

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Mika Laine

MITTAUSTIETOKANNAN SUUNNITTELU

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Automaatio- ja kunnossapitotekniikan suuntautumisvaihtoehto

2007

# TIIVISTELMÄ

Satakunnan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Pori

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Automaatio- ja kunnossapitotekniikan suuntautumisvaihtoehto

LAINEN MIKA: Mittaustietokannan suunnittelu

Työn ohjaaja: Jarmo Seppälä, Ins.

Työn valvoja: Karri Kivi, DI

Maaliskuu 2007

Insinööriyö: 62 sivua

Toimeksiantaja: Luvata Pori Oy

Hakusanat: suprajohdin, suprajohdavuus, mittaaminen, tietokanta, relaatiotietokanta

UDK: 004.41, 004.6, 669.01

---

Luvata Superconductors, aiemmin Outokumpu Copper, Superconductors, koostuu kolmesta suprajohdintehtaasta. Ne sijaitsevat Porissa, Fornaci di Bargassa, Italiassa sekä Waterburyssa, Yhdysvalloissa.

Jokaisella Luvata Superconductorsin tehtaalla on oma tapansa mittaustietojen tallennukseen, hallintaan ja raportointiin niiden pohjalta.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin eri tehtaiden lähtötilanne, kartoitettiin eri osapuolien odotukset sekä määriteltiin tietokanta, johon Luvata Superconductorsin eri tehtaiden mittaustulokset voidaan tallentaa.

Työn edetessä selvisi, että tietokannasta tulisi melko monimutkainen, eikä jo olemassa olevia järjestelmiä voitaisi käyttää hyväksi uudessa tulevassa tietokannassa. Mittaustietojen monimutkaisuuden vuoksi jouduttiin suunnittelussa turvautumaan useisiin moniavaimellisiin linkitystauluihin. Microsoft Accessilla laadittiin kokeilutietokanta, joka oli välttämätön, jotta tietokannan eheys pystyttiin toteamaan.

Tietokannan suunnittelussa päästiin tavoiteltuun vaiheeseen, jossa tietokannan rakenne, tauluineen, kenttineen ja yhteyksineen saatiin laadittua.

Jatkossa näillä tiedoilla voidaan edetä teettämään itse tietokanta Microsoft SQL Serverille. Näin syntynyt tietokanta on informaatiolle vasta varasto, johon pitää kehittää käyttöliittymät tietojen tallennusta ja hakua varten.

## ABSTRACT

Satakunta University of Applied Sciences  
Unit of Technology in Pori  
Degree Programme in Mechanical Engineering  
Automation and Maintenance Orientation  
LAINE MIKA: Designing of Measurement Database  
Advisor: Jarmo Seppälä, B.Sc.  
Supervisor: Karri Kivi, DI  
March 2007  
B.Sc. Thesis: 62 pages  
Commissioned by: Luvata Pori Oy, Superconductors  
Keywords: superconductor, superconductivity, measuring, database, relational database  
UDK: 004.41, 004.6, 669.01

---

Luvata Superconductors, formerly Outokumpu Copper, Superconductors, consists of three factories making superconductors. They are located in Pori (Finland), Fornaci di Barga (Italy) and Waterbury (USA).

Each of Luvata Superconductors' factories has their own way of storing, managing and reporting their measured data.

The aims of this final thesis were to clarify the present state of different factories, to find out the expectations for the new system and define the new database where all different factories can store their measurement information.

As the work continued it became clear that the planned new database would become quite complicated and the old systems could not be used as a part of this new system. The complexity of the measurement information drove the planning to use several junction tables with multiple primary keys. The testing database was made with Microsoft Access to prove the integrity of the database.

The intended phase of the database planning was reached where the database structure with tables and fields with relationships were prepared.

In the future this information can be used to have someone to prepare a database using Microsoft SQL Server. That kind of database would only be storage for the measurement data. The user interface is still needed for supplying and accessing data.

## ALKUSANAT

Tämä opinnäytetyö tehti Luvata Pori Oy, Superconductorsille, Satakunnan ammattikorkeakoulun Tekniikka Porin yksikön Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman alaisuudessa, talvella 2006-2007. Työn ohjaajana toimi Luvata Pori Oy:n osalta laatu-päällikkö Jarmo Seppälä ja työn valvojana toimi lehtori Karri Kivi. Kiitän heitä molempia neuvoista, ohjeista ja kiinnostuksesta työtäni kohtaan.

Työn tekemistä helpotti olennaisesti aikaisempi työkokemus Luvata Pori Oy:n suprajohdintehtaalla. Ilman aikaisempaa tietoa suprajohdinten mittauksista ja mittaustietojen käytöstä ei työ olisi onnistunut lähellekään yhtä hyvin kuin nyt.

Haluan myös kiittää Robert Schaedleria ja Valentina Bagnatoa yhteistyöstä tietokannan tavoitteiden kartoituksessa sekä Marikaa ja Aleksia tuesta ja tarvitusta työrauhasta.

Porissa 7.3.2007

Mika Laine

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYS

JOHDANTO .....	7
1 SUPRAJOHTAVUUS JA SUPRAJOHTIMET .....	8
1.1 Yleistä .....	8
1.2 Suprajohtavuuden historiaa.....	10
1.3.1 Kriittinen lämpötila.....	13
1.3.2 Kriittinen magneettikenttä .....	14
1.3.3 Kriittinen virta.....	15
1.4 Suprajohtimien käyttösovellutukset.....	16
1.4.1 Fuusiomagneetit.....	16
1.4.2 Hiukkasfysiikan sovellutukset .....	17
1.4.3 Korkeakenttämagneetit .....	18
1.4.4 Magneettinen separointi.....	19
1.4.5 Levitaatiojuna .....	19
1.4.6 Magneettikuvaus .....	20
1.4.7 Suprajohteiden energiasovellutukset .....	21
2 SUPRAJOHDINTEN VALMISTUS JA TESTAUS.....	25
2.1 Suprajohdinten metallurgiset käsittelyt.....	25
2.2 Suprajohtimen monovaiheen valmistuksen tuotantoprosessi .....	26
2.3 Suprajohtimen multivaiheen valmistuksen tuotantoprosessi .....	27
2.4 Testaus .....	30
2.4.1 Langan muutosvyöhykkeen Cu / sc -suhteen määrittäminen .....	30
2.4.2 Huoneenlämpötilavastus .....	31
2.4.3 Spring-Back testi.....	32
2.4.4 Sharp Bend-testi.....	32
2.4.5 Vetolujuus .....	33
2.4.6 Kierteen nousu .....	33

2.4.7 Virtamittaukset.....	34
2.4.8 N-tekijän määrittäminen .....	35
2.4.9 RRR-määrittäminen .....	36
3 MITTAUSTIETOKANNAN MÄÄRITTELY .....	37
3.1 Tietokannan tyypit .....	37
3.2 Tietokannan suunnitteluprosessi .....	37
3.3 Nykyinen tietokanta .....	39
3.4 Uusi tietokanta .....	44
3.4.1 Tehtäväselostus .....	45
3.4.2 Tietokannan käyttäjien tarpeiden tunnistaminen .....	45
3.4.3 Tehtävän tavoitteet.....	46
4 TIETOKANNAN KÄSITTEELLINEN MALLINTAMINEN .....	47
5 TIETOKANNAN LOOGINEN SUUNNITTELU .....	48
5.1 Taulut, kentät ja pääavaimet .....	49
5.2 Taulujen yhteydet.....	54
5.3 Datan eheys .....	56
6 TIETOKANNAN TOTEUTUKSEN VALMISTELU .....	57
6.1 Sovelluksen valinta .....	57
6.2 Tietoturva.....	58
6.2 Jatkoimenpide-ehdotukset .....	58
7 YHTEENVETO.....	59
LÄHTEET.....	61
LIITTEET .....	63

## JOHDANTO

Luvata Superconductors, aiemmin Outokumpu Copper, Superconductors, koostuu kolmesta suprajohdintehtaasta. Ne sijaitsevat Porissa, Fornaci di Bargassa, Italiassa sekä Waterburyssa, Yhdysvalloissa. Porissa on valmistettu suprajohdintia vuodesta 1983 ja muillakin Luvatan tehtailla jo 1980-luvulta alkaen.

Waterburyn tehdas liittyi osaksi nykyistä Luvataa 90-luvun lopulla, kun Outokumpu Oy osti sen IGC Magnet Technologyltä. Italian tehdas ostettiin Europa Metallilta 2004.

Luvata Superconductors on eräs maailman suurimmista suprajohdintien valmistajista. Asiakaskuntaa on Euroopassa, Japanissa ja Yhdysvalloissa. Suurin osa Luvata Superconductorsin tuotteista menee asiakkaille, jotka valmistavat voimakkaita magneetteja aineiden koostumuksen ja rakenteen tutkimiseen, sekä magneettikuvauslaitteita lääketieteen sovellutuksiin.

Suprajohdintien käyttäjät ovat hyvin tarkkoja kalliiden tuotteiden laadusta. Jokainen valmistuva suprajohdin testataan ja mitataan hyvin huolellisesti ja kattavasti. Jokaisella Luvata Superconductorsin tehtaalla on oma tapansa mittaustietojen tallennukseen, hallintaan ja raportointiin niiden pohjalta.

On asetettu tavoitteeksi saada yhteinen jokaisella tehtaalla käytössä oleva järjestelmä mittaustiedoille. Tämän järjestelmän tulisi sisältää riittävän usein globaalisti päivittyvä tietokanta mittaustuloksista, mahdollisuus generoida tuloksista asiakaskohtaisia raportteja, suorittaa kyselyjä ja tehdä analyysyjä tiedoista ja tarjota mahdollisuudet verrata tuloksia asiakasvaatimuksiin.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena selvittää eri tehtaiden lähtötilanne, kartoittaa eri osapuolien tarpeet ja toiveet sekä määritellä tietokanta, johon Luvata Superconductorsin eri tehtaiden mittaustulokset tallennetaan. Tämän työn tarkoituksena ei ole to-

teuttaa itse tietokantaa, vaan suunnitella sen rakenne, jolloin se voidaan teettää tietokantoja ammattimaisesti tekevällä yrityksellä tai henkilöillä.

