



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Aden Hussein

Kuha LTE mikrotukiasema ja tehon lähteenä aurinkoenergiaratkaisu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Kuha LTE mikrotukiasema ja tehon lähteenä
aurinkoenergiaratkaisu

2019

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Aden Hussein Kuha LTE mikrotukiasema ja tehon lähteenä aurinkoenergia- ratkaisu 43 sivua + 2 liitettä 15.05.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tieto- ja viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine	Tietoverkot ja Pilvisovellukset
Ohjaajat	Osaamisaluepäällikkö Janne Salonen
<p>Tässä insinöörityössä perehdyttiin Kuha mikrotukiasemaratkaisuun. Kuha 4G/LTE on Nokian valmistama mikrotukiasema, joka on tarkoitettu laajentamaan verkon kattavuutta sekä paikkaamaan maaseudulla ja taajamissa teleoperaattorin verkon katvealueita. Työn tarkoituksena oli suunnitella ja arvioida Kuha mikrotukiaseman soveltuvuutta humanitäärisiin tehtäviin. Opinnäytetyössä esitellään mikrotukiaseman rakenne, ominaisuudet sekä LTE-verkon arkkitehtuuria.</p> <p>Työhön sisältää skaalautuva Off-grid-aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua, johon on liitetty omavarainen energiavarastoratkaisu. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelussa käydään läpi valittujen komponenttien tekniset tiedot ja vertaillaan erilaiset energianvarastointimenetelmät.</p> <p>Lisäksi työssä arvioidaan mobiiliverkon ja aurinkovoimalan kokonaislaitekustannukset. Viimeisessä kappaleessa pohditaan Kuha mikrotukiasemaratkaisun soveltuvuutta verkko-opetusalan tehokkaaksi yhteydeksi.</p>	
Avainsanat	Kuha, Mikrotukiasema, Mobiiliverkko, 4G, Off-grid, aurinkoenergia

Author Title Number of Pages Date	Aden Hussein Kuha LTE Micro Base Station and Solar Power Solution 43 pages + 2 appendices 15 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Professional Major	Networks and cloud computing
Instructors	Janne Salonen, Head of School
<p>This study focuses on Kuha Micro Base station solution. The Kuha 4G/LTE is a micro-base station manufactured by Nokia, which is intended to expand the coverage of the network and to fill up the countryside and outside the telecom operator's network.</p> <p>The purpose of the thesis was to design and assess the suitability of the Kuha micro Base station for humanitarian tasks. The Bachelor's thesis presents the structure of micro-base station, properties and LTE network architecture.</p> <p>The work includes the design of a scalable Off-grid photovoltaic system, with a self-contained energy storage solution. The design examines the technical data of the selected components and compares the different energy storage methods.</p> <p>The total equipment costs of the mobile network and the solar energy solution are also assessed. The last paragraph discusses the suitability of the Kuha Micro Base station solution as an effective network connection to the online learning platform.</p>	
Keywords	KUHA, Micro-BS, Mobile Network, 4G, Off-grid, Solar Energy

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	LTE- Tekniikka ja sen kehitys	2
2.1	LTE verkon arkkitehtuuri	5
2.1.1	EPC-runkoverkon komponentit	6
2.1.2	Home Subscriber Server (HSS)	6
2.1.1	Mobility Management Entity (MME)	7
2.1.2	S-GW	7
2.1.3	P-GW	8
2.1.4	OFDM ja OFDMA -modulointitekniikka	8
2.1.5	MIMO-antennitekniikka	11
2.2	Rakenne ja ominaisuudet	14
2.3	Arkkitehtuuri	15
2.4	Mikrotukiaseman asennus ja kokoonpano	19
2.5	Turvallisuus	21
3	Off-Grid aurinkoenergiaratkaisun suunnitteleminen tukiasemalle	22
3.1	Kuha Mikrotukiaseman sähkönkulutuksen mitoitus	23
3.2	Aurinkopaneelit	25
3.2.1	Aurinkopaneelin teho ja UI-ominaiskäyrä	26
3.2.2	Aurinkopaneelien mitoitus ja kytkentä.	28
3.2.3	Invertteri	30
3.2.4	Komponenttien kytkentä ja toimintaperiaate	35
3.3.1	Tesvolt litiumakkuratkaisu	38
3.3.2	Järjestelmän kustannukset	42
4	Yhteenveto	43
	Lähteet	45
	Liitteet	

Liite 1. Tesvolt litiumakun asennusohje.

Liite 2. Sunny Island 4.4, Sunny boy 3.0 Akkuinverterin ja PV-invertterin kytkentäkaavio.

Lyhenteet

3GPP	Third Generation Partnership Project. Standardointijärjestön yhteistyöorganisaatio.
AGM	Absorbent Glass Mat. Akkutyypin, jossa elektrolyytti on imeytetty lasivillaerottimeen.
CA	Carrier Aggregation. LTE-Advanced -teknologian ominaisuus, jolla lisätään tiedonsiirtoon käytettyä kaistanleveyttä.
Cloud OSS	Cloud Operations support system, Pilvessä toimiva tuki -ja hallintajärjestelmä.
DL	Downlink, Tukiasemalta käyttäjälle kulkeva liikenne.
eNB	Evolved Node B, E-UTRAN -radiatorajapinnan tukiasema.
EPC	Evolved Packet Core, LTE:n runkoverkko.
EPS	Evolved Packet System, nimitys kokonaisuudesta, joka sisältää E-UTRAN sekä EPC-verkko-osuus.
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Access Network. LTE-teknologian radioverkko-osuus.
FFD	Frequency Division Duplex, Tekniikka, jossa on erilliset taajuusalueet.
FFT	Fast Fourier Transform, algoritmi.
FLA	Flooded Lead Acid battery. Avoin akku.
GPRS	General Packet Radio Services, pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu.

GSM	Global System for Mobile Communications, Toisen sukupolven matkapuhelinverkkoteknologia.
IPsec	Internet Protocol Security, Tietoturvaprotokolla.
LTE	(Long Term Evolution) Kehittynyt 3G-tekniikka, kutsutaan myös 4G:ksi.
MIMO	Multiple Input and Multiple Output, antennitekniikka, jossa käytetään lähetykseen ja vastaanottoon samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennia.
MME	Mobility Management Entity. Päätelaitteen tunnistamisesta LTE-verkkoon vastaava verkkoelementti.
MPPT	Maximum Power Point Tracking. Ohjauksitekniikka, jossa akkujen latausvirta ja jännite pyritään pitämään optimaalisena.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex. Modulointitekniikka, joka perustuu tiedonsiirtoon useilla taajuuskanavilla samanaikaisesti.
SAE-GW	System Architecture Evolution Gateway, Verkkoelementteistä S-GW ja GW yhdessä käytettävä nimitys.
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access. Radioyhteydellä käytettävä digitaalinen modulaatio lähetysuuntaan.
S-GW	Serving Gateway, UP-yhteyden tunnelointia kontrolloiva verkkoelementti.
TCP	Transmission Control Protocol, Tietoliikenneprotokolla, joka käyttää IP-osoitetta ja porttia yhteyden muodostukseen laitteisiin.
UDP	User Datagram Protocol, Yhteyden muodostuksessa ja tiedostojen siirrossa käytettävä protokolla.
UL	Uplink, Käyttäjältä tukiasemalle kulkeva liikenne.

1 Johdanto

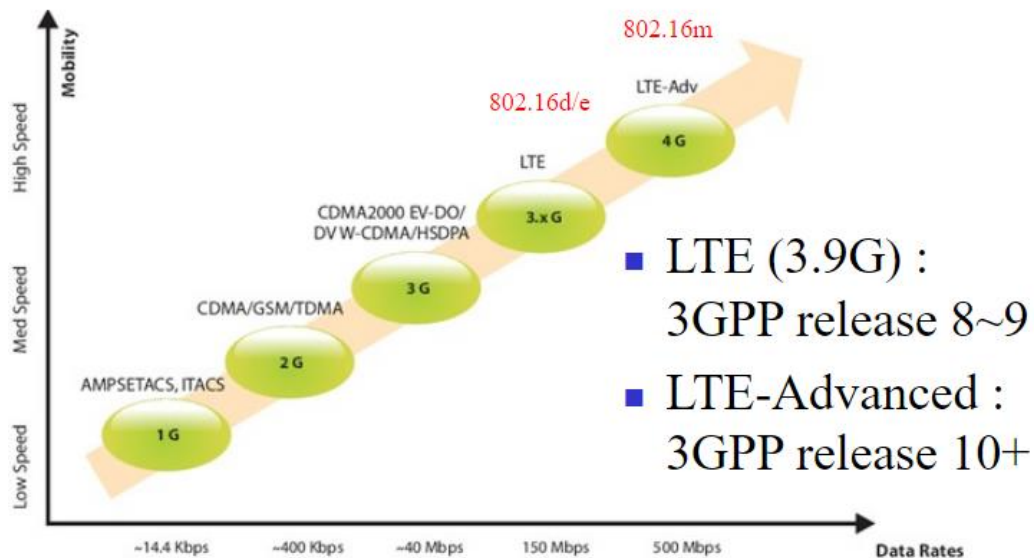
Tämä insinööri on tehty YK:n koulutus- ja tutkimuslaitoksen koordinoimalle pilottihankkeelle. Pilotti hankkeen nimi on Leaving No-one Behind (LNOB). Insinööriyön tavoitteena on luoda innovatiivinen ja korkea teknologiaan perustuva alusta ja hyvät edellytykset LNOB-hankkeen kunniahimoiselle tavoitteille. Opinnäytetyössä tutkitaan, suunnitellaan ja arvioidaan Nokian Kuha mikrotukiaseman soveltuvuutta humanitaarisiin tehtäviin pakolaisleireillä. Hankkeen tavoitteena on viedä ammatillista koulutusta Sudanissa, Keniassa ja Somalimaassa sijaitseviin pakolaisleireihin. Leiriin asennettava 4G mikrotuki-antenni mahdollistaa nopean mobiililaajakaistan kaikille pakolaisleirin asukkaille. Nokian LTE -tekniikkaan perustuvan mikrotukiaseman ansiosta pakolaiset voivat opiskella maksutta hankkeelle verkko-opetuspalveluja tarjoavien yhteistyökumppanien sivustoissa.

Opinnäytetyössäni suunnitellaan aurinkosähköjärjestelmää, joka kattaisi 4G-antennin virran kulutuksen ja myös pakolaisleirillä tarvittavan välttämättömien laitteiston tehon tarpeen. Esimerkiksi turvalamput, vesipumput, tiekoneet ja sen oheislaitteet. Opinnäytetyössä esittelen 4G-antennin yksityiskohtaiset asennus- ja määrittelyohjeet sekä tukiaseman infrastruktuurin huolto- ja turvallisuusnäkökulmat. Tutkimusmenetelmänä valitsin soveltavan tutkimuksen, koska tavoitteeni oli kehittää ja yhdistää kaksi olemassa olevaa teknologiaa yhdeksi uudeksi tekniseksi ratkaisuksi.

Perustutkimuksesta saatiin hyviä hyödynnettäviksi olevia tietoja. Käytin paljon käyttöönotto-oppaita ja Nokian Kuha mikrotukiaseman tietoja. Opin näytetyön tulos on toiminnallinen ratkaisu, joka mahdollistaa leireillä asuvien ihmisten kouluttamisen internetin kautta käyttämällä Nokian 4G-antenneja. Opinnäytetyö myös ratkaisee energiaongelmaa, varsinkin syrjäisillä seuduilla tarjoamalla teknologiaa ja uusiutuvaa energiaa.

2 LTE- Tekniikka ja sen kehitys

LTE (Long Term Evolution) on 4G matkapuhelinteknologia, jonka tarkoituksena on lisätä matkapuhelinverkkojen tiedonsiirtonopeuksia ja kehittää palveluita. LTE -Tekniikan kehitys on mahdollistanut suurempien siirtonopeuksien ja kapasiteettien tarjonnan langattomiin yhteyksiin. LTE on 3GPP:n (3rd Generation Partnership Project) kehittämä standardi, jonka päämääränä on rakentaa maailmanlaajuinen nopea ja kestävä matkaviestintäverkko datan määrän ja laatuvaatimusten kasvaessa jatkuvasti. Kehitystyössä olivat mukana useat kansainväliset standardointijärjestöt. Kehitystyön kärki maita olivat Yhdysvallat, Japani, Kiina ja useita Euroopan maita. Kuva 1 havainnollistaa hyvin matkapuhelinverkkotekniikan kehitysvaiheita ja miten siirtonopeudet ovat kasvaneet teknologian kehittyessä. [1]



Kuva 1. Matkapuhelinverkkotekniikan kehitysvaiheet [3, s. 5].

Vuonna 2004 kansainvälisessä standardointijärjestössä 3GPP:ssä alettiin kehittämään 2010-luvun matkapuhelinjärjestelmän vaatimusmäärittelyä. Tavoitteena oli pakettimuo-toiseen tiedonsiirtoon optimoitu järjestelmä, jossa on korkeatiedonsiirtonopeus ja pienempi latenssi. Tutkimustyön paino pisteenä oli radioyhteysteknologian tehostaminen ja

Radio verkon (UTRAN) optimointi ja sen arkkitehtuurin yksinkertaistaminen. 3gpp:n vaatimusmäärittelyssä mainittiin kehitettävän järjestelmän pitäisi soveltua käytettäväksi erilaisilla kaistaleveyksillä 1.4 MHz – 20 MHz ja järjestelmän kustannukset pitäisi olla pienet, kapasiteetti ja verkon kattavuus laajempi sekä viive pienempi kuin vanha järjestelmä. [1]

'99	'00	'01	'02	'03	'04	'05	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16
▼ Release 99: W-CDMA (UMTS)																	
▼ Release 4: 1.28Mcps TDD																	
▼ Release 5: HSDPA (& IMS)																	
▼ Release 6: HSUPA , MBMS																	
▼ Release 7: HSPA+ (MIMO, Higher order modulation)																	
▼ Release 8: LTE (OFDMA)																	
▼ Release 9 LTE improvement, SON																	
Release 10: LTE-Advanced (Carrier Aggregation, eMIMO, eCIC) → ▼																	
Release 11: CoMP, E-PDCCH → ▼																	
Release 12: FDD/TDD CA, ProSe (D2D), eMTC → ▼																	
Release 13: LTE-Advanced Pro → ▼																	
<ul style="list-style-type: none"> • Expanding Carrier Aggregation • Narrowband IoT • Elevation Beamforming/Full-Dimension (FD) MIMO for LTE • LAA 																	

Kuva 2. 3GPP:n Kehitys

3GPP:n matkapuhelinjärjestelmän standardit on esitelty eri julkaisuissa käyttäen Release termiä. LTE-järjestelmä määritettiin ensimmäistä kertaa vuonna 2008 Release 8 julkaisussa. 3GPP:n vaatimusten mukaan järjestelmä pitäisi olla pakettimuotoiseen tiedonsiirtoon optimoitu. Ensimmäisessä Release 8 julkaisussa esiteltiin myös SAE (System Architecture Evolution) -Verkoarkkitehtuuria, johon perustuu LTE:n kiinteärunkoverkko. LTE käyttää kiinteää radioverkkoarkkitehtuuria, jossa toiminnot jaettiin tukiasemien kesken. Kuvassa 2 on esitetty julkaisun aikajana ja eräät LTE-julkaisujen 8-16 tärkeimmät ominaisuudet ja parannukset. Tärkeimpiä parannettuja ominaisuuksia olivat OFDMA (Orthogonal frequency-division multiplexing), joka on edistynyt modulointi menetelmä. OFDM perustuu tiedonsiirtoon lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa. Runkoverkon uudistaminen ja MIMO-tekniikka olivat keskeisiä LTE:n kehityksessä.

Release 8:n Standardin ominaisuuksiin kuuluu korkea spektritehokkuus, pieni latenssi, erilaisten kaistanleveyksien tuki väliltä 1.4 MHz – 20 MHz. OFDM-tekniikan avulla se on häiriösietoinen. LTE Release 8 -standardin ominaisuuksia on havainnollistettu taulukossa 1. [2]

Taulukko 1. Release 8 ominaisuuksia [2].

Parameter	Value
Modulation	Selectable form QPSK, 16-QAM, 64-QAM
DL access scheme	OFDMA
UL access scheme	DFTS-OFDM (i.e., SC-FDMA)
Bandwidth	Selectable from 1.4/3.0/5.0/10/15/20 MHz
Minimum TTI	1 ms
Sub-carrier spacing	15 kHz
Cyclic prefix length	short: 4.7 us/long: 16.7 us
Spatial multiplexing	DL: maximum of 4 layers per UE UL: 1 layer per UE MU-MIMO for DL and UL

Vuonna 2009 julkaistu Release 9 päivitys mahdollisti LTE:n ja WiMaX:n yhteensopi-
vuutta ja saatiin myös MIMO-ominaisuuksia ja hätäpuhelukiden paikannus parannuksia.
Vuoden 2011 alkupuolella tuli seuraava Release 10: julkaisu, joka kutsuttiin LTE-Advan-
ced-nimellä.

Release 10 julkaisussa tukiasemasta päätelaitteeseen menevän DL-linkissä(downlink)
käytettävien antennien määrä MIMO-antennitekniikassa nousi 8x8 MIMO. Päätelait-
teesta tukiasemaan menevä UL-linkki (uplink) pysyi kuitenkin 4x4 MIMO -antennityy-
pissä.

LTE-Advanced tarjosi käyttäjälle mahdollisuuden teoreettisesti jopa 1 GB:n nopeuteen.
Release 11 julkaisussa kantoaaltojen yhdistämistekniikka paransi huomattavasti matka-
puhelimien lähetys- ja vastaanottokapasiteettia.

Vuonna 2015 alkaen kehitys on jatkunut kiivaasti, uusia ominaisuuksia ja parannuksia on tullut mm. Narrowband IoT-tekniikassa, kantoaaltojen yhdistämistekniikassa ja modulaatiomenetelmässä.[10]

2.1 LTE verkon arkkitehtuuri

LTE-verkon rakenne koostuu E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Access Network) radioverkko-osasta ja runkoverkosta, joka kutsutaan EPC:llä (Evolved Packet Core). EPC-runkoverkkoa ja E-UTRAN-radioverkkoa kutsutaan kokonaisuudessaan EPS:ksi (Evolved Packet System). EPS kuljettaa IP-pohjaista pakettidataa kiinteän verkon yhdyskäytävää pitkin päätelaitteeseen. LTE-tekniikassa ei ole radioverkko-ohjaimia, joten eNodeB kommunikoi suoraan EPC-runkoverkkoon IP-pohjaisella yhteydellä. EPC-runkoverkon sekä eNodeB-tukiaseman välinen yhteys muodostetaan S1-rajapinnassa, kun puolestaan eNodeB-tukiasemat ovat keskenään yhteydessä X2-rajapinnalla. EPC-runkoverkko ja eNodeB-tukiasemat ovat yhteydessä toisiinsa S1-rajapintaliitännällä. Kuvassa 3 nähdään, miten kaikki eNodeB-tukiasemat on linkitetty keskenään X2-rajapintaliitännällä. Tukiasemien välistä rajapintaa käytetään pääasiallisestisolun vaihtoon ja signaalointiin liittyvät tehtävät.[1]

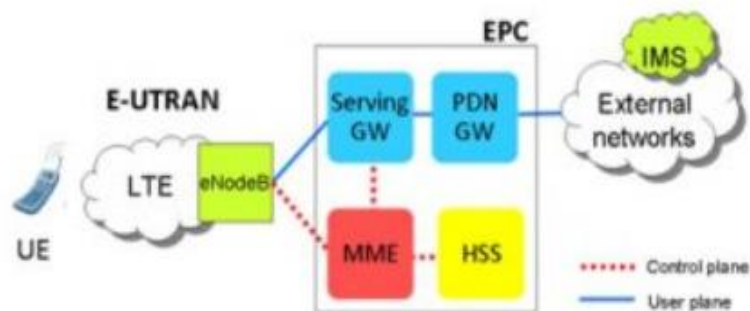


Kuva 3. Evolved Packet System -arkkitehtuuri [6].

