Taulukosta 9 (ks. ed. s.) voitiin havaita, että akunvarainen toiminta-aika jää myös näillä mittausväleillä alle 7 päivän. Epätarkkuutta laskuihin tuo DMU:n virrankulutus. DMU:n tehonkulutuksena pidettiin laskuissa 2 W:n arvoa. Todellisuudessa sääasemaan tulevan DMU:n tehonkulutus jäänee 2 W:n alle, minkä ansiosta järjestelmän todellinen toiminta-aika akunvaraisesti voi nousta vaadittuun seitsemään päivään. Seitsemän päivän toiminta-aika saavutetaan, jos DMU:n virrankulutus jää alle 1.2 W:n. Suunniteltavassa sääasemassa käytetään Ultracellin UL26-12 akkua.

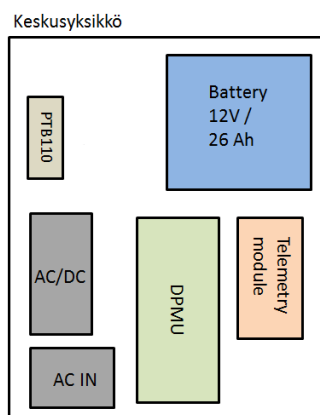
## 6 Edullisen AWS:n rakennevaihtoehtojen suunnittelu

### 6.1 Yleistä edullisen AWS:n rakennevaihtoehtoista

Edullisen AWS:n suunnittelussa pohditaan järjestelmälle erilaisia rakennevaihtoehtoja. Rakennetta suunniteltaessa huomioidaan järjestelmän kotelointi, systeemikomponentit sekä akunkotelointi. Lisäksi rakenteessa tulee huomioida sen tuotannollisuus. Tässä vaiheessa ei voida tehdä vielä kovin yksityiskohtaisia suunnitelmia vaan erilaisia rakennevaihtoehtoja hahmotellaan.

### 6.2 Ensimmäinen AWS:n rakennevaihtoehto

Ensimmäisessä vaihtoehdossa kaikki systeemikomponentit, paineanturi sekä akku ovat yhden kotelon sisällä (kuva 11). Tämän vaihtoehdon rakenne on samanlainen kuin nykyisten AWS:ien ja se esitellään seuraavassa kuvassa 11:

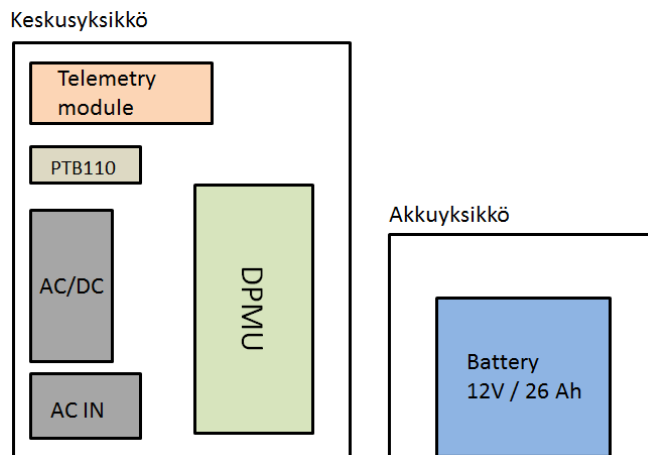


Kuva 11. Ensimmäinen rakennevaihtoehto

Edellisen kuvan 11 (ks. ed. s.) vaihtoehdossa CPU- ja PMU -yksiköt ovat integroitu yhteen, jolloin järjestelmän kokoonpano olisi nykyistä yksinkertaisempaa, koska sisäisten johdotusten määrä vähenee. Eri vaihtoehdot DPMU:lle (Data and Power Management Unit) esitellään edempänä (ks. 7). Pelkästään integroidulla DPMU-yksiköllä ei saada kustannuksia laskettua merkittävästi, joten tämän vaihtoehdon hinta pysyy nykyisten AWS:ien tasolla.

### 6.3 Toinen AWS:n rakennevaihtoehto

Toisessa rakennevaihtoehdossa keskusyksikkö on muuten identtinen edelliseen nähden (ks. 6.2), mutta akku on erillisessä kotelossa. Rakenne esitellään seuraavassa kuvassa 12:

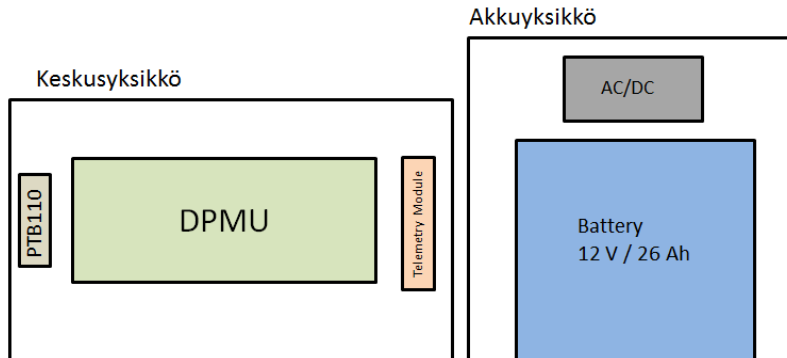


Kuva 12. Toinen AWS:n rakennevaihtoehto

Erillisen akkukotelon kanssa keskusyksiköstä tulee pienempi. Kun akku on toisessa kotelossa, asiakas voi tarvittaessa käyttää helpommin haluamaansa akkuratkaisua ilman, että joutuu maksamaan tyhjästä tilasta keskusyksikön sisällä. Akku ei myöskään tarvitse yhtä tiivistä koteloita kuin keskusyksikkö, joten sen kotelointi tulisi halvemmaksi. Vaihtoehdon kustannuksia laskee keskusyksikön kotelon pienempi koko sekä DPMU-yksikkö. Myös tämä vaihtoehto vaatii huomattavasti johdotustyötä, josta syntyy kustannuksia kokoonpanovaiheessa.

#### 6.4 Kolmas AWS:n rakennevaihtoehto

Kolmannessa vaihtoehdossa keskusyksikkö sisältää vain DPMU-yksikön, paineanturin sekä telemetriamoduulin. Tämä vaihtoehto eroaa rakenteeltaan huomattavasti nykyisestä AWS:istä. Rakenne esitellään seuraavassa kuvassa 13:



Kuva 13. Kolmas rakennevaihtoehto

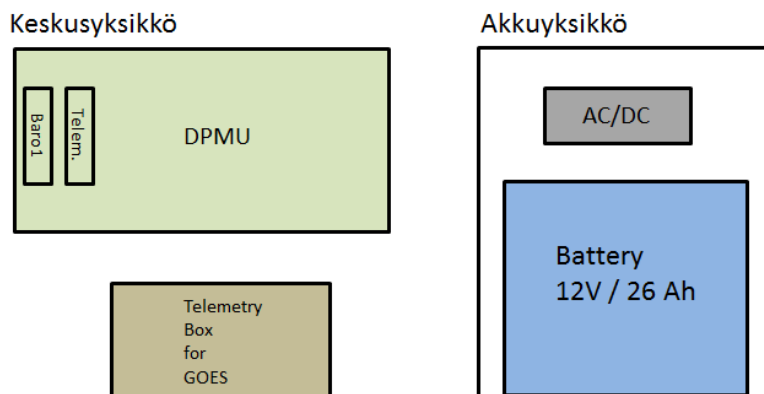
Kuvasta 13 voitiin havaita, että tässä vaihtoehdossa akkukotelo sisältää myös AC/DC-teholähteen. Keskusyksikkö olisi täysin tasajännitekäyttöinen yksikkö. Tämä tekee erilaisten teholähteiden käytön asiakkaalle joustavammaksi. Asiakas voisi halutessaan ostaa pelkästään edullisen keskusyksikön antureineen sekä aurinkopaneeleineen ja hoitaa itse tasajännitteensyötön keskusyksikölle sekä akun tarpeidensa mukaan. Vaihtoehtoon suunniteltaisiin sopiva teholähde ja akku koteloineen, jolloin asiakkaalla on mahdollisuus tilata valmis järjestelmä.

Tässä vaihtoehdossa hintaa laskee keskusyksikön sisällä tehtävien johdotusten määrä, joita on selvästi edellisiä vaihtoehtoja vähemmän. Keskusyksikössä on kuitenkin yhä paineanturi sekä telemetriamoduuli, jotka teettävät johdotustyötä kokoonpanovaiheessa.

#### 6.5 Neljäs AWS:n rakennevaihtoehto

Tässä rakennevaihtoehdossa järjestelmä on vielä integroidumpi kuin edelliset. Keskusyksikkönä on DPMU, joka on itsessään koteloitu ulkokäyttöön. Kaikkien keskusyksiköiden koteloiden kotelointiluokan tulee olla IP 66 (ks. 3). Tässä vaihtoehdossa DPMU:ssa on moduulipaikat BARO-1-moduulille sekä 3G/GPRS-moduulille. Eri DPMU-vaihtoehdot esitellään luvussa 7.

Akku on erillisessä kotelossa, joka sisältää myös AC/DC-teholähteen. Vaihtoehdon rakenne esitellään seuraavassa kuvassa 14:



Kuva 14. Neljäs rakennevaihtoehto

Edellisestä kuvasta 14 voitiin havaita, että GOES-moduuli tarvitsee oman kotelon. Vaihtoehdon etuna on, että keskusyksikön sisälle ei tule johdotuksia lainkaan kokoonpanovaiheessa. Sääaseman asennuspaikalla tehdään anturiliitännöiden ja tehonsyötön johdotukset.

Tämän vaihtoehdon kanssa voidaan päästä puolen tunnin kokoonpano-aikaan, joka laskee hintaa merkittävästi. Tämä rakennevaihtoehto on edullisin kaikista esitetyistä vaihtoehdoista. Valittava DPMU-ratkaisu määrittelee kuinka edulliseksi keskusyksikkö saadaan.

## 7 DPMU-yksikön vaihtoehtojen suunnittelu

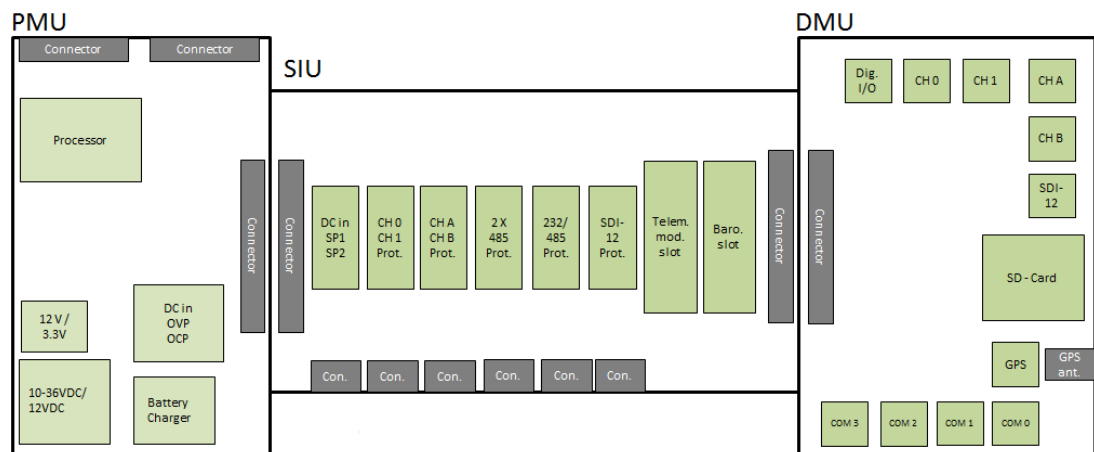
### 7.1 Yleistä edullisen AWS:n DPMU-yksiköstä

Suunniteltava DPMU-yksikkö on DMU703:een ja PMU701:een pohjautuva yksikkö, jossa on näiden kahden systeemikomponentin toiminnallisuuksia integroituna yhteen. Suunniteltavaan yksikköön on otettu näiden kahden yksikön toiminnallisuuksista vain tarvittavat (ks. 5). DPMU-yksikön tavoitteena on olla edullinen, ja sen on sisällettävä riittävät ominaisuudet, jotta se vastaisi asiakkaiden tarpeita. Yksikköön on valittu ominaisuudet vaatimusten pohjalta sekä lisätty joitakin ominaisuuksia tuomaan joustavuutta anturirajapintaan.

DPMU-yksikön ominaisuudet ja niiden toteutukset vaihtelevat hieman toteutuksesta riippuen. Prototyypeiksi toteutettavien DPMU-vaihtoehtojen toiminnallisuudet tarkennetaan prototyypin suunnitteluvaiheessa.

## 7.2 Ensimmäinen DPMU-yksikön vaihtoehto

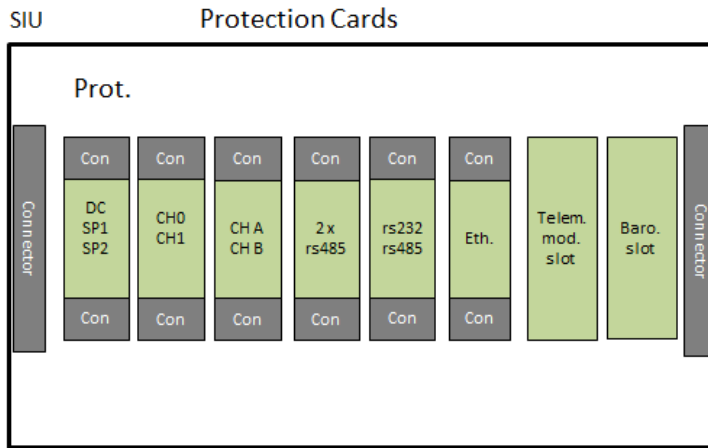
DPMU-vaihtoehtojen suunnittelu aloitettiin pohtimalla erilaisia ratkaisuja piirikorttien toteuttamiseksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa DPMU-yksikkö koostuu kolmesta eri piirikortista (kuva 15). Yhdessä kortissa on PMU:n toiminnallisuudet, toisessa DMU:n ja kolmannessa SIU (Sensor Interface Unit) -kortin. Konseptissa käytettävä SIU-kortti pohjautuu PMU701:ssä käytettävään SIU701-korttiin, jossa on PMU701:ssä käytettävien *interface cardien* korttipaikat.