## 1 SUPRAJOHTAVUUS JA SUPRAJOHTIMET

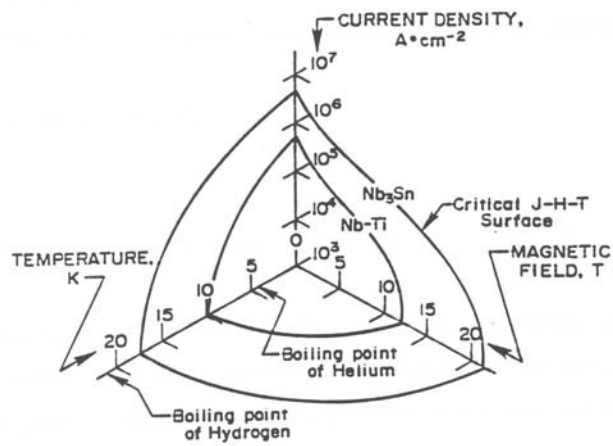
### 1.1 Yleistä

Materiaalia kutsutaan suprajohtavaksi, jos se täyttää kaksi erityistä ominaisuutta tietyn kriittisen lämpötilan alapuolella:

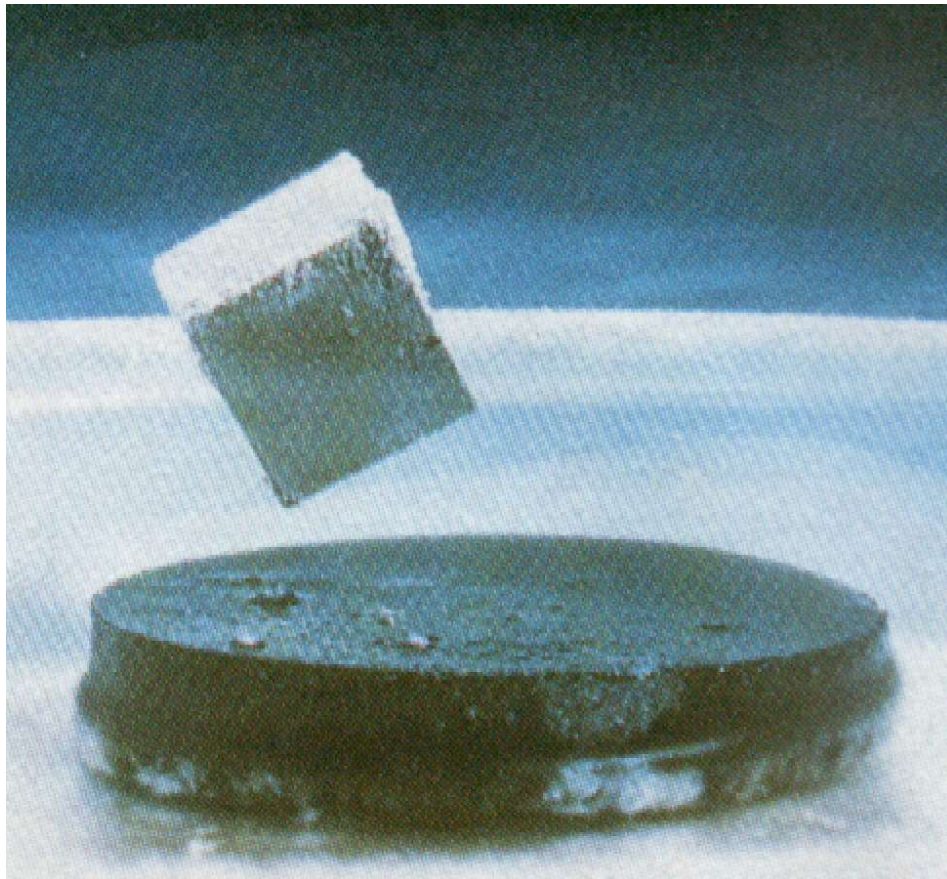
1. Sen sähköinen resistiivisyys eli vastus on nolla
2. Magneettikenttä ei tunkeudu materiaaliin (Meissner -ilmiö, lähemmin kohdassa 1.2 Suprajohtavuuden historiaa).

Tietyt metallit muuttuvat alhaisissa lämpötiloissa suprajohtaviksi eli sähkövirran siirtyä esteettä ilman hävikkiä. Suprajohtavuus on siis ilmiö, jossa joidenkin materiaalien sähköinen vastus häviää kokonaan lähestyttäessä tiettyä lämpötilaa, joka NbTi- suprajohtimilla on nesteheliumin lämpötila normaalipaineessa, 4,2 K. Jotta suprajohtavaan tilaan päästäisiin ja siinä pysyttäisiin, lämpötilan lisäksi magneettivuon- ja virrantiheydet eivät saa ylittää suurimpia sallittuja arvojaan. Nämä kolme kriittistä arvoa ovat materiaalikohtaisia, ja riippuvat toinen toisistaan. Esimerkiksi matalassa lämpötilassa ja heikossa magneettikentässä kriittinen virrantiheys on suurempi kuin vastaavilla suuremilla lämpötilan ja kentän arvoilla. Edelleen kriittinen virta, joka on keskeinen voimakkaiden kenttien muodostukseen liittyvä ominaisuus, riippuu suprajohtimen mikro-rakenteesta eli siitä, miten metalliseoksen tai yhdisteen atomit järjestäytyvät mikro-skooppisella tasolla. /4/.





Kuva 1. Kriittisen virran, lämpötilan ja magneettikentän arvojen rajat NbTi:lle ja Nb<sub>3</sub>Sn:lle /2, s.348/.



Kuva 2. Meissnerin-ilmiossä suprajohdin vastustaa magneettikenttää ja luo vastakkaisuuntaisen kentän, jolloin magneetti leijuu suprajohtimen päällä. /4/

## 1.2 Suprajohtavuuden historiaa

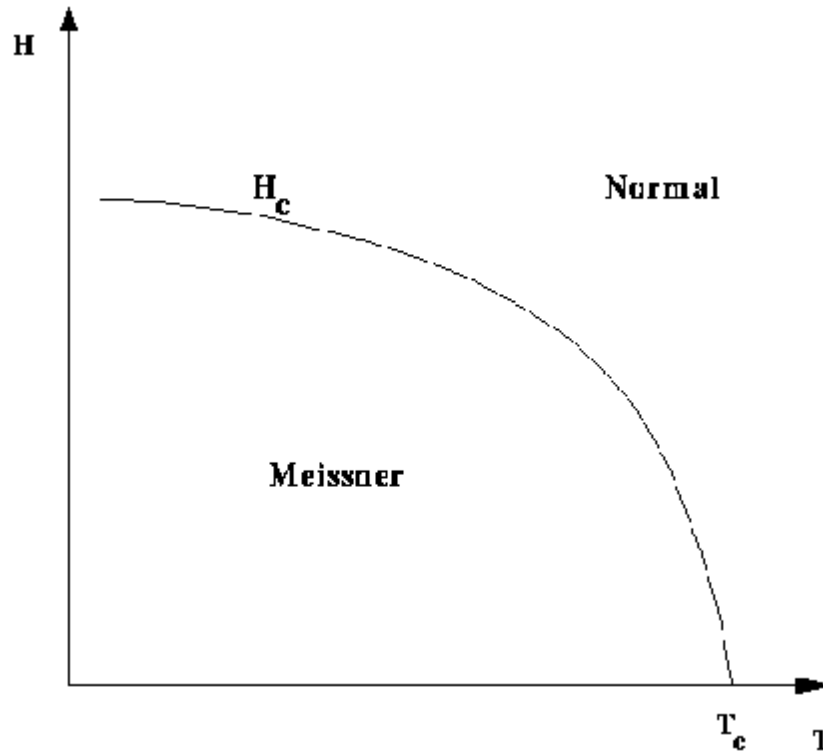
Suprajohtavuus on ilmiö, jossa aine menettää sähkövastuksensa kun sen lämpötila laskeaan tiettyyn kriittiseen lämpötilaan  $T_c$  asti. Hollantilainen Heike Kamerlingh Onnes havaitsi, että elohopea menetti resistanssinsa lähes kokonaan lämpötilassa 4,15K. Myöhemmin Onnes havaitsi myös lyijyn suprajohtavuuden. Hyvinä johteina tunnetut jalometallit kuten kupari, hopea ja kulta eivät muutu suprajohtaviksi. Aluksi suprajohtavaan tilaan päästiin vasta lähellä absoluuttista nolapistettä, eli -273 C astetta.

1950-luvun lopulla, John Baarden, Leon Cooper ja J. Robert Schieffer kehittivät BCS-teorian suprajohtimien ominaisuuksista. BCS-teorian mukaan sähkövirran kuljettajia suprajohtimissa ovat elektroniparit, joita kutsutaan Cooperin pareiksi. Yhden parin elektronien välimatka on n. 200 kertaa atomien välinen etäisyys. Yksi Cooperin pari kulkee läpi materiaalin ilman mitään törmäilyjä muihin Cooperin pareihin tai metallijohtimien atomeihin. Kun minkäänlaisia törmäilyjä ei esiinny, sähkövirta kulkee täysin ilman vastusta. Lämpötilan noustessa hilavärähtelyt voimistuvat ja hajottavat Cooperin parin kahdeksi erilliseksi elektroniksi. Kriittisen lämpötilan yläpuolella esiintyy resistanssia, joka aiheutuu elektronien törmäilystä atomeihin ja muihin elektroneihin. BCS-teorian avulla voidaan laskea lähes kaikki suprajohtimien ominaisuudet. Kriittisen lämpötilan arvoa ei ole kuitenkaan kyetty laskemaan teoreettisesti. Siksi uusien, yhä korkeamman lämpötilan suprajohtimien, etsiminen on kokeellista työtä./4/

Suprajohtimien magneettiset ominaisuudet ovat myös normaalitilasta poikkeavia. Kun esimerkiksi lyijykappale sijoitetaan ulkoiseen magneettikenttään, magneettikenttä lyijykappaleen sisällä heikkenee, koska lyijy on diamagneettinen aine. Kun lyijykappale jäähdytetään suprajohtavaan tilaan, häviää magneettikenttä sen sisältä kokonaan. Kun aineesta tulee täysi diamagneettinen, kutsutaan tätä ilmiötä Meissnerin ja Ochsenfeldin ilmiöksi. Ilmiö johtuu siitä, että suprajohtimen pinnalle syntyy virta, jonka aiheuttama magneettikenttä täysin kumoaa ulkoisen magneettikentän.