2.1.1 EPC-runkoverkon komponentit

EPC- arkkitehtuurimallia otettiin ensimmäisen kerran käyttöön 3GPP:n Release 8 standardissa. Tarkoituksena oli rakentaa arkkitehtuuriltaan yksinkertaista runkoverkkoa, joka käsittelee datan kuormitusta tehokkaasti ja olisi myös kustannustehokasta.

EPC-runkoverkossa harvat verkkosolmut ovat mukana liikenteen käsittelyssä ja protokolla muuntaminen on vältetty. EPC-runkoverkossa käyttäjätiedotdata ja signaointi on erotettu toisistaan, jotta skaalautuvuus olisi riippumatonta. Signaointi erotuksen ansiosta operaattorit voivat mitoittaa sekä mukauttaa verkon helposti. Kuvassa 4 havainnollistetaan EPC:n arkkitehtuuria, verkkotasoja sekä miten päätelaite (UE) reititetään runkoverkkoon. EPC koostuu neljästä verkon elementistä: Serving Gateway (SGW), PDN Gateway (PDN GW), MME ja HSS. [6]



Kuva 4. EPC-runkoverkko. [6]

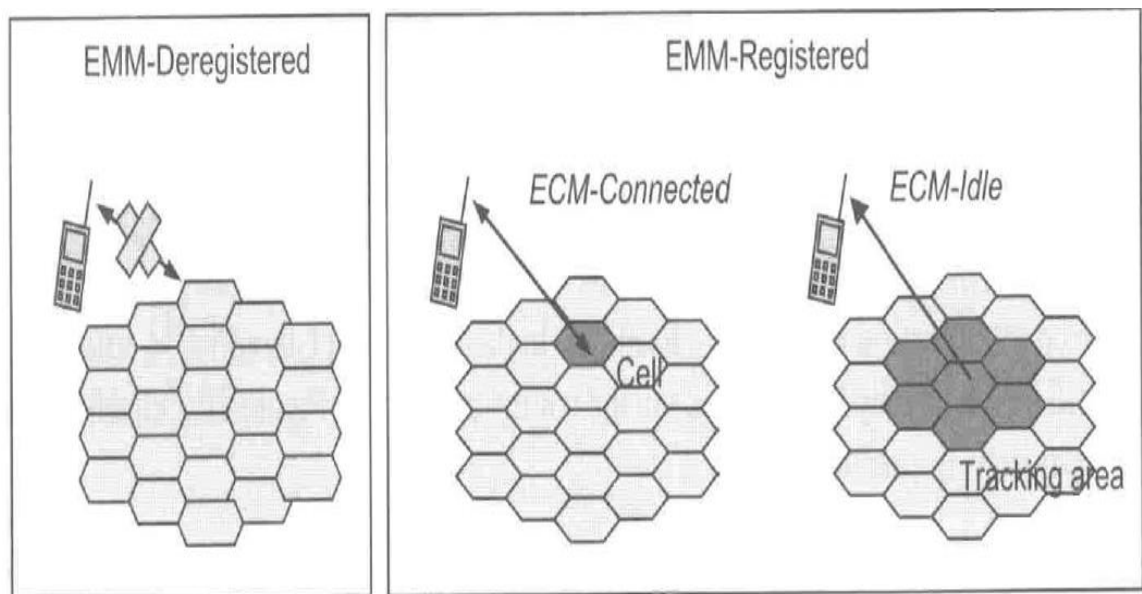
2.1.2 Home Subscriber Server (HSS)

Home Subscriber server on MME:n ja HSS:n yhdistävä tietokanta. Sen tehtäviin kuuluu käyttäjäprofiilien ja rekisteritietojenhallinta. HSS avustaa sijaintitietojen hallinnassa, puhelyhteyden sekä istuntojen luonnissa. Se myös vastaa käyttäjän tunnistuksesta ja salausavaimien tallentamisesta tietoturvallisesti. HSS on jatkuvasti yhteydessä verkossa oleviin liikkuvuuden hallintaelementteihin (MME).

2.1.1 Mobility Management Entity (MME)

MME on ohjaustason elementti EPC-verkossa ja tarjoaa suoran yhteyden, joka tunnetaan nimellä Non-access stratum eli NAS. NAS-signalointi sisältää todennuksen, kun UE muodostaa yhteyden verkkoon. MME:n toimintoja ovat liikkuvuuden hallinta, käyttäjien todentaminen ja verkkoon pääsyn turvatoimet E-UTRAN-rajapinnassa.

MME:n päätehtäviin kuuluu resurssien allokointi tilaajille ja päätelaitteiden vapauttaminen tilamuutosten mukaan. Kuvassa 5 on esitetty miten MME vapauttaa päätelaitetta ja yhdistää uudelleen toiseen soluun. MME välittää jatkuvasti käyttäjän rekisteröintitietoja HSS-tietokantaan. Laitteen Sijaintitietoja välittäessä HSS rekisteröi jokaiselle päätelaitteelle yhden MME-yhteyspisteen. Päätelaitteen liikkuesssa MME:sta toiseen liikkuvuuden hallintaelementti päivittää sijaintitiedot ja välittää tietoja eteenpäin HSS:n tietokantaan tallennettavaksi. MME on linkitetty S6-liitännän kautta HSS:aan.[2]

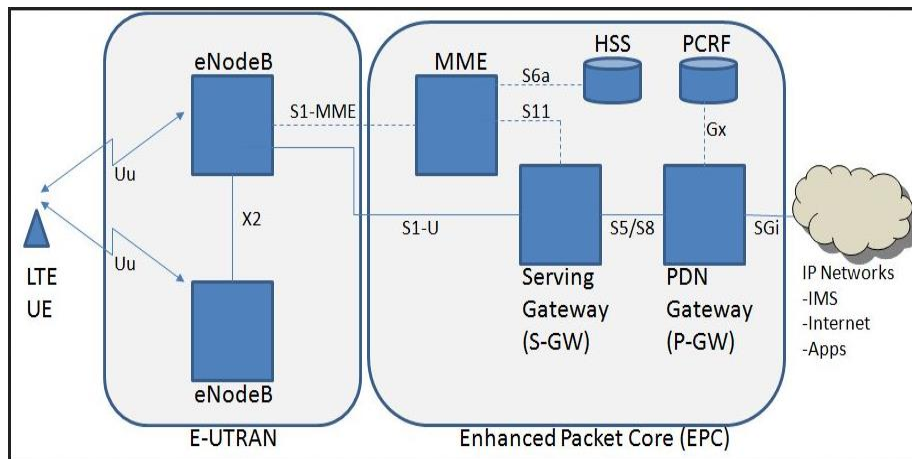


Kuva 5. MME välittää päätelaitteen sijaintitietoja [2].

2.1.2 S-GW

Serving Gateway on käyttäjätason yhdyskäytävä, joka pitää huolen varsinaisesta datayhteydestä tukiaseman ja Packet data Network Gateway välillä. S-GW:n

tärkeimmät tehtävät ovat pakettidatan kytkeminen ja hallinta. Pakettidatan reititys ja valmiustilassa olevien päätelaitteiden downlink-datan puskurointi. S-GW on S1-U liitännällä yhdistetty E-UTRAN-radorajapintaan. Lisäksi S-GW on yhteydessä MME-yhteyspisteeseen sekä P-GW-yhdyskäytävään. S-GW toimii tukipisteenä tukiasemien välisessä kanavanvaihdossa ja piirikytkentäiseen verkkoon siirtyessä. [2]



Kuva 6. S-GW on kytketty suoraan E-UTRAN-verkkoon [7].

2.1.3 P-GW

Packet data Network Gateway(P-GW) -elementti kytkee S-GW:ltä tulevan yhdeyden EPC-verkon ulkopuoliseen pakettidataverkkoon, kuten internettiin ja IMS-järjestelmään. P-GW:n tärkeimmät tehtävät ovat IP -osoitteiden jako, pakettien tulkinta ja suodatus.[2]

2.1.4 OFDM ja OFDMA -modulointitekniikka

OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing) on modulointimenetelmä, joka käyttää tiedonsiirrossa useita toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla samaan aikaan. OFDMA:ta käytetään lataussuunnassa radiotukiaseman ja päätelaitteen välillä ja samoin SC-FDMA:ta käytetään lähetyssuunnassa.

Latauksella tarkoitetaan käyttäjän suunnalta tulevaa yhteyttä ja lähetyksellä käyttäjältä pois päin menevää liikennettä. OFDMA- monikantoaalto tekniikassa käytetään kapeita 15 kilohertsin välein sijoittuvia kantoaaltoja.

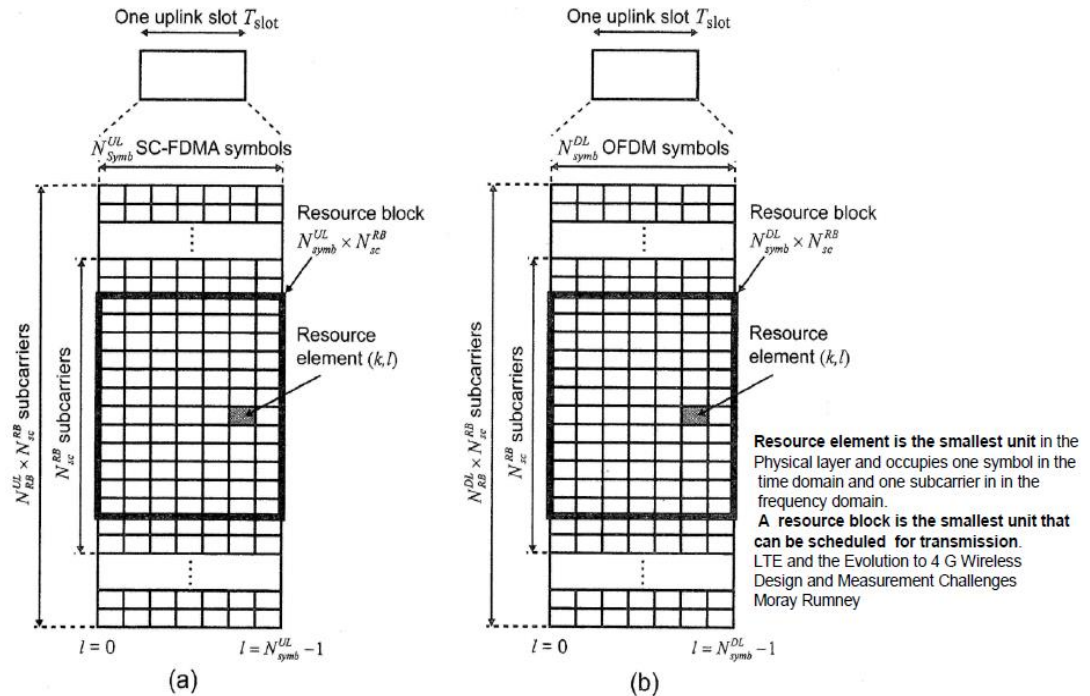


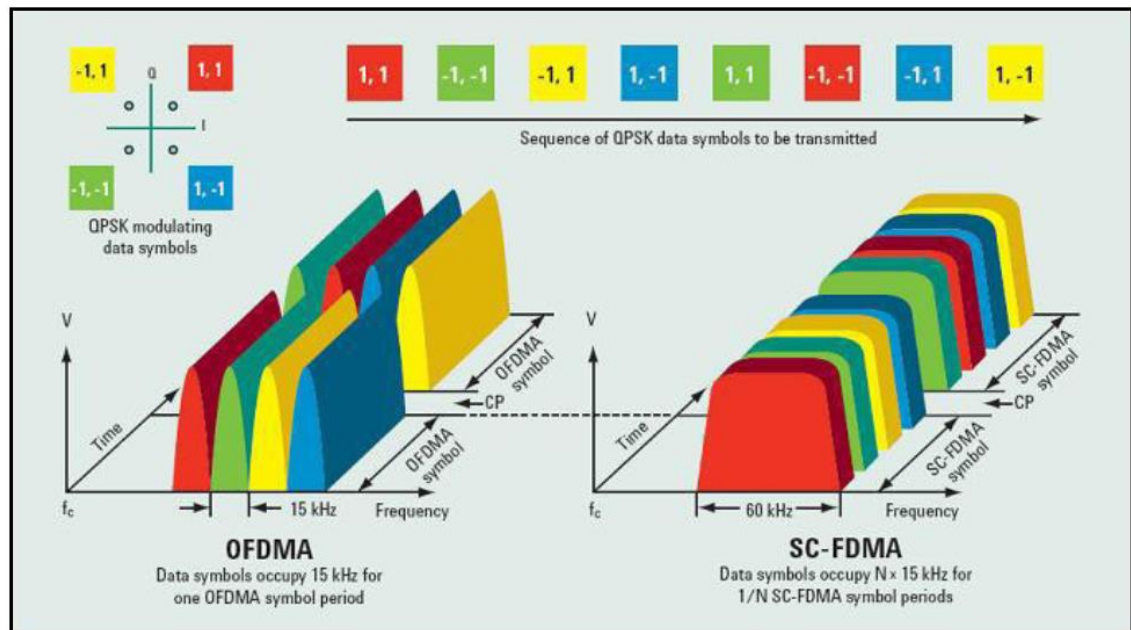
Figure 3.2-4. Resource grid for uplink (a) and downlink (b) (36.211 [2] Figures 5.2.1-1 and 6.2.2-1)

Kuva 7. SC-FDMA:n ja OFDM:n latauslinkin resurssielementit [10].

OFDM symbolit on luokiteltu resurssi lohkoiksi. Resurssi lohkojen suuruus on 180 kHz taajuusalueella ja 0.5 ms aikatasossa. Jokainen yhden millisekunnin TTI (Transmission Time Interval) muodostuu kahdesta aikatason paikasta (Slot T). Kaikille käyttäjille on allokoitu tietyn suuruiset resurssit resurssilohkosta. Käyttäjille annettava resurssilohkojen määrä on suoraan verrollinen päätelaitteen tiedonsiirron nopeuteen.

OFDM-modulointimenetelmä perustuu diskreettiin Fourier-käänteismuunnokseen. Moduloidut symbolin taajuudet ja vaihekulmat esitetään kompleksiluvuilla, jonka jälkeen muutetaan Fourier-käänteismuunnoksella. D/A-muuntimella (Digital to Analog Converter) muutetaan digitaalinen signaali kantataajuiseksi signaaliksi.

Kuvassa 8 on havainnollistettu erot OFDMA- ja SC-FDMA-tekniikoiden välillä. Eri värit edustavat eri käyttäjiä. OFDMA-modulointimenetelmässä käyttäjät jaetaan taajuuden perusteella ja SC-FDMA-modulointitekniikassa käyttäjät jaetaan ajan suhteen, mutta käyttävät samaa taajuutta.



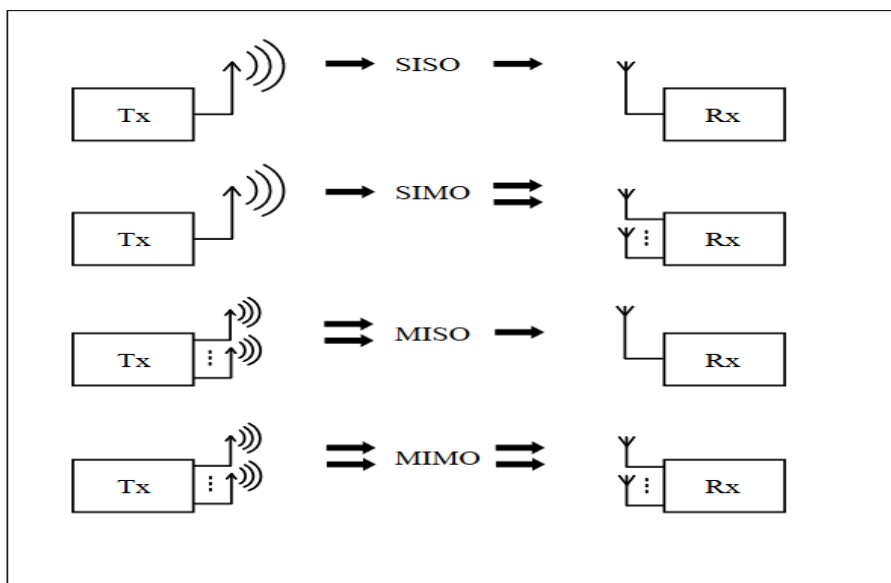
Kuva 8. OFDMA- ja SC-FDMA-modulointitekniikoiden vertailu [9].

Taajuuskanavissa kuljetettavien bittien määrä vaihtelevat ja samoin käytettävissä olevien kanavien lukumäärä voi nousta sadoista useisiin tuhansiin. Jokainen symboli voidaan moduloida eri menetelmällä, esimerkiksi käyttämällä 4-QAM, 8-QAM, 16-QAM tai jopa 1024 QAM. Mitä edistyneempää modulointitekniikkaa käytetään, sitä enemmän on bitin nopeus. Koska viestintäjärjestelmät ovat alttiita monitiekanaavan heijastuksille, syklinen etuliite (cyclic prefix) lisätään seuraavan symbolin alkuun. Syklinen etuliite on kopio OFDM-symbolin viimeisimmästä osasta. Se estää symbolien välisiä häiriöitä ja muodostaa peräkkäisten symbolien väliin suojavaalin.

2.1.5 MIMO-antennitekniikka

LTE:n radiotekniikat soveltuvat hyvin myös usean lähetyksantennin käyttöön (MIMO, Multiple Input Multiple Output). MIMO -antennitekniikka on menetelmä, jossa sekä radiosignaalin lähetykseen että vastaanottamiseen käytetään samanaikaisesti useampaa kuin yhtä antennaa. Kaikki verkon tukiasemat käyttävät LTE verkossa samaa taajuutta. LTE yhteyksissä käytetään sekä taajuusjakoista (Frequency Division Duplex) että aikajakoista (Time Division Duplex) duplexointia.