Kuva 15. Ensimmäinen DPMU-yksikön vaihtoehto

Esitellystä kuvasta 15 voitiin nähdä ensimmäisen DPMU-vaihtoehdon piirikortit. Yksikön rakenne on samankaltainen kuin PMU701:sen, joten yksikön koteloinnissa voitaisiin käyttää hyväksi PMU701:n koteloa. Tässä SIU-kortissa on integroituna yksikön tasajännitesyötön, kahden aurinkopaneelin, sekä anturirajapintojen suojaukset. SIU-kortissa on lisäksi paikka telemetriamoduulille ja BARO-1-anturille. Toisena SIU-kortin vaihtoehtona on, että siinä on paikat erillisille *interface cardeille*, kuten kuvassa 16 esitetään (ks. seur. s.):



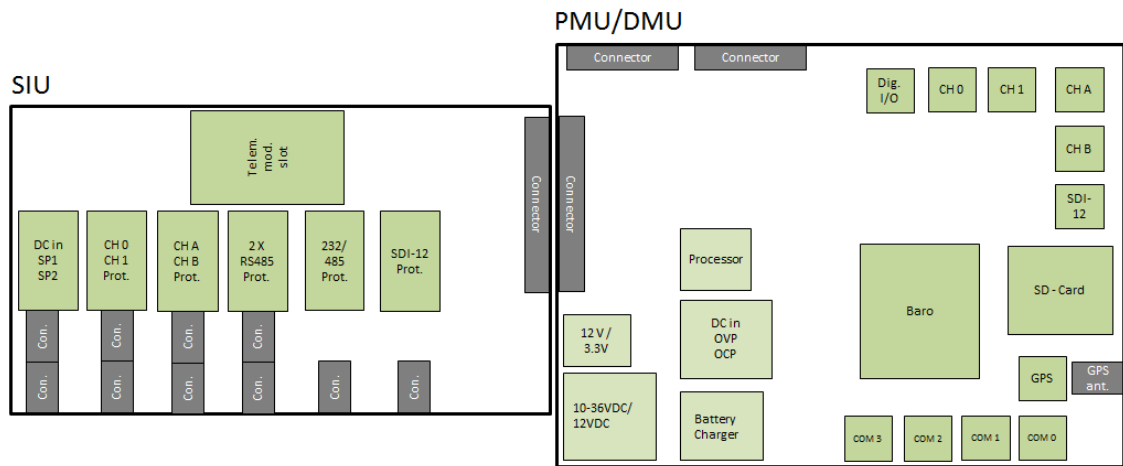


Kuva 16. SIU-kortti suojakorttikannoilla

Kortit valittaisiin aina anturikokoonpanon mukaan. Korttien etuna on, että niiden rikkoutuessa asiakkaan ei tarvitse vaihtaa muuta kuin rikkoutunut kortti. Korttien huonona puolena on niiden hinta. SIU-kortti, jossa on integroidut suojaukset (kuva 15, ks. ed. s.), on aina samanhintainen ja sen rikkoutuessa joudutaan vaihtamaan koko SIU-kortti. Tämän vaihtoehdon etuna on kuitenkin hinta verrattuna erillisiin *interface card*:eihin. SIU-kortti *interface card* -kannoilla ja kolmella kortilla maksaa arviolta saman verran kuin SIU-kortti, joka sisältää kaikki suojaukset.

### 7.3 Toinen DPMU-yksikön vaihtoehto

Tässä vaihtoehdossa DPMU koostuu kahdesta piirikortista (kuva 17, ks. seur. s.). PMU- ja DMU-kortit on integroitu yhdelle piirikortille sisältäen kaikki samat ominaisuudet kuin ensimmäisen vaihtoehdon PMU- ja DMU -kortit. SIU-kortti on erillään, ja se liitetään PMU/DMU-korttiin yhdellä liittimellä.

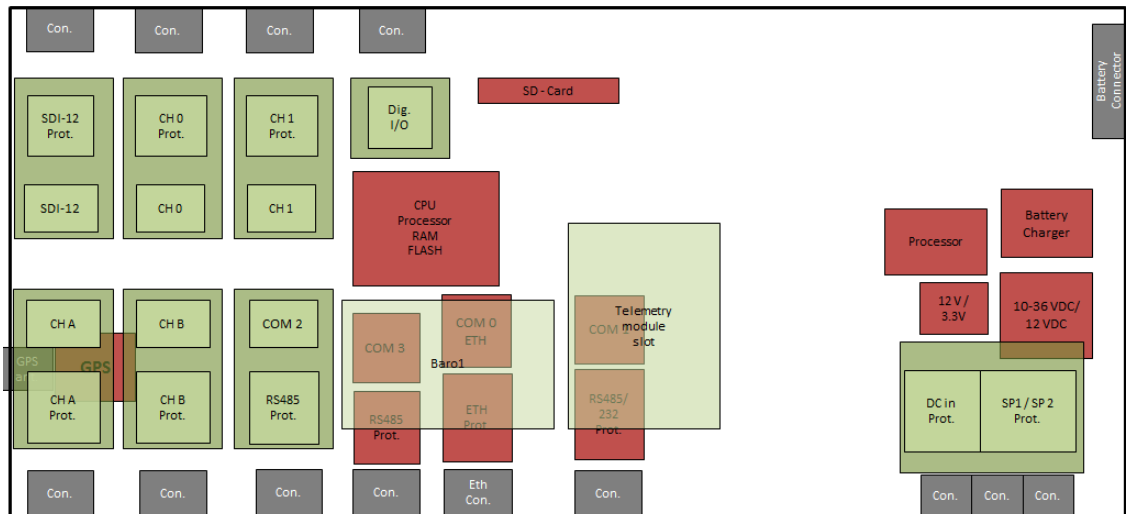


Kuva 17. Toinen vaihtoehto DPMU-yksiköstä

Kuvasta 17 voitiin nähdä, että SIU-kortissa on integroituna tehonsyötön- sekä anturirajapintojen suojaukset. Lisäksi siinä on paikka telemetriamoduulille. BARO-1-anturille on tässä vaihtoehdossa liitäntäpaikka DMU/PMU-piirikortissa. Tämä vaihtoehto on hieman edullisempi kuin edellinen. Kokoonpanoajat näillä kahdella ovat hyvin lähellä toisiaan.

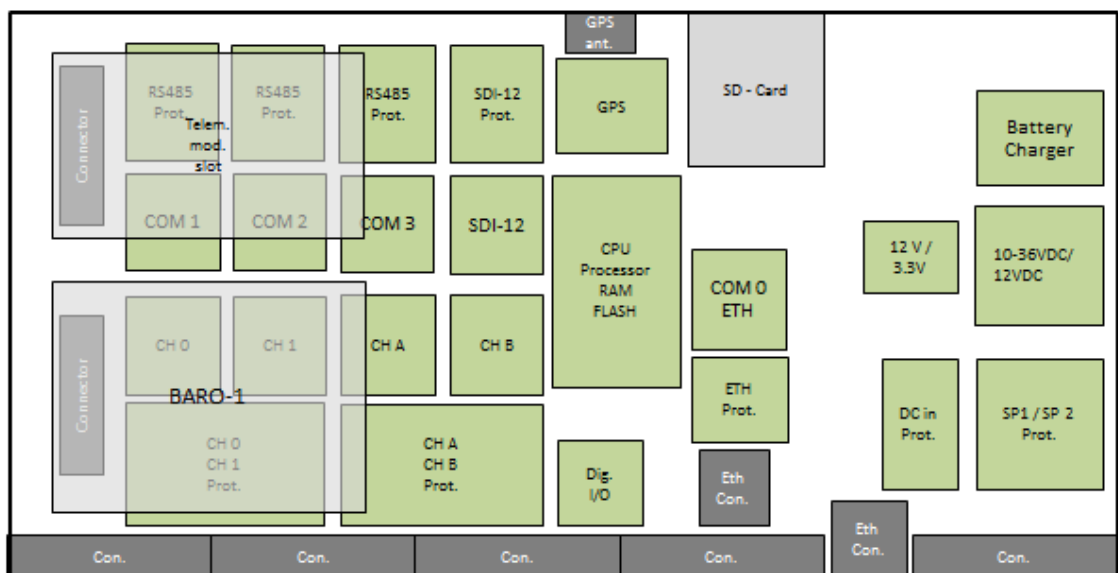
#### 7.4 Kolmas DPMU-yksikön vaihtoehto

Tämä vaihtoehto muistuttaa ulkoisesti QML201C:tä. Se koostuu yhdestä piirilevystä, jossa on moduulipaikkoja eri toiminnallisuus- ja suojausmoduuleille. Tästä rakenteesta saadaan tehtyä lukemattomia eri kombinaatioita, joissa osassa jotkin toiminnallisuudet on integroituna piirikortille ja jotkin erillisillä moduuleilla. Vaihtoehtojen määrän takia toteutettavan suunnitelman valintavaiheessa pohditaan sopivin ratkaisu näiden osalta. Seuraavasta kuvasta 18 (ks. seur. s.) nähdään yksi mahdollinen vaihtoehto, jossa kaikki toiminnallisuudet sekä suojaukset ovat erillisillä moduuleilla:



Kuva 18. DPMU erillisillä suojaus- ja toiminnallisuusmoduuleilla

Tällaisen rakenteen etuna on se, että toiminnallisuudet voidaan valita aina asiakkaiden tarpeiden mukaan. Näin asiakas välttyy turhilta kustannuksilta, joita ylimääräiset toiminnallisuudet heille toisivat. Selvästi edullisin näistä vaihtoehdoista sisältää yhden piirikortin, johon on integroitu kaikki toiminnallisuudet sekä suojaukset. Seuraavassa kuvassa 19 esitellään edullisin vaihtoehto:



Kuva 19. Edullisin DPMU-vaihtoehto

Edellisessä kuvassa 19 (ks. ed. s.) esitellyn vaihtoehdon etuna on sen hinta sekä yksinkertaisuus. Yksikölle ei tarvitse tehdä muuta kokoonpanovaiheessa kuin kiinnittää piirilevy koteloon ja asentaa BARO-1- ja 3G/GPRS-moduulit paikoilleen.

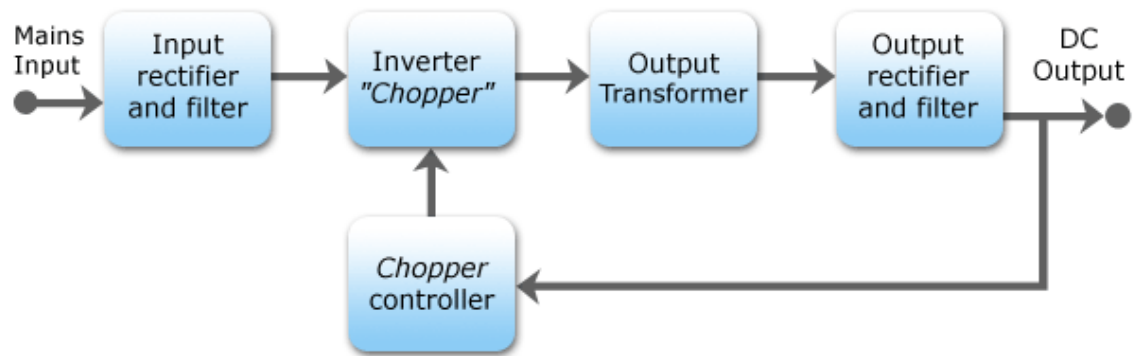
Tämän DPMU-vaihtoehdon PIC on arviolta n. 15 % suurempi kuin DMU703:n tämänhetkinen PIC-arvio. DPMU-yksikkö sisältää kuitenkin myös suojaukset ja tehonhallinnan, mikä tarkoittaa, että se on huomattavasti edullisempi kuin DMU703 ja PMU701 yhdessä käytettynä.

## **8 Edullisen AWS:n teholähteen valinta**

Nykyisten sääasemien teholähteet ovat DIN-kiskoon asennettavia hakkuriteholähteitä. Teholähteessä tulee olla universaali sisäänmenojännite ja antojännitteen tulee olla 24 VDC. Yleensä universaali sisäänmenojännite on 80 - 270 VAC/50 - 60 Hz. Valittavan teholähteen tulee olla hakkuriteholähde, sillä ne soveltuvat parhaiten AWS-käyttöön.

Yksi hakkuriteholähteiden hyvistä puolista on hyötysuhde, joka on tyypillisesti 60 - 70 %, kun lineaaristen teholähteiden hyötysuhde on tyypillisesti 30 - 40 %. Lineaaristen lähteiden hyötysuhteet kuitenkin vaihtelevat merkittävästi riippuen käytettävistä jännitteistä. Hyvällä suunnittelulla hakkureiden hyötysuhde voidaan saada jopa 95 %:in. Hakkureiden fyysinen koko on myös huomattavasti pienempi kuin lineaaristen lähteiden. Niiden sisäänmenojännitealue on laajempi, minkä takia niissä on usein universaali sisäänmenojännite.

Hakkurit ovat häiriöalttiita radiotaajuuksille, mutta niiden aiheuttamilta häiriöiltä voidaan suojautua esim. EMI-suodattimilla. Hakkuriteholähteen toimintaperiaate on kuvattu vaiheittain lohkokaaaviotasolla seuraavassa kuvassa 20 (ks. seur. s): [21.]