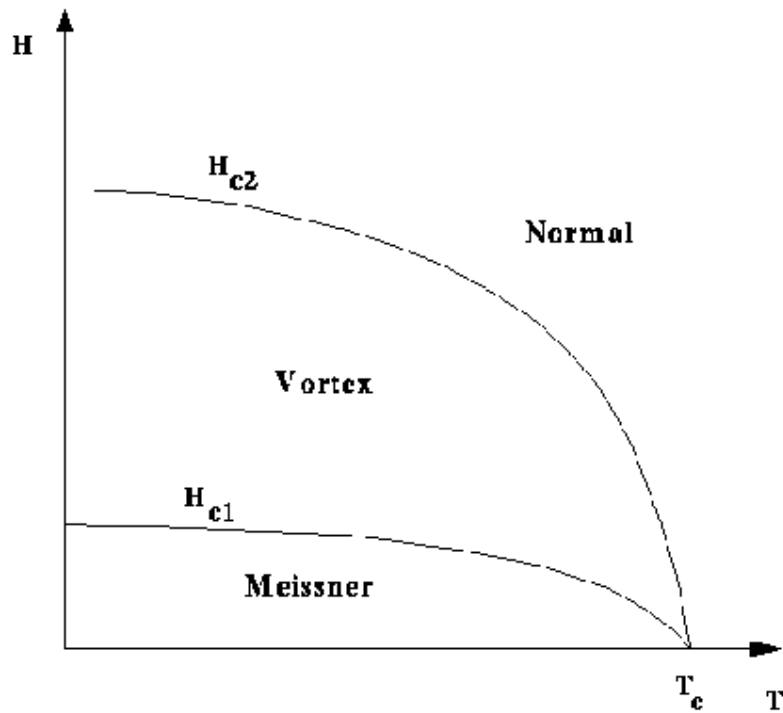
Ulkoisella magneettikentällä on vaikutuksia suprajohtavaan tilaan. Kun lämpötila on alle kriittisen lämpötilan, voidaan suprajohtava tila poistaa riittävän voimakkaalla ulkoisella magneettikentällä. Jos siis magneettikenttää kasvatetaan ja se ylittää kriittisen

magneettikentän  $H_c$ , häviää suprajohtava tila. Tyypin I suprajohtimilla on selvästi toisistaan erottuvat suprajohtava ja normaali tila. /5/



Kuva 3. Tyypin I suprajohtimien /5/

On olemassa myös tyypin II suprajohtimia. Niillä on suprajohtavan ja normaalin tilan välissä sekutila, jossa materiaalilla on vain osittain suprajohtavia ominaisuuksia. Näitä materiaaleja voidaan kuvata kahdella kriittisellä magneettikentällä. Kun magneettikenttä on pienempi kuin ensimmäinen kriittinen magneettikenttä  $H_{c1}$ , materiaali on suprajohtavassa tilassa, jos lämpötila on riittävän matala. Magneettikentän ollessa voimakkaampi kuin toinen kriittinen magneettikenttä  $H_{c2}$  ( $>H_{c1}$ ), materiaali on normaalissa tilassa kaikissa lämpötiloissa. Jos magneettikenttä on heikompi kuin toinen kriittinen magneettikenttä, mutta voimakkaampi kuin ensimmäinen kriittinen magneettikenttä  $H_{c1}$ , materiaali on sekutilassa.



Kuva 4. Tyypin II suprajohdin /6/

Tässä sekatilassa ei materiaalilla ole resistanssia, mutta ulkoinen magneettikenttä pysyy tunkeutumaan materiaalin läpi ohuina lankamaisina alueina, ns. kanavina. Tämä ns. kanavan ydin on normaalitilassa ja kanavien ympärillä oleva alue on suprajohtava. Magneettivuon on kunkin kanavan läpi vakio. Tätä magneettivuon arvoa kutsutaan vuokvantiksi. Kun ulkoinen magneettikenttä muuttuu, myös kanavien lukumäärä muuttuu. Sekatilassa toisen tyypin suprajohtimissa voi olla hyvin voimakkaita magneettikenttiä ( $>10T$ ), joten niitä käytetään voimakkaiden magneettien synnyttämiseen. /6/

### 1.3 Suprajohtimien kriittiset suureet

#### 1.3.1 Kriittinen lämpötila

Kriittistä lämpötilaa voidaan pitää suprajohtimien perusomaisuutena, sillä se riippuu pelkästään materiaalin kemiallisesta koostumuksesta ja kiderakenteesta, mutta vaikuttaa merkittävästi sekä kriittiseen magneettikenttään että kriittiseen virrantiheyteen. Kriittisen lämpötilan vaikutusta kriittisen magneettikentän voimakkuuteen esittää seuraavalla yhtälöllä.

$$H_c(T) = H_c(0) \cdot [1 - (T/T_c)^2], \text{ missä}$$

$H_c(0)$  = kriittinen magneettikenttä,

kun  $T = 0$  K

$T_c$  = kriittinen lämpötila

Vakiotekijä  $H_c(0)$  on myös materiaalin tärkeä ominaisuus, jota voidaan käyttää suprajohtimien keskinäiseen vertailuun. Kriittinen magneettikenttä mitataan yleensä 4,2 K lämpötilassa, koska nestemäinen helium on tavallisimmin käytetty aine suprajohtimien jäädyttämiseen.

Alkuaineet joita ensimmäisenä todettiin suprajohtaviksi, kuuluvat jaksolliseen järjestelmän ryhmiin II, III ja IV. Yhteistä näille on täysi d-elektronikuori sekä näytteiden valmistusta helpottava matala sulamispiste. Myöhemmin havaittiin parhaiten suprajohtimiksi soveltuvat niobi, vanadiini ja tantaali ryhmissä IV, V ja VI. Nykyisin tunnetaan 28 suprajohtavaa alkuainetta, joiden  $T_c > 1$  K. /4/

### 1.3.2 Kriittinen magneettikenttä

Ulkoisen magneettikentän ylittäessä tietyn kriittisen arvon, suprajohtavuus katoaa ja suprajohdin palautuu normaalitilaan. Suprajohdinmagneeteilla, joilla saavutetaan korkeita magneettikenttiä, on kriittinen magneettikentän voimakkuus  $H_c$  yksi tärkeimmistä ominaisuuksista suunniteltaessa magneettia käytännön sovellutuksiin. Suprajohtimet jaetaan kahteen ryhmään sen mukaan, kuinka näiden magneettiset ominaisuudet muuttuvat ulkoisessa magneettikentässä, tyyppin I ja tyyppin II suprajohtimet. /11/

Tyyppin I suprajohtimille on ominaista täydellinen Meissnerin ilmiö kriittiseen magneettikenttään asti, jonka yläpuolella kenttä tunkeutuu äkillisesti koko materiaaliin, joka samalla muuttuu normaalitilaan. Tähän ryhmään kuuluu useimmat puhtaat metallit ja  $H_c$  on melko pieni, tyypillisesti vain 10 - 100 mT.

Meissnerin ilmiötä voidaan myös havainnollistaa, kuten jo edellä kuva 2, asettamalla suprajohtavassa tilassa olevan materiaalin päälle magneetti, ja tällöin magneetti jää leijumaan. Magneettikentän voimaviivat eivät pääse tunkeutumaan suprajohtavaan materiaaliin ja näin aiheuttavat magneetin leijumisen. Voimaviivat toimivat puskurina, jonka päälle magneetti asettuu./4/

Tyyppin II suprajohtimet poikkeavat tyyppin I suprajohtimista oleellisesti siinä, että magneettikenttä pääsee tunkeutumaan materiaalin sisään, mutta tämä silti säilyttää nolaresistiivisyyden. Tunkeutuminen alkaa ns. alemmassa kriittisessä magneettikentässä, jonka alapuolella käyttäytyminen on samanlaista kuin tyyppin I suprajohtimilla.

### 1.3.3 Kriittinen virta

Kasvatettaessa virtaa tasaisesti, se kulkee materiaalin kautta suprajohtavassa tilassa ja materiaali palautuu normaaliin tilaan tietyllä virran arvolla. Tämä suprajohtimelle ominainen kriittinen virta  $I_c$  on suprajohtimen tärkein ominaisuus magneettisissa sovelluksissa. Korkea transitiolämpötila sekä korkea ylempi kriittinen magneettikentän voimakkuus eivät takaa korkeaa kriittistä virtaa ulkoisessa magneettikentässä. Käytännössä vertailua helpottaa kriittisen virran avulla laskettu *kriittinen virrantiheys*  $J_c$ . Tämä esitetään seuraavan yhtälön avulla:

$$J_c = \frac{I_c}{A}, \text{ missä}$$

$I_c$  = kriittinen virta

$J_c$  = kriittinen virrantiheys

$A$  = johtimen poikkipinta-ala,

jonka yli lasketaan

NbTi suprajohtimen rakenteeseen kuuluu normaalisti kuparistabilaattori, eristävä kuparikerros niobititaanin ympärillä mono- ja multipuristeessa, jonka osuus on huomioitava laskettaessa virrantiheyksiä. Kriittinen virrantiheys voidaan ilmoittaa ilman stabilaattorin osuutta tai se voidaan huomioida tiheyksiä laskettaessa. Yleensä kriittinen virrantiheys ilmoitetaan ilman kupariosuutta, jolloin arvot ovat keskenään vertailukelpoisia riippumatta kuparin osuudesta. /4/

NbTi -suprajohtimen laadun tarkkailussa tärkeä kriteeri onkin kuparin ja suprajohtimen osuus poikkipinta-alasta, joka ilmoitetaan näiden suhteena ( $\alpha$ )./11/

$$\alpha = \frac{A_{Cu}}{A_{NbTi}}, \text{ missä}$$

$\alpha$  = suprajohtimen Cu/Sc-suhde

$A_{Cu}$  = kuparin osuus poikkipinta-alasta

$A_{NbTi}$  = niobi-titaanin osuus poikkipinta-alasta

## 1.4 Suprajohtimien käyttösovellutukset

Suprajohtavia magneetteja käytetään lääketieteen ja suurenergiafysiikan erilaisissa sovellutuksissa. Suprajohtavuutta hyödynnetään ihmiskehon pehmeiden kudosten sisäisessä havainnoimisessa; ihmiskehosta voidaan paljastaa kasvaimia ja erilaisia sisäisiä vammoja (magneettikuvaus). Suurenergiafysiikan tutkimuslaitteet ovat järeän luokan supermikroskooppeja, joilla päästään tutkimaan alkeishiukkasten osia törmäyttämällä hiukkasia toisiinsa lähes valon nopeudella ja tutkimalla hajonneiden hiukkasten liikeroja.

Suprajohtimia voidaan hyödyntää niin elektroniikassa kuin suuremmissakin mittakavassa. On selvää, että kuparin sähkövirran vastus ja siihen liittyvä lämpeneminen ja energian häviö rajoittavat tavallisten sähkömagneettien kenttien voimakkuutta. Suprajohtimilla taas ei ole vastusta, joten sähkömagneetit kannattaa rakentaa suprajohtavasta johtimesta. Näin voidaan käyttää valtavia virtoja valtavien magneettikenttien synnyttämiseksi. /7/

### 1.4.1 Fuusiomagneetit

Fuusio on yksi tulevaisuuden houkuttelevimmista energian tuotantotavoista. Lämpödinreaktiossa kevyet atomiytimet törmäävät toisiinsa muodostaen raskaamman ytimen. Samalla vapautuu sidosenergiaa. Fuusioreaktioissa ei synny pitkäikäistä radioaktiivista jätettä. Myöskään katastrofaalista ketjureaktiota ei pääse syntymään. Polttoaineena voidaan käyttää esim. vedyn isotooppeja, joita on maapallolla lähes ehtymättömästi.