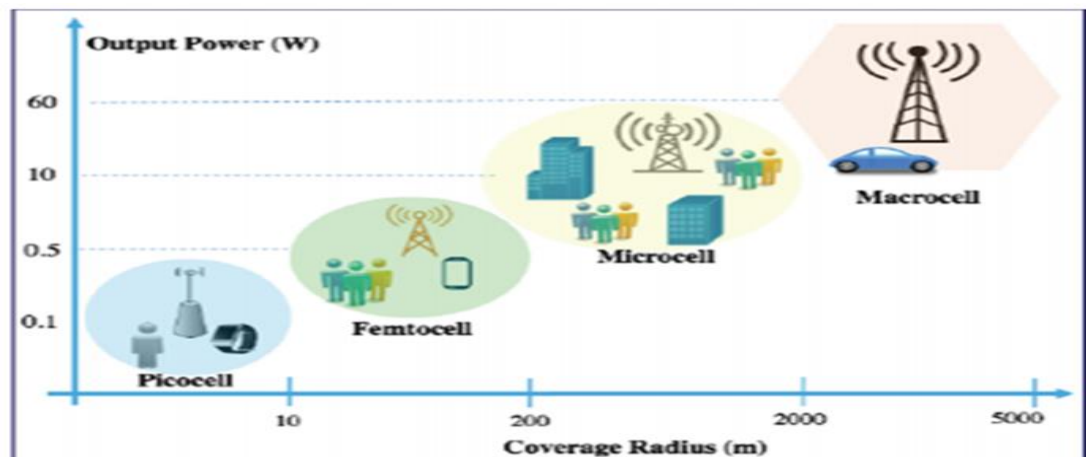
Tiedonsiirron maksimointi toteutetaan tilallisella limityksellä, jonka peruseriaate on lähettää signaalit useammasta antennista, joilla on eriävät datavirrat. Vastaanottimessa erotellaan datavirrat ja näin pystytään saamaan 2x2 MIMO -tekniikalla kaksikertaisen tiedonsiirtonopeuden ja samoin 4x4 MIMO-tekniikalla nelinkertaisen tiedonsiirtonopeuden. Kuvassa 9 havainnollistettu Hyödyntääkseen MIMO -tekniikkaa päätelaitteen ja tukiaseman täytyy tukea molemmat MIMO -tekniikkaa.



Kuva 9. Erilaisia antennijärjestelmiä [11].

KUHA 4G/LTE MIKROTUKIASEMA

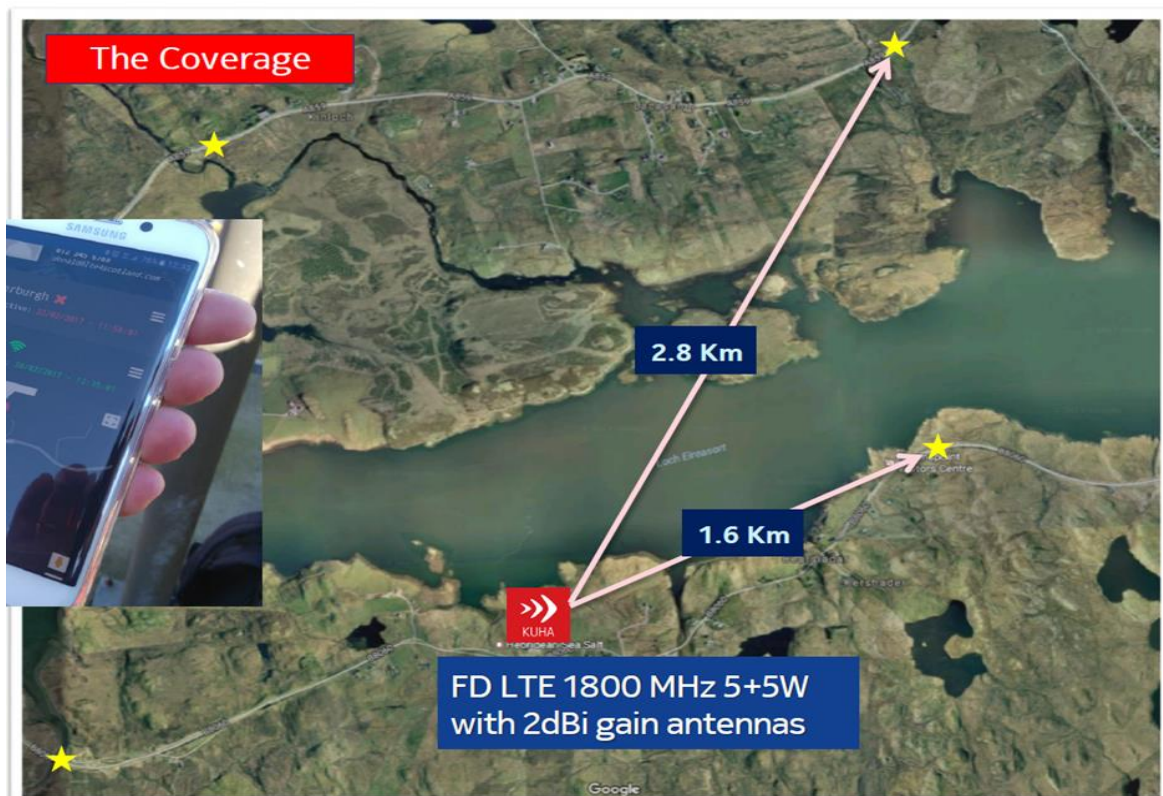
Kuha 4G/LTE on Nokian valmistama mikrotukiasema, joka on tarkoitettu laajentamaan verkon kattavuutta sekä paikkaamaan maaseudulla ja taajamissa teleoperaattorin verkon katvealueita. Teleoperaattoreilla on ollut haasteita pitkään verkon kattavuuden lisäämisessä maaseuduilla. Operaattorit eivät yleensä laajenna verkkojaan harvaan asutuille alueille, koska kustannukset ovat suuret ja mahdolliset hyödyt pienet. Kuha 4G/LTE mikrotukiasemaratkaisu on kehitetty ratkaisemaan verkon kuuluvuus ongelmaa. Kuha mikrotukiasemaratkaisu madaltaa operaattoriverkon laajentamiskynnystä harvaan asutuille alueille ja myös pienentää tukiaseman pystytys- ja operoimiskustannuksia.



Kuva 10. Tukiasemat nimetään lähetystehovoimakkuuden mukaan.

Kuha 4G/LTE mikrotukiasema tarjoaa pienisoluisia ratkaisuja. Tukiasema on optimoitu ulkokäyttöön. Kuhalla on useita laitteistotyyppisiä, jotka tarjoavat tukea erilaisille radiotekniikoille, kuten taajuusjakoiselle dupleksille (FDD) sekä aikajakaisille dupleksille (TDD). Kuha mikrotukiasema tukee jopa 20 MHz:n kaistanleveyttä vaihtelevalla tehölähetyksellä sekä käyttää moniantenni (MIMO) -antennitekniikkaa. Tällä moniantenni tekniikalla pystytään lisäämään radioyhteyslinkin kapasiteettia. Kun halutaan kattava langaton viestintäpalvelu maantieteellisesti laajalle alueelle, alueet jaetaan soluihin, joihin asennetaan solun kattava lähetin ja vastaanotin. Käytössä oleva taajuusalue jaetaan soluihin siten että samanlaista taajuutta ei käytetä rinnakkaisissa soluissa. Kuvassa 10 on esitetty erikokoiset solut ja niiden lähetystehot. Solut jaetaan yleensä piko, femto, mikro ja makrosoluihin. Edellä mainitut pienet solut eroavat toisistaan teknologia- ja lähetysteho ominaisuuksiltaan.

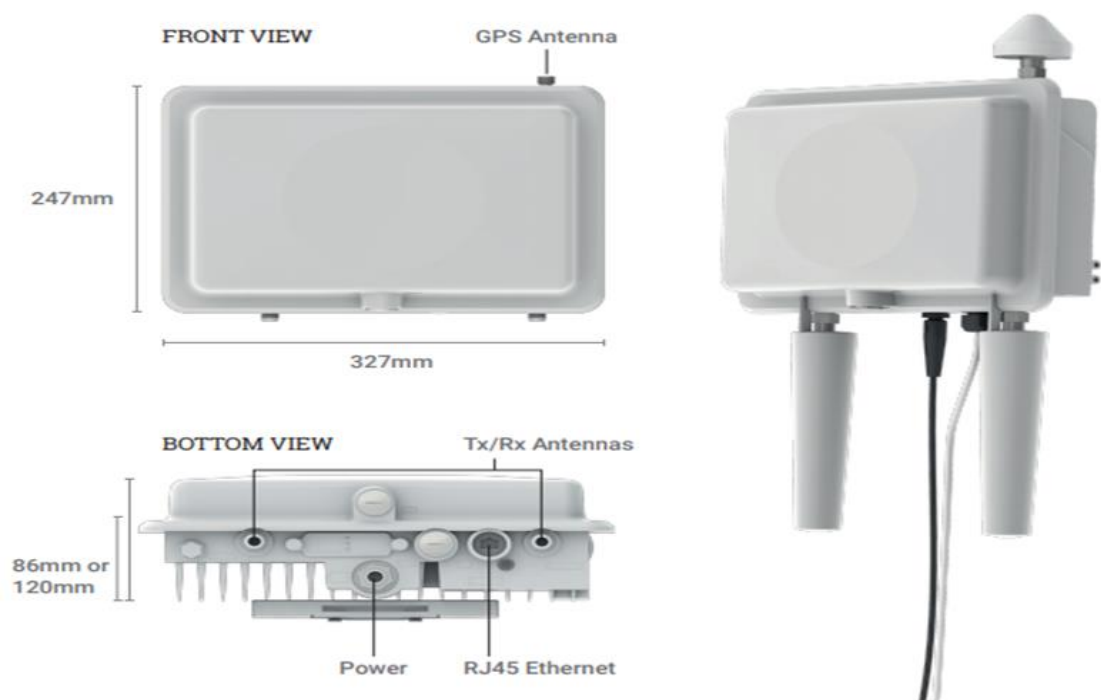
Päätelaitteen liikuessa solun alueelta toiselle, verkko huomaa tämän ja ohjaa päätelaitetta ohjaamaan käyttämänsä taajuutta. Kuhan pienisolainen mikrotukiasema pystyy palvelemaan enintään noin 600 käyttäjää muutaman kilometrin alueella. Tukiasema muodostaa yhden 20 megahertsin LTE-verkkosolun, jonka teoreettinen maksiminopeus on 150 MB sekunnissa. Käyttämällä useita mikrotukiasemia yhdessä mastossa eri lähetysuunnalla voidaan lisätä palveltavien käyttäjien määrää. Kuvassa 11 on havainnollistettu tukiasemaa, joka palvelee käyttäjiä maaseudulla mikrosolun kuuluvuusalueella. Mikrosolun kuuluvuusalue on 5W:n lähetysteholla noin 3 km. [29]



Kuva 11. Kuha mikrotukiasema maaseudulla [12].

2.2 Rakenne ja ominaisuudet

Nokian Kuha 4G/LTE mikrotukiasema on hyvin kevyt ja kompakti, painaa noin 6 kilogrammaa. Mikrotukiasemassa on kaksi lähetysantennia, jossa yhden antennin lähetysteho on 250 mW:sta 5 W:iin. Tämän tyyppisillä pienillä lähetystehoilla asiakas voi itse asentaa ja käyttöönottaa noudattamalla tukiaseman kanssa tulevaa turvaohjeita. Kuhalla on myös operaattoritason mikrotukiasemia, joiden lähetysantennin teho on 20 W. Näissä korkeissa lähetysteho lukemissa vain sertifioitu antenniasentaja voi asentaa tukiasemia.[34]



Kuva 12. . Kuha mikrotukiaseman rakenne ja liitännät [13].

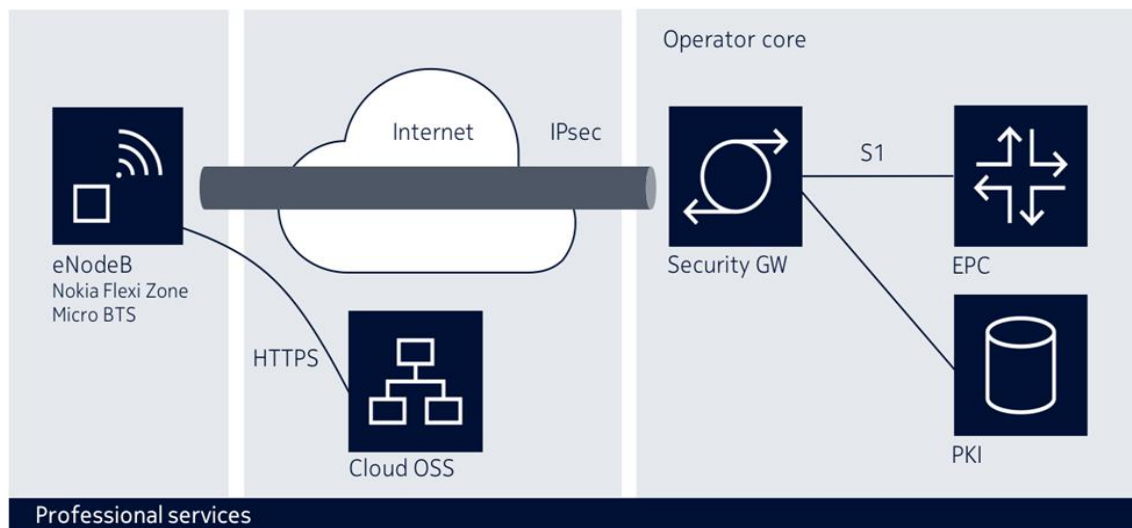
Korkeaan mastoon sijoitetut makrotukiaseman laajin peittoalue on alle 20 km. Taajamilla alueilla katvealueita paikkaavat mikrosoluasemat, joiden lähetysteho on maksimissaan 5 W. Mikrotukiasemat sijoitetaan yleensä taajamilla rakennusten seinille. Pikosolu tyyppisten tukiasemien toimintasäde on yleensä alle 100 metriä ja ne asennetaan rakennusten sisälle. Pikosolujen tehot ovat yleensä alle 0,25 W eli samaa luokkaa kuin matkapuhelimen lähetysteho.[29]

Taulukko 2. Tukiasemien tyypillisiä lähetystehoja.

	Makrosolu	Mikrosolu	Pikosolu
Toimintasäde	alle 20 km	200–1 000 m	alle 100 m
Lähetysteho	10–30 W	5 W	0,25–1 W
Antenni	katoilla	rakennusten sivuilla	sisäkatoissa, seinillä
Käyttöalue	taajama, maaseutu	kaupunki	tiivis kaupunkirakentaminen, rakennusten sisätilat

2.3 Arkkitehtuuri

Kuha mikrotukiasemaratkaisun kokonaisuus koostuu operaattorin runkoverkosta, tietoturvahdyskäytävän kautta kytketty eNodeB:stä ja Cloud OSS (Operations support system) kutsutulla hallintajärjestelmästä. Kuvassa 13 on hyvin havainnollistettu Kuha mobiilitukiasemaratkaisun kokonaisarkkitehtuuria. Kuha Cloud OSS on Nokian kehittämä pilvessä toimiva hallintajärjestelmä, jonka tehtävänä on ylläpitää etänä Kuha tukiasemia ja päivittää myös tukiaseman ohjelmistoja. Azuren pilvessä toimiva hallintajärjestelmä kerää paljon tietoja Kuha tukiasemista ympäri maailmaa. Tukiasemien tilaa monitoroidaan tehokkaasti kerättyjen tietojen avulla. Tukiaseman toiminnan kannalta tärkeimmät ja jatkuvasti seurattavat tiedot ovat tukiaseman sisäiset hälytykset, laskurit ja pulssi.[29]

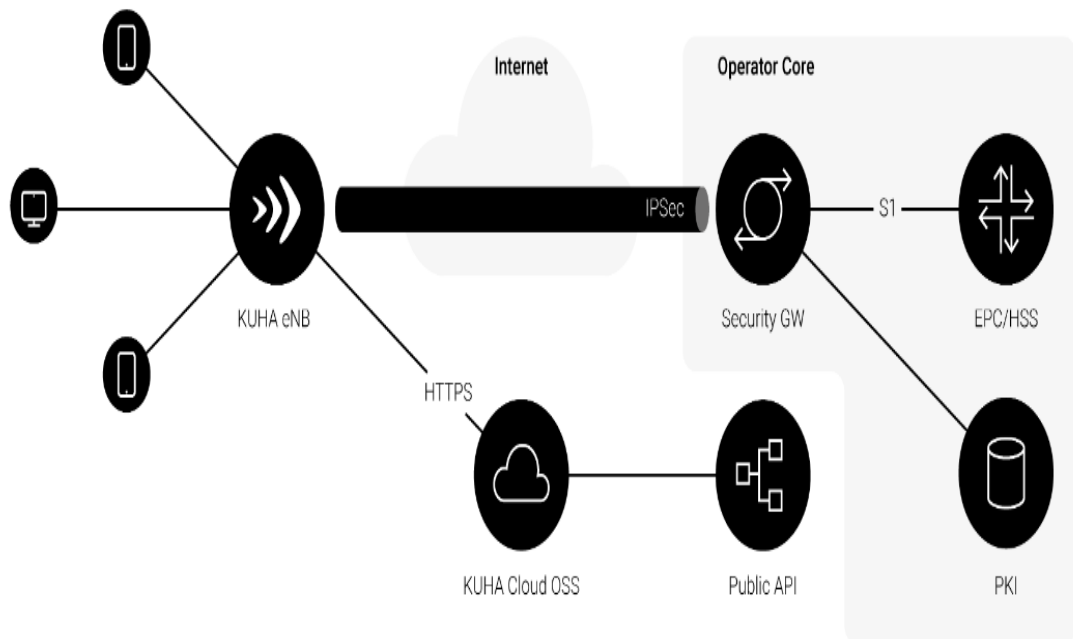


Kuva 13. Kuha Nokia Flexi Zone tukiasematyyppin arkkitehtuuria.[12]

Hallintajärjestelmän avulla vikatilanteiden havainnointi ja korjaaminen on tehokasta. Kaikki kerätyt tiedot käsitellään ja näkyvät järjestelmänvalvojan näkymässä, jossa on luettelo kaikista laitteista. Vikatilanteessa järjestelmänvalvoja antaa käyttöliittymässä tiettytyypiset huollettavuustoiminnot väärin toimiville laitteille. Joskus ongelma mikä ei voida ratkaista etänä, voidaan ohjeistaa paikallista ylläpitäjää tekemään tarvittavat toimenpiteet.

Kuha mikrotukiasema on yhteydessä operaattorin runkoverkkoon turvallisella Internet Protocol Security -protokollalla. IPsec on tietoturvaprotokolla IP- ja ylemmän kerroksen protokoleille, kuten yhteydettömälle UDP-protokollalle (User Datagram Protocol) ja TCP-tietoliikenneprotokollalle (Transmission Control Protocol). IPsec:n salaus- ja autentikointiprotokollat toimivat verkkokerroksella eli sen avulla pystytään salaamaan kaikki IP:n yläpuolella kulkevat protokollat.