Kuva 20. AC/DC-hakkuriteholähteiden toimintaperiaate lohkoavioitasolla [21]

Edellisestä kuvasta voidaan nähdä hakkuriteholähteen toiminta vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa verkkosähkö tasasuunnataan reguloimattomaksi tasajännitteeksi. Seuraavassa vaiheessa tasasähkö muunnetaan vaihtosähköksi katkomalla sitä korkealla taajuudella, joka on yleensä yli 20 kHz. Seuraavassa vaiheessa vaihtosähkö muunnetaan joko pienemmäksi tai suuremmaksi riippuen halutusta ulostulojännitteestä. Työssä käytettävät teholähteet ovat *step-down*-tyyppisiä eli ulostulojännite on pienempi kuin sisäänmeno-jännite. Viimeisessä vaiheessa vaihtosähkö tasasuunnataan tasajännitteeksi, joka reguloidaan suodattimien avulla. Hakkuriteholähteen antojännite on siis aina reguloitua. [21.]

Suunniteltavaan AWS:ään valittiin Mean Wellin MDR-60-24 -teholähde. Se on 60 W:n hakkuriteholähde, jossa on universaali sisäänmeno-jännite ja 24 VDC antojännite. Tämä teholähde on todella edullinen, sillä sen hinta on n. kolmannes MAWS:eissa käytettävistä 60 W:n teholähteistä. Teholähde on DIN-kiskoon kiinnitettävä, joten sen asentaminen koteloon on yksinkertaista. Käyttölämpötila-alue on teholähteellä - 20 - + 70 °C. Kyseinen teholähde on melko pienikokoinen sillä sen mitat ovat 40 x 90 x 100 mm. Teholähde esitellään seuraavassa kuvassa 21 [22.]



Kuva 21. Mean Well MDR 60-24 -hakkuriteholähde [22]

Mean Wellin MDR-60-sarjan teholähteillä on UL 60950-1 ja EN 60950-1 turvahyväksynyt. Näiden lisäksi teholähteellä on EN 55022B- mukainen radiotaajuuksien häiriönpoisto. Teholähteessä on oikosulku-, ylikuormitus- sekä ylijännitesuojaukset.

## 9 Suunniteltavan AWS:n telemetriamoduulivaihtoehdot

### 9.1 Yleistä suunniteltavan AWS:n telemetriamoduuleista

Suunniteltavaan AWS:ään vaaditaan vaatimuksissa erilaisia telemetriavaihtoehtoja. Vaaditut telemetriavaihtoehdot ovat

- GPRS-telemetria
- 3G-telemetria
- Ethernet-telemetria
- GOES-telemetria
- RS485-telemetria.

Näiden lisäksi järjestelmään päätettiin lisätä RS232, sillä se on usein tarpeellinen, eikä se tuo lisäkustannuksia. AWS-vaihtoehdosta riippuen niissä käytetään, joko erillisiä telemetriamoduuleita, kuten nykyisissä järjestelmissä tai DPMU:n sisälle asennettavia telemetriamoduuleita. Nykyisten sääasemien QML201C:ssä on kaksi moduulipaikkaa, joihin voidaan lisätä Ethernet-, RS232- tai RS485-moduulit (ks. 4.2). MAWS:eissa käytetään lisäksi erillisiä telemetriamoduuleita tarvittaessa. Näistä yleisimpiä ovat GOES-moduuli ja Cinterionin MC 55i GSM-moduuli. [4.]

Suunniteltavan sääaseman telemetriavaihtoehdoista RS485, RS232 ja Ethernet eivät vaadi erillistä moduulia, sillä ne ovat integroituna DPMU:lle. Muiden telemetriavaihtoehtojen osalta joudutaan pohtimaan eri moduulivaihtoehtoja.

### 9.1.1 Yleistä 3G- ja GPRS -teknologioista

3G on lyhenne sanoista *third generation* eli kolmas sukupolvi. Tällä tarkoitetaan, että 3G on kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia. Euroopan yleisin 3G-standardi on UMTS. Muita yleisiä 3G-standardeja ovat EDGE, FOMA ja HSDPA. [23.]

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) -standardia käytetään erityisesti Amerikassa, mutta sen käyttö on yleistynyt myös muualla maailmassa. EDGE-standardi on parannettu versio GPRS-standardista. Tämän takia sitä kutsutaan myös 2.5G:ksi, eikä se varsinaisesti ole 3G-tekniikka. [24.]

FOMA (Freedom of Mobile multimedia Access) on vuonna 2001 lanseerattu ensimmäinen kaupallinen 3G-standardi. Se on Japanin suurimman teleoperaattorin NTT DoCoMonin kehittämä. FOMA:n tiedonsiirtonopeus on 384 kb/s - 2 Mb/s. HSDPA-standardilla nopeutetaan UMTS-pohjaista 3G verkkoa. Yleisesti käytetyt nopeudet ovat 3.6 Mbit/s, 7.2 Mbit/s, 14.4 Mbit/s tai 21 Mbit/s. [23; 25.]

GPRS (General Packet Radio Service) on pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu, joka toimii GSM-verkossa. Sitä käytetään pääasiallisesti internet-yhteyden muodostamiseen. GPRS:n teoreettinen maksimisiirtonopeus on 114 kbit/s, mutta käytännössä tiedonsiirtonopeus on luokkaa 30 - 40 kbit/s. GPRS parantaa GSM:n ominaisuuksia siten, että se mahdollistaa mm. multimedia-viestien lähettämisen. GPRS:n ja 3G:n suurin ero toiminnallisesti on siirtonopeudessa. [27.]

### 9.1.2 Yleistä Ethernetistä

Ethernet on yleisin lähiverkkotekniikka, joka on standardoitu IEE 802.3 -standardissa vuonna 1985. Ethernetin tiedonsiirtonopeus oli alunperin 10 Mbit/s, mutta se on ajan mittaan kasvanut nykyiseen 10 Gbit/s nopeuteensa. Nykyään Ethernet on topologiaan sellainen, että jokainen verkossa oleva laite on kytketty omalla kaapelilla keskittimeen. Ethernet käyttää CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access With Collision Detection) -kaistanvarausmenetelmää, jolla laitteiden pakettien lähetystä ohjataan. Kaistanvarausjärjestelmä toimii siten, että kaikilla laitteilla on oikeus aloittaa lähetys silloin, kun mikään muu laite ei lähetä. Laitteiden lähettäessä samaan aikaan ne huomaavat törmäyksen ja keskeyttävät lähetyksen.

Eri laitteet tunnistetaan MAC (Media Access Control) -osoitteilla. Osoite on 48-bittinen ja se on yksilöllinen jokaiselle laitteelle. [28.]

### 9.1.3 Yleistä GOES:sta

GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) on Amerikassa käytettävä neljästä satelliitista koostuva järjestelmä. Satelliitit kiertävät maapalloa n. 35 800 km korkeudella maapallon pyörimisnopeudella. Jokainen satelliitti pysyy maapalloon nähdessä kokoajan samassa kohdassa, minkä ansiosta ne pystyvät jatkuvasti valvomaan sääoloja ääriolosuhteiden varalta. Näitä ovat mm. tornadot, tulvat, raekuurot ja hurrikaanit. Kun ääriolosuhteet alkavat kehittyä, satelliitit pystyvät seuraamaan niiden kehittymistä ja liikehdintää. Satelliittien kuvista pystytään myös arvioimaan sademääriä hurrikaanien ja ukkosmyrskyjen aikana sekä lumipeitteen laajuutta. [29.]

### 9.1.4 Yleistä RS485-sarjaliikenneväylästä

RS485 on differentiaalinen sarjaliikenneväylä, jonka avulla maksimissaan 32 laitetta pystyy kommunikoimaan keskenään. RS485:stä käytetään kaksi- ja nelijohtimisia versioita. Molemmissa versioissa on näiden johtimien lisäksi myös maajohdin, mikä tarkoittaa, että johtimia on todellisuudessa joko kolme tai viisi. Kaksijohtiminen väylä toimii vuoro-suuntaisesti kun taas nelijohtimista voidaan käyttää myös kaksisuuntaisesti. RS485-väylä toimii myös pitkällä etäisyydellä, joka voi olla maksimissaan 1 200 metriä.

Kaksijohtimisessa verkossa jokaisen laitteen lähetin ja vastaanotin ovat yhdistettynä parikaapelilla. Nelijohtimisessa verkossa on yksi päälaitte, jonka lähetin on kytketty jokaisen orjalaitteen vastaanottimeen yhdellä parikaapelilla. Toisella kaapeliparilla yhdistetään kaikkien orjalaitteiden lähettimet päälaitteen vastaanottimeen. Kummassakin versiossa laitteille voidaan määrittää osoitteet, mikä mahdollistaa niiden kommunikoinnin itsenäisesti.

Kaksijohtimisen verkon hyviä puolia ovat alhaiset kustannukset sekä laitteiden kommunikointimahdollisuus keskenään. Huonoa kaksijohtimisessa verkossa on sen rajoittuneisuus ainoastaan vuoro-suuntaiseen kommunikointiin, mistä aiheutuu viivettä.



Nelijohtimisen verkon etuna on sen toimiminen myös kaksisuuntaisesti. Nelijohtimisen verkon huonona puolena on, etteivät laitteet pysty kommunikoimaan keskenään. Tässä työssä suunniteltavassa sääasemassa käytetään ainoastaan kaksijohtimisia väyliä. [30.]

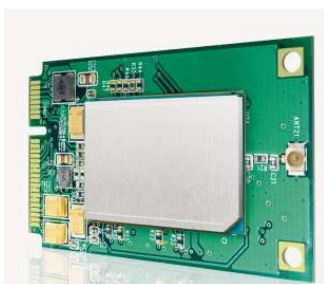
## 9.2 Suunniteltavan AWS:n GPRS- ja 3G-moduulivaihtoehdot

Aikaisemmin Vaisalan sääasemissa on käytetty erillisiä GPRS-modeemeja, kuten Cinterionin MC 55i:tä. Nykyisissä järjestelmissä MC 55i on korvattu Cinterionin BGS2T-moduulilla, joka esitellään seuraavassa kuvassa 22:



Kuva 22. Cinterion BGS2T -moduuli [17]

Niissä järjestelmätoteutuksissa, joissa käytetään erillistä GPRS-moduulia (ks. 6.3), käytetään myös kyseistä BGS2T-moduulia. DPMU:hun asennettavaksi moduuliksi tutkitaan vaihtoehtoja. Yksi hyvä vaihtoehto on Cinterionin EHS5-E-moduuli, jossa on sekä GPRS, että 3G. Tällä saataisiin helposti toteutettua sekä 3G että GPRS.



Kuva 23. Cinterion EHS5-E Mini PCI Express -moduuli [31]

Edellisestä kuvasta 23 voitiin nähdä kyseisestä moduulista saatavilla oleva Mini PCI Express -malli, missä moduuli on asennettu Mini PCI Express -korttiin.

Tämä malli on helposti asennettavissa DPMU:hun. Kyseinen Mini PCI Express -malli on myös kohtuullisen hintainen, sillä se maksaa suunnilleen yhtä paljon kuin BGS2T-moduuli. EHS5-E Mini PCI Express -moduuliin on saatavilla lisäksi micro-SIM-korttipaikka, joka tekee kortista helposti käytettävän sellaisenaan. Moduulissa on myös antenniliitin itsessään, millä antennikin saadaan helposti liitettyä korttiin. [31.]

### 9.3 Suunniteltavassa AWS:ssä käytettävä GOES-moduuli

Tässä työssä suunniteltavaan AWS:ään on vain yksi GOES-moduulivaihtoehto, joka on Vaisalan QST102-3. QST102-3 noudattaa NESDIS:n (The National Environmental Satellite, Data, and Information Service) asettamaa nopeamman tiedonsiirtonopeuden V2.0 standardia 300 ja 1 200 BPS:n operaatiolla. Se on NESDIS:n sertifioima, ja se toimii koko GOES-taajuuskaistalla.

Lähetin tukee ajastettua ja satunnaista lähetysohjelmaa. Ajastettu lähetys toimii siten, että käyttäjä voi konfiguroida lähettimen lähettämään dataa haluamillaan aikaväleillä. Satunnaista lähetystapaa käytetään tilanteissa, jolloin data muuttuu nopeasti tai hälytysrajat ylittyvät.

Lähettimessä on RS232- ja RS485-rajapinnat, joilla se saadaan helposti liitettyä DPMU-yksikköön. Suunniteltavassa AWS:ssä on *multi-protocol*-sarjaliikennöintikanava telemetriamoduulia varten. Käytettävä kanava valitaan ohjelmallisesti.

QST102-3 on kooltaan 141.2 x 103.1 x 24.4 mm, joten se on melko kookas verrattuna esim. BGS2T:hen. Tämän takia suunniteltavan AWS:n eri rakennevaihtoehdoissa onkin jouduttu huomioimaan tämä erityisesti (ks. 6). [16.]

## 10 Prototyypeiksi toteutettavien AWS-vaihtoehtojen valinta

Eri AWS:n toteutusvaihtoehdoista valittiin kaksi, joista tehdään prototyypit. Valinnat tehtiin hinnan, myyntipotentiaalin, tuotannollisuuden, varioitavuuden, huollettavuuden sekä tuotekehitysajan mukaan.

Ensimmäiseksi tehtäväksi prototyypiksi valittiin vaihtoehto, jossa keskusyksikkö sisältää ainoastaan DPMU-yksikön. DPMU:ssa on moduulipaikat telemetriamoduulille sekä BARO-1-paineanturille (ks. 6.5). Järjestelmässä on erillinen akkukotelo, joka sisältää akun sekä Mean Wellin MDR-60-24 -teholähteen. DPMU-yksikkö toteutetaan kuvan 19 pohjalta (ks. 7.4).

Valitussa DPMU:ssa on integroituna yhteen piirikorttiin DMU703:sta ja PMU701:stä valitut toiminnallisuudet sekä anturilinjojen- ja tehonsyötönsuojaukset. Tämä DPMU on selkeästi edullisin kaikista vaihtoehdoista.

Tämä toteutusidea valittiin, koska se on kokonaisuudessaan selkeästi edullisin ja sen tuotanto on selvästi nykyisten järjestelmien tuotantoa nopeampaa. Lisäksi sen rakenne eroaa huomattavasti tämän hetken AWS:stä. Sen huonona puolena on, että sen toteuttaminen vaatisi paljon tuotekehitystyötä. Lisäksi integroidut suojaukset aiheuttavat sen, että niiden rikkoutuessa joudutaan vaihtamaan koko DPMU-piirikortti.