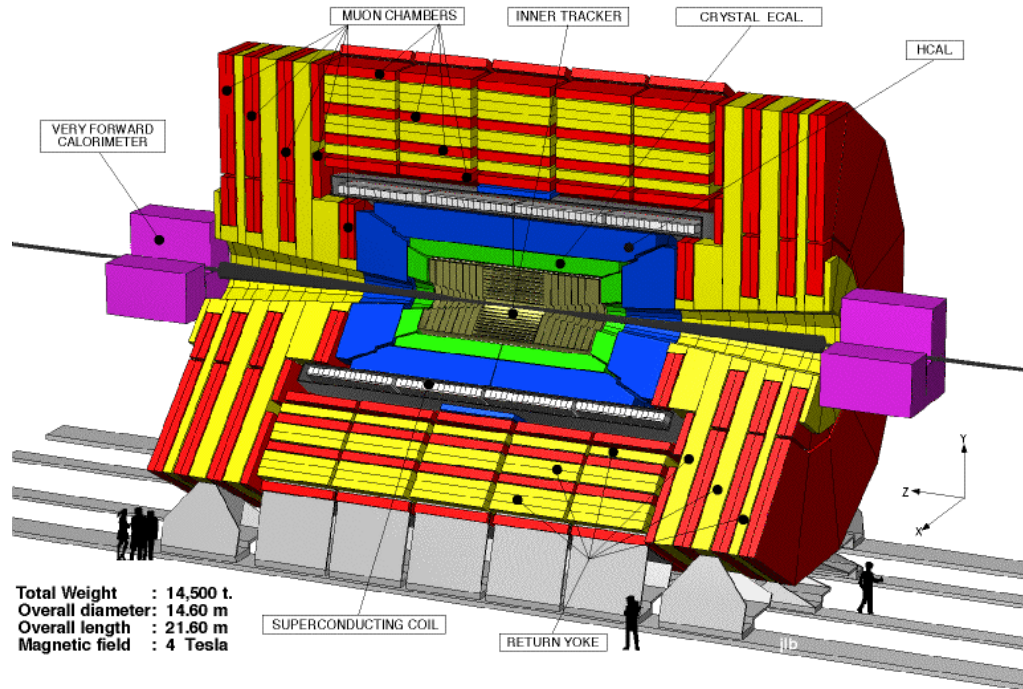
Suprajohdinmagneettien luoman voimakkaan magneettikentän avulla pidetään koossa fuusioreaktoreissa polttoaineena käytettävää kuumaa plasmaa. Menetelmä perustuu siihen, että plasma on ionisoitunutta kaasua, joka johtaa hyvin sähköä.



Useimpien asiantuntijoiden mukaan fuusiovoimaloiden rakentamiseen kuluu vielä ainakin useita vuosikymmeniä. Ranskaan rakennetaan valtava koereaktori ITER Euroopan, Japanin, Kanadan ja Venäjän yhteistyönä. /13/

#### 1.4.2 Hiukkafysiikan sovellutukset

Atomytimiä pienempien hiukkasten tutkimuksessa tarvitaan suurienergisiä ja tarkasti kohdennettavia hiukkassuihkuja. Hiukkaskiihdyttimet edustavat suprajohdinmagneettien suurimittaisinta sovelluskohdetta. Hiukkassuihku saa suuren energiansa, kun sitä kiihdytetään sähkökentässä. Suprajohdinmagneetteja käytetään pääasiassa poikkeuttamaan hiukkasia radaltaan. Niitä voidaan käyttää myös suihkun tarkentamiseen. Suprajohtimia käyttämällä säästetään rahaa, tilaa ja energiaa. Suprajohtavuutta hyödyntäviä magneetteja on rakennettu mm. USA:han, Englantiin, Venäjälle ja Saksaan. Mittavimpia laitteita on USA:n Fermilabin Tevatroni, johon kuuluu noin tuhat suprajohtavaa magneettia. Tällä hetkellä CERNiin rakennetaan suurienergistä LHC (large hadron collider) hiukkaskiihdytintä, jonka pitäisi olla toimintakuntoinen tämän vuosikymmenen lopulla. /7/



Kuva 5. CERNin LHC hiukkasydinkiihdyttimessä käytettävä CMS-ilmaisim. /17/

### 1.4.3 Korkeakenttämagneetit

Fysiikan, kemian, biologian ja lääketieteen tutkimustyössä tarvitaan voimakkaita magneettikenttiä. Ongelmana on usein se, että laboratorioissa ei ole mahdollisuuksia käyttää suuria tehoja. Suprajohdinmagneettien tehonkulutus on pientä, koska resistiivisiä häviöitä ei synny. Myös kentän laatu on parempi kuin tavallisilla magneeteilla. Suprajohtimia käyttämällä voidaan tuottaa ajan ja paikan suhteen muuttumattomia magneettikenttiä. Suprajohdinmagneettien suosio on kasvanut viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana ja nykyään niitä löytyy jo useista tutkimuslaboratorioista ympäri maailmaa.

/7/

#### 1.4.4 Magneettinen separointi

Magneettisessa separoinnissa eri tavoin magnetoituvat hiukkaset voidaan erottaa toisistaan magneettikentän avulla. Kun kenttä muuttuu paikan suhteen, ferro- ja paramagneettiset partikkelit liikkuvat korkeamman ja diamagneettiset matalamman kentän suuntaan. Nykyään separointiin käytetään yleisimmin sähkö- tai kestopagneetteja, mutta myös suprajohdinten suosio kasvaa tietyissä sovelluksissa. Separointia voidaan käyttää mm. paperin valmistuksessa tarvittavan kaoliinin, valimoteollisuuden valuhiekan, kivihiilen tai jäteveden puhdistamiseen. Menetelmällä voidaan myös erottaa punasolut veriplasmasta. /14/

#### 1.4.5 Levitaatiojuna

Levitaatiojunan periaatteena on luoda magneettikenttä, joka kohottaa ajoneuvoa. Japanilaisessa MagLev-junassa sopivat magneettivuontiheydet luodaan suprajohdinmagneettien avulla. Ne asennetaan kaikkiin vaunuihin ja raiteisiin. Vaakasuora työntöliike saadaan aikaan kiskostossa sijaitsevilla normaalihohteisilla käämityksillä. Levitaatiojuna on kevyt, koska työntökäämitykset sijaitsevat kiskostossa. Leijuvan junan ja kiskoston välille ei muodostu kitkaa. Koska työntöliikkeen aikaansaavia käämityksiä käytetään myös jarrutuksessa, saadaan suuri osa junan kiihdyttämiseen kulutetusta energiasta takaisin jarrutuksen aikana. Levitaatiojuna onkin tavalliseen junaan verrattuna nopeampi, energiataloudellisempi ja meluttomampi. Lisäetuna kiskojen kuluminen ja tätä kautta huoltotarve vähenee. Japanissa junaa on kaavailtu liikennöimään vilkkaalle Tokio-Osaka -välille. /7/



Kuva 6. Japanilainen MagLev-levitaatiojuna. /17/

#### 1.4.6 Magneettikuvaus

Magneettikuvaus on yksi suprajohtavuuden kaupallisista sovellutuksista. Magneettikuvaus (MRI eli magnetic resonance imaging) on suprajohtavuuden kaupallisesti tärkein sovellus. Se on lääketieteessä käytettävä kuvantamismenetelmä, jossa hyödynnetään voimakkaita magneetteja.

MRI perustuu ydinmagneettiseen resonanssi-ilmiöön (NMR eli nuclear magnetic resonance). Yleisemmällä tasolla MRI tuottaa hyvän kontrastin pehmeiden kudosten kuviin. MRI on erityisen tehokas selkäytimen, nivelten ja muiden lihasten ja luiden osien sekä verisuonten ja verenkierron tutkimuksessa. MRI -tekniikan monipuolisuus sekä röntgen- ja gammasäteiden välttämiseen perustuva turvallisuus on johtanut sen laajaan käyttöön taudinmäärityksessä. /7/

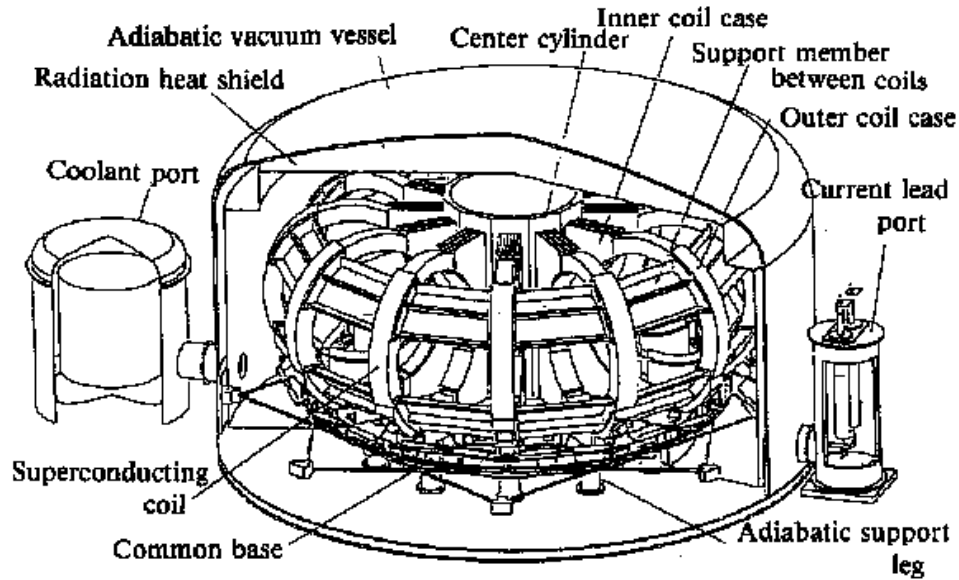


Kuva 7. MRI magneettikuvauslaite./17/

#### 1.4.7 Suprajohteiden energiasovellutukset

##### 1.4.7.1 Suprajohtava sähkömagneettinen energiavarasto (SMES)

SMES koostuu suprajohtavasta magneetista, johon voidaan ohjata virtaa. Virta muodostaa magneettikentän, joka sisältää energiaa. Kun magneettikäälityksen päät oikosuljetaan suprajohtavalla liitoksella, jää virta kiertämään johtimessa lähes ikuisesti. Irrottamalla päät toisistaan voidaan energia purkaa magneetista.