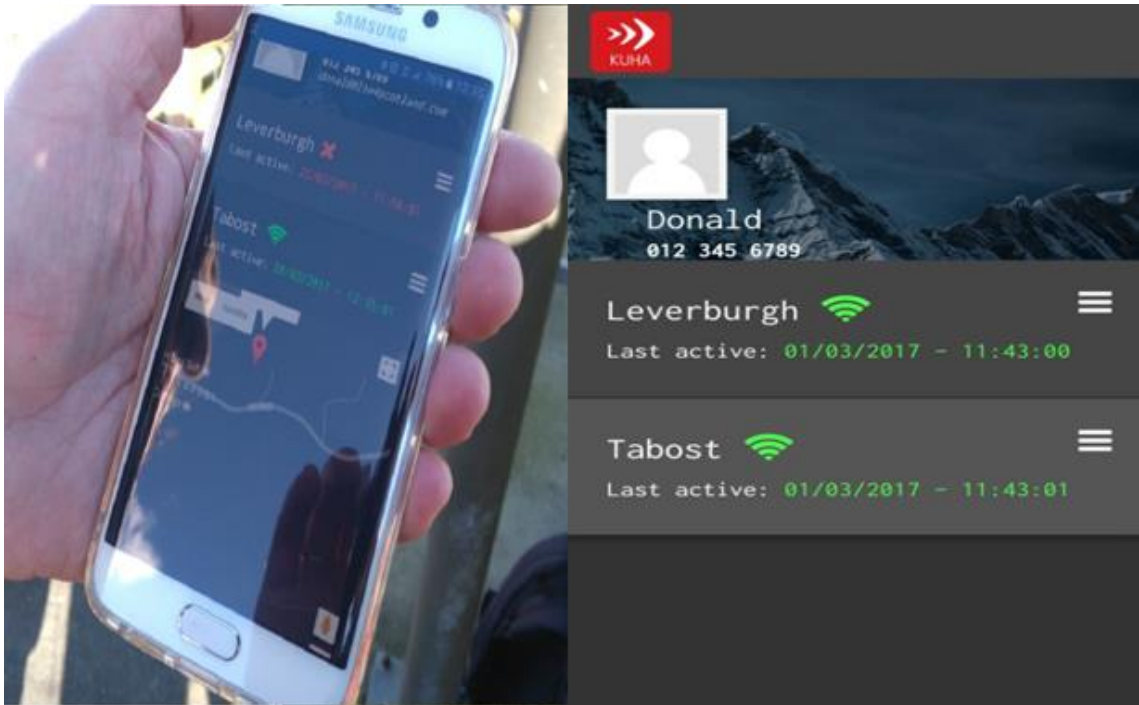
IPsec pystyy suojaamaan tietoliikenneyhteyttä tukiaseman ja operaattorin runkoverkon välillä ja myös verkon tietoturvahdyskäytävien välillä tai isäntälaitteiden ja tietoturva-porttien välillä. Tietoturvahdyskäytävä on yleensä reititin, joka tukee IPsec:iä tai palomuuuri. Kuva 14 esittää osan operaattorin kokonaisverkkoarkkitehtuurista, mukaan lukien verkkoelementit ja standardoidut rajapinnat. Korkealla tasolla verkko koostuu EPC:stä ja liityntäverkosta E-UTRAN. Vaikka EPC koostuu monista loogisista solmuista, pääsy operaattorin runkoverkkoon tapahtuu vain eNodeB:n kautta verkon yli. Jokainen näistä verkkoelementeistä on kytketty toisiinsa liitäntöjen avulla, jotka on standardoitu. Tämä antaa verkko-operaattoreille mahdollisuuden hankkia erilaisia verkkoelementtejä eri toimittajilta.



Kuva 14. Kuha mikrotukiasemaa voi linkittää operaattorin runkoverkkoon julkisen Internetin kautta [29].

Kuha mikrotukiasemaa voi linkittää minkä tahansa käytettävissä olevan julkisen Internet-yhteyden kautta backhaulina. Backhaul on yleisesti käytetty termi tele- ja verkko-operaattoreiden piireissä viitaten prosessiin, jossa dataa lähetetään runkoverkkoon. Silloin kun käytetään Backhaulina internetyhteyttä pienin tiedonsiirto nopeus on 1Mbps. Datavirroilla, jotka kulkevat päätelaitteen ja yhdyskäytävän välillä on erilaisia laatukriteereitä. Esimerkiksi VoIP, Internetin selaaminen ja videopuhelut vaativat viiveetöntä yhteyttä.

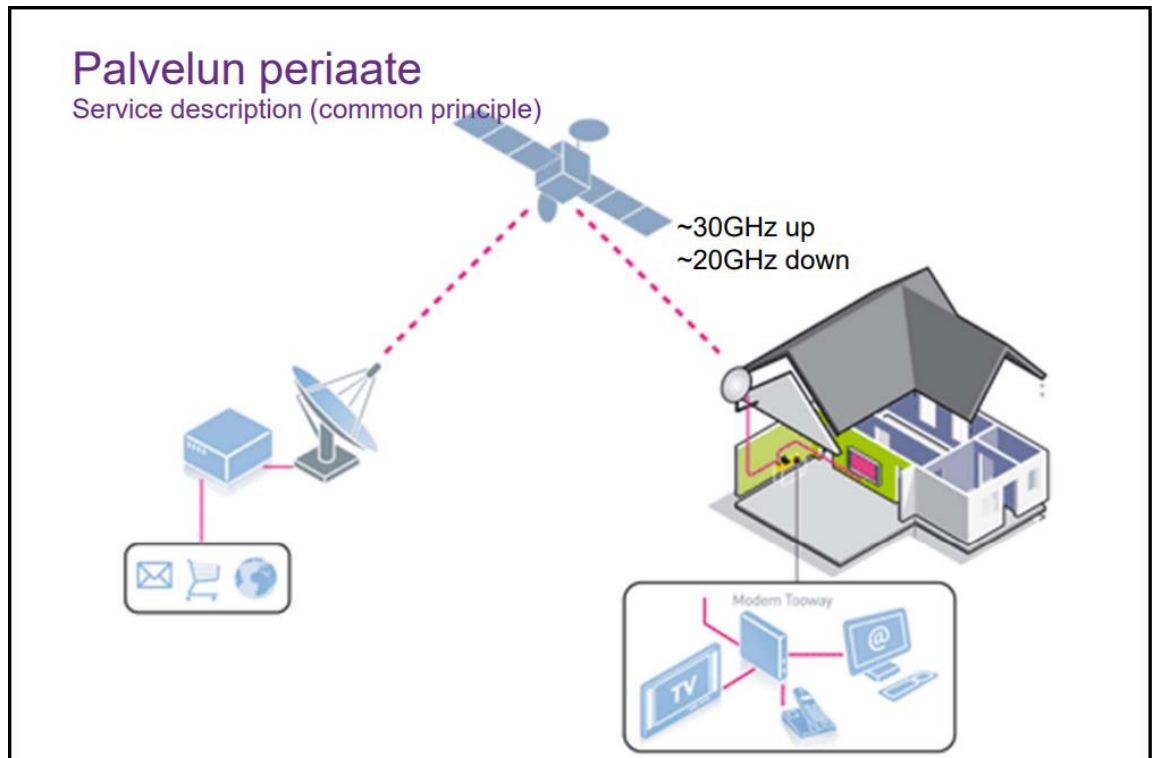
Tämän takia on hyvä, että käytetään nopeaa ja vakaata internetyhteyttä Backhaul-ratkaisuna. Tällä pyritään takaamaan palvelun toimivuutta ja tukiasema pystyy palvelemaan sillä optimoituja käyttäjämääriä.[29]



Kuva 15. Kuha Mikrotukiasemaratkaisuun kuuluu myös asiakkaalle suunniteltu mobiilikäyttöliittymä, jossa asiakas voi monitoroida tukiaseman tilaa.

Kuha mikrotukiasema tukee myös satelliittiyhteyden käyttöä vaihtoehtoisena yhteytenä, mikäli ei ole saatavilla nopeaa ja luotettavaa tietoliikenneyhteyttä. Satelliittiyhteyttä muodostetaan maata kiertävällä radalla kulkevien tietoliikennesatelliittien kautta. Satelliittilaajakaista soveltuu esimerkiksi erittäin harvaan asutuille seuduille, joilla ei ole käytettävissä kiinteää laajakaistaa tai on teleoperaattoriverkon ulkopuolella.

Kuten kuvasta 16 ilmenee, satelliittilaajakaistan käyttö vaatii asiakkaan päähän satelliittimodeemin, lähetin- ja vastaanotinyksikön sekä lautasantennin, josta on esteetön näkyvyys satelliitin suuntaan. Satelliitti välittää datan palveluntarjoajan yhteyspisteeseen, josta se ohjataan edelleen Internetiin. [18]



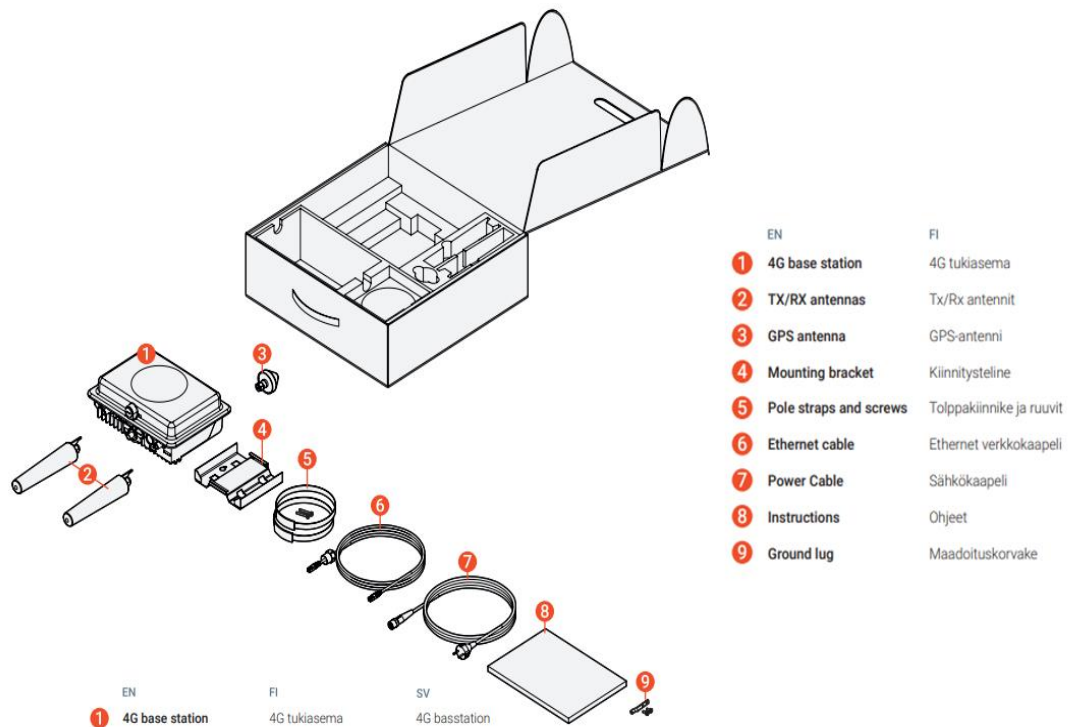
Kuva 16. Satelliittilaajakaista soveltuu haja-asutusalueiden yhteydeksi. [18]

Kuha mikrotukiasemalla ratkaisuun kuuluu myös loppukäyttäjälle tarkoitettu mobiilikäyttöliittymä, joka antaa asiakkaille mahdollisuuden monitoroida tukiaseman tilaa. Älypuhelin sovelluksella voi muuttaa perusasetuksia tukiaseman suorituskyvyn parantamiseksi.

2.4 Mikrotukiaseman asennus ja kokoonpano

Kuha mikrotukiasemaratkaisu paketin mukana tulee yksinkertaisia asennusohjeita, jotka antavat selkeät ja turvalliset ohjeet tukiaseman asentamiseen. Nokian Kuha mikrotukiasemaratkaisun tavoitteena on tarjota Plug-and-Play-tyyppinen ratkaisu, jonka avulla tukiasemia voi asentaa kuka tahansa ilman aikaisempaa tukiasemien asennuskokemusta. Tämän ansiosta maaseudulla ja haja-asutusalueilla asuvat yhteisöt voivat oma aloitteisesti tilata kyseisen palvelun ja asentaa itse.

Kuvassa 16 nähdään mikrotukiasema pakkauksen sisältö. Pakkaukseen tulevat myös mukaan sähkö- ja verkkokaapelit, kiinnitystelineet ja tarkat asennusohjeet. Ennen tukiaseman asentamista on hyvä suunnitella huolellisesti ja valita tukiasemalle sopiva sijainti. Ihanteellinen sijainti olisi lähellä sähköpistorasiaa, reititin/modeemi internetyhteyttä varten ja ei esteitä tukiaseman lähetyvillä. Valitulla sijainnilla olisi myös hyvä näkyvyys taivaalle, jotta saadaan hyvän GPS-yhteys. Tukiaseman kuuluvuutta yleensä heikentävät lehtipuut, rakennukset ja metallirakenteet. Sääolosuhteet voivat myös vaikuttaa tukiaseman kuuluvuuteen.

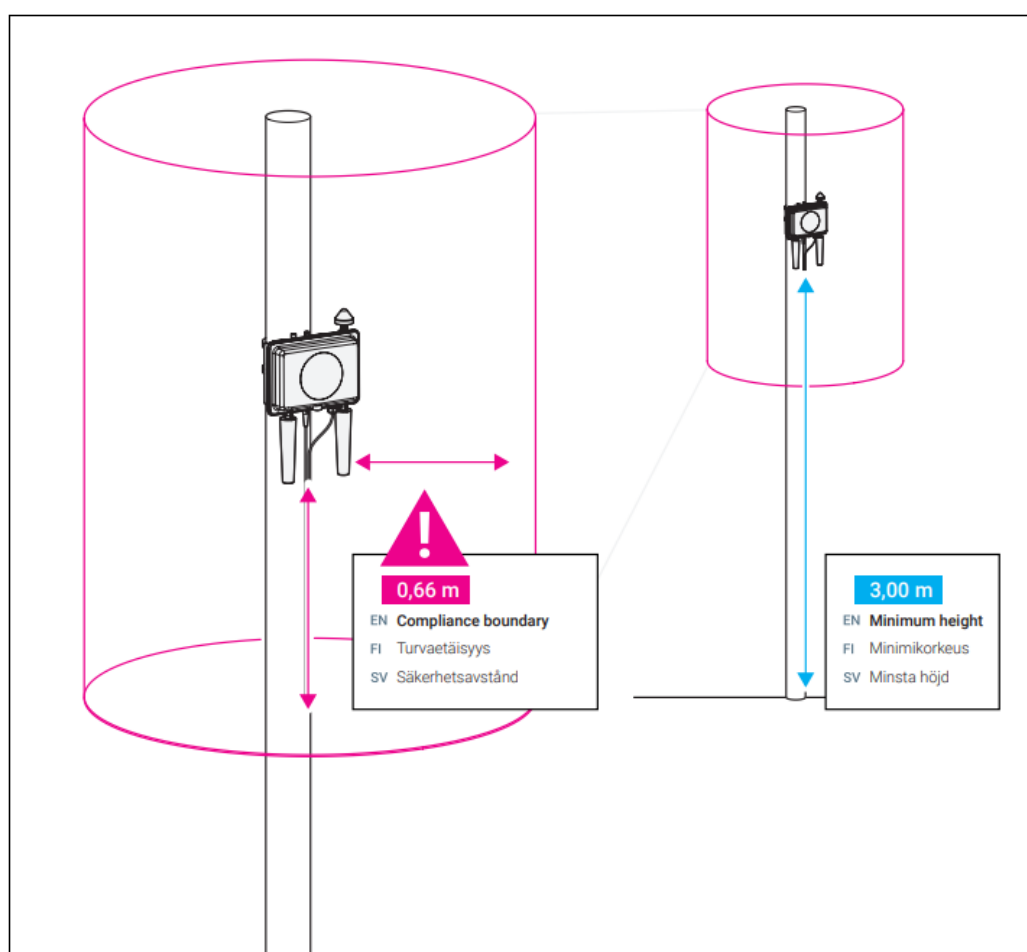


Kuva 17. Kuha mikrotukiaseman pakkauksen sisältö [31].

Mikrotukiasema voidaan asentaa mastoon vaaka tai pystyasennossa tai voidaan myös kiinnittää asuintalojen seinään. Suositellaan mastoon asentamista, jos tukiasemassa käytetään oletuksena suuntaamaton antenni. Mikrotukiaseman suositeltava asennuskorkeus on 5 metriä ja pienin asennuskorkeus on 3 metriä. [31]

2.5 Turvallisuus

Kuha Mikrotukiasema lähettää radiotaajuista säteilyä, jolla on lämpövaikutus ihmiskehoon. Tästä syystä mikrotukiasemalle on määritelty turvaetäisyys. Radiotaajuisen energian lämpövaikutukset voivat ylittää altistumisen enimmäisarvot, mikäli turvaetäisyyttä ei noudateta. Mikrotukiasema on ensisijaisesti aina sijoitettava siten, ettei ihmiset pääse tukiaseman lähelle. Tukiaseman antennien lähellä työskenneltäessä on huolehdittava siitä, että turvaetäisyyttä noudatetaan. Kuvassa 18 on ote turvaohjeista, jossa asentajaa ohjeistetaan noudattamaan minimi turvaetäisyyttä tukiaseman ollessa päällä. Asennus- ja huoltotoimenpiteitä suorittavia kehoitetaan kytkemään tukiasema pois päältä.[31]



Kuva 18. Toimivan tukiaseman minimiturvaetäisyys on 0,66m. Turvaetäisyyden määrittelyyn on käytetty seuraavia standardeja: EN 50383, EN 50385, Neuvoston suositus 1999/519/EC, FCC 47 CFR § 1.1310 [31]

3 Off-Grid aurinkoenergiaratkaisun suunnitleminen tukiasemalle

Kuha mikrotukiaseman käyttökohteeksi oli suunniteltu kolmeen Unicefin hallinnoimaan pakolaisleiriin. Pakolaisleirit sijaitsevat etelä Sudanissa, Somalimaassa ja Keniassa. Tietoliikennedyhteyden vieminen kehitysmaihin on osa kansainvälisen UNITAR nimisen järjestön koordinoiman kehitysyhteistyöprojektin osahanketta. Hankeen suunnittelu ja arviointi vaiheessa oli tullut selkeäksi että, kaikissa pakolaisleireissä ei ollut mahdollisuutta käyttää sähköä eikä kantaverkko ollut lähellä.

Tämän sähköttömyys ongelman takia pitää olla omavarainen ja tuoda omat sähköenergiaratkaisunsa, olkoon vaikka diesel- ja kaasugeneraattori, tuulivoimala tai aurinkoenergiaratkaisu. Aurinkosähköjärjestelmä oli kaikista vaihtoehdoista kestävän kehityksen kannalta ympäristöystävällisin, koska siinä oli vähemmän hiilijalanjälkiä.

Aurinkoenergiaratkaisu oli myös hintatasoltaan kustannustehokkain verrattuna tuulivoimalaan ja diesel- ja kaasugeneraattoriratkaisuun. Aurinkosähköjärjestelmän kannattavuutta oli arvioitu ensisijaisesti vertailemalla voimalan tuottaman energian hintaa laitteiston käyttöiän aikana muiden vaihtoehtoisten energialähteiden kustannuksiin.

Aurinkosähköjärjestelmiä jaetaan kahteen kategoriaan: off-grid- ja on-grid -järjestelmiin. On-grid -järjestelmät toimivat yleisen sähköverkon rinnalla. On-grid -järjestelmät toimivat ilman akkuja ja tuottavat osan kiinteistön kuluttamasta sähköstä. Mikäli järjestelmä tuottaa ylimääräistä sähköä, syötetään se valtakunnan sähköverkkoon.

Off-grid -järjestelmät ovat yleisestä sähköverkosta irrallaan olevia järjestelmiä. Käyttökohteet ovat usein valtakunnan sähköverkon ulkopuolella sijaitsevat kohteet, kuten saaret ja mökit. Järjestelmän tarkoituksena on olla omavarainen saarekejärjestelmä, joka kattaa kiinteistön kokonaisenergiatarpeen. Järjestelmään kuuluu energianvarastointi erilaisilla akkuteknologioilla. [32]

Aurinkoenergiajärjestelmän kannattavuuden ja takaisinmaksuajan laskenta ei ole yksinkertainen vaan riippuu monesta tekijästä. Hinnan kannalta tärkeimmät muuttujat, jotka

vaikuttavat järjestelmän kustannustehokkuuteen on aurinkopaneelien suuntaus, maantieteellinen sijainti, elektroniikkalaitteiden laatu, asennusalustan ominaispiirteet ja kohdemaan sähkön hinta.