Toiseksi toteutettavaksi vaihtoehdoksi valittiin kolmas rakennevaihtoehto (ks. 6.4). Sen keskusyksikössä on DPMU-yksikkö, PTB110-paineanturi ja telemetriamoduuli. Tässä vaihtoehdossa DPMU-yksikkö toteutetaan kuvan 15 mukaan (ks. 7.2). Ero kuvan 15 SIU-korttiin on se, että siihen ei tule moduulipaikkoja BARO-1- eikä telemetriamoduuleille. Ne toteutetaan erillisillä moduuleilla.

Akkukotelo on tässäkin vaihtoehdossa erillään ja sisältää Mean Wellin MDR-60-24 -teholähteen. Keskusyksikön sisään tulee anturiliitäntöjen lisäksi paineanturin sekä telemetriamoduulin johdotukset, jotka kasvattavat AWS:n kokoonpanoaikaa. Johdotusten määrä pysyy kuitenkin hyvin pienenä nykyisiin AWS:in verrattuna.

Tämän vaihtoehdon keskusyksikön ja akkuyksikön PIC on yli 60 % suurempi kuin ensimmäisen toteutettavan vaihtoehdon. Molemmista valituista keskusyksiköistä tehdään prototyypit. Näiden lisäksi akkuyksiköstä tehdään yksi prototyyppi, jota käytetään kummankin keskusyksikön kanssa.

## 11 Ensimmäisen AWS-prototyypin suunnittelu

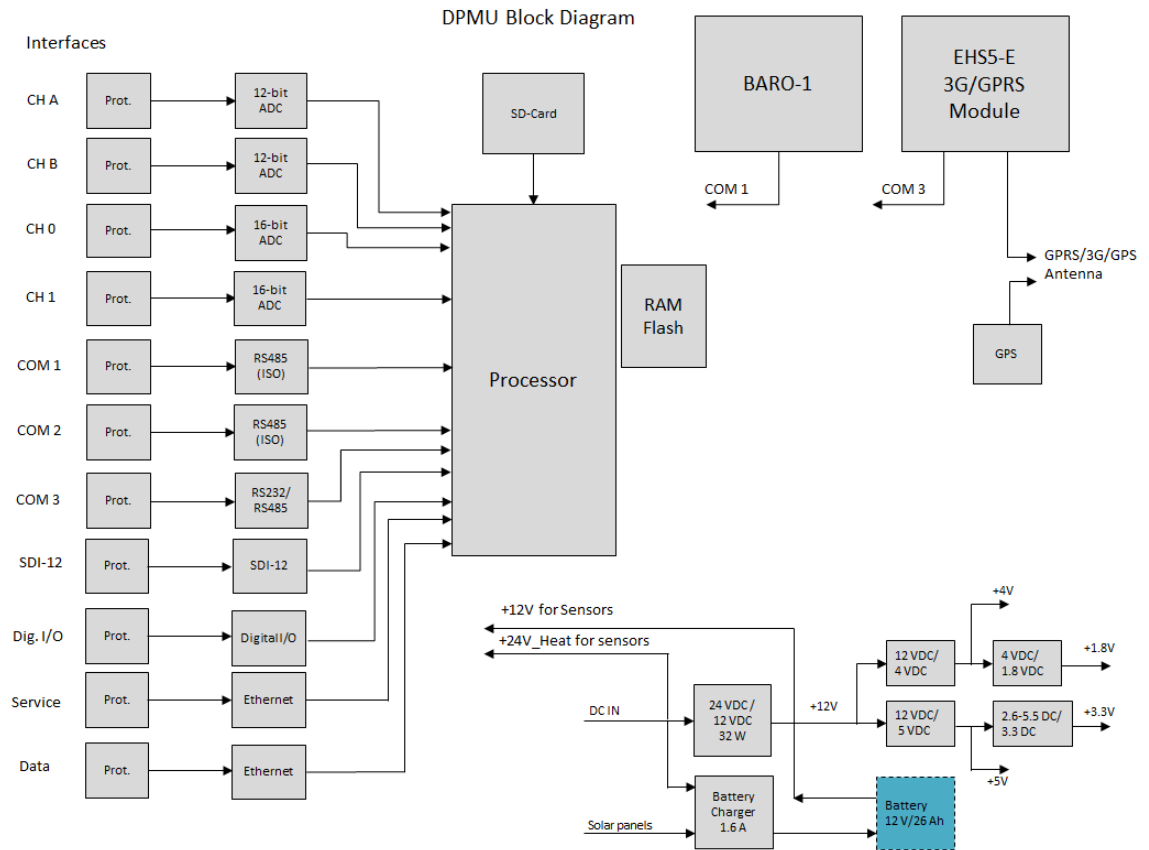
### 11.1 Yleistä AWS-prototyypin suunnittelusta

Ensimmäiseen AWS-prototyyppiin täytyy suunnitella keskusyksikön kotelo läpivientien, DPMU-yksikkö ja sen kiinnitys kotelon sisään. Lisäksi täytyy valita GPS/3G/GPRS-antenni, jonka kiinnitys täytyy suunnitella kotelon sisään. Molemmissa prototyypeissä voidaan käyttää samaa akkukotelo. Akkuyksikön prototyypin suunnittelu esitetään edempänä (ks. 13).

DPMU-yksikköä varten täytyy suunnitella oikean kokoinen piirilevy, jossa on kaikki tarvittavat liittimet, sekä kytkentäpaikat BARO-1-anturille ja EHS5-E Mini PCI-E -moduulille. Kotelon valinnassa täytyy huomioida sen mitat, hinta, materiaali, IP-luokka, maadoitus ja komponenttien asennustapa. Kaikkien koteloiden materiaalina käytetään tässä työssä akryylinitriilibutadieenistyreeniä eli ABS-muovia. ABS-muovi on edullista muovia, joka soveltuu hyvin kotelointiin, sillä se on kevyttä ja jäykkää. [32.]

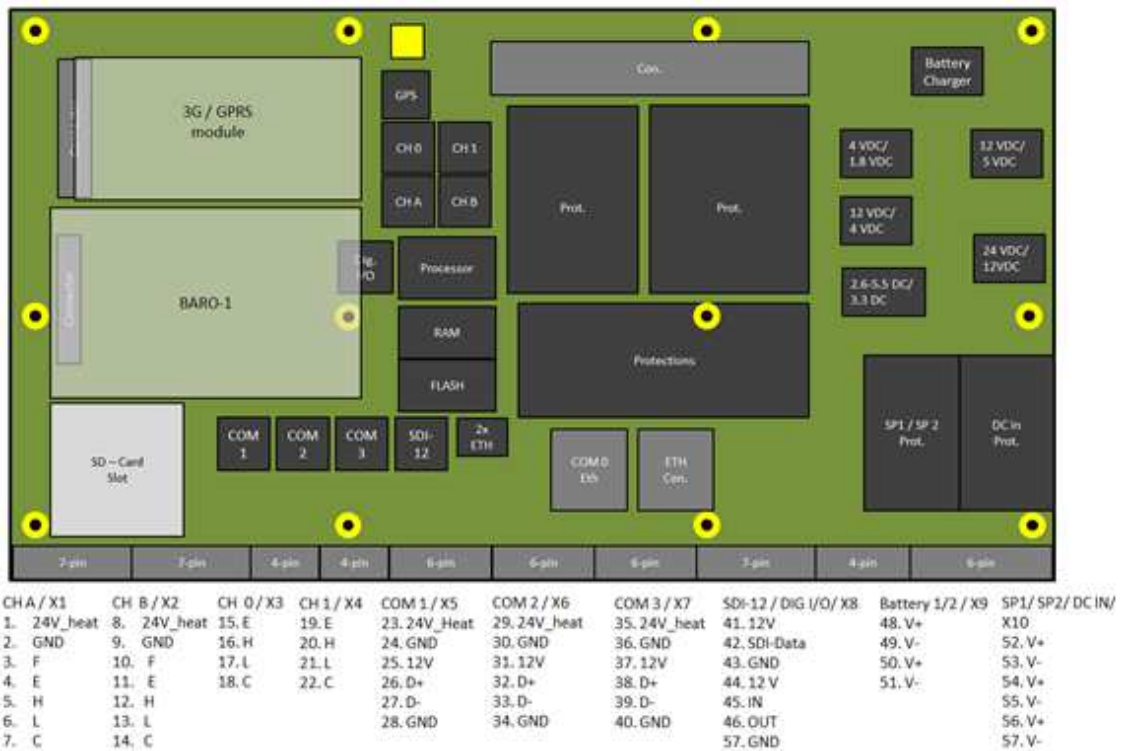
### 11.2 DPMU-prototyypin suunnittelu

DPMU-yksikkö koostuu yhdestä piirilevystä, jossa on liitännät anturi- ja telemetriarajapinnoille, huoltoväylälle, GPS-antennille ja tehonsyötölle. Piirilevyssä on myös SD-muistikorttipaikka sekä moduulipaikat EHS5-E Mini PCI-E-moduulille ja BARO-1-QML moduulille. DPMU-piirilevyn sisältämät toiminnallisuudet esitellään seuraavassa kuvassa 24 (ks. seur. s.):



Kuva 24. DPMU-piirilevyllä olevat toiminnallisuudet

Piirilevyn koko on arvioitu edellisessä kuvassa 24 esiteltujen toiminnallisuuksien tilantarpeen mukaan. Prototyypin piirilevyn koko on 220 x 120 mm. Rajapintojen suojausten tilantarve on arvioitu PMU701:n *interface cardeissa* käytettyjen suojausmenetelmien mukaan. Prototyypissä piirilevynä käytetään 2 mm:n paksuista molemmin puolin kuparoitua levyä. Luonnos piirilevystä esitellään seuraavassa kuvassa 25 (ks. seur. s.):



Kuva 25. DPMU:n piirikortin luonnos

Edellisestä kuvasta 25 voitiin nähdä liittimien, moduulien sekä pääkomponenttien sijainnit. Piirilevyn kiinnityspisteet sekä liittimien pinnijärjestys nähdään myös kuvasta 25. Piirilevy kiinnitetään pohjalevyssä oleviin korotusholkkeihin 2.5 mm:n ruuveilla, joilla levy myös maadoitetaan. Maadoituspisteitä on tässä prototyypissä 12, mutta niiden määrää voidaan muuttaa tarpeen mukaan.

Anturirajapintojen liittimiksi valittiin erikokoisia Phoenix Contactin MKDS 1/ x-3.5 -liittimiä, joihin saadaan kytkettyä maksimissaan 1 mm<sup>2</sup>:n kokoinen johdin. Prototyypissä liittimistä käytetään sekä 12- että 6-pinnisiä versioita. Oikeat liittimikoot voitiin nähdä kuvasta 25. Liittimet vievät leveysuunnassa 218.5 mm tilaa, mikä tarkoittaa, että jos DPMU:hun halutaan suuremmat liittimet, piirilevystä tulee suurempi. Liittintyyppiä valittiin suoraan piirilevyn kiinnitettävä ruuviliitin malli, koska se on edullisin vaihtoehto. Ruuviliittimen käytettävyys on hyvä myös kenttäolosuhteissa. Jousiliittimet voisivat olla hyvä myös hyvä vaihtoehto tähän, sillä ne ovat helppokäyttöisiä, ja hinta on samaa luokkaa kuin vastaavien ruuviliittimien.

Tehonsyötön, aurinkopaneelien ja akkujen liittimiksi valittiin hieman suuremmat, mutta muuten vastaavat liittimet. Näissä liittimissä rasteri on 5.08 mm ja niihin saadaan kytkettyä maksimissaan 2 mm<sup>2</sup>:n johdin. Huoltolinjan sekä Ethernetin liittiminä käytetään RJ45-liittimiä.

EHS5-E-moduulin liittimeksi valittiin JAE:n MM60-52B1-E1-R650 Mini PCI-E -liitin. Liittimen toimintalämpötila on välillä - 40 - + 80 °C, ja se on 5.9 mm korkea. Mini PCI-E kortin piirilevykiinnitykseen käytetään JAE:n MM60-EZH059-B5-R650-kiinnikettä joka on tarkoitettu käytettäväksi valitun liittimen kanssa. Kiinnikkeessä on pienet kynnet, joiden avulla kortti on helposti kiinnitettävissä ja irrotettavissa. [33.]

Vastaavanlaisia liittimiä on saatavilla myös korkeampina. Esimerkiksi Molexilla on tarjonnassa liittimiä 10 mm:n korkeuteen asti. Korkeamman liittimen etuna on, että Mini PCI-E-kortin alle voidaan sijoittaa komponentteja kortin ollessa tarpeeksi korkealla piirilevyn pinnasta. Prototyyppiin valittua liittintä ja kiinnikettä käytettäessä Mini PCI-E-kortin alle voidaan sijoittaa maksimissaan 2 mm korkuisia komponentteja.

BARO-1QML-paineanturissa on 2 x 8 -nastainen urosliitinrima, minkä vuoksi piirilevyyntä tarvitaan vastaavanlainen naaraspuolinen liitinrima. Paineanturi täytyy lisäksi kiinnittää ruuveilla piirilevyyntä neljästä kohdasta. Kiinnityspaikat toteutetaan 10 mm:n korkuisilla korotusholkeilla, missä on reiät ja kierteet 3 mm:n ruuveille. Paineanturi painetaan liittimeen kiinni ja ruuvataan neljästä kohdasta korotusholkkeihin kiinni.

SD-korttipaikkoja on saatavilla monenlaisia. Prototyyppiin valittiin Wurth Elektronikin 9WAY-korttipaikoista malli, joka on vain 16.5 mm pitkä. Korttipaikka on 8.5 mm normaalia lyhyempi. SD-muistikortin laittaminen korttipaikkaan ei vaadi tämän mallin kanssa niin paljon tilaa kuin täysimittaisen mallin kanssa. Korttipaikan huonona puolena on, ettei se ole *push/push*-tyyppinen. *Push/push*-malleissa kortti painetaan korttipaikan sisälle, jolloin se lukittuu sen sisään. Kortin ollessa korttipaikan sisällä sitä painetaan, jolloin lukitus vapautuu, ja kortti tulee ulos. Tämä ominaisuus on äärimmäisen hyvä ja korttipaikan tulisi olla tällainen lopullisessa tuotteessa. [34.]