Kuva 8. Suprajohtava sähkömagneettinen energiavarasto SMES. /17/

SMES:ää voidaan käyttää tasoittamaan eripituisia sähkönjakelun ja tuotannon häiriöitä ja vaihteluita. Suuren mittakaavan magneeteilla voidaan tasapainottaa energian tuottoa ja kulutusta vuorokausitasolla. Käytännössä tärkeämpiä sovelluksia ovat kuitenkin pienet SMES:t, joilla voidaan hallita lyhytaikaisempia häiriöitä. SMES:in suurimpia etuja ovat hyvä hyötysuhde, nopea purku aika, pitkäikäisyys ja päästöttömyys. Ainoa mahdollinen ympäristövaikutus on magneetin ympärilleen levittämä kenttä. SMES:n tärkeimpiä kilpailijoita ovat kaasuturbiinilaitos, pumppuvesivoimala ja akut. /7/

#### 1.4.7.2 Moottorit ja generaattorit

Sähkökoneissa on kaksi käämistä, työ- ja magnetointikäämitykset, joista toinen sijaitsee pyörivässä roottorissa ja toinen paikallaan olevassa staattorissa. Molemmat käämitykset voidaan valmistaa suprajohtimesta, mutta tavallisesti vain staattorikäämitys on suprajohtava. Tämä johtuu siitä, että pyörivä roottori on vaikea jäähdyttää. Suprajohtavalla roottorilla varustettuja generaattoreitakin on tutkittu mm. Yhdysvalloissa, Venäjällä ja Japanissa.

Käyttämällä suprajohtimia voidaan vähentää tehohäviöitä ja parantaa näin hyötysuhdetta. Myös moottoreiden ja generaattoreiden koko ja paino pienenevät, kun johtimen vir-

rantiheyttä voidaan kasvattaa. Lisäksi suprajohtavat generaattorit pysyvät vastaavia normaalijohdingeneraattoreita suuremmalla tehontuotannolla tahdissa, koska niiden impedanssi on suprajohtavuuden takia pienempi. Tässäkin sovelluksessa suprajohtimien käyttö tulee taloudellisesti kannattavaksi, jos korkean lämpötilan suprajohtimet kehittyvät ja jäähditys yksinkertaistuu. /7/

#### 1.4.7.3 Muuntajat

Muuntajat koostuvat ensiö- ja toisiokäämityksistä, jotka molemmat voidaan valmistaa suprajohtimesta. Usein näin tehdään kuitenkin vain matalajännitteisemmän käämin kohdalla, koska luotettavan sähköisen eristyksen toteuttaminen kylmissä lämpötiloissa on vaikeaa. Suprajohtavassa muuntajassa voi olla rautasydän ohjaamassa magneetikenttää. Se ei ole välttämätön, koska suprajohdin-ensiökäämillä voidaan ilmankin luoda tarpeeksi voimakas magneettivuontiheys lävistämään toisiokäämiä.

Myös muuntajien kokoa voidaan pienentää suprajohtimilla. Vaihtovirtahäviöitä tapahtuu suprajohtimessakin, mutta niitä voidaan vähentää sopivalla johtimen valinnalla. Muuntajan paino siis pienenee ja hyötysuhde paranee, mikä aiheuttaa kokonaiskustannusten alenemisen. Aina pitää silti ottaa huomioon jäähdytystarve ja siitä johtuvat menot. Prototyyppejä ovat valmistaneet ainakin Alcatel, ABB ja muutamat japanilaiset yliopistot. /7/

#### 1.4.7.4 Virranrajoittimet

Esimerkiksi ukkosen aiheuttamat oikosulut ovat ongelma sähkön siirto- ja jakeluverkoissa. Suuri virta rikkoo laitteita ja vahingoittaa johdinlinjoja. Se on pystyttävä rajoittamaan nopeasti ja turvallisesti.

Suprajohtavan virranrajoittimen impedanssi on normaaleilla virranarvoilla pieni, eikä se siis aiheuta turhia häviöitä. Vikatilanteen sattuessa oikosulkuvirta aiheuttaa suprajohtimen siirtymisen normaalijohtavaksi, jolloin se alkaa vastustaa virran kulkua. Siir-

tymä on nopea ja jyrkkä. Suprajohtavat virranrajoittimet ovat osoittautuneet teknisesti toimiviksi, mutta niiden taloudellisuutta on vielä tutkittava. /7/

#### 1.4.7.5 Suprajohtava magneettilaakeri

Vauhtipyörä on laite, joka varastoi energiaa pyörimisliikkeeseen. Yleisin vauhtipyörän sovellus on männän edestakaisen liikkeen muuttaminen pyörimisliikkeeksi, esimerkiksi polttomoottoreissa. Vauhtipyörää käytetään myös energiavarastona kohteissa, joissa vaaditaan erittäin tasainen sähkön saanti. Vauhtipyörillä, jotka hyödyntävät suprajohtavuutta magneettilaakereissa, lasketaan saavutettavan SMES konseptia korkeampi energiatiheys. Suprajohtavana materiaalina on pääasiassa tarkasteltu YBCO -yhdistettä. /15/



Kuva 9. Suprajohtava magneettilaakeri. /15/



#### 1.4.7.6 Tehonsiirtokaapelit

Resistiiviset lämpöhäviöt tehonsiirtokaapeleissa aiheuttavat merkittäviä taloudellisia tappioita. Suprajohdinkaapelilla häviöitä voidaan pienentää. Lisäksi suprajohtimen suuren virrantiheyden takia nykyisen kokoisissa kaapeleissa voitaisiin siirtää moninkertaisia virtoja. Tämä mahdollistaisi tehokkaamman sähköjakelun kaupunkialueilla, missä käytetään maanalaisia kaapeleita. Suprajohtavuus edellyttää johtimen jäähdystä ja lämpöeristystä. Jäähdystys aiheuttaa kustannuksia, mutta tulevaisuudessa sovellus saattaa tulla kannattavaksi, jos kaapelissa voidaan käyttää korkean lämpötilan suprajohtimia. /7, 16/

## 2 SUPRAJOHDINTEN VALMISTUS JA TESTAUS

### 2.1 Suprajohdinten metallurgiset käsittelyt

Monisäikeisten NbTi -suprajohdinten metallurgisilla käsittelyillä on kaksi samanaikaisesti toteutettavaa, vaativaa päämäärää. Suunnittelun geometrian ja tasalaatuisen, ehjistä, moitteettomista säikeistä koostuvan rakenteen taloudellinen ja luotettava muokkaaminen ja NbTi:n mikrorakenteesta riippuvan korkean virrankuljetuskapasiteetin tuottaminen termomekaanisten käsittelyiden avulla. /4/

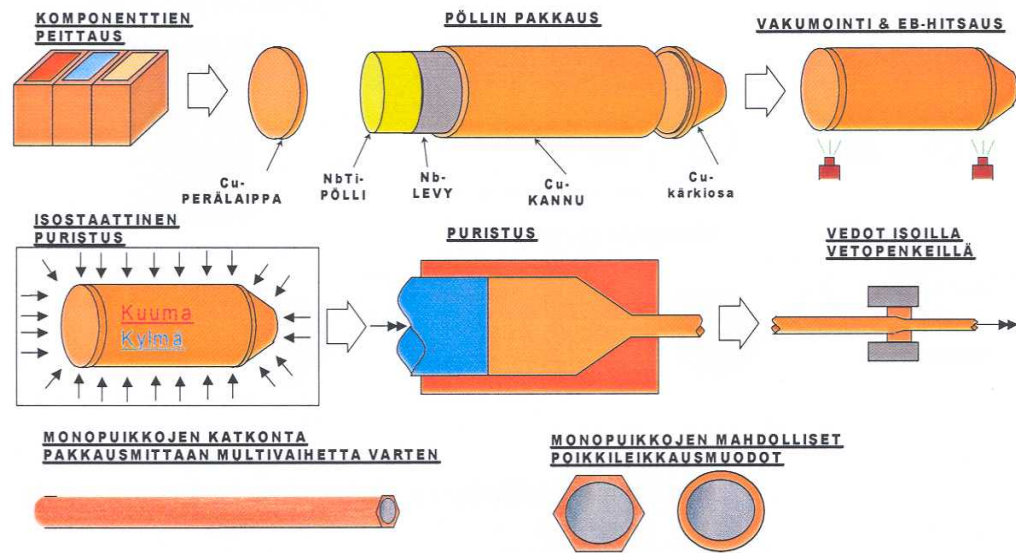
## 2.2 Suprajohtimen monovaiheen valmistuksen tuotantoprosessi

Suprajohtimen tuotantoprosessi on monivaiheinen. Prosessi muodostuu karkeasti seuraavista vaiheista:

- 1) monotankojen pakkaus
- 2) pursotus
- 3) vedot
- 4) monisäikeisen puristeen pakkaus
- 5) pursotus
- 6) vedot
- 7) lämpökäsittelyt
- 8) viimeistelyt
- 9) testaus ja raportointi
- 10) tuotteen lähetys

Johtimen valmistus alkaa ns. monovaiheesta, jossa yksi niobititaanitanko kääritään niobilevyn sisään ja paketti sijoitetaan kupariseen lieriöön. Niobilevy estää kuparin ja niobititaanin välisen reaktion, jolloin syntyisi kova ja hauras rakenne ja tämä vahingoittaisi johtimen loppuvaiheen muokkausta. Kuparisylinterin päähän hitsataan laippa ja syntynyt kapseli vakumoidaan eli siihen imetään tyhjiö. Sen jälkeen kapseli kuumapursotetaan noin kahdeksan metrin tangoksi. Pursotuslämpötila ei saa nousta yli 600 °C, koska se vahingoittaisi tulevia suprajohtavia ominaisuuksia. Pursotuslämpötila ei siis ole lähellekään yhtä korkea kuin tavallisen kuparin kuumapursotuslämpötila. Tangosta tehdään useilla vetoaskelilla halutun paksuinen pyöreä tai kuusikulmainen muoto ja mono katkotaan multipakkauspituuteensa.