3.1 Kuha Mikrotukiaseman sähkönkulutuksen mitoitus

Sähkönkulutuksen mitoitus työ aloitettiin tutustumalla ensin aurinkosähköjärjestelmän suunnitteluun ja toteutukseen tarvittavat alan standardidokumentit. Standardidokumenteissa on tarkkoja määräyksiä laitteiden ja asennusten turvallisuudesta. Standardisarjassa SFS 6000-7-712 annetaan sääntöjä sähköasennusten turvallisuuden varmistamiseen. Standardi SFS 6000-7-712 koskee aurinkovoimaloiden sähköasennuksia, jonka tarkoitus on toimia osittain tai koko sähköasennuksen rinnalla ja syöttää sähköenergiaa jakeluverkkoon tai paikalliseen Off-grid-sähköjakeluun. [17]

SFS 6000-7-712 standardin vaatimukset koskevat:

- Sähköasennusta syöttäviä aurinkosähkögeneraattoreita, joita ei ole liitetty yleiseen sähkönjakeluverkkoon
- Yleisen sähkönjakeluverkon kanssa rinnan sähköasennusta syöttäviä aurinkosähkögeneraattoreita.
- Aurinkosähkögeneraattoreita, jotka syöttävät sähköasennusta sähkönjakeluverkon kanssa vaihtoehtoisesti.
- Tarkoituksenmukaista yhdistelmää edellä mainituista.
- Vaatimukset aurinkosähkögeneraattoreille, joissa on akkuja tai muita energiavarastoja.[17]

Tukiaseman tehonkulutus riippuu käytettävästä lähetystehosta ja tukiasemankäyttöasteesta. Tukiasema kuluttaa 100 W maksimikapasiteetin ollessa käytössä. Kuormaprofiilin mitoituksessa oletetaan tukiaseman olevan jatkuvasti käytössä tiheästi asutulla alueella maksimikapasiteetilla. Alla olevassa taulukko 5:ssä on arvoitu tukiaseman palvelevan käyttäjiä 24 tuntia vuorokauden aikana. Tehosyöttö, jonka tukiasema tarvitsisi on 2,4 kWh vuorokaudessa. Kuormaprofiilin arvioinnissa oli tarkoituksella tehosyötön tarve laitettu yläkanttiin. Tällä ylämitoituksella varaudutaan varmuuden vuoksi tehohäviöihin. Aurinkoenergiajärjestelmissä aina esiintyy AC/DC-kaapeleissa ja vaihtosuuntaajassa jännitteenalenemää ja tehohäviötä.

Taulukko 3. Mikrotukiaseman tehon kulutus nousee 100 W:iin maksimi kapasiteetin ollessa käytössä [33].

FZ Micro BTS variants (no Wi-Fi, no PoE): FWEA, FWEA3, FWFA, FWFJ, FWGB, FWGP, FWHA, FWHE, FWHF, FWHN, FWHO, FWHW, FWIB, FWND, FWPF, FWPG		
Condition	Watts	Ambient temperature
Max (Design)	115	55° C
Typical (Full Power, 100% throughput)	100	25° C
Typical (Full Power, 50% throughput)	90	25° C
Typical (Full Power, 0% throughput)	80	25° C

Pakolaisleirillä tarvitaan sähköä tukiaseman lisäksi myös muihinkin oheislaitteisiin. Sähkölaitteet, jotka mahdollisesti käytettäisiin leirillä ovat tietokoneita ja sen oheislaitteet, vesipumppu ja turvalat. Aurinkovoimalan sähköntuotto pitää kattaa kaikki sähkölaitteiden tehon tarpeet. Aurinkosähköjärjestelmän energiavarasto pitäisi kyetä kattamaan energian tarvetta pilvisinä ja sateisina päivinäkin.

Kuten taulukossa 4 ilmenee, yhden päivän kokonaiskuorma on 15,9 kWh. Sähkövaraston suuruus pitäisi olla vähintään yhden päivän energiakulutusta vastaava määrä, jotta järjestelmästä tulisi vakaa, tasapainoinen ja kestävä.[20]

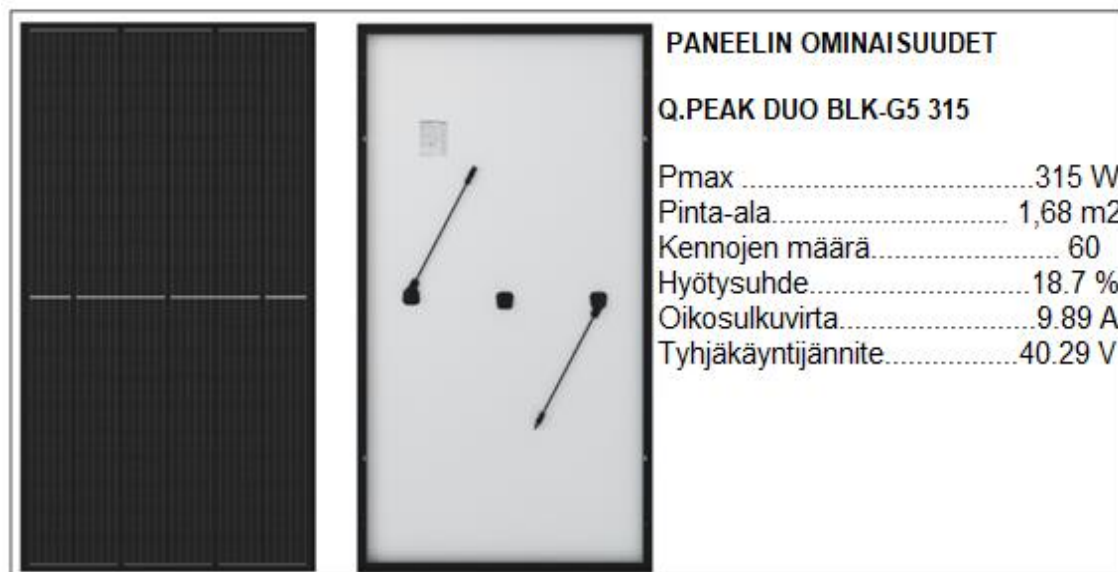
Taulukko 4. Aurinkosähköjärjestelmän kuormaprofiilin mitoitus.

Teholaskelma	Nimellisteho (W)	Käyttö päivällä (h)	Käyttö yöllä (h)	Yhteensä (kWh)
Kuha mikrotukiasema	100	12	12	2,4
Turvavalot	50	0	12	0,6
PC, reititin ja oheislaitteet	350	12	12	8,4
Vesipumppu	1,5	3	0	4,5
Yhden päivän kokonaiskuorma	-	-	-	15,9
1+1 päivän sähkövarasto				31,8

3.2 Aurinkopaneelit

Suunnittelun kannalta aurinkopaneelit ovat aurinkosähköjärjestelmän tärkein komponentti. Aurinkopaneelien valinta on tehtävä tarkasti ja optimoitava sopivaksi järjestelmässä käytettävien komponenttien kanssa. Aurinkosähköjärjestelmälle valittiin kuvassa 19 näkyvä Hanwa Q CELLS-merkkinen aurinkopaneelityyppi, jonka yhden paneelin nimellisteho on 315 Wp. Aurinkopaneeli koostuu 60 aurinkokennosta, jotka ovat sähköisesti kytketty yhteen paneeliin ja turvallisesti suojattu kovalla lasipaneelilla ja kestäväällä rungolla.

Q CELLS aurinkopaneelien valinnan perusteena oli innovatiivinen monikideteknologia, joka mahdollistaa korkean suorituskyvyn pienellä moduulipinta-alalla. Tarkemmat tekniset tiedot näkyvät alla olevassa kuvassa.



Kuva 19. Q CELLS aurinkopaneeleissa käytetään lasin pinnalla heijastusta vähentävää pinnoitetta, mikä parantaa aurinkopaneelien hyötysuhdetta. Mitä tummemmalta paneeli näyttää sitä vähemmän se heijastaa auringon valoa [35].

Q CELLS- Paneelit ovat hyvää laatuista ja ovat rakenteeltaan monikiteisiä piikennoja. Monikiteisestä piistä valmistetut aurinkokennot ovat hyötysuhteeltaan hiukan pienempi kuin yksikiteisestä piistä valmistetut kennot, mutta monikiteisten kennojen valmistusprosessi on helpompi ja kustannukset ovat huomattavasti pienemmät. Aurinkosähköjärjestelmään valittu aurinkopaneelit ovat hyötysuhteeltaan 18,7 %.

Aurinkosähköjärjestelmän mitoituksessa käytetään kWp yksikköä, eli kilowattipeak:ia. Kilowattipeak:illä tarkoitetaan huipputehoa, joka saadaan parhaimmillaan paneeleista tuotettua. Huipputeho eli kWp riippuu järjestelmän koosta. Nykyään aurinkokennot ovat kehittyneet hintansa lisäksi myös tekniikaltaan. Tehokkuus, jolla aurinkokennot tuottavat sähköä auringon säteilyenergiasta, on parhaimmillaan noussut polykiteisissä piikennoissa yli 20%, ja paneelien komponentteja on optimoitu niin, että ne rappeutuvat hitaammin. Yleensä paneelivalmistajat lupaavat 25 vuoden tuottotakuun.

3.2.1 Aurinkopaneelin teho ja UI-ominaiskäyrä

Aurinkopaneelien tärkeät ja oleelliset tiedot ovat teho, jännite ja hyötysuhde. Paneeleja ostaessa, teho on se yksikkö millä perusteella haetaan oikeaa paneelia.

Aurinkopaneelin tuottama teho lasketaan kaavan 1 avulla.

$$P = U * I \quad (1)$$

P on teho (W)
U on jännite (V)
I on virta (A).

Aurinkopaneelin tuottama energia lasketaan kaava 2 avulla. Paneelien tuottama teho kerrotaan ajalla.[19]

$$E = P * t \quad (2)$$

missä E on tuotettu energiamäärä (kWh)
P on tuotettu teho (W)
t on aika (h).

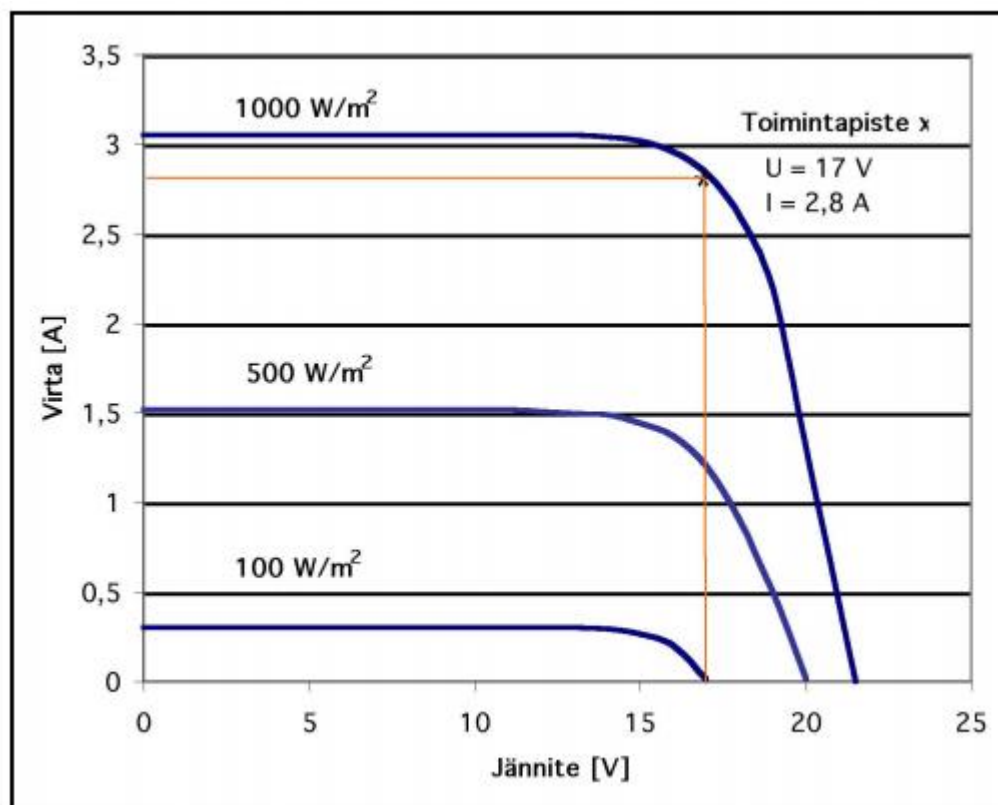
Aurinkopaneelin hyötysuhde η lasketaan kaavan 3 muuttujien avulla. Paneelin tuottama teho jaetaan auringonsäteilyn intensiteetin avulla, jonka jälkeen kerrotaan paneelin pinta-ala. [19]

$$\eta = \frac{P}{SA} * 100\% \quad (3)$$

missä η on hyötysuhde prosentteina (%)
P on teho (W)
S on säteilyintensiteetti (W/m²)
A on aurinkopaneelin pinta ala (m²) [19]

Aurinkopaneelin ominaiskäyrän (IU-käyrän) avulla nähdään virran ja jännitteen arvot, joilla aurinkopaneeli voi toimia. Ominaiskäyrästä saadaan selville myös maksimitehopisteet MPPT (Maximum Power Point Tracking), eli ne paneelin virran ja jännitteen arvot, joilla saavutetaan suurin mahdollinen ulostuloteho erilaisissa käyttöolosuhteessa. MPPT on järjestelmä, joka hakee oikeaa jännitettä, jolla paneeliryhmä toimii suurimmalla mahdollisella teholla. Todellisuudessa maksimitehopistettä on vaikea saavuttaa, koska valmistaja on testannut paneelin tehoa laboratorio-olosuhteessa ja kuumeisessa aurinkogonpaisteessa paneelin lämpötila nousee ja seurauksena on paneelin tehon

vähentyminen. Kuvassa 20 on demonstroitu miten paneelin ominaiskäyrä reagoi eri auringonsäteilyn voimakkuuksilla. Paneelin tuottama virta vähenee suorassa suhteessa säteilyn määrään. Myös jännite pienenee säteilyn vähetessä.[19]



Kuva 20. Aurinkopaneelin ominaiskäyrä eri säteilyvoimakkuuksilla lämpötilassa 25 C° [19].

3.2.2 Aurinkopaneelien mitoitus ja kytkentä.

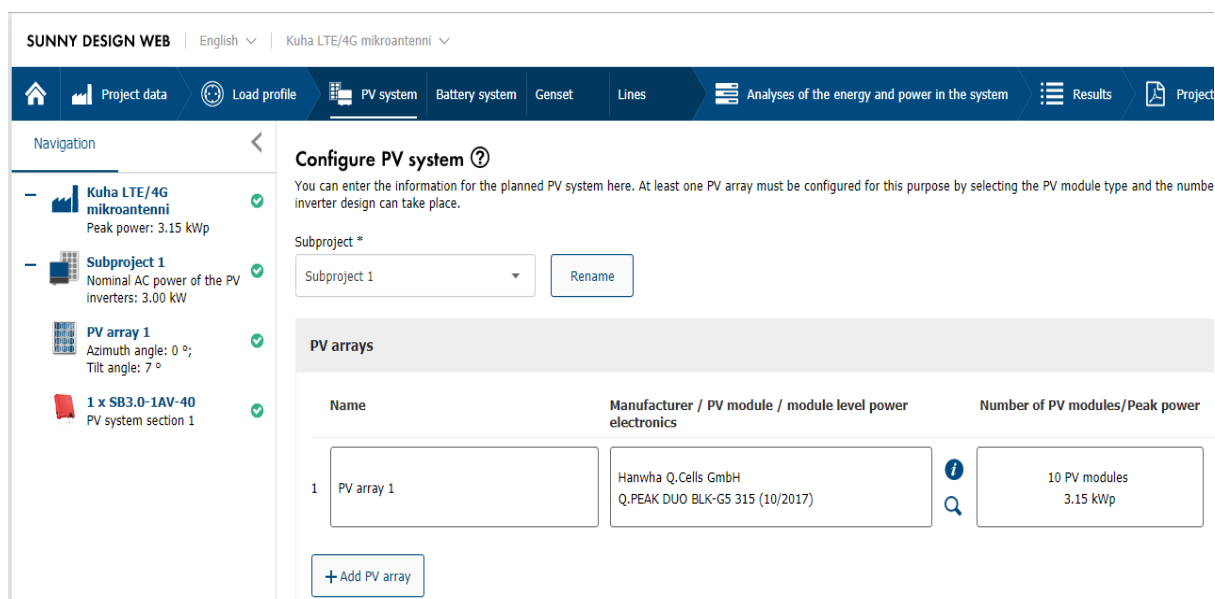
Aurinkosähkönjärjestelmän suunnittelussa on käytetty Sunny web design nimistä ohjelmaa. Ohjelmistoa omistaa Euroopan suurin vaihtosuuntaajien valmistaja, jonka nimi on SMA Solar Technology AG. Kuvassa 21 on ruudun kaappaus, jossa ilmenee järjestelmän paneelimäärien olevan 10 kpl ja teholtaan 315 Wp/paneeli.

Paneelien huipputehoksi P_{max} saadaan:

$$P_{max} = 315 \text{ W} * 10 = 3150 \text{ W}$$

Paneelien tarvitsema pinta-ala saadaan kun kerrotaan yhden paneelin pinta-ala paneelien yhteenlaskettu määrä: Aurinkosähköjärjestelmän paneeleille pitää varata 16,80 m² suuruinen alue.

$$A = 1,68 \text{ m}^2 * 10 \text{ kpl} = 16,80 \text{ m}^2$$



SUNNY DESIGN WEB | English | Kuha LTE/4G mikroantenni

Project data | Load profile | **PV system** | Battery system | Genset | Lines | Analyses of the energy and power in the system | Results | Project

Navigation

- Kuha LTE/4G mikroantenni (Peak power: 3.15 kWp)
- Subproject 1 (Nominal AC power of the PV inverters: 3.00 kW)
- PV array 1 (Azimuth angle: 0 °; Tilt angle: 7 °)
- 1 x SB3.0-1AV-40 (PV system section 1)

Configure PV system

You can enter the information for the planned PV system here. At least one PV array must be configured for this purpose by selecting the PV module type and the number of PV modules.