DPMU:ta ei koteloida mitenkään vaan sen päälle asennetaan läpinäkyvä muovilevy. Levy on edullinen ratkaisu ja sillä saadaan estettyä sormien yms. osuminen paljaaseen levyyn.

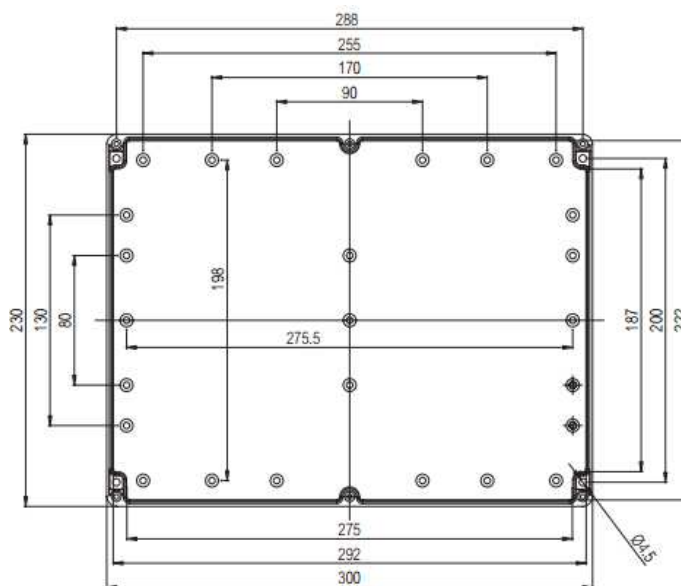
Levy kiinnitetään piirilevyn molempien päiden keskelle tuleviin 2 cm:n korkuisiin ruuvi-holkkeihin. Levyyn tulee merkinnät, joista ilmenevät kunkin rajapinnan sijainti sekä asennettavien moduulien sijainnit.

EHS5-E-moduulin ja GPS:n kanssa käytettäväksi valittiin myös antenni, joka on pieni-kokoinen ja asennettavissa kotelon sisään. Antenniksi valittiin Adactucsen ADA-0114 -antenni. Valittu antenni kattaa 3G:n, GPRS:n, ja GPS:n käyttämät taajuuskaistat. [35.]

### 11.3 Ensimmäisen prototyypin kotelon suunnittelu

Kotelon valinnassa tutkittiin pääasiassa Vaisalan nykyisten toimittajien kotelointia. Näitä ovat mm. Fibox ja Schneider Electric. Kotelon sisämittojen tulisi olla vähintään 260 x 220 x 110 mm. Kotelon alapäädyn tulisi olla 90 mm korkea, jolloin läpiviennit saataisiin toteutettua hyvin.

Prototyyppiin valittiin Fiboxin Euronord-sarjan AB 233011-malli, jonka ulkomitat ovat 300 x 230 x 110 mm. Kotelo koostuu pohjaosasta sekä kansiosasta, jotka ovat saman kokoiset, mutta pohjaosassa on ruuvi- ja DIN-paikkoja asennuslevylle tai DIN-kiskoille. Kotelon pohjaosan alapäädynkorkeus on vain 55 mm, joka hankaloittaa läpivientien toteutusta. Seuraavasta kuvasta voidaan havaita, että keskellä alapäätä on kotelon kiinnitysruuville paikka, joka vie tilaa läpivienneiltä (kuva 26). [36.]

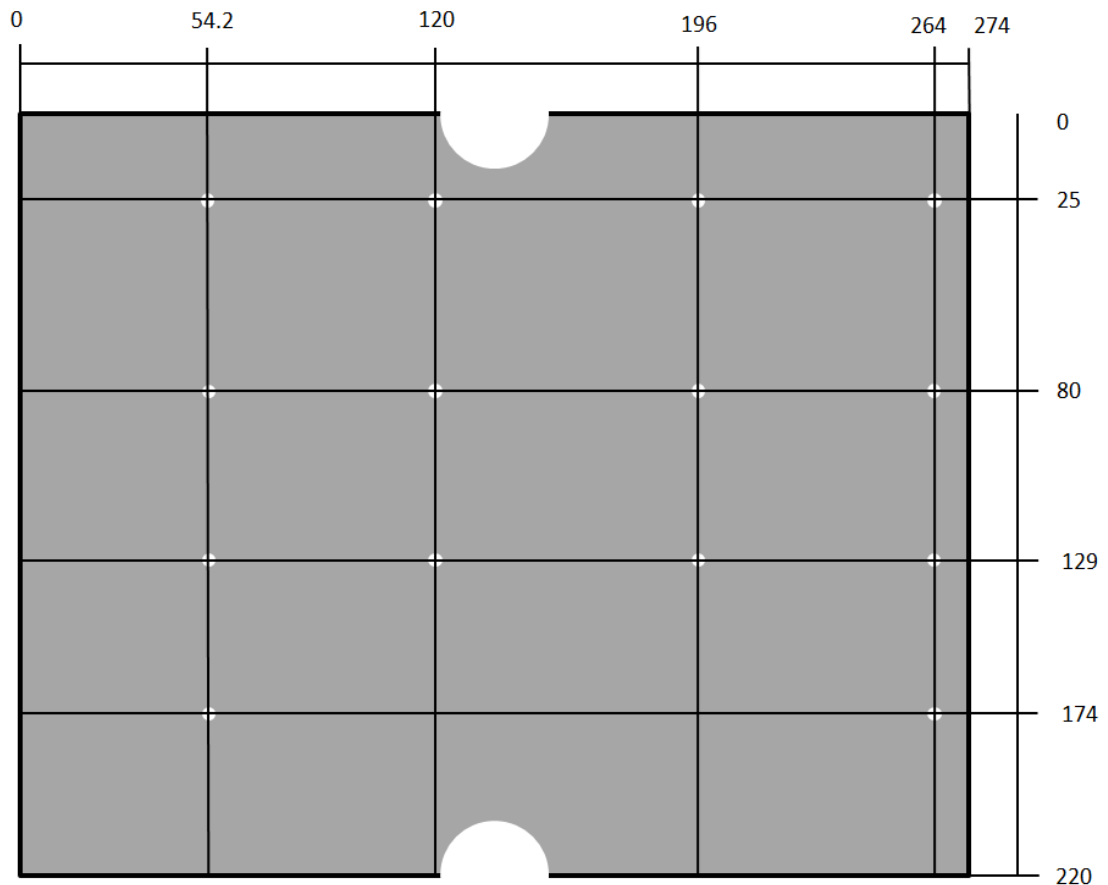


Kuva 26. Fiboxin AB 233011 -kotelon mittakuva [36]



Kotelon mitat ovat muuten hyvät, mutta kotelon alapäädyn korkeuden tulisi olla, 55 mm:n sijaan vähintään 90 mm. Lisäksi alapäädyn tulisi olla koko leveydeltään tasainen ilman kannen ruuvipaikkaa.

Kotelon pohjalevynä käytetään Fiboxin omaa TM 2330 -asennuslevyä. Asennuslevyn kulmissa on 6 mm:n reiät, jotta se saadaan kiinnitettyä ruuveilla kotelon pohjaan. DPMU kiinnitetään asennuslevyyn korotusholkeilla, joita varten asennuslevyyn pitää tehdä 12 reikää. Reiät tehdään asennuslevyn kuvan 27 mukaan:



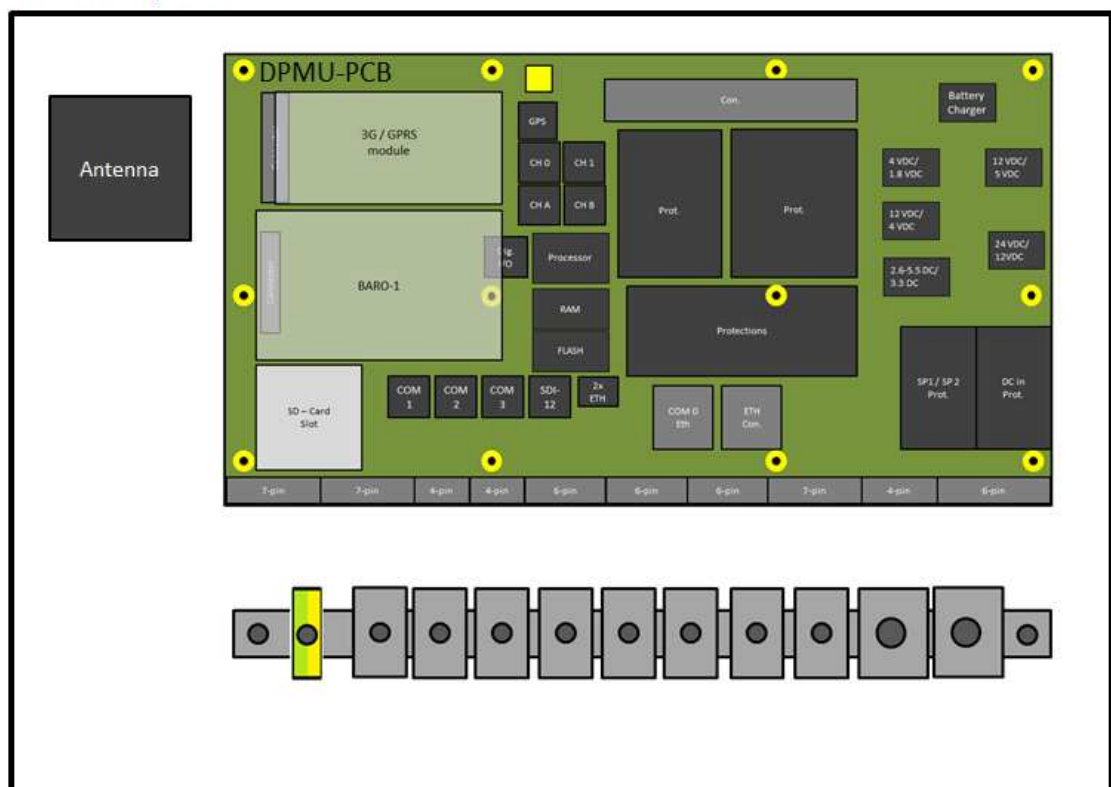
Kuva 27. Asennuslevyn porattavien reikien paikat

Porattavat reiät ovat 4 mm:n kokoiset ja korotusholkkeina käytetään 2 cm:n korkuisia holkkeja, joihin sopivat 4 mm:n ruuvit. Holkit kiinnitetään asennuslevyyn muttereilla, jotka tulevat levyn alapuolelle. Piirilevyn kiinnityksessä tulisi käyttää 2.5 mm:n ruuveja, mutta tässä prototyypissä käytetään 4 mm:n ruuveja, koska ne käyvät saatavissa oleviin korotusholkkeihin.

Kuvasta 27 (ks. ed. s.) voitiin havaita, että asennuslevyssä on kaksi ylimääräistä reikää levyn alaosassa. Näihin reikiin kiinnitetään maadoitusrima, jonka kautta keskusyksikkö maadoitetaan.

Maadoituksessa käytetään Phoenix Contactin AKG 16 GNYE -liitintä, mihin kotelosta ulos tuleva maadoitusjohdin kiinnitetään. Tämä ratkaisu on todella edullinen. Lisäksi maadoitusrimaan tulee Phoenix Contactin SK8 ja SK16 ruuvikiristimiä, joilla anturikaapeleiden vaippamaadoitus toteutetaan. Seuraavassa kuvassa 28 esitellään kotelon sisään tulevien osien asettelu:

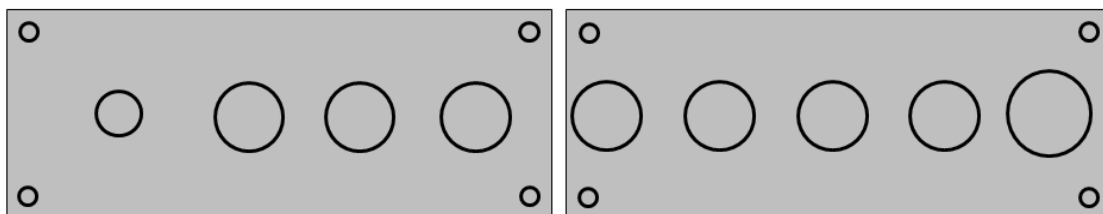
## Keskusyksikkö



Kuva 28. Kotelon sisällä olevien osien asettelu

Kotelon läpiviennit toteutetaan Jacobsin polyamidisilla läpivientiholkeilla. Muoviset holkit ovat lähes viisi kertaa halvempia kuin vastaavat metalliset. Läpivienneissä käytetään sekä PG 9 että PG 11 -kokoisia holkkeja. Kyseisten läpivientien tiiveysluokka on IP 68 ja käyttölämpötila - 20 - + 100 °C, joten ne ovat vaatimusten mukaiset. Vastaavanlaisia läpivientiratkaisuja on saatavilla myös esim. Hummelilta, mutta ne ovat n. 50 % Jacobsin ratkaisuja kalliimpia. [37.]