## SUPRAPÖLLIN VALMISTUS: MONOVAIHE



Kuva 10. Monovaiheen valmistusprosessi /17/

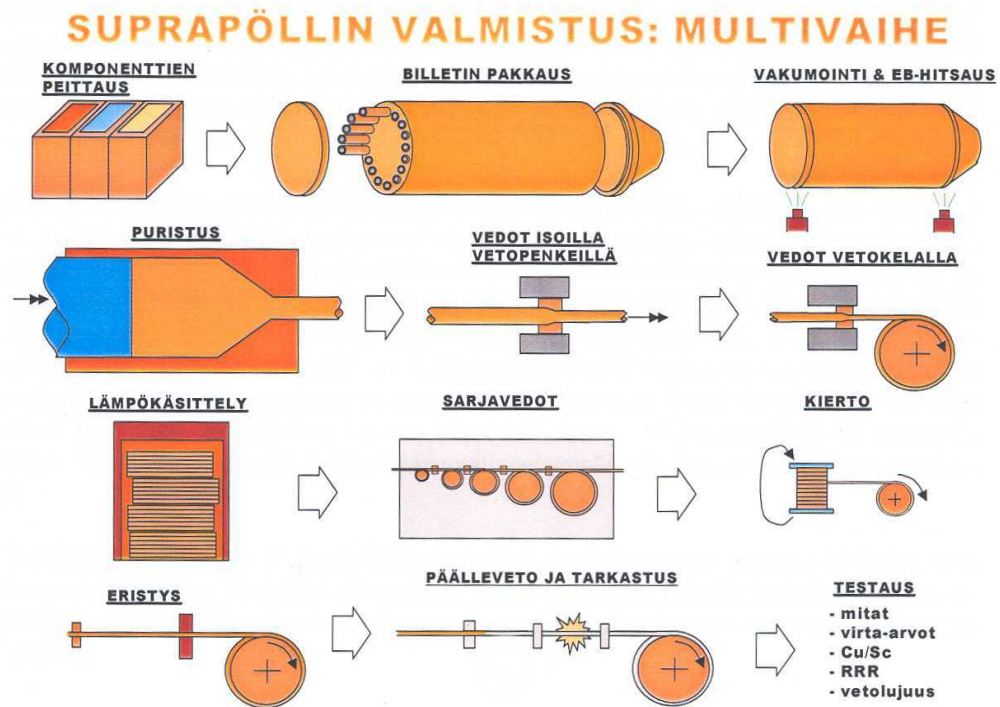
### 2.3 Suprajohtimen multivaiheen valmistuksen tuotantoprosessi

Monisäikeisen Cu / NbTi -suprajohtimen valmistus eli multivaihe etenee pääpiirteittäin seuraavasti:

- 1) Suprajohtinaihion pakkaus monopuikoista
- 2) Kuumapursotus kuparituotantoon tarkoitettulla pursottimella
- 3) Suorat penkkivedot isoilla vetopenkeillä noin 32 mm:iin asti
- 4) Tangon kiepitys
- 5) Kelavedot kiepeiltä vetokoneilla
- 6) Ohuempien mittojen sarjavedot keloilla noin 7 mm:stä alaspäin
- 7) Langan kiertäminen ja kalibrointivedot
- 8) Eristys
- 9) Eristetyn langan kalibrointiveto tarkan halkaisijan saavuttamiseksi
- 10) Pyörrevirtatarkastus ja testaukset
- 11) Toimitus ja raportointi asiakkaalle

Valmistetut monokomponentit pakataan uudelleen kupariseen sylinteriin. Tuotteesta riippuen komponenttien lukumäärä voi vaihdella 28 ja noin 10 000 kappaleen välillä. Tämän jälkeen tehdään vastaavat toimenpiteet kuten monovaiheessa eli hitsaus, vakuointi ja kuumapursotus. Vaativissa tuotteissa tehdään alihankintana vielä elektrosuihkuhitsaus normaalisti tehtävän TIG-hitsauksen sijaan ja isostaattinen puristus ennen kuumapursotusta tyhjän tila minimoimiseksi puristeen sisältä. Pursotuksen jälkeen tanko vedetään raskailla penkkivetolaitteilla vetorenkaiden läpi niin kauan, että päästään noin 32 mm:n halkaisijan mittaan.

Lanka ajetaan kiepille ja vedetään yhä pienempään mittaan vetotyökalujen läpi kiepillä aina 7 millimetrin halkaisijaan asti. Välillä johdinta hehkutetaan useita päiviä, jotta saadaan halutut suoritusarvot langalle. Seuraavaksi lankaa vedetään keloilla erilaisten sarjaketokoneiden läpi lähelle haluttua halkaisijan loppumittaa, joka vaihtelee 0,4 ja 2 mm välillä, jonka jälkeen on vuorossa langan kierto, joka stabiloi langan. Kierron jälkeisen kalibrointivedon jälkeen lanka eristetään alihankintana Keski-Euroopassa. Eristyksen jälkeen tehdään vielä langalle viimeinen veto, joka silottaa eristepinnan ja kalibroi loppumitan. Tuote tarkastetaan ja testataan asiakasvaatimusten mukaan. Kuvassa 11. on esitetty johtimen multivaiheen valmistus päävaiheineen.



Kuva 11. Suprajohtimen multivaiheen valmistus. /17/

Mikäli yhdestä suprapuristeesta halutaan tehdä useampaa eri lankatyyppiä on se katkaistava haluttuihin osiin. Langan halkaisija katkaistaessa riippuu lankatyyppien vaatimuksista. Jos puristeen eri osilta vaaditaan huomattavasti toisistaan poikkeavia suoritusarvoja voidaan jako joutua suorittamaan jo ennen lämpökäsittelyä jopa 32 mm mittassa. Yleensä jaot tehdään vasta lähellä langan loppumittaa ja puriste voi edetä samalla valmistusohjelmalla mahdollisimman pitkälle.

## 2.4 Testaus

### 2.4.1 Langan muutosvyöhykkeen Cu / sc -suhteen määrittäminen

Prosessin loppupäässä, kun lanka on noin 2 mm halkaisijan mitassa, suoritetaan niin sanottu langan muutosvyöhykkeen poisto, sekä langan alku- että loppupäästä. Tällä varmistetaan langan tasalaatuisuus koko sen matkalta.

Suprajohtavuutta selvitetään langan eri ainepitoisuuksien suhteilla, jossa lasketaan ns. Cu/Sc -suhde (copper to superconductivity -ratio). Jotta langan sähkönjohtavuus olisi tasainen koko langan pituudella, pitää langan perusainepitoisuuksien olla oikeassa suhteessa.

Pitoisuuden selvittäminen tapahtuu testauslaboratoriossa, jossa määritetään niobititaanin massa suhteessa kuparin massaansa langassa. Tämä testaus suoritetaan ottamalla langasta näyte (n. 20 cm pituinen). Otettu näyte punnitaan ja laitetaan syöpymään typpihappoon. Näin kupari syöpyy kokonaan niobititaanisäikeen ympäriltä ja saadaan pelkän niobititaanin paino. Syövytetyt säikeet kuivataan ensin uunissa, puhdistetaan etanolilla ja punnitaan. Lopuksi suoritetaan Cu/Sc- suhteen laskeminen.

$$Cu/Sc = \alpha = \frac{A_{Cu}}{A_{NbTi}} = \frac{m(Cu + NbTi) - m(NbTi)}{m(NbTi)} \cdot \text{alfakerroin, missä}$$

$Cu/Sc = \alpha$  = kuparin ja suprajohtavan aineen osuus poikkipinta-alasta, joka ilmoitetaan näiden suhteena

$A_{Cu}$  = kuparin osuus poikkipinta-alasta

$A_{NbTi}$  = niobititaanin osuus poikkipinta-alasta

$m(Cu+NbTi)$  = kuparin ja niobititaanin kokonaismassa ennen syövyttämistä

$m(NbTi)$  = niobititaanin massa syövyttämisen jälkeen

$alfakerroin$  = kuparin ja niobititaanin ominaispainoista laskettu suhdeluku

Tämän aineiden suhdepitäisyyden tuloksen perusteella pystytään arvioimaan niobititaanin suhde kupariin ja nähdään onko suprajohdin tasalaatuista ainepitäisyyden suhteen kyseisessä osassa lankaa.

#### 2.4.2 Huoneenlämpötilavastus

Kokeessa selvitetään suprajohtimen vastus, ei suprajohtavassa tilassa, huoneen lämpötilassa. NbTi:n ja kuparin sähkönjohtavuus eroavat toisistaan huoneenlämmössä huomattavasti. Testillä saadaan varmistusta Cu/Sc-suhteeseen. Hyvin harvat asiakkaat kuitenkaan vaativat kyseistä testiä. Testissä saadaan vastus, jonka yksikkönä on mikro-ohmi/cm eli  $\mu\Omega/cm$ . Langasta otetaan noin kahden metrin pituinen näyte, joka kierretään halkaisijaltaan noin 10 cm olevan kelan ympärille. Virtalähteenä käytetään tarkkuusvirtalähdettä, joka samalla toimii mikro-ohmimittarina. Virtajohtimena toimivat kiinteät hauenleuat. Jännitejohdot kiinnitetään noin kolmen sentin etäisyydellä virtajohtimista.

Lämpötilakorjaus suoritetaan seuraavan kaavan mukaan

$$R_{295} = R_m / [1 + k(T_m - 22)], \text{ missä}$$

$R_m$  = mitattu vastus

$T_m$  = mittaustemperatuurilämpötila

$K = 0,0039$

Edellä mainitusta laskutoimituksesta saatu vastusarvo jaetaan ko. näytteen pituudella (cm), jolloin lopputulos saadaan yksikössä. /12/

#### 2.4.3 Spring-Back testi

Spring back- testi kertoo langan jousimaisuuden. Tätä tietoa tarvitaan magneetteja käämitettäessä.

Tämä koe tehdään ns. spring back -testilaitteella, ja siinä käytetään kahden kilon punnuksia. Testiä varten langasta tarvitaan noin 60 cm:n pituinen näyte. Langan toinen pää kiinnitetään punnukseen, ja toinen pää langasta on testilaitteen akselissa olevassa reiässä, ja näin testilanka kiristetään kireällä punnuksen ja testilaitteen välille. Akselin päässä oleva kiinnitysruuvi kiristetään. Seuraavaksi käsipyörästä pyöritetään 90 astetta myötäpäivään, ja pyöritetään lankaa akselin ympärille tasan kymmenen kierrosta. Pyörittämisen jälkeen lukitaan lanka lukituslevyllä, ja vapautetaan käsipyörää kevyesti, niin että akseli pyörii hitaasti koko ajan loppuun saakka, välillä pysähtymättä. Lopuksi saadaan siis luettua tulos akselin päässä olevalta asteikolta.

#### 2.4.4 Sharp Bend-testi

Sharp bend- testissä suprajohdin näytettä taivuttamalla katsotaan, kestävätkö NbTi-säikeet taivuttamista, ja kuinka pitkään säikeet pysyvät katkeamattomina. Taitoslujuus on erityisen tärkeää kaapeloitavilla langoilla.

Kokeessa otetaan noin 0,1 m pituinen näyte lankaa. Testilaitteen uraan valitaan halkaisija, joka on noin 0,1 - 0,25 mm langan halkaisijaa suurempi. Näytelanka asetetaan uraan ja painimella painaen tehdään lankaan terävä taitos. Lopuksi tarkastellaan mikroskoopin avulla, kuinka paljon kyseiseen taitoskohtaan on tullut murtumia, ja typpiha-polla syövyttämällä kuinka moni säie on katkennut.