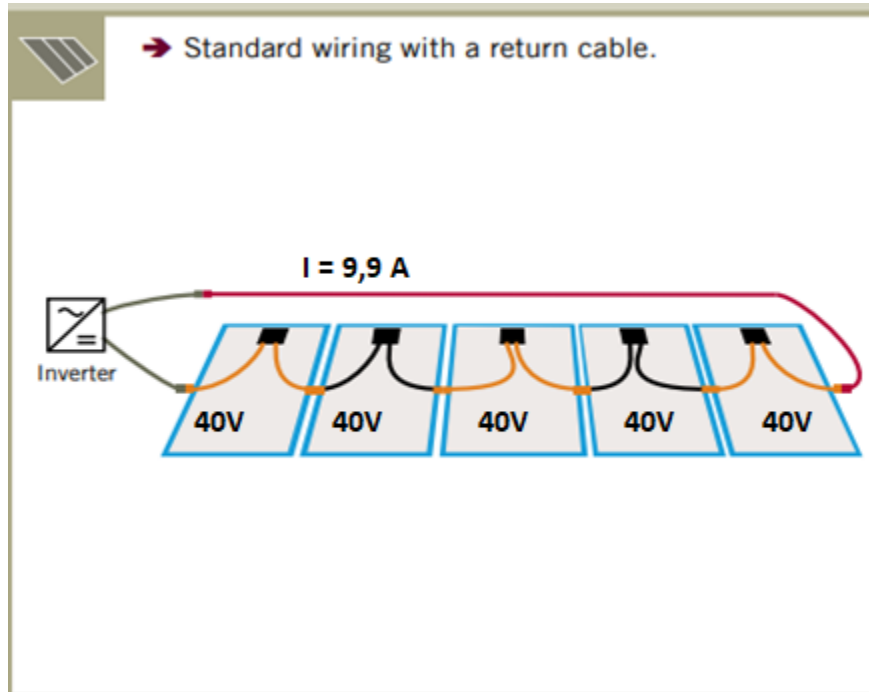
Subproject *
Subproject 1

Name	Manufacturer / PV module / module level power	Number of PV modules/Peak power electronics
1 PV array 1	Hanwha Q.Cells GmbH Q.PEAK DUO BLK-G5 315 (10/2017)	10 PV modules 3.15 kWp

Kuva 21. Aurinkopaneelien mitoitus ja konfigurointi Sunny design -ohjelmalla [21].

Paneelit asennetaan kiinteäkulmaisena katolle ja kaikki paneelit kytketään sarjaan kuvan 22 ohjeiden mukaisesti. Eli rivin ensimmäisen paneelin plusnapa kytketään vieressä olevan paneelin miinusnapaan ja sitten taas seuraavat paneelit kytketään samalla periaatteella, eli positiivinen liitäntä yhdistetään naapuripaneelin negatiiviseen liitäntään. Paneelijohtojen liittimet ovat tyypiltään PV-KBT4 (MC4 naaras) ja PV-KST4 (MC4 uros). Liitin on pölytiivis, suojattu kosketukselta ja kestää jatkuvan upotuksen veteen jopa yli 30 min metrin syvyydessä. Suojausluokitukseltaan liittimet ovat luokkaa IP68. Aurinkosähköjärjestelmän sarjaan kytketyt paneelit liitetään yhteen liitäntäkotelossa. Liitäntäkotelo kytketään tasajännitekaapelilla invertteriin.

Liitäntäkoteloon sijoitetaan invertterin ja paneeliston väliin DC-suojakytkimiä. Paneelien optimaalinen asennuskulma on noin 7°, koska mahdollinen asennuspaikka sijaitsee lähellä päiväntasaajaa.



Kuva 22. Aurinkopaneelien sarjakytkennässä kaikkien paneelien läpi kulkee sama virta, eli virta pysyy vakiona. Sarjaan kytketyn paneeliketjun jännite on paneelijännitteiden summa [23].

3.2.3 Invertteri

Invertteri on aurinkosähköjärjestelmän toiseksi tärkein komponentti. Se on elektroninen laite, jolla muutetaan tasajännite halutun taajuiseksi vaihtojännitteeksi. Invertteri kykenee muuttamaan tasasähköä, jonka tulojännite on 12 V, 24 V tai 48 V. Aurinkopaneelien terminaaleissa tuotettu tasavirtasähkö virtaa kytkettyjen kaapeleiden kautta invertterille, jossa tasasähkö muunnetaan vaihtovirraksi. Invertteri tuottaa puhdasta siniaallonmuotoista vaihtojännitettä, jonka taajuus on 50 Hz ja Jännitteen suuruus 230 V. Aurinkosähköjärjestelmän maksimaallinen hetkellinen kuormitus on 2kW, sen perusteella on valittu suuruudeltaan noin 3 kW invertteri. Järjestelmän mitoituksessa on otettu huomioon päivittäisen sähkönkulutuksen nouseminen tulevaisuudessa uusilla sähkölaitteilla.

Tällä pyritään takaamaan kuorman skaalautuvuutta ilman että järjestelmän suorituskykyyn ja tasapainoon tulee laatupoikkeamaa.

Aurinkosähköjärjestelmään valittiin käytettäväksi SMA Sunny boy 3.0AV-40 tyyppinen invertteri. Laitteen maksimiteho on 3kW ja siihen on mahdollista kytkeä kaksi eri DC-paneeliryhmää. Kuvassa 23 on havainnollistettu invertteri, johon on kytketty yksi DC-paneeliryhmän kaapeli, RJ45 verkkokaapeli internetyhteyttä varten ja vaihtosähkökaapeli. Integroidun web-käyttöliittymän kautta laitetta voi konfiguroida langattomasti älypuhelimella tai kannettavalla tietokoneella. Käyttöliittymässä voi seurata reaaliaikaisesti aurinkovoimalan tuotantoa. Laite painaa kokonaisuudessaan 17.5 kg.



Kuva 23. Sunny boy 3.0AV-40 invertteri on Saksalaisen SMA Solar Technology AG nimisen yrityksen valmistama, laitteella on 5 vuoden takuun [28].

Aurinkosähköjärjestelmän paneelisto muodostuu yhdestä kytkentäryhmästä, jonka tehtävänä syöttää DC-virtaa invertterin taulukossa 5 A-terminaaliin (Input A).

Valittu invertteri koostuu kahdesta terminaalista. Aurinkosähköjärjestelmän kapasiteettia voidaan laajentaa tulevaisuudessa liittämällä uusi paneeliryhmä vapaaseen invertterin B-terminaaliin. Invertteri on yksivaiheinen ja toimii jännitealueella 100Vdc – 600Vdc.

Taulukko 5. Ruudun kaappaus suunnitteluvaiheesta, jossa optimoidaan vaihtosuuntaajan ja paneeliryhmän tehon suhdetta.

PV design data			
Input A: PV array 1			
10 x Hanwha Q.Cells GmbH Q.PEAK DUO BLK-G5 315 (10/2017), Azimuth angle: 0 °, Tilt angle: 7 °, Mounting type: Roof			
	Input A:	Input B:	
Number of strings:	1		
PV modules:	10		
Peak power (input):	3.15 kWp	---	
Typical PV voltage:	✓ 296 V	---	
Min. PV voltage:	277 V	---	
Min. DC voltage (Grid voltage 230 V):	100 V	100 V	
Max. PV voltage:	✓ 416 V	---	
Max. DC voltage:	600 V	600 V	
Max. MPP current of PV array:	✓ 9.4 A	---	
Max. operating input current per MPPT:	15 A	15 A	
Max. input short-circuit current per MPPT:	20 A	20 A	
Photovoltaic Output Circuit Current:	✓ 9.9 A	---	


Aurinkosähköjärjestelmässä käytetään myös toista invertteria, joka lataa akkua. Valittu invertteri on Sunny Island 4.4 M -merkkinen. Molemmilla invertterilla on sama valmistaja ja ne ovat yhteensopivia. Sunny Island akkuinvertteri sopii mainiosti aurinkovoimalan energian varastointijärjestelmään, koska litiumakkuratkaisun valmistaja Tesvolt suosittelee kyseistä invertteria litiumakkujärjestelmän käyttö -ja asennusohjeessa. Liite 1.

Taulukossa 6 on esitetty järjestelmään valitun akkuinvertterin ominaisuudet. Akkuinvertteri on suunniteltu saareke- tai varakäyttöjärjestelmiin. Sunny Island invertteri pystyy syöttämään jatkuvasti 3kW:n teholla. Järjestelmä voi tuntua suurelta kuormanprofiiliin

nähdessä, mutta tärkeää on skaalautuvuuden mahdollistaminen tulevaisuudessa ilman suuria laiteinvestointeja.

Taulukko 6. Akkuinverterin tekniset tiedot AC-tulossa [23].

Saareke- tai varasähkökäytössä			
Typpi	Sunny Island 4.4 M		
Mitoitusjännite / AC - jännitealue	230 V / 202 V - 253 V		
Mitoitustaajuus / sallittu taajuusalue	50 Hz / 45 Hz - 65 Hz		
Mitoitusteho (@ Unom/ 25 °C / cos φ = 1)	3300 W		
AC -teho @ 25 °C 30 min / 5 min / 3 s	4400 W / 4600 W / 5500 W		
AC -teho @ 45 °C jatkuva	3000 W		
Mitoitusvirta / max. lähtövirta (peak)	14,5 A / 60 A		



Taulussa 7 nähdään akkuinverterin mitoitusjännitteen olevan DC-tulossa 48V / 41V ja 63 V. Akkuinverteri on usealle akkutypille yhteensopiva, kuten esim. lyijy- ja litiumakkuihin. Tyhjäkäynnissä laite kuluttaa 18 W ja valmiustilassa vain 6.8 W.

Taulukko 7. Akkuinvertterin DC-tulo[23].

DC tulo, akku

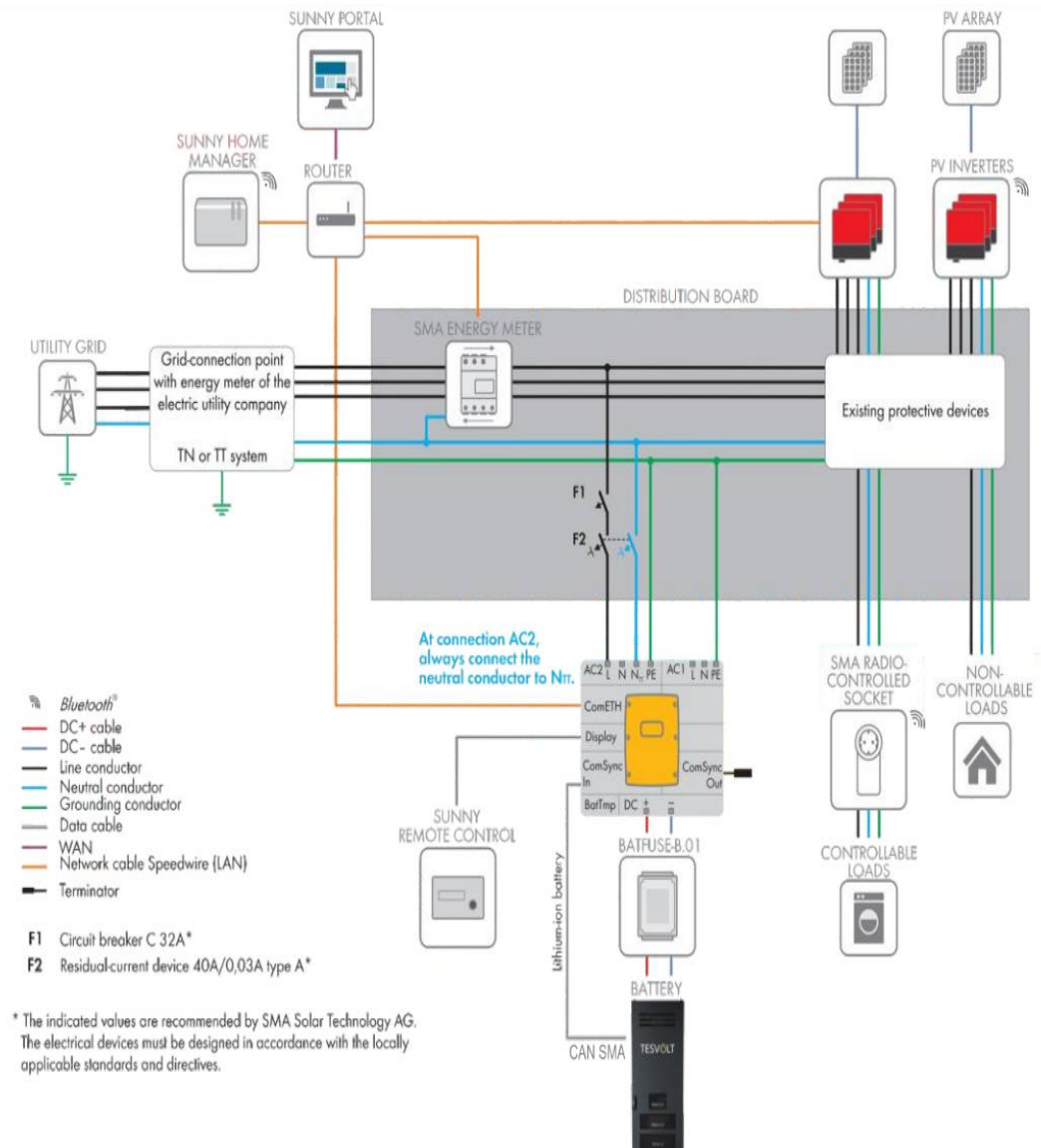
Typpi	Sunny Island 4.4 M		
Mitoitusverkkojännite / DC - jännitealue	48 V / 41 V bis 63 V		
Max. akkulatausvirta / DC - mitoituslatausvirta / DC - mitoituspurkausvirta	75 A / 63 A /75 A		
Akkutyypit /akkukapasiteetti (alue)	Li-Ion (sallitut akut ks. www.SMA-Solar.com) FLA, VRLA 100 Ah - 10000 Ah (lyijy) 50 Ah - 10000 Ah (Li- ion)		
Max. hyötysuhde	95,50 %		

3.2.4 Komponenttien kytkentä ja toimintaperiaate

Aurinkosähköjärjestelmä on kapasiteetiltaan pieni ja yksivaiheinen, noin 3kVA suurinen. Yleensä yli 3,7 kVA:n järjestelmät kytketään kolmivaiheisesti. Kuvassa 24 on hyvin havainnollistettu aurinkosähköjärjestelmän kytkentäkaaviota. Tarkempi piirikaavio aurinkosähköjärjestelmästä on liitteessä 2. Kytkentäkaavion oikealla puolella nähdään kaksi paneeliryhmää, jotka ovat kytketty invertteriin DC-terminaaliin. Järjestelmässä käytetään yhtä paneeliryhmää kuten mainitsimme edellisessä kappaleessa.

Sunny boy 3.0AV-40 invertterin tehtäviin kuuluu syöttää päivällä järjestelmään 230 V vaihtosähköä ja samalla ladata vaihtosähköllä akkuinvertteria. Kytkentäkaavion keskellä oleva keltainen akkuinvertteri Sunny Island 4.4 M latautuu päivällä ja toimii samalla periaatteella kuin perinteinen lataussäädin. Yöllä tai sateisina päivinä Sunny boy paneeliinvertteri kytkeytyy automaattisesti järjestelmästä pois, koska paneelit eivät enää tuota tehoa. Akkuinvertteri käynnistyy automaattisesti ja syöttää 230V vaihtojännitettä järjestelmään hyödyntäen litiumakuissa varastoituun sähköenergiaan. Aurinkopaneeleja suojataan ylijännitesuojauksella, maadoituksella, AC ja DC puolen sulakkeilla.

Kytkentäkaaviossa nähdään muita oheislaitteita ja ominaisuuksia, jotka eivät kuulu suunniteltuun aurinkosähköjärjestelmään. Yksi hyvä esimerkki on kantaverkon läsnäolo ja mahdollisuus syöttää oman kulutuksen ylimenevä sähkö kantaverkkoon. Kuha mikrotuokiasemalle suunniteltu aurinkosähköratkaisu on saarekejärjestelmä, joka ei syötä sähköä ollenkaan kantaverkkoon. Järjestelmään kuuluu ryhmäkeskukseen liitettävä internettiin yhteydessä oleva älykäs sähkömittari, joka syöttää kulutustiedot reaaliaikaisesti Sunny portol-serveriin. Sunny portal on selainpohjainen pilvessä toimiva monitorointijärjestelmä. Aurinkosähköjärjestelmän komponenttien toimintaa ja kuormaprofiilia voi seurata reaaliaikaisesti Sunny portal-monitorointi käyttöliittymästä, mikäli invertteriin ja sähkömittariin on kytketty internetyhteys. Järjestelmän kaikkiin internetyhteyttä vaativiin komponentteihin on mahdollista kytkeä langattomasti verkkoon, eikä tarvitse kaapeloida RJ 45 kaapelia ryhmäkeskukseen.

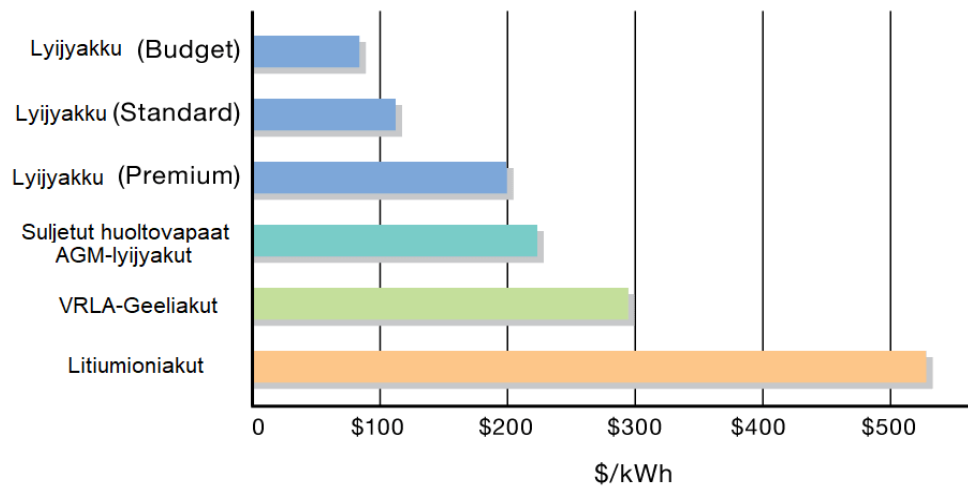


Kuva 24. Aurinkosähköjärjestelmän kytkentäkaavio [24]

3.3 Energian varastointiratkaisun valinta

Energianvarastointiin käytettävät teknologiat ja menetelmät ovat myös keskeisiä sähköjärjestelmän kustannustehokkuuden määrittelyssä. Kuten taulukossa 8 näkyy litiumakut ovat kolme kertaa kalliimpia kuin lyijyhappo- ja geeliakut. Litiumakun korkeasta hinnasta huolimatta sen käyttöikä voi olla jopa 10-kertainen lyijyhappoakkuun verrattuna. Kun saman aikaan lyijy- ja geeliakkujen elinkaari on käyttötavan mukaan maksimissaan noin 5 vuotta. Sähkövarastointiratkaisuksi valittiin tarkan analyysin ja vertailun jälkeen litiumakuratkaisu. Litiumakkujen valinnan ratkaisevia tekijöitä olivat huoltovapaus, pitkäelinkaari ja hyvä suorituskyky kuumassa ilmastossa.

Taulukko 8. Lyijy- ja litiumakkujen hintavertailu yhden \$/kWh.[16]



Taulukossa 9 näkyy Litiumakun lataussyklien määrän olevan huomattavasti korkeampi kuin lyijyakut. Litiumenergiavarasto on edullisempi pitkän elinkaaren ja huoltovapauden ansiosta.

Taulukko 9. Erilaisten akkutyypin ominaisuuksien vertailu [16].