Läpivientiholkit kiinnitetään metallilevyyn, jossa on niille tehdyt reiät. Koteloa alapäätyyn tulee tehdä aukot, mihin levyt asennetaan. Prototyyppiä varten tehdään kaksi irrallista levyä, jotka tulevat alapäädyn keskellä olevan ruuvipaikan molemmille puolille. Laippalevyt esitellään seuraavassa kuvassa 29:



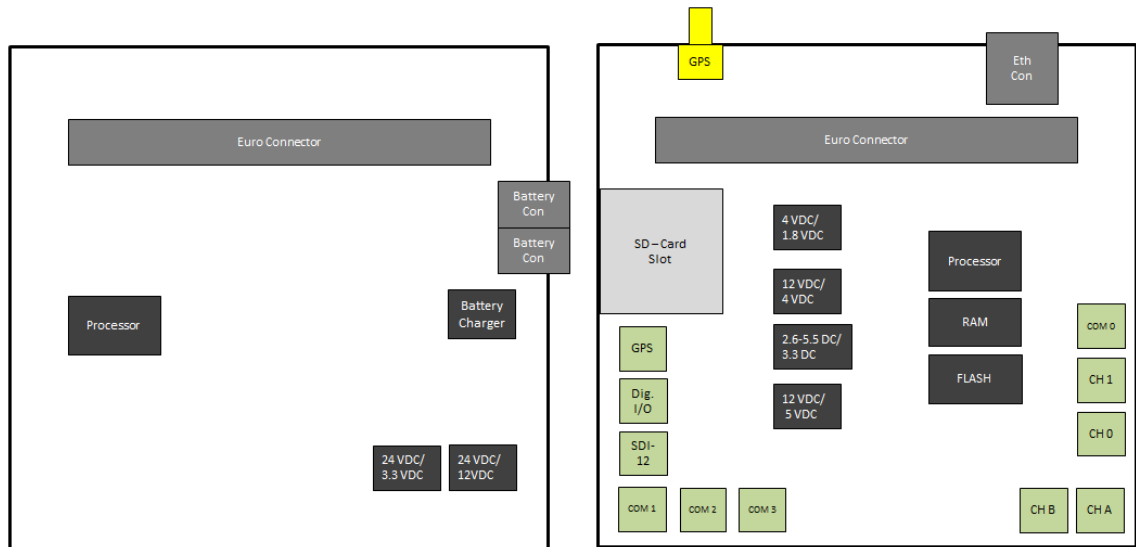
Kuva 29. Koteloon asennettavat laippalevyt

Laippalevyissä on anturikaapeleiden sekä aurinkopaneelin PG 9 läpivienneille reiät. Lisäksi siinä on PG 11 läpivienti tehonsyöttöä varten sekä 1 cm reikä paineportille. Esi- telttyä ratkaisua parempi vaihtoehto olisi, että koteloon tulisi yksi asennuslevy, jossa olisi taivutettu alapäätyosa valmiiksi poratuilla aukoilla. Prototyyppiä varten jouduttiin kuitenkin tekemään valittu ratkaisu kireän aikataulun takia.

## 12 Toisen AWS-prototyypin suunnittelu

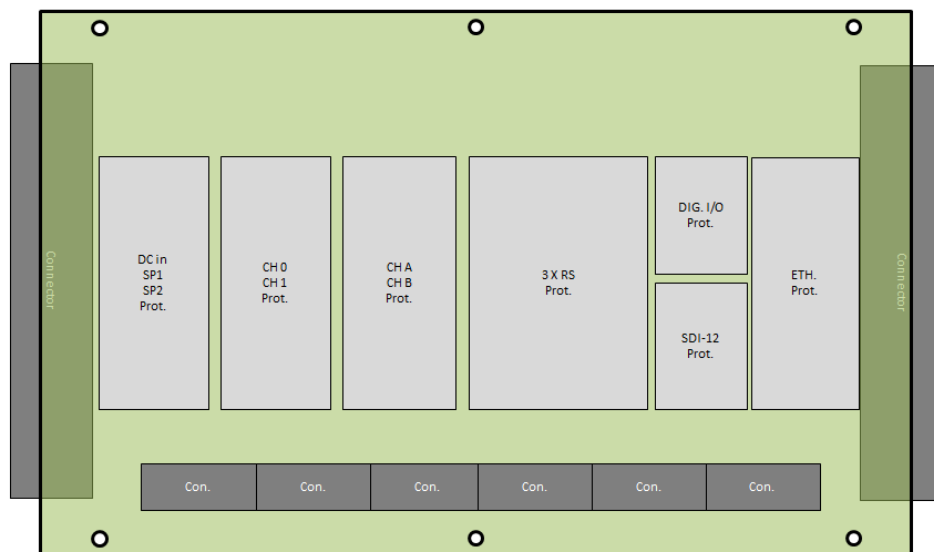
### 12.1 DPMU-prototyypin suunnittelu

DPMU-yksikkö koostuu kolmesta piirilevystä, jotka tulevat saman koteloa sisään. DPMU sisältää samat ominaisuudet kuin ensimmäisen prototyypin DPMU. Toiminnallisuudet on jaettu tässä yksikössä kolmelle eri piirikortille. Prototyyppissä DMU- ja PMU-piirilevyjen koot ovat 112 x 120 mm. Mitat ovat samat kuin PMU701CB-kortilla. DPMU:n SIU-kortti toteutetaan SIU701:sen mittojen mukaan. Sen mitat ovat 190 x 118.5 mm. Sekä DMU- että PMU-kortti sisältävät vähemmän ominaisuuksia kuin DMU703 ja PMU701. Tämä mahdollistaisi piirilevyjen suunnittelun pienemmäksi, jos kyseistä DPMU:ta lähdettäisiin jatkojalostamaan. DMU- ja PMU-piirikorttien liittimien asettelu sekä toiminnallisuudet nähdään seuraavassa kuvassa 30 (ks. seur. s.):



Kuva 30. DMU- ja PMU -piirikortit

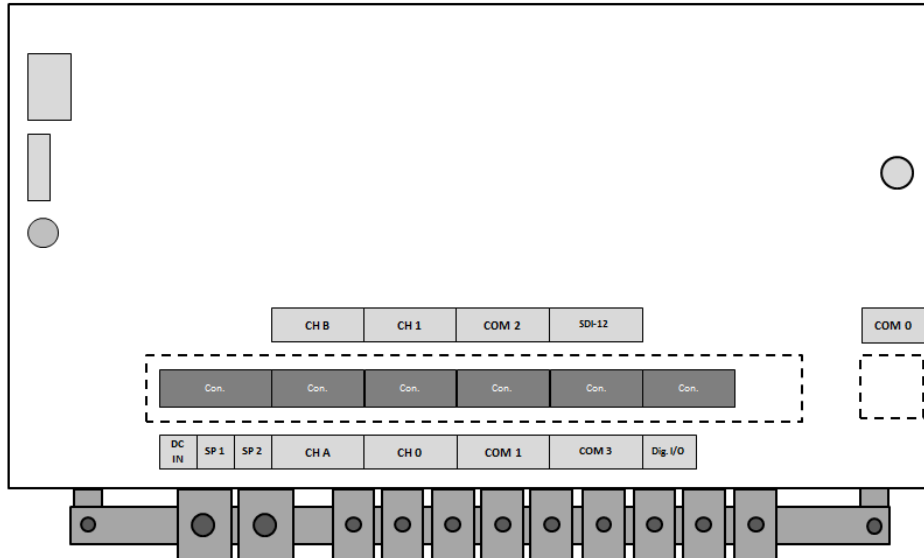
Kummassakin kuvassa 30 esitellyistä piirikorteista on 96-pinninen liitin, joilla SIU-kortti liitetään niihin. Erona PMU701CB:hen ja DMU703:een liittimet ovat korttien yläosassa. Tämä tarkoittaa sitä, että SIU-kortti tulee lähelle korttien yläreunaa. SIU-kortin toiminnallisuudet sekä liittimien asettelu nähdään seuraavassa kuvassa 31:



Kuva 31. SIU-kortti

Suunniteltavan DPMU-yksikön kotelon mitat ovat: 120 x 260 x 126 mm. Se on muuten samankokoinen kuin PMU701, mutta se on 30 mm leveämpi.

PMU701:n koteloon kiinnitetään maadoitusrima, mikä nostaa yksikön tilantarvetta korkeussuunnassa 140 mm:n. Samaa maadoitusrimaa käytetään myös prototyypin DPMU:ssa. Hahmotelma DPMU:n kotelosta nähdään seuraavassa kuvassa 32 ylhäältä päin kuvattuna:



Kuva 32. DPMU ylhäältä kuvattuna

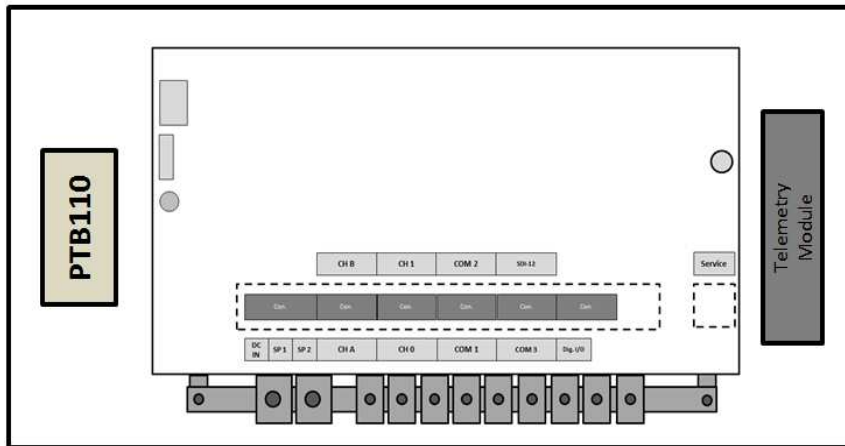
Kotelon molemmat päädyt sekä kansi-osa ovat irrotettavia. Vasemmasta päädystä laitetaan PMU-piirikortti paikalleen. SIU-kortti asennetaan kotelon sisään ylhäältä päin ja DMU oikeasta päädystä. Piirikortit liitetään toisiinsa 96-pinnisillä liittimillä.

Piirilevyn valmistuskustannuksista huomattava osa tulee levyn leikkauksesta ja komponenttien ladonnasta. Koska tässä DPMU-toteutuksessa on kolme piirilevyä tulevat kyseiset kustannukset kolmeen kertaan. On huomattavasti edullisempaa valmistaa yksi suurempi piirilevy, johon voidaan latio kerralla kaikki komponentit sen sijaan, että valmistetaan kolme eri piirilevyä, joihin jokaiseen joudutaan latomaan komponentit erikseen.

DPMU:n kotelointi toteutetaan samankaltaisella alumiiniprofiililla kuin PMU701:n kotelointi. Profiilin kustannuksien lisäksi koteloinnista aiheutuu huomattavia kokoonpanokustannuksia.

## 12.2 Toisen AWS-prototyypin kotelon suunnittelu

Tätä prototyyppiä varten tarvitaan ensimmäistä vaihtoehtoa suurempi kotelo. Kotelon sisään tulevien systeemikomponenttien sijoittelu vaikuttaa kotelon mittoihin. Suunniteltu komponenttien asettelu esitellään seuraavassa kuvassa 33:



Kuva 33. Systeemikomponenttien sijoittelu keskusyksikössä

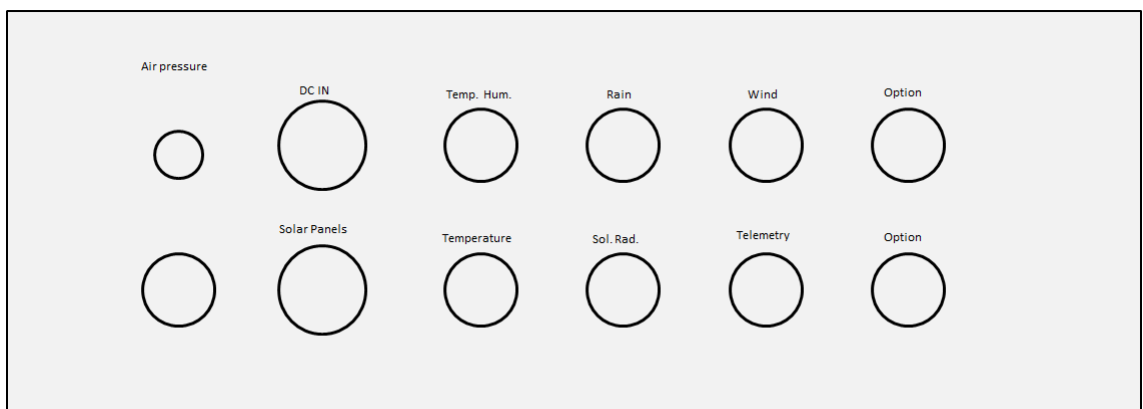
PTB110:n leveys on 28.1 mm, ja sen liitännät ovat etuosassa anturia [15]. Anturin DPMU:ta vasten olevassa sivussa ei ole mitään liitäntöjä, joten anturin ja DPMU:n väliin ei tarvitse jättää paljoa tilaa. GOES-moduulin leveys on puolestaan 24.4 mm [16]. GOES-moduulin liitännät ovat kaikki sen oikealla sivulla, joten moduuli voidaan laittaa hyvin lähelle DPMU:n oikeaa päätä.

Systeemikomponenttien vaatima tila on 332.5 mm, jos komponenttien väleihin jätetään 10 mm tyhjää tilaa. GOES-moduulin johdotuksista johtuen sen oikealle puolelle täytyy varata 20 mm tilaa. Myös PTB110:n vasemmalle puolelle varataan 10 mm ylimääräistä tilaa. Tällöin kotelon sisämittojen tulisi olla vähintään 250 x 362.5 x 150 mm.

Koteloksi valittiin Fiboxin ABS 3828 18 G, jonka sisämitat ovat: 257 x 357 x 165 mm. Kotelon pohjalle tulee asennuslevy, johon kiinnitetään yksi 35 mm leveä DIN-kisko. Kaikki kotelon sisään asennettavat komponentit saadaan kiinnitettyä helposti DIN-kiskoon, jonka pituus on 330 mm. Asennuslevynä käytetään Fiboxin EKPVT -levyä. [38; 39.]

Tässä prototyypissä kaapelointien vaatimien läpivientiholkkien asennusreiät tehdään suoraan kotelon alapäätyyn. Kun muoviset läpivientiholkit asennetaan suoraan ABS-muovia vasten, liitoksesta saadaan riittävän tiivis. Suoraan muoviin liitetyt läpivientiholkit ovat edullinen ratkaisu, koska asennuslevy pysyy tällöin yksinkertaisempänä.