#### 2.4.5 Vetolujuus

Suprajohtimen vetolujuuskokeella pyritään arvioimaan langan käyttäytymistä ulkoisessa kuormituksessa. Varsinkin magneetin käämintä aiheuttaa runsasta vetojännitystä langalle. Vetokoe suoritetaan asiakkaan niin halutessa ja kriteerit mittaukselle tulevat asiakasvaatimuksesta.

Suprajohtimesta voidaan määrittää vetokimmomoduuli, vetolujuus ja sitä vastaava venymä, myötölujuus ja -venymä sekä murtolujuus ja -venymä. Mittaus suoritetaan ASTM E8 standardin mukaan. /12/

#### 2.4.6 Kierteen nousu

Kierteen nousulla tarkoitetaan suprajohtimen valmistuksen loppuvaiheessa tehtävän langan kiertämisen lopputuloksen tarkastamista. Lankojen kiertämisellä pystytään poistamaan langasta sähkömagneettisia häiriöitä.

Erityisesti suprajohtimen valmistukseen räätälöidyllä koneella lankaan muodostetaan kierre, jossa langan säikeet kiertyvät langan keskiakselin ympäri tietyn pituuden matkalla, siis tietyllä kierteen nousulla.

Kierteen nousun mittaus suoritetaan BNL-spesifikaation RHIC.MAG-4135 mukaisella mekaanisella mikrometrillä ja kymmenen kertaa suurentavalla luupilla varustetulla laitteella.

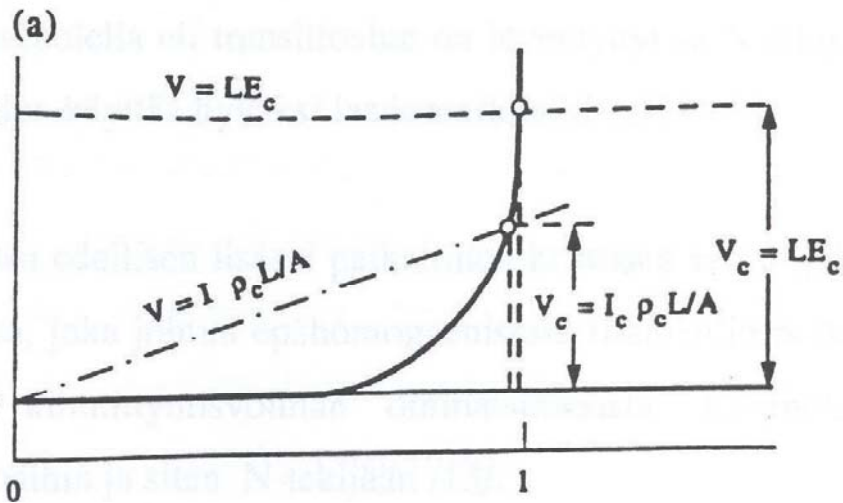
Näytelangon keskiosa syövytetään typpihapolla siten, että langan keskiosan kuparisydän pitää langan ryhdissä. Langan säikeitä tarkastellaan luupilla ja kierretään mikrometriä siten, että langan säikeet suoristuvat. Kierteen nousu saadaan jakamalla syövytetyn osan pituus (mm) mikrometriruuvin kierroksilla. /12/

#### 2.4.7 Virtamittaukset

Monisäikeiset suprajohtimet pyritään valmistamaan mahdollisimman pitkinä, jopa kymmenien kilometrien pituisina yhtenäisinä lankoina, jotta johtimien välisiä liitoksia tarvittaisiin lopullisessa käytössä, esim. magneeteissa, mahdollisimman vähän. Pienet magneetit onkin haluttaessa mahdollista tehdä yhdestä ainoasta pitkästä johtimesta. Kriittistä virtaa ei ole kuitenkaan mahdollista määrittää koko johtimen matkalta, vaan se mitataan lyhyistä näytteistä, jotka sitten edustavat koko valmistuserää. Tuotannon laadunvalvonnan lisäksi kriittisen virran määrittäminen on tärkeätä tuotekehitysvaiheessa etsittäessä parhaan lopputuloksen antavaa valmistusohjelmaa. Myös asiakas on lähes poikkeuksetta määrittellyt langasta tarvittavan kriittisen virran ja magneettikentän, jossa sen on toteuduttava.

Suprajohtimen kriittinen lämpötila ja kriittinen magneettikenttä määräytyvät yhdisteellä kemiallisen koostumuksen ja lejeeringillä seossuhteen perusteella, eikä niiden toistuva mittaaminen valmiista langasta ole tarpeellista. Kriittisen virtaan sen sijaan vaikuttavat eri valmistusvaiheet ratkaisevasti, ja käytännössä jokaisesta johtimesta on tarkistettava täyttääkö se ko. tyyppille asetetut vaatimukset.

Kriittisen virran mittauksessa suprajohtin pakotetaan siirtymään suprajohtavasta tilasta normaalijohtavaan tilaan siirtämällä johtimen läpi riittävän suuri sähkövirta. Tätä siirtymää sanotaan resistiiviseksi transitioksi. Resistiivistä transitiota tutkitaan virtajännite eli  $U(I)$ -käyrän avulla. Johtimen läpi syötettävän virran ja johtimen yli muodostavan jännitteen arvoja mitataan. Mittaustuloksista saadaan muodostetuksi  $U(I)$ -käyrä (kuva 12).



Kuva 12. Suprajohtimen  $U(I)$ -käyrä, ja kriittisen virran määrittäminen resistiivisyys- ja sähkökenttäkriteerien avulla. /11/

Mittauksessa nostetaan magneettikenttä taulukon mukaisella nopeudella haluttuun aloitusarvoon, normaalisti 1-2 T. Näytevirtaa nostetaan manuaalikytkimellä, kunnes transiitiopiste ylitetään, eli käyrä alkaa nousta ja virta lasketaan nolnaan. Valitaan seuraava kenttä ja koe toistetaan. Kriittisen virran arvo riippuu käytetyistä kriteereistä.

#### 2.4.8 N-tekijän määrittäminen

N-tekijällä kuvataan supratransition, siirtymistä normaalitilasta suprajohtavaan tilaan, jyrkkyyttä. Mitä suurempi on N-tekijän arvo, sitä parempi johdin on.

N- tekijä voidaan määrittää U(I)-käyrästä seuraavasti:

$$U = U_0 \left( \frac{I}{I_c} \right)^N, \text{ missä}$$

U = jännite, mV

$U_0$  = jännitetaso, joka määrittää kriittisen virran, mV

I = näytteessä kulkeva virta, A

N = N-tekijä

Jos suprajohtimen säikeiden läpimitta vaihtelee tai ne ovat kokonaan katkenneet, virta joutuu kulkemaan resistiivisen matriisin kautta joko muihin säikeisiin tai takaisin ko. säikeeseen. Tällöin jännite havaitaan selvästi kriittisen virran alapuolella eli transiio-alue on leventynyt ja N-tekijä pienentynyt. N-tekijää voidaan käyttää hyväksi laadun-tarkkailussa.

N-tekijään vaikuttaa myös paikallinen kriittisen virran jakaantuminen yksittäisessä säikeessä, joka johtuu epähomogeenisesta säikeen poikkileikkausalasta ja paikallisen vuon kiinnittymisvoiman ominaisuuksista. Lämpökäsittelyillä voidaan vaikuttaa näihin ja näin myös N-tekijään.

#### 2.4.9 RRR-määrittäminen

RRR määrittäminen on kuparin huoneenlämmön ja kylmän vastuksen suhdeluku ( $\rho_{293K}/\rho_{10K}$ ). Mitä korkeampi RRR-luku on, niin sitä puhtaampaa kupari on. Luvata Superconductor-sin käyttämien kuparien RRR-vaatimus on yli 400. RRR mitataan myös valmiista suprajohtimesta, mikäli asiakas niin vaatii. Tällöin RRR-arvo on yleensä 70-200, johtuen suprajohtavan seoksen huonommasta sähkönjohtamiskyvystä huoneenlämmössä.

## 3 MITTAUSTIETOKANNAN MÄÄRITTELY

### 3.1 Tietokannan tyypit

Nykyisissä tietokantajärjestelmissä käytetään yleensä kahdentyyppisiä tietokantoja. Niitä kutsutaan käyttötietokannoiksi ja analyttisiksi tietokannoiksi. Analyttisiä tietokantoja käytetään historiallisten ja ajasta riippuvien tietojen tallentamiseen ja seuraamiseen. Analyttisen tietokannan tiedot ovat staattisia, eli tietoa ei juuri koskaan muuteta ja tietokanta koskee tiettyä ajankohtaa. Työn aiheena oleva mittaustietokanta on tietokantatyypiltään käyttötietokanta. Käyttötietokantaa käytetään silloin, kun kerätään, säilytetään ja muokataan tietoa. Käyttötietokantatyypiseen tietokantaan talletetaan dynaamista dataa, eli data muuttuu usein ja heijastaa ajan tasalla olevia tietoja. /1, s. 3-4./

### 3.2 Tietokannan suunnitteluprosessi

Tässä työssä suunnitellaan ja mallinnetaan relaatiotietokanta. 1960-luvun lopulla tri E. F. Codd, joka oli IBM:n tutkija, esitti relaatiotietokannan mallin, jossa hän etsi uusia tapoja käsitellä suuria tietomääriä. Hänen mallissaan tiedot talletetaan relaatioina, jotka käyttäjä näkee tauluina. Jokainen taulu muodostuu tietueista ja kentistä, joiden fyysisellä järjestyksellä ei ole merkitystä. Jokainen tietue tunnustetaan kentän avulla, joka sisältää muista poikkeavan arvon ja käyttäjän ei tarvitse tietää tietueen fyysistä sijaintia voidakseen hakea sen tiedot. Taulut yhdistetään toisiinsa loogisilla yhteyksillä. Näin eri tauluissa olevia tietoja voidaan käsitellä yhtä aikaa. Relaatiotietokannan etu tulee esille erityisesti silloin, kun lisäyksiä tai muutoksia tehdään useaan tauluun samanaikaisesti. Nämä uudet muuttuneet tiedot tallentuvat kaikkiin tauluihin heti. /1, s. 12./

Tietokannan suunnittelu jakautuu useaan eri vaiheeseen. Näitä eri vaihteita ovat Lahtosen mukaan:

- 1) Vaatimusten määrittely ja analyysi: selvitetään haastatteluin, kirjalliseen materiaaliin tutustumalla ja keskusteluin järjestelmältä vaadittavat ominaisuudet.
- 2) Käsitteellinen mallintaminen: laaditaan käsitekaavio (ER-kaavio), jolla kuvataan tietokannan sisältö ja rakenne.
- 3) Tietokannan looginen suunnittelu: käsitekaavan pohjalta laaditaan sisällöstä ja rakenteesta relaatiokaavio.
- 4) Toteutus: toteutetaan edellisten osien päälle käyttöliittymä ja testataan toteutuksen toimivuus /2/.