	Flooded lead acid	VRLA lead acid	Lithium-ion (LiNCM)
Energy Density (Wh/L)	80	100	250
Specific Energy (Wh/kg)	30	40	150
Regular Maintenance	Yes	No	No
Initial Cost (\$/kWh) - prices are only a market average and estimate	65	120	600
Cycle Life	1,200 @ 50%	1,000 @ 50% DoD	1,900 @ 80% DoD
Typical state of charge window	50%	50%	80%
Temperature sensitivity	Degrades significantly above 25°C	Degrades significantly above 25°C	Degrades significantly above 45°C
Efficiency	100% @20-hr rate 80% @4-hr rate 60% @1-hr rate	100% @20-hr rate 80% @4-hr rate 60% @1-hr rate	100% @20-hr rate 99% @4-hr rate 92% @1-hr rate
Voltage increments	2 V	2 V	3.7 V

Aurinkosähköjärjestelmän suunniteltaessa ja tehon määrittelyssä on hyvin tärkeätä panna energiavarastointimenetelmän suunnittelussa ja valinnassa. Vakaa ja riittävä energiavarasto takaa Kuha mikrotukiaseman toimivuuden sateisina ja pilvisinä päivinä.

3.3.1 Tesvolt litiumakkuratkaisu

Tesvolt litiumakkuratkaisu on valikoitunut järjestelmään sopivaksi energian varastointitekniologiaksi. Tesvolt on saksalainen litiumakkuteknologiaan erikoistunut yritys, joka tekee tiivistä yhteistyötä vaihtosuuntaajavalmistajien kanssa. Yritys tuottaa sähkövarastoratkaisuja erilaisiin sovelluksiin pienistä 10 kWh:sta jopa 100 MWh:iin. Tesvolt käyttää Samsungin SDI-akkuteknologiaa (Lithium NMC prismatic). Litiumakkuratkaisut vaativat kunnon koteloinnin ja akunhallintajärjestelmää, joka estää kennojen ylikuumenemisen ja ylilataamisen.

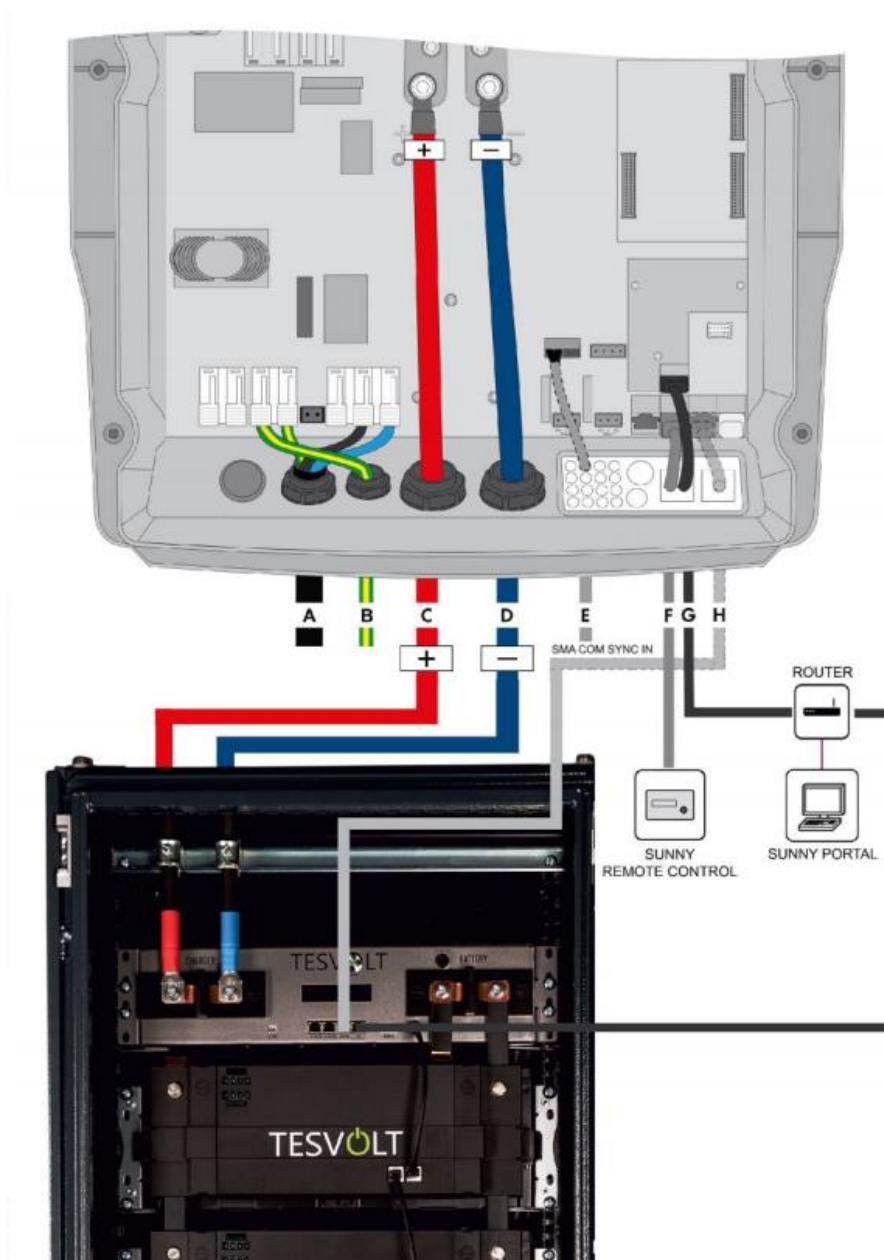
Kuvassa 25 esitetty akkumoduuli on 36 kg ja kapasiteetiltään se on 4,8 kWh. Tuotteella on 5 vuoden takuu ja elinkaari noin 30 vuotta. Akkujen sarjaan kytkeminen on helppoa, eikä pitkiä perinteistä jännitehäviötä aiheuttavia kaapeleita tarvita akkukaapissa olevan yhdistävän kiskon ja lyhyiden kuparikiskojen takia. [26]

AKKUMODUULI	
TESVOLT-akkukerros	
C-kerros	1 C (4 C max. 20 s)
Kerros	Litium NMC prismatic (Samsung SDI)
Max lataus-purkausvirta	100 A
Syöttä @ 100% DoD 70% EoL 23°C +/-5°C 1C/1C	6 000
Syöttä @ 100% DoD 70% EoL 23°C +/-5°C 0,5 C/0,5 C	8 000
Tehokkuus	jopa 98 %
Käyttöjännite	44,8 V – 58,1 V
Käyttölämpötila	-10°C – 50°C
Kosteus	0 – 50% (ei kondensoi)ta
Sertifikaattinormit	UL 1642 (UN 38.3)
Takuu	Teho 10 v. Tuuletakuu 5 v.



Kuva 25. Yksittäinen Tesvoltin litiumakkumoduuli [26].

Seuraavan sivun kuvassa 26 nähdään käytännössä millä tavalla litiumakkuvarastoratkaisuun liitetään akkuinvertteri. Tarkemmat ohjeet litiumakkujen asennuksesta löytyvät liitteessä 1. Valmistajan ohjeiden mukaan Tesvoltin sähkövarastoratkaisun asennusta voivat suorittaa vain asianmukaisesti koulutetut ja pätevät tekniset asiantuntijat.



Kuva 26. Litiumakkukaapin kaapelointi akkuinvertteriin [24].

Teknisillä asiantuntijoilla on oltava seuraavat pätevyysvaatimukset:

- koulutus sähkölaitteiden ja akkujen asentamiseen ja käyttöön liittyvien vaarojen käsittelemiseksi
- sähkölaitteiston asennus- ja käyttöönottokoulutus

- paikallisesti sovellettavien yhteysvaatimusten, standardien ja direktiivien tuntemus ja noudattaminen
- tietämys litiumioniakkujen kuljetukseen, varastointiin ja hävittäjään liittyvistä käsittely menettelyistä ja vaaralähteistä
- Järjestelmän kanssa tulevan asiakirjan ja siihen liittyvän tuotteen dokumentaation tuntemus ja noudattaminen, mukaan lukien kaikki turvallisuusohjeet
- osallistuminen Tesvolt yrityksen asiakkaalle järjestämät sertifikaatti koulutukset.[26]

Sähköenergiavarasto käyttää kaksisuuntaista akunhallintajärjestelmää, jokaista kenoryhmää järjestelmä valvoo ja ohjaa reaaliaikaisesti. Akunhallintajärjestelmä ennakoii huollontarvetta keräämällä kokonaisvaltaisen datan akkumoduuleista. Kuva 27 havainnollistaa miten akkumoduulit kiinnitetään akkukaappiin. Sähkövarasto koostuu 4 moduulista, joiden yhteen laskettu kapasiteetti on 19,2 kWh. Akkukaappiin on jätetty tarkoituksella vapaita moduulipaikkoja, jotta tulevaisuudessa voisi laajentaa sähkövaraston kapasiteettia. Aurinkosähköjärjestelmä kattaa hyvin tukiaseman ja pakolaisleirillä tarvittavien laitteiden sähkönkulutusta. Järjestelmä on vakaa ja skaalautuva, erityisesti sähkövaraston kaapelointi ja eristys ovat laadultaan erinomaiset.



Kuva 27. Akkumoduulit kiinnitetään kaapin liukukiskoille. Moduulien asennusjärjestys on ylhäältä alaspäin[26].

3.3.2 Järjestelmän kustannukset

Aurinkosähköjärjestelmän kustannukseksi on arvioitu olevan noin 22 800 euroa. Taulukko 10 kustannuslaskennassa ei ole mukana logistiikkakuluja. Esimerkiksi laitteiden toimituksesta aiheutuvat kulut ei ole huomioitu. Järjestelmän suunnittelu -ja asennuskustannuksia ei ole myöskään kustannukseen lisätty. Aurinkosähköjärjestelmä kokonaisuudessa tulee maksamaan Asennus -ja logistiikkakuluineen päälle 25 000 euroa. Kokonaiskustannuksiin lisätään myös Nokian Kuha mikrotukiasemaratkaisu, joka osa kehityshanketta. Yksi Kuha mikrotukiasema maksaa suurin piirtein 6 000 euroa, jos pakolaisleiriin käytetään kahta tukiasemaa kustannukset nousevat 12 000 euroon. Itsenäinen operaattorin verkosta irrallaan oleva omarunkoverkko ja SIM-kortit maksavat noin 10 000 euroa.

Taulukko 10. Aurinkosähköjärjestelmän kustannukset [30].

1	3 kW Järjestelmän kustannukset	kW/kWh	Hinta/kpl	yhteensä/€
2	1 kpl SMA Sunny Tripower 10000TL-20	3		899
3	1kpl Sunny Island 4.4H	3,0-4,4		2190
4	4 kpl Akkumoduulia 4,8kWh	4,8	2580	10320
5	Johdot, järjestelmän PV asennustarvikkeet			2000
6	SUNNY Home manager 2.0			529
7	BatBreaker,Akkuvirtakatkaisin			300
8	Verkon katkaisija(saareketoiminta)			350
9	Ohjaus moduuli TS storage järjestelmään			1970
10	10 kpl Q cells paneelia 315 W	0,315	175	1750
11	Tesvolt TS 25 Akkukaappi			2500
12	Yhteensä			22808

4 Yhteenveto

Tässä insinööriyössä perehdyttiin Nokian Kuha mikrotukiasemaan ja tutkittiin LTE teknologian verkkoarkkitehtuuria. Tutkimustyön tuloksena voidaan todeta, että Kuha mobiilitukiasema soveltuu monenlaiseen käyttöön. Se on kustannustehokas, yhteisöä kehitävä ja innovatiivinen ratkaisu. Insinööriyössä suunniteltu aurinkosähköratkaisu muodostaa omavaraisen Off-grid-aurinkosähkövoimalan, johon on yhdistetty 4G verkko. Nämä kaksi yhdistettyä teknologiaa ratkaisevat energia- ja tietoliikenneinfran puutetta kehitysmaissa. Kuha mikrotukiasema vie internetyhteyttä mihin operaattorilla ei ole mahdollisuutta laajentaa tai kustannukset ovat maltaita.

Kuha mikrotukiasemalla pystytään tekemään myös ulkomaailmalta irrallaan olevan verkon, jossa 4G verkolla on oma paikallinen runkoverkko ja SIM-kortit. Paikallisen 4G verkon käyttäjät pystyvät puhumaan normaalisti puhelimella selaamaan paikallista sisäverkon sisältöä. Kyseinen ratkaisu sopisi hyvin opetuksen digitalisoinnissa kehitysmaissa. Sitä voisi käyttää esimerkiksi, Moodle kaltaisen sähköisen oppimisympäristön luonnissa. Digitaalisessa verkko-opetusalustassa oppimateriaalien jakaminen helpottuisi, säästettäisiin luontoa ja opetusmateriaalikuluja. Syy siihen, miksi tällainen offline-verkko-oppimisympäristö on tehokas, on yksinkertaisesti nopea 4G yhteys eikä datapaketeissa esiinny suurta viivettä. Jos tähän ratkaisuun verrataan esimerkiksi, tyypillinen Moodle-opetusalusta, jossa serveri sijaitsee toisessa maanosassa. Kehitysmaassa sijaitsevan paikallisen koulun internetyhteys on hidasta ja sitä paitsi, jos jaetaan yli 100 oppilaiden kanssa samaa hidasta yhteyttä syntyy viivettä.

Aurinkovoimalan suunnittelu on ollut todella mielenkiintoista ja avartavaa. Aurinkosähköjärjestelmän suunnittelua helpotti aikaisempi kokemus aurinkovoimaloiden suunnittelusta sekä sähköautomaatiotaustani. Painotan vielä turvallisuuteen liittyvän asian, järjestelmää asentaessa turvallisinta on että, vain ammattilainen asentaja asentaa aurinkovoimalan. Tulevaisuudessa hajautetut aurinkosähköjärjestelmät ja Kuha mikrotukiasemasovelluksen tapaiset ratkaisut tulevat yleistymään ja hyödyntämään käsikädessä lohko-
ketjuteknologiaa sähkönkulutuksen mittaussovelluksissa. Opinnäytetyössä saavutin asetetut tavoitteet, sain syvällisemmän ymmärryksen mikrotukiaseman toimintaperiaatteesta ja sen soveltamisesta eri sovelluksiin. YK:n humanitaarisen avun

koordinointitoimisto oli erittäin kiinnostunut tästä ratkaisusta ja toivon, että tulevaisuudessa he käyttävät tätä teknologiaa jokaisessa leirissä, jotta he voisivat kouluttaa ihmisiä.

Lähteet

- 1 LTE LTE Encyclopedia 2014. J. Bennett. LTE Encyclopedia. Verkkodokumentti. <<https://sites.google.com/site/lteencyclopedia/home>>. Luettu 16.04.2018.
- 2 Jyrki T.J. Penttinen. 2016. The LTE / SAE Deployment Handbook (2nd Edition). Iso-Britannia: John Willey & Sons, Ltd.
- 3 Jyrki T.J. Penttinen. 2014. The LTE-Advanced Deployment Handbook. Iso-Britannia: John Willey & Sons, Ltd.
- 4 3GPP. LTE. Verkkodokumentti. <<https://slideplayer.com/slide/3839691/>> Luettu 31.04.2018.
- 5 LTE E-UTRAN Architecture. Verkkodokumentti. <<https://itemobilezone.files.wordpress.com/2012/03/diagram-article-lte-eutran-01.jpg>> Luettu 15.05.2019.
- 6 The Evolved Packet Core. Verkkodokumentti. <<https://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/100-the-evolved-packet-core>> Luettu 15.05.2018
- 7 LTE Architecture Overview. Verkkodokumentti. <<http://rcrlte.wpengin.com/wp-content/uploads/2013/01/Network-diagram.jpg>> Luettu 16.05.2018
- 8 Seppo Hämäläinen, Henning Sanneck. 2012. LTE self-organising networks (SON): Network Management Automation for Operational Efficiency. John Wiley & Sons, Ltd.
- 9 3GPP LTE - Evolved UTRA - Radio Interface Concepts. Verkkodokumentti. <<http://ecee.colorado.edu/~ecen4242/LTE/radio.htm>> Luettu 16.05.2018
- 10 Holma. Toskala. 2010. WCDMA for UMTS –HSPA Evolution and LTE. Iso-Britannia: John Willey & Sons, Ltd.
- 11 MIMO. Verkkodokumentti. <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6f/MIMO_SIMO_MISO_SISO_explanation_without_confusion.svg> Luettu 01.06.2018
- 12 KUHA Mobile Network. Verkkodokumentti. <https://www.nokia.com/sites/default/files/styles/scale_1440_no_crop/public/2018-10/kuha_diagram_final_to_use.jpg> Luettu 10.08.2018.

- 13 Documentation & Manuals. Verkkodokumentti. <<https://www.kuha.io/support>> Luettu 20.09.2018
- 14 Community Hosted Network. Verkkodokumentti. <<https://networks.no-kuia.com/community-hosted-network>> Luettu 10.10.2018
- 15 Solar Microgrid. Verkkodokumentti. <<https://medium.com/solar-microgrid/battery-showdown-lead-acid-vs-lithium-ion-1d37a1998287>> Luettu 30.10.2018
- 16 Fact sheet lead vs lithium. Verkkodokumentti. <<https://static1.squarespace.com/static/55d039b5e4b061baebe46d36/t/56284a92e4b0629aedbb0874/1445481106401/Fact+sheet+Lead+acid+vs+lithium+ion.pdf>>. Luettu 30.10.2018
- 17 SFS 6000 -standardisarja 2017 Pienjännitesähköasennukset. Verkkodokumentti. <<https://www.sesko.fi/files/845/KK600-esite2017web.pdf>> Luettu 15.11.2019
- 18 Sateliittilaajakaistan palvelun periaate Verkkodokumenttu. <http://www.sant.fi/doc/santn_tapahtumat/2011_antennipaiva/Luento12_Hamalainen_Sonera_LaajakaistaSatelliitti_031111.pdf> 12.01.2019
- 19 AURINKOPANEELIT. Verkkodokumentti. <<http://suntekno.bonsait.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>> Luettu 20.01.2019
- 20 Miten mitoitan off-grid järjestelmän . Verkkodokumentti. <<https://www.solarsynergia.com/single-post/2016/10/18/Miten-mitoitan-j%C3%A4rjestelm%C3%A4n>> Luettu 26.02.2019
- 21 Sunny Design Web Verkkodokumentti. <<https://www.sunnydesign-web.com/sdweb/#/>> Luettu 30.03.2019.
- 22 Verkkodokumentti. <https://www.q-cells.com/dam/jcr:ca60a6ac-d6ee-461a-b93c-3bf9bc148553/Hanwha_Q_CELLS_Installation_Manual_Solar_modules_G4_2016-10_Rev05_EN.pdf> Luettu 02.04.2019.
- 23 Akkuinvertteri. Verkkodokumentti. <<https://www.aurinkoinsinoorit.fi/sunny-island-4-4m-6-0h-8-0h-tt/>> Luettu 12.04.2019.
- 24 Tesvolt manual. Verkkodokumentti. <https://www.exelsolar.com/Multimedia/ManualUsuario/Tesvolt%20TS25-92E6kWh_ManualUsuario.pdf> Luettu 20.04.2019.
- 25 Aurinkoopas. Verkkodokumentti. <<https://www.vsv.fi/sites/default/files/aurinkosahkoopas.pdf>> Luettu. 28.04.2019.