Jos alapäädyssä olisi koneistettu aukko, johon asennuslevyn taivutettu laippaosa tulisi, täytyisi koko asennuslevy käsitellä kestävämpään ympäristöolosuhteita. Asennuslevyn käsittely maksaisi huomattavasti ja tämän lisäksi laippa-aukon tiivistäminen olisi haastavaa. Käytettävät läpivientiholkit ovat samoja kuin ensimmäisessä AWS-prototyypissä (ks. 11.3). Kotelon läpiviennit esitellään seuraavassa kuvassa 34:



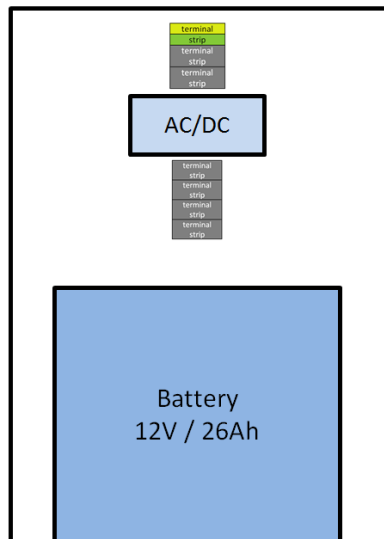
Kuva 34. Prototyypin kotelon läpiviennit

### 13 Akkuyksikön prototyypin suunnittelu

Akkukotelo suunniteltaessa täytyy huomioida akun sekä teholähteen vaatima tila. Kotelon kotelointiluokan tulee olla IP-66 (ks. 3). Kotelon valinnassa tutkittiin Vaisalan nykyisten toimittajien kotelotarjontaa, ja parhaaksi vaihtoehdoksi nousi Fiboxin ABS 3828 18G. Kotelo on sama kuin toisen prototyypin keskusyksikössä käytettävä kotelo (ks. 12.2).

Kotelon ulkomitat ovat: 378 x 278 x 180 mm, ja koteloon saatavan asennuslevyn mitat ovat: 338 x 238 mm. Käytettävän akun mitat ovat 175 x 166.5 x 125 mm, joten kotelo ja asennuslevy soveltuvat hyvin käytettäväksi akun kanssa. Käytettävän Mean Wellin MDR-60-24 -teholähteen mitat ovat 70 x 50 x 100 mm.

Teholähde kiinnitetään kotelon yläosaan akun yläpuolelle 35 mm levyiseen DIN-kiskoon. DIN-kiskon pituus on 80 mm, mikä mahdollistaa riviliittimien asentamisen teholähteen viereen. Yksikön rakenne esitetään kuvassa 35: [38; 39; 40.]



Kuva 35. Akkuyksikön rakenne

Riviliittimillä tehdään kytkentäpisteet sähkönsyötölle sekä akku- että DC-lähdöille. Akun kiinnittämisessä käytetään ASM21101-akkukiinnikettä, joka on suunniteltu AWS310:een. Kotelon alapäätyyn tehdään kolme aukkoa PG 11 -kokoisille läpivientiholkeille. Läpivientien kautta toteutetaan kotelon maadoitus, tehonsyöttö teholähteelle sekä tasavirran ulossyöttö akulta ja teholähteeltä.

## 14 Edullisen AWS:n prototyyppien yhteenveto ja arviointi

### 14.1 Ensimmäisen AWS-prototyypin yhteenveto ja arviointi

Prototyyppiä sekä järjestelmän yleistä toteutusideaa arvioitiin usean Vaisalan työntekijän kanssa. Arvioinnissa oli mukana henkilöitä tuotekehityksestä, tuotannosta, huollosta sekä meteorologisten sovelluksien segmentistä. Arvioinnissa arvioitiin pääasiassa AWS:n yleistä toteutusideaa, kustannuksia toiminnallisia asioita sekä teknisiä toteutuksia.



Tässä AWS-toteutuksessa kustannukset oli saatu selvästi nykyisiä laitteita alemmaksi. Seuraavassa taulukossa 10 esitetään, miten suunnitellun järjestelmän PIC on jakautunut prosentuaalisesti eri osa-alueille.

Taulukko 10. Suunnitellun AWS:n kustannusten jakautuminen.

|                      | %           |
|----------------------|-------------|
| <b>Keskusyksikkö</b> | <b>21.6</b> |
| kotelo + mekaniikka  | 2.1         |
| DPMU                 | 15.4        |
| telemetriamoduuli    | 2.6         |
| työ (15 min)         | 1.5         |
| <b>Akkuyksikkö</b>   | <b>8.7</b>  |
| kotelo + mekaniikka  | 3.1         |
| akku                 | 3.1         |
| teholähde            | 1.0         |
| työ (15 min)         | 1.5         |
| <b>Anturit</b>       | <b>64.6</b> |
| HMP110               | 4.5         |
| WMT52                | 18.0        |
| QMR102               | 24.7        |
| BARO-1               | 4.1         |
| QMS101               | 11.0        |
| QMT110               | 2.3         |
| <b>Muut</b>          | <b>5.1</b>  |
| 2 x aurinkopaneeli   | 5.1         |
| <b>Yhteensä</b>      | <b>100</b>  |

Taulukosta 10 voitiin havaita, että anturit tuovat 64.5 % laitteen PIC:stä ja keskusyksikkö 21.6 %. Taulukosta 1 (ks. 4.5) voitiin havaita, että ilman mastoa antureiden osuus MAWS301:ssä on 39 % ja keskusyksikön osuus on 61 %. Keskusyksikön kustannukset ovat siis huomattavasti suuremmat järjestelmän kokonaiskustannukseen nähden, kuin suunnitellussa AWS:ssä. MAWS301:n keskusyksikkö sisältää kuitenkin myös akun ja teholähteen. Suunnitellun AWS:n keskusyksikön ja akkuyksikön osuus kokonaiskustannuksesta ovat yhteensä 30.31 % eli sen osuus on silti n. 31 % pienempi kuin MAWS301:ssä. Suunnitellun AWS:n PIC on kokonaisuudessaan n. 63 % taulukon 1 (ks. 4.5) MAWS301:sen PIC:ä pienempi. [10.]

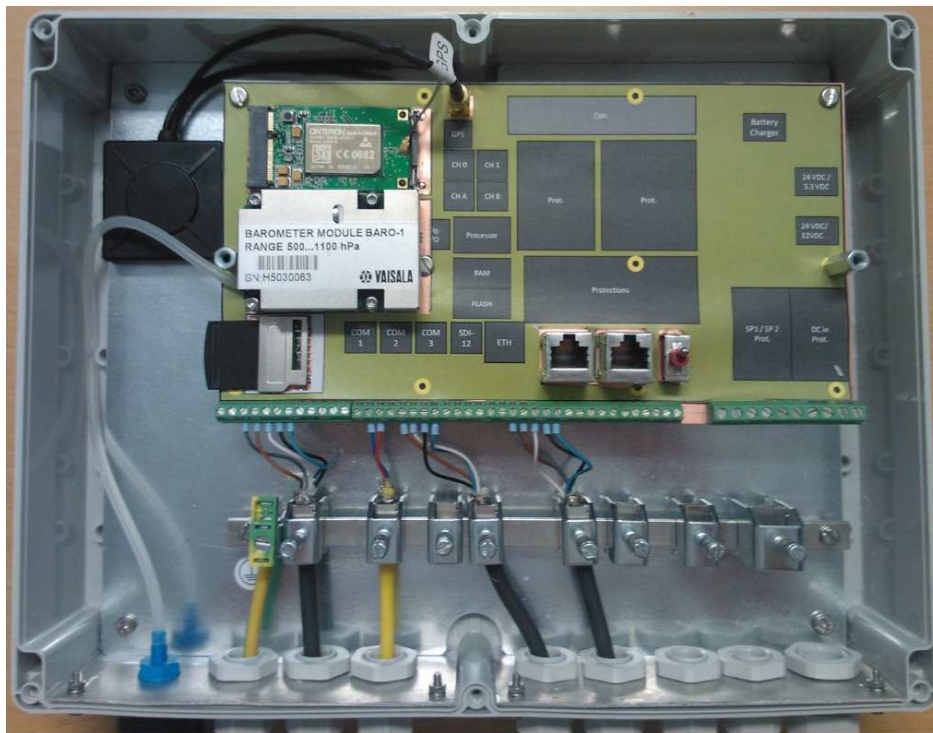
Keskusyksikön kustannuksia saatiin pienennettyä suunnittelemalla laite mahdollisimman helposti koottavaksi, jolloin kokoonpano-aika lyhenee. Keskusyksikön kokoonpanovaiheessa DPMU kiinnitetään 12 ruuvilla asennuslevyssä oleviin ruuviholkkeihin.

Tämän lisäksi BARO-1-moduuli sekä GPRS/3G-moduuli täytyy kiinnittää DPMU:hun. Antenni kiinnitetään tarralla asennuslevyyn ja antennikaapelit DPMU:hun. Lopuksi maadoitusrima sekä läpivientiholkit kiinnitetään paikoilleen ja BARO-1:n paineletku kiinnitetään laipassa olevaan paineporttiin.

Kokoonpanotyöhön kuuluu arviolta 15 minuuttia. Laitteen testausta ei suunniteltu tässä työssä tarkemmin, mutta se lisää kokoonpanoaikaa maksimissaan 30 min. Läpivientiratkaisua arvioidessa todettiin, että läpiviennit tulisi toteuttaa kuten toisessa AWS-vaihtoehdossa. Eli kotelon alapäätyyn tehdään suoraan muoviin läpivientiholkeille reiät. Näin asennuslevyn kustannuksissa säästetään huomattavasti, ja läpivienneistä saadaan helposti tiiviit.

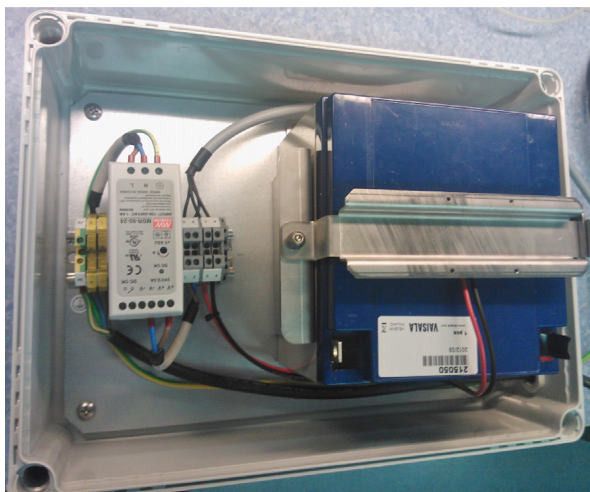
Suurin osa keskusyksikön PIC:stä tulee DPMU:sta. Sen kustannuksia saatiin laskettua jättämällä vain välttämättömät ominaisuudet CPU-yksiköstä sekä PMU-yksiköstä. Näiden yksiköiden sekä suojausten integrointi yhdelle levyille laskee myös kustannuksia huomattavasti. Suunnitellun DPMU:n PIC on 39 % DMU703:n ja PMU701:n yhteenlasketusta PIC:stä. PMU701 sisältää tässä vertailussa kuusi *interface cardia*, joiden osuus PIC:stä on 27 %.

DPMU:n hintaa laski myös liitinvalinnat. DMU703:ssa käytetään liittimiä, joihin kuuluu kantaosa sekä itse liitinosa. Kantaosa on piirilevyssä kiinni ja liitinosaan kiinnitetään kaapelit. Suunnitellussa DPMU:ssa käytetään suoraan piirilevyyn juotettavia liittimiä, jotka ovat n. 50 % kaksiosaisia liittimiä edullisempia. Valmis keskusyksikön prototyyppi esitellään seuraavassa kuvassa 36 (ks. seur. s.):



Kuva 36. Keskusyksikön prototyyppi

AWS-toteutukseen kuuluu myös akkuyksikkö, jonka osuus kokonaiskustannuksesta on 21.6 % (taulukko 10, ks. s. 53). Akkuyksikön kustannuksista suurin osa tulee akusta sekä kotelosta. Akkua ei valittu erikseen suunniteltua AWS:ää varten vaan järjestelmässä käytetään samaa Ultracellin UL26-12 -akkua kuin nykyisissä järjestelmissä. Akun lisäksi kotelossa on teholähde sekä riviliittimiä, millä tehdään kytkentäpisteet sähkönsyötölle sekä akun ja tasavirran uloslähdöille. Valmis akkuyksikön prototyyppi nähdään kuvassa 37:



Kuva 37. Akkuyksikön prototyyppi

Akkuyksikön kustannuksia laskettiin etsimällä mahdollisimman edullinen teholähde sekä kotelo. Teholähde on todella edullinen, sillä sen PIC koko järjestelmän PIC:stä on vain 1 %:n. Valitun kotelon ja akkukiinnikkeen PIC on koko järjestelmän PIC:stä 3 %. Kotelon kustannukseen pystytään vaikuttamaan ainoastaan valitsemalla mahdollisimman edullinen, mutta tarpeeksi kestävä materiaali ja mitoittamalla se juuri sopivan kokoiseksi.

Tässä prototyypissä teholähdettä ei ole suojattu erillisillä suojauskomponenteilla mitenkään. Teholähde on niin edullinen, että nykyisin käytettävät suojauskomponentit maksavat saman verran kuin itse teholähde. Teholähdetratkaisua arvioidessa todettiin, että suojauskomponenttien lisääminen voisi olla tarpeen, sillä niiden vaihtaminen on helpompaa kuin koko teholähteen. Teholähteen luotettavuutta ja toimivuutta ääriolosuhteissa tulisi testata, jos tuotetta lähdetäisiin suunnittelemaan valmiiksi.

Tämän AWS-toteutuksen hyväksi puoliksi todettiin arvioinnissa myyntihinta sekä keskusyksikön yksinkertainen rakenne, joka eroaa huomattavasti nykyisistä sääasemista. Keskusyksikön pieni koko myös mahdollistaa sen käytön joustavammin eri paikoissa. Erillinen akkuyksikkö vaikutti hyvältä ratkaisulta, sillä näin keskusyksikön kanssa voidaan käyttää joustavammin erilaisia akkuratkaisuja.

Toteutuksen huonoja puolia ovat varaosa- ja huoltokustannukset. Suuret varaosa- ja huoltokustannukset aiheutuvat pääasiassa DPMU:hun integroiduista suojauksista. Yhdenkin integroidun suojauskomponentin rikkoutuessa joudutaan vaihtamaan koko DPMU-piirikortti. Keskusyksikön pienen koon huonona puolena on, ettei sen sisään mahdu erillisiä telemetriamoduuleita. Erillisten telemetriamoduulien, kuten GOES:in kanssa joudutaan käyttämään erillistä koteloa, mikä tuo lisäkustannuksia järjestelmälle.

## 14.2 Toisen AWS-prototyypin yhteenveto ja arviointi

Toista AWS-toteutusideaa arvioitiin samojen henkilöiden kesken ja samoin perustein kuin ensimmäistä AWS-toteutusideaa. Edelliseen AWS-toteutusideaan verrattuna tämän AWS:n kustannukset ovat huomattavasti suuremmat. Toisen AWS:n kustannusten prosentuaalinen jakautuminen esitetään seuraavassa taulukossa 11 (ks. seur. s.).

Taulukko 11. Toisen AWS-toteutuksen kustannusten jakautuminen.

|                      | %           |
|----------------------|-------------|
| <b>Keskusyksikkö</b> | <b>33.3</b> |
| kotelo + mekaniikka  | 3.0         |
| DPMU                 | 25.9        |
| telemetriamoduuli    | 2.2         |
| työ (25 min)         | 2.2         |
| <b>Akkuyksikkö</b>   | <b>7.4</b>  |
| kotelo + mekaniikka  | 2.6         |
| akku                 | 2.6         |
| teholähde            | 0.9         |
| työ (15 min)         | 1.3         |
| <b>Anturit</b>       | <b>55.0</b> |
| HMP110               | 3.8         |
| WMT52                | 15.1        |
| QMR102               | 20.7        |
| PTB110               | 4.2         |
| QMS101               | 9.3         |
| QMT110               | 1.9         |
| <b>Muut</b>          | <b>4.3</b>  |
| 2 x aurinkopaneeli   | 4.3         |
| <b>Yhteensä</b>      | <b>100</b>  |

Ensimmäisen AWS:n PIC on n. 84 % tämän AWS:n PIC:stä. Taulukosta 11 voitiin havaita, että keskusyksikön PIC on 33.3 % koko järjestelmän PIC:stä. Ensimmäisen AWS:n keskusyksikön osuus koko järjestelmän PIC:stä on vain 21.6 % (ks. 14.1), mikä tarkoittaa, että tämän AWS-toteutuksen keskusyksikön kustannukset ovat huomattavasti suuremmat. Järjestelmien ainoina eroina ovat keskusyksiköiden toteutukset, sekä paineanturit. Paineantureiden PIC:t ovat hyvin lähellä toisiaan, joten ne eivät juuri vaikuta näiden järjestelmien välisiin kustannuseroihin.

Koska järjestelmät ovat edellä mainittuja poikkeuksia lukuun ottamatta samanlaiset, voidaan huomata, että kustannuserot aiheutuvat keskusyksiköstä. DPMU:n osuus tämän järjestelmän kokonaiskustannuksesta on 25.9 %, kun ensimmäisessä AWS:ssä se on vain 15.4 %. Ensimmäisen järjestelmän DPMU:n PIC on 50 % tämän järjestelmän DPMU:n PIC:stä. DPMU-toteutuksen kustannuksia nostaa merkittävimmin piirilevyjen määrä sekä kotelointi. Keskusyksikkö sisältää DPMU:n lisäksi PTB110:n ja telemetriamoduulin, mitkä aiheuttavat johdotustyötä kokoonpanovaiheessa.

Keskusyksikön arvioitu kokoonpano-aika on 25 minuuttia, joka on 10 minuuttia enemmän kuin ensimmäisellä AWS-toteutuksella. Prototyyppi esitetään seuraavassa kuvassa 38:



Kuva 38. Toinen AWS-prototyyppi

Tämän AWS-toteutusidean hyviä puolia ovat pienemmät varaosakustannukset sekä keskusyksikön tilavuus, mikä mahdollistaa eri telemetriamoduulien asentamisen sen sisään. Pienemmät varaosakustannukset tulevat vaihdettavasta SIU-kortista. Järjestelmätoteutuksen huonoja puolia ovat kustannukset sekä komponenttien määrä. Komponentit tuottavat ylimääräistä työtä useassa eri tuotantoprosessin vaiheessa.

## 15 Yhteenveto

Työssä tutkittiin erilaisia ratkaisuja, joilla sääaseman kustannuksia saataisiin laskettua merkittävästi. Sääaseman tuli pohjautua seuraavan sukupolven systeemikomponentteihin, ja järjestelmässä tuli olla vaatimusten mukaiset ominaisuudet. Suunnitelluista järjestelmätoteutuksista valittiin kaksi sopivinta vaihtoehtoa, joista tehtiin prototyypit.

Edullisemman järjestelmätoteutuksen kustannukset saatiin tavoitteiden mukaisiksi, ja prototyyppi antaa sääaseman teknisestä toteutuksesta hyvän kuvan. Toisen toteutusidean kustannuksia ei saatu yhtä alas, mikä aiheutui pääasiassa sen teknisesti monimutkaisemmasta rakenteesta.

Sääaseman ominaisuudet valittiin siten, että ne täyttäsivät asiakkaiden tarpeet mahdollisimman hyvin. Vaatimuksissa määritettyjen ominaisuuksien lisäksi järjestelmään lisättiin ominaisuuksia, mitkä tekevät sääaseman käytöstä joustavampaa. Jos suunnitellusta järjestelmätoteutuksesta ruvetaan tekemään tuotetta, täytyy tarvittavia ominaisuuksia vielä pohtia tarkemmin asiakkaan näkökulmasta. Työn sääasemaan valittuja ominaisuuksia voidaan kuitenkin pitää hyvänä pohjana tuotetta kehitettäessä.

Työssä suunniteltiin merkittävästi nykyisiä sääasemia edullisempi toteutusidea sääasemasta. Järjestelmän rakenne suunniteltiin todella yksinkertaiseksi, minkä ansiosta sääaseman tuotantoaika on todella lyhyt nykyisiin sääasemiin verrattuna. Sääaseman yksinkertaisen rakenteen vuoksi, järjestelmän huoltokustannukset ovat kuitenkin suu-  
rehkot.

## Lähteet

- 1 MAWS. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj, <<http://www.vaisala.com/en/meteorology/products/automaticweatherstations/Pages/default.aspx>>. Luettu 19.2.2013.
- 2 Rämö, Johanna. Application Manager. Vaisala Oyj. Sähköpostikeskustelu. Vastaa-  
notettu 2.1.2013.
- 3 Vaatimusten määrittäjäpalaveri. Vaisala Oyj. Pidetty 17.12.2012
- 4 Vaisala QML201C -Datasheet. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj. <[http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/QML201C\\_datasheet\\_B210718EN-C.pdf](http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/QML201C_datasheet_B210718EN-C.pdf)>. Luettu 21.2.2013.
- 5 SDI-12. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja. <<http://en.wikipedia.org/wiki/SDI-12>>. Luettu 29.4.2013
- 6 Vaisala BAROCAP® -anturi paineen mittaamiseen. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj. <<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/CEN-TIA-BAROCAP-Technology-description-B210845FI-B.pdf>>. Luettu 10.2.2013.
- 7 Vaisala HUMICAP® -anturi suhteellisen kosteuden mittaamiseen. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj. <<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/HUMICAP-Technology-description-B210781FI-C.pdf>>. Luettu 10.2.2013.
- 8 Vaisala WINDCAP® Ultrasonic Sensor Technology. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj. <[http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/WINDCAP\\_technology.pdf](http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Technology%20Descriptions/WINDCAP_technology.pdf)>. Luettu 10.2.2013.
- 9 Vaittinen, Mikko. Process Engineer. Vaisala Oyj. Keskustelu. Käyty 14.1.2013
- 10 MAWS301-tarjous. Vaisalan sisäinen materiaali. Luettu 17.4.2013
- 11 Vaisala Weather Transmitter WXT520. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj. <<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WXT520-Datasheet-B210417EN-J-LOW.pdf>>. Luettu 22.2.2013.
- 12 Vaisala WMT52 -Datasheet. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj <<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WMT52-Datasheet-B210553EN-E-LOW.pdf>>. Luettu 8.2.2013.



- 13 Vaisala HMP155 -Datasheet. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj.  
<<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/HMP155-Datasheet-B210752EN-E-LoRes.pdf>>. Luettu 8.2.2013.
- 14 Vaisala HMP110 -Datasheet. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj.  
<<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/HMP110-datasheet-B210852EN-C-LoRes.pdf>>. Luettu 8.2.2013.
- 15 Vaisala PTB110 -Datasheet. Verkkodokumentti. Vaisala Oyj.  
<<http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/PTB110-Datasheet-B210681EN-C-LoRes.pdf>>. Luettu 8.2.2013
- 16 QST102-3. Vaisalan sisäinen materiaali. Luettu 22.2.2013
- 17 Cinterion BGS2T -Datasheet. Verkkodokumentti. Cinterion.  
<<http://m2m.gemalto.com/products/terminals/terminals/bgs2t.html>>. Luettu 26.2.2013.
- 18 Iivonen, Tapio. Senior Electronics Engineer. Vaisala Oyj. Keskustelu.  
Käyty 4.4.2013
- 19 Linear Technology LTM8025 -Datasheet. Verkkodokumentti. Linear Technology.  
<<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/8025fa.pdf>>. Luettu 11.4.2013
- 20 Linear Technology LMT8062 -Datasheet. Verkkodokumentti. Linear Technology.  
<<http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/8062fc.pdf>>. Luettu 11.4.2013
- 21 Switch Mode Power Supply. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<[http://en.wikipedia.org/wiki/Switched-mode\\_power\\_supply](http://en.wikipedia.org/wiki/Switched-mode_power_supply)>. Luettu 7.4.2013
- 22 Mean Well MDR-60-24 -Datasheet. Verkkodokumentti. Mean Well.  
<<https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/roMDR-60-spec.pdf>>. Luettu 10.2.2013.
- 23 3G. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/3G>>. Luettu 7.4.2013
- 24 EDGE. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/EDGE>>. Luettu 7.4.2013
- 25 FOMA. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/FOMA>>. Luettu 7.4.2013
- 26 HSDPA. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/HSDPA>>. Luettu 7.4.2013

- 27 GPRS. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Gprs>>. Luettu 7.4.2013
- 28 Ethernet. Verkkodokumentti. Wikipedia vapaa tietosanakirja.  
<<http://en.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>. Luettu 7.4.2013.
- 29 GOES. Verkkodokumentti. NOAA.  
<<http://www.ospo.noaa.gov/Operations/GOES/index.html>>. Luettu 22.4.2013
- 30 Basics of the RS485 Standard. Verkkodokumentti. B&B Electronics.  
<<http://www.bb-elec.com/Learning-Center/All-White-Papers/White-Papers-Category1/Basics-of-the-RS-485-Standard.aspx>>. Luettu 22.4.2013
- 31 EHS5-E Mini PCIe -Datasheet. Verkkodokumentti. Cinterion.  
<[http://m2m.gemalto.com/tl\\_files/cinterion/downloads/datasheets/gemalto\\_datasheet\\_EHS5\\_miniPCIe\\_web.pdf](http://m2m.gemalto.com/tl_files/cinterion/downloads/datasheets/gemalto_datasheet_EHS5_miniPCIe_web.pdf)>. Luettu 26.2.2013.
- 32 ABS. Verkkodokumentti. Vapaa tietosanakirja.  
<<http://fi.wikipedia.org/wiki/Akryylinitriilibutadienistyreeni>>. Luettu 13.4.2013
- 33 JAE MM60-series -Datasheet. Verkkodokumentti. JAE.  
<<http://www.farnell.com/datasheets/332202.pdf>>. Luettu 5.3.2013
- 34 Memory Socket-Datasheet. Verkkodokumentti. Wurth elektronik.  
<<http://katalog.we-online.de/em/datasheet/693063020911.pdf>>. Luettu 15.3.2013
- 35 ADA-0114 -Datasheet. verkkodokumentti. Adactus.  
<<http://www.farnell.com/datasheets/1669556.pdf>>. Luettu 15.3.2013
- 36 AB 233011-Datasheet. Verkkodokumentti. Fibox.  
<[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/ab233011\\_eng\\_tds.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/ab233011_eng_tds.pdf)>. Luettu 1.3.2012
- 37 Jacobs Perfect Cable Gland -Datasheet. Verkkodokumentti. Jacobs.  
<[https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/50-0xxPAxxxx\\_eng\\_tds.pdf](https://www1.elfa.se/data1/wwwroot/assets/datasheets/50-0xxPAxxxx_eng_tds.pdf)>. Luettu 22.3.2013
- 38 SOLID ABS 3828 18 G -Datasheet. Verkkodokumentti. Fibox.  
<[http://www.fibox.com/catalogs/pdf\\_productcard.pl?pr\\_id=880&lang\\_code=ENG1](http://www.fibox.com/catalogs/pdf_productcard.pl?pr_id=880&lang_code=ENG1)>. Luettu 10.3.2013
- 39 EKPVT Mounting Plate -Datasheet. Verkkodokumentti. Fibox.  
<[http://www.fibox.com/catalogs/Search.taf?\\_function=detail&\\_listcall=2&pg\\_id=136&Product\\_uid1=1094&\\_UserReference=19941E3F219B7FA05159B603](http://www.fibox.com/catalogs/Search.taf?_function=detail&_listcall=2&pg_id=136&Product_uid1=1094&_UserReference=19941E3F219B7FA05159B603)>. Luettu 13.3.2013
- 40 UL26-12-Datasheet. Verkkodokumentti. Ultracell.  
<<http://www.ultracell.co.uk/datasheets/ulseries/UL26-12.pdf>>. Luettu 5.3.2013