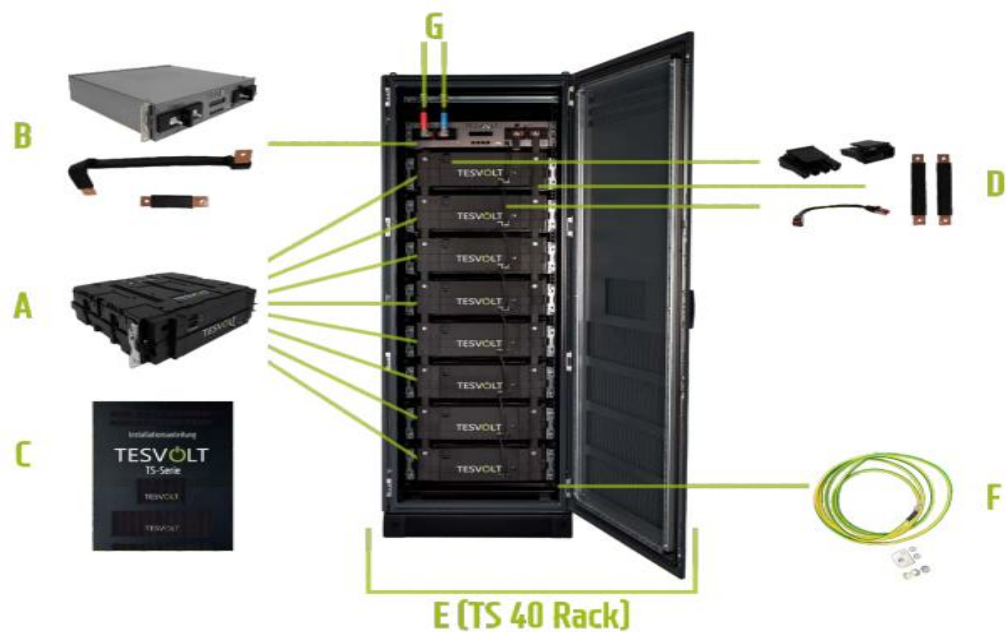
- 26 Installation manual. Verkkodokumentti. <<https://www.tesvolt.com/templates/tesvolt/files/pdf/E.IA.TS.ENG-A.10.pdf>> Luettu 28.04.2019.
- 27 OFDM-menetelmät. Verkkodokumentti. < <https://fi.wikipedia.org/wiki/OFDM>> Luettu 30.02.2019.
- 28 Sunny Boy 3.0 inverter. Verkkodokumentti. <<https://www.sma.de/en/products/solarinverters/sunny-boy-30-36-40-50.html>> Luettu 03.05.2019.
- 29 Kuha arkkitehtuuri. Verkkodokumentti. <<https://www.kuha.io/operators>> Luettu 04.04.2019.
- 30 Aurinkojärjestelän kustannukset. Verkkodokumentti. <<https://www.europe-solarstore.com/solar-inverters.html>> Luettu 10.05.2019
- 31 Kuha MicroBS_instructions. Verkkodokumentti. <https://www.kuha.io/pdf/Kuha_Micro_BTS_Instructions_EN.pdf> Luettu 25.04.2019
- 32 On/Off-grid järjestelmä. Verkkodokumentti. < <http://greenconnect.fi/aurinkoshkjirjestelm#new-page-42>> Luettu 10.04.2019
- 33 KUHA specifications. Verkkodokumentti. < https://www.kuha.io/pdf/Kuha_Mini-Macro_specifications.pdf> Luettu 15.04.2019
- 34 Kuha KIT. Verkkodokumentti. <<https://www.kuha.io/communities>> Luettu 15.04.2019
- 35 Q CELLS paneelit. Verkkodokumentti. <https://www.q-cells.com/en/main/products/solar_panels/residential/residential02.html> Luettu 25.04.2019
- 36 LIITE 1. Verkkodokumentti. <https://www.tesvolt.com/templates/tesvolt/files/pdf/E.IA.TS.ENG-A.10.pdf>> Luettu 28.04.2019
- 37 LIITE 2. Kytentäkaavio. Verkkodokumentti. <https://www.exelsolar.com/Multi-media/ManualUsuario/Tesvolt%20TS25-92E6kWh_ManualUsuario.pdf> Luettu 21.04.2019

LIITE 1

Tesvolt litiumakun asennusohje

**7 Battery storage TS****7.1 Schematic sketch**

The battery modules (ABO) and the Active Power Unit (APU) are delivered in cartons on pallets separate from the battery rack. The scope of delivery should be checked against the delivery note and the requirements under point 4 "Transport at end-customer site" and point 5 "Installation location" must be observed.

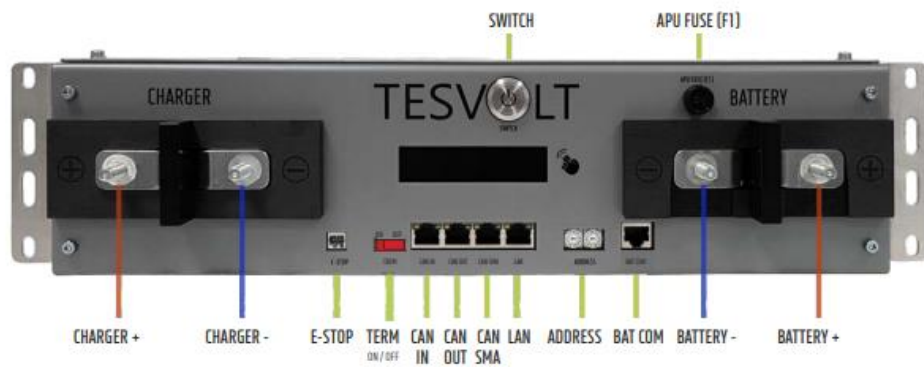


7.2 Scope of delivery

The delivered goods must always be checked for completeness and visible signs of damage.

Position	Components	Description
A		Battery module incl. Active Battery Optimizer (ABO)
B		Active Power Unit (APU) incl. Cable connection set to the APU to 1st Battery module
C		Installation instructions
D		48 V Cable connection set (included 2x Copper bars, 1x Patch cable, 2x Rack Balancing Plug)
E		TS 25, TS 40 or TS 50 Rack
F		Ground cable including fixing material for connection on the provided grounding studs
G		Optional: Cable connection set for connecting the battery to the Sunny Island

7.3 Connecting Active Power Unit (APU) to SMA Sunny Island



Labeling	Description
Charger +	DC connection for the positive pole of the Sunny Island
Charger -	DC connection for the negative pole of the Sunny Island
Battery +	DC connection for the positive pole of the 1st battery module
Battery -	DC connection for the negative pole of the 1st battery module
Switch	On/off switch for the battery
E-Stop	Two-pin plug for the optional connection of an emergency off switch.
TERM	CAN bus termination. TERM must be activated (ON) for the last CAN bus participant.
APU Fuse (F1)	Fuse element to protect the APU (2a time-delay fuse [T] 5x20 mm, in accordance with DIN 41571-2, type 521.000 from ESKA, 250 VAC)
CAN IN	APU Master / Slave Communication
CAN OUT	APU Master / Slave Communication
CAN SMA	CAN port for communication between the battery and the Sunny Island. Connection to the Sunny Island (master) ComSyncIn (single-cluster) or connection to the Sunny Island (slave 2) ComSyncOut (multi-cluster)
LAN	When connecting to an existing network with DHCP, the battery can be monitored using BatMon. The master/slave communication occurs over the LAN connection.
Address	Rotary switch for adjusting the battery's master/slave connections. Further information can be found under point 11.2
BAT COM	Communication link to the battery module. Connect the BAT COM of the APU to the BAT COM IN of the first battery module.

7.4 Installation steps







**WARNING!**

Installation and servicing may only be performed by qualified personnel. Only authorised TESVOLT personnel are permitted to open the APU-Unit. Improper use or incorrect configuration may damage the APU-Unit. Opening the APU voids the warranty.

Step	View	Description/Note
1		Position the battery cabinet in the installation location, taking into account the requirements listed under point 5
2		Open the door to the battery cabinet using the included control cabinet key, which can be found on the outside of the door.
3		Connect the earth to the battery cabinet at one of the earthing bolts provided.
4		Mount the APU on the upper slide rail and use screws to fix it in place at the four fastening points. The two-pin plug for the e-stop connection to the APU must be plugged in upon delivery. Until this is plugged in, the APU remains inactive. Further information on the e-stop can be found under 7.5 on page 14 of this Installation Manual.

>>

5	 <p>Insert the battery modules into the provided slide rails. From top to bottom.</p>
6	 <p>Remove the side covers of the ABO from the battery module as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 = loosen the clamp 2 = pull slightly downwards 3 = over the outer wall of the cabinet
7	 <p>Gently break out the intended breaking areas for the copper tracks at the top of the cover (+). A combination drill can be used to help.</p>
8	 <p>The cover is prepared for a re-assembly after uncovered passage for the copper rails to be mounted.</p>
9	 <p>Connect the DC copper rails, always bearing in mind that in the 48 V variation, the positive pole must touch the positive pole and the negative pole must touch the negative pole. Tighten the 13 mm screws using 12 nm of torque.</p> <p style="text-align: right;">>></p>

Step	View	Description/Note
10		Mount the ABO side covers on the battery modules.
11		Lay the communication cable for the BAT COM using the included patch cable. Start by running the cable from the APU (BAT COM) to the BAT COM IN of the battery module installed below the APU. From there, run the cable from the BAT COM OUT to the BAT COM IN of the next module, etc.
12		Plug in the rack balancing plugs (unless these were already plugged in upon delivery). The plug with an internal bridge from 1 to 4 is plugged into Rack Balancing In. The plug with an internal bridge from 1 to 2 is plugged into Rack Balancing Out.
13		Connect the DC cable from the Sunny Island to the APU (CHARGER). If you do not use pre-assembled cables from TESVOLT, it is important that an earth leakage and short-circuit protected cable (such as NSGAFöU) be used.
14		Connect the communication cable from the Sunny Island (ComSyncIn) to the APU (CAN SMA)
		Installation completed!

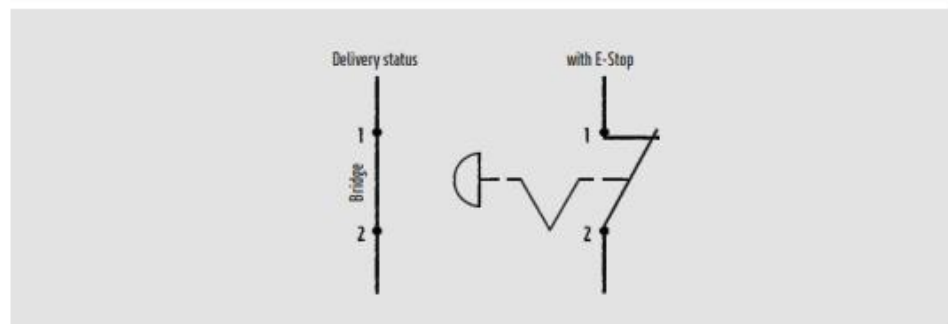
7.5 E-Stop-Contact

The e-stop (emergency stop) allows for an **emergency stop button** to be integrated into the storage system so that this emergency switch can shut down the battery and thus also the complete storage system. Upon delivery, a bridge will be found in this two-pin plug. In order to implement an external emergency off switch, this bridge must be removed and the emergency off switch connected.

Unless this contact is closed, the battery will remain inactive.



Circuit diagram E-Stop



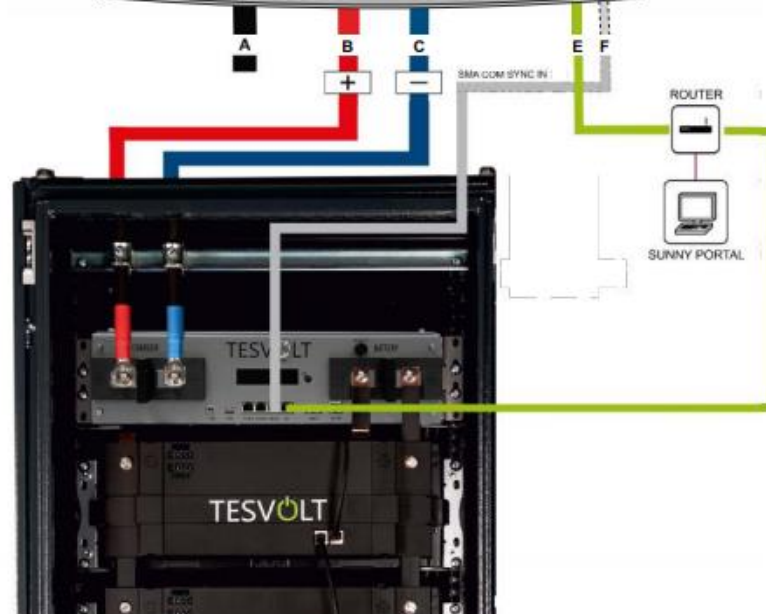
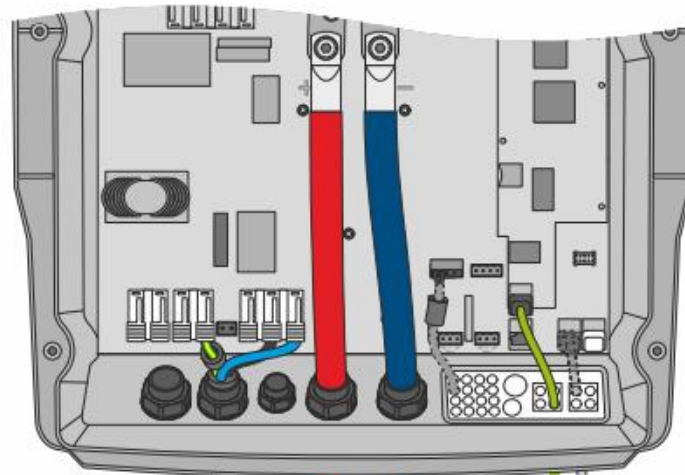
8 Sunny Island connection



INFORMATION on charging procedure

Compatible battery inverters charge automatically based on the parameters stored for the battery and charging infrastructure. Helpful installation and planning information can be found on the homepage of the manufacturer SMA.

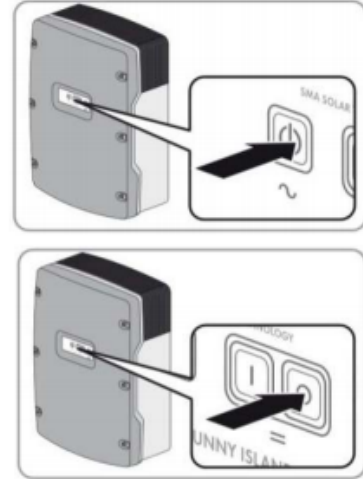
Anschluss Sunny Island





10 Decommissioning

1. Stop the Sunny Island (press and hold the Start/Stop button on the Sunny Island until the inverter LED lights up orange).
2. Switch off the Sunny Island (press and hold the Switch-off button on the Sunny Island until an audio signal tone is emitted).
3. Switch off the battery (press the green illuminated pushbutton switch on the door of the battery cabinet, the green LED must go out).



WARNING!

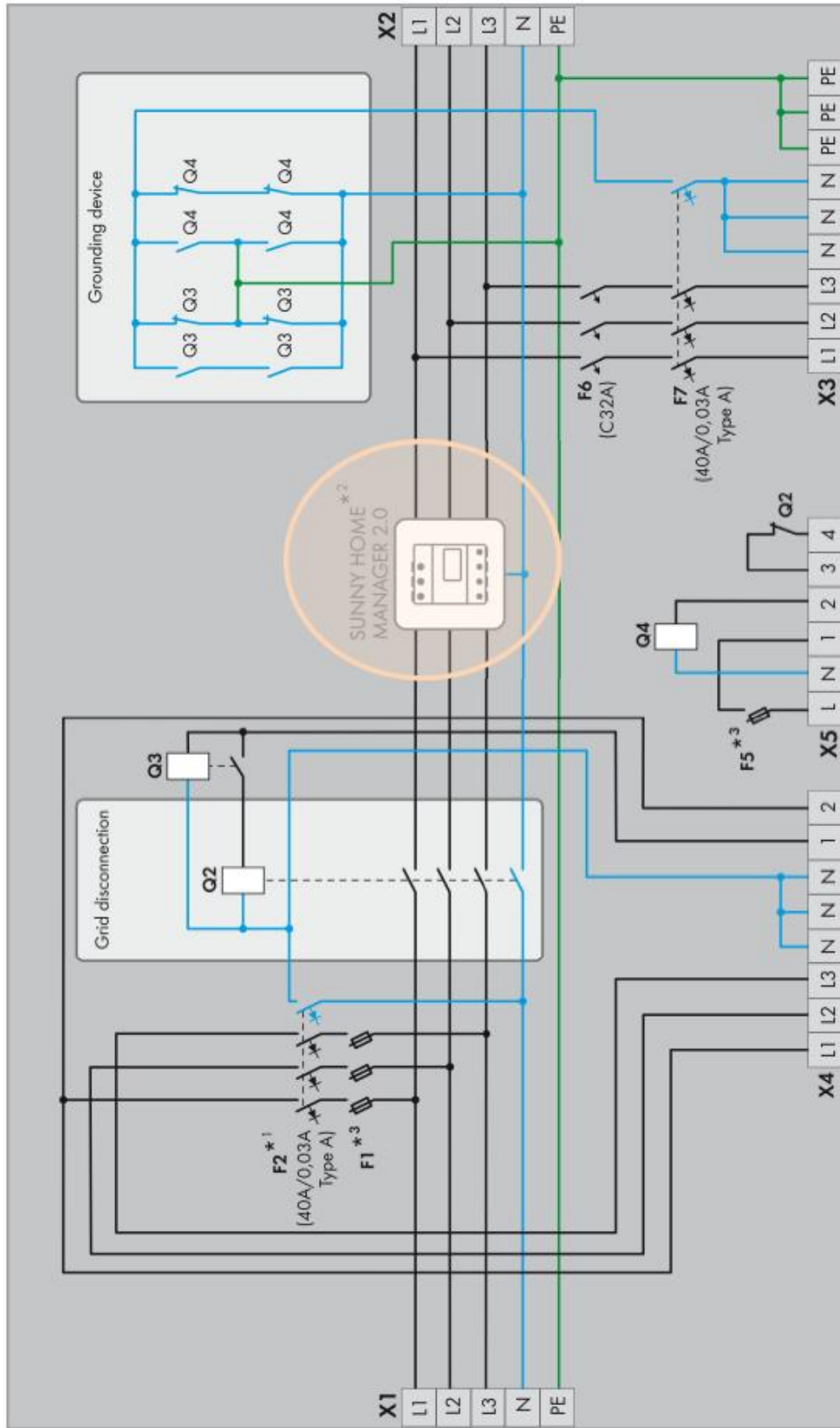
Risk of electric shock, due to the auto-scheduled discharge of the energy storage system. Please wait 15 minutes after switching off the storage system.



Liite 2

LIITE 2

Sunny Island 4.4, Sunny boy 3.0 Akkuinverterin ja paneeli invertterin kytkentäkaavio.



*¹ Only when connecting to a TT grid, the line conductor and the neutral conductor must be fused.
 *² Not required for systems without increased self-consumption.
 *³ Requirements for thermal fuse used: 1 A, nominal cold resistance of at least 0.2 Ω and melting integral max. 1A2s.
 The indicated values in brackets are recommended by SMA Solar Technology AG. The electrical devices must be designed in accordance with the locally applicable standards and directives.