Hernandez esittää edellistä yksityiskohtaisemman vaiheistuksen. Siinä relaatiotietokannan suunnittelu koostuu seuraavista vaiheista:

- 1) Määritellään tietokantaa varten tehtäväselostus ja tehtävän tavoitteet. Tehtäväselostuksessa määritellään tietokannan tarkoitus. Tehtävän tavoitteet määrittelevät tehtävät, joita käyttäjät suorittavat tietokannan tietojen avulla.
- 2) Nykyisen tietokannan analysointi. Tunnistetaan organisaation tietovaatimukset tarkastelemalla miten dataa kyseisellä hetkellä kerätään ja esitetään. Haastatteleamalla käyttäjiä ja johtoa saadaan selville miten tietoja päivittäin käytetään.
- 3) Tietorakenteiden luonti. Aiheet, joita tietokannan avulla seurataan määrittelevät taulut. Kuhunkin tauluun sijoitetaan kentät, jotka kuvaavat sen aihetta parhaiten. Lisäksi määrätään pääavain. Sitten asetetaan taulun jokaisen kentän kenttämääritelmät voimaan.

4) Taulujen välisten yhteyksien selvittäminen ja luonti. Tunnistetaan pää- ja viiteavaimet ja luodaan tarvittavat linkitystaulut.

5) Liikesääntöjen määrittely. On tunnistettava tietokannan tietojen rajoitukset/vaatimukset, jotka huomioidaan liikesääntöinä.

6) Näkymien selvitys ja luonti. Tunnistetaan eri tavat, joilla käyttäjät katsovat tietokannan tietoja.

7) Datan eheyden arviointi: taulut, kenttämääritelmät, yhteydet ja liikesäännöt /1, s. 68/.

Tässä työssä on käytetty pääosin Lahtosen esittämää vaiheistusta, ottaen myös huomioon Hernandezin esittämiä näkökohtia tietokannan suunnittelusta.

### 3.3 Nykyinen tietokanta

Tehtävän määrittelyä on helppo lähestyä tutkimalla olemassa olevia järjestelmiä. Edellä esitettyssä Hernandezin luettelossa olemassa olevien tietokantojen tutkiminen tehdään vasta uuden tietokannan määrittelyn jälkeen, mutta tässä työssä tämä tehtiin pohjustuksena määrittelyvaiheelle.

Seuraavaksi perehdytään lähemmin Luvata Superconductorsin eri tehtaiden mittaustietojen käyttötapoihin, jotka ovat kaikilla omanlaisensa.

Tietojen keräys- ja esitystapoihin ei ole käytössä mitään vakiintuneita malleja. Tietoja esitetään nykyisessä järjestelmässä erilaisissa muodoissa, riippuen siitä, kuka tiedot on kerännyt. Seuraavassa esimerkkejä tietojen keräystavoista, jotka ovat joissakin tapauksissa myös esimerkkejä niiden esitystavoista.

Ottamatta tässä kantaa eri mittaustapoihin, lähdetään liikkeelle siitä, kun itse mittausta-  
pahtuma on jo suoritettu. Mittaustulokset ovat joka tehtaan tapauksessa paperilla, josta  
ne manuaalisesti syötetään tietojärjestelmiin.

Seuraavassa esimerkki Fornaci di Bargan taulukosta (kuva 13), johon kerätään virta-  
mittaustietoja mittausjärjestelmästä saadusta paperitulosteesta. Tiedot syötetään Excel-  
taulukkaan, josta tarvittavat tiedot kopioidaan makroa käyttämällä toiseen Excel-  
tiedostoon (kuva 14), joka lähetetään raporttina asiakkaalle. Jokaiselle asiakkaalle ja  
lankatyypille on omat taulukkonsa, joihin tietoja kerätään, kuten myös eri raportointi-  
taulukot eri asiakkaita varten. Kyseinen järjestelmä luo melkoisen tiedostoviidakon,  
josta yksittäisen tiedon hakeminen on lähestulkoon mahdotonta ja vertailuja eri tuotteiden  
välillä ei pystytä suorittamaan.

DATA	Lingotto	Lunghezza pezzatura (m)	filamenti stabilim- ento	Cu/nan 9,6<alpha<10	P1(g)	P2(g)	d(N&T)	diam filamenti (micron)	3			4			5			6		7		8	
									lc	Jc	n	lc	Jc	n	lc	Jc	n	I c	J c	n	I c	J c	n
			se buoni, OK																				
			se rotti, KO																				
8.10.2004	900H1A	ET	OK	9,966	67,7952	4,3622	6,12	116,6															
	900H1B	ET	OK	9,343	59,7565	4,0836	6,12	120,1															
	905H1A	ET	OK	9,977	53,9848	3,47	6,12	116,6															
	905H1B	ET	OK	10,030	53,0342	3,392	6,12	116,3															
	899H1A	ET	OK	10,517	55,758	3,4112	6,12	113,8															
	899H1B	ET	OK	10,337	48,3654	3,0072	6,12	114,7	1239,9	4001	63	1021	3295	63	828,2	2673	49						
8.11.2004	900H1A	6119	OK	9,992	50,0693	3,2136	6,12	116,5															
	900H1B	3326	OK	10,019	46,2554	2,9615	6,12	116,3	1265,4	3969	54	1042	3266	54	847,5	2658	47						
	900H2B		OK	9,963	53,1048	3,4177	6,12	116,6															
9.11.2004	905H1A	8068	OK	9,626	37,5974	2,4989	6,12	118,5															
	905H1B	2009	OK	9,910	38,067	2,4622	6,12	116,9	1276,3	3963	61	1049	3256	57	855,2	2656	54						
	905H2B		OK	10,893	47,8292	2,831	6,12	112,0															
	899H1A	9925	OK	10,472	54,54	3,35	6,12	114,0															
	899H1B		OK	10,513	52,78	3,23	6,12	113,8															
19.11.2004	904H1A	9925	OK	9,553	56,8762	3,8073	6,12	118,9															
	904H1B		OK	10,035	47,3695	3,0282	6,12	116,2	1266,6	3978	64	1041,5	3271	64	844,7	2653	57						
16.12.2004	899H1A		OK	10,485	49,4883	3,0363	6,12	113,9															
	899H1B		OK	10,516	53,315	3,262	6,12	113,8															
16.2.2005	1081H1A	9975	OK	10,014	50,27	3,22	6,12	116,4	1276,6	4002	76	1050,6	3294	74	860	2696	72						
	1081H1B		OK	10,099	45,79	2,91	6,12	115,9															
	1085H1A	6169	OK	10,027	38,92	2,49	6,12	116,3															
	1085H1B		OK	10,087	45,11	2,87	6,12	116,0	1307	4124	60	1078,5	3403	62	868,9	2742	39						
	1083H1A	9975	OK	10,261	41,05	2,57	6,12	115,1															
	1083H1B		OK	10,182	46,78	2,95	6,12	115,5	1249,8	3978	51	1037,4	3302	63	843,7	2685	51						

Kuva 13. Esimerkki Fornaci di Bargan taulukkolaskentaruudusta, johon kerätään tietoa.





## CERTIFICATE OF CONFORMANCE

**CERTIFICATE Nr.** E 021-06  
**Order Nr.** 3100489002 / 3100489001 / 3100489003  
**OCSI Confirmation:** 30 / 31 / 29 / 23  
**DATE:** 1.9.2006  
**Ref. Specifications:** PS 640-1730, Issue 10, Rev. Code 234, 28/07/2004; PS 640-9038, Issue 01, Rev. Code 071, 20/01/93

### REQUIREMENTS

Wire Type	Measured length (m)	DIE NUMBER	BARE WIRE (Min Values)		INSULATED (Nominal)	
			Width (mm)	Height (mm)	Width (mm)	Height (mm)
T21			1,7	1,1	1,8 (+0/-0,02)	1,2 (+/-0,015)
T13			1,86	1,055	2,24 (+0/-0,03)	1,425 (+/-0,015)
T108			1,86	1,055	2,24 (+0/-0,03)	1,425 (+/-0,015)

### TEST RESULTS

Wire ID Number or Spool Number	Kit-Number	PN	Wire Description and Type (*)	Measured length (m)	DIE NUMBER	BARE WIRE		INSULATED	
						Width (mm)	Height (mm)	Width (mm)	Height (mm)
T21-OK00545	OK122AG045	10109152	MONO	6777		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00465	OK122AG045	10109152	MONO	3176		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00467	OK122AG045	10109152	MONO	8539		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00510	OK122AG045	10109152	MONO	1043		1,700	1,100	1,780	1,188
T21-OK00513	OK122AG046	10109152	MONO	5067		1,700	1,100	1,790	1,192
T21-OK00515	OK122AG046	10109152	MONO	5308		1,700	1,100	1,790	1,192
T21-OK00473	OK122AG046	10109152	MONO	5160		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00466	OK122AG046	10109152	MONO	5392		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00539	OK122AG044	10109152	MONO	5794		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00472	OK122AG044	10109152	MONO	3409		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00514	OK122AG044	10109152	MONO	3502		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00543	OK122AG044	10109152	MONO	6540		1,710	1,110	1,790	1,190
T13-OK00271	OK122INNER034	10109144	WIC	3555	4377	1,975	1,181	2,228	1,426
T13-OK00272	OK122INNER034	10109144	WIC	2438	4377	1,973	1,171	2,225	1,425
T13-OK00273	OK122INNER034	10109144	WIC	3553	4377	1,975	1,181	2,228	1,426
T13-OK00287	OK122BF039	10109143	WIC	3086	4377	1,974	1,180	2,227	1,427
T108-OK00384	OK122OUTER034	10109141	MONO	8012	21072	1,976	1,168	2,228	1,426
T108-OK00380	OK122OUTER034	10109141	MONO	1994	21072	1,976	1,168	2,228	1,426
T108-OK00388	OK122OUTER034	10109141	MONO	6012	21072	1,975	1,167	2,225	1,427
T108-OK00381	OK122OUTER034	10109141	MONO	1994	21072	1,976	1,168	2,228	1,426
T21-OK00468	OK122AG043	10109152	MONO	7275		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00463	OK122AG043	10109152	MONO	1803		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00464	OK122AG043	10109152	MONO	6766		1,710	1,110	1,790	1,190
T21-OK00540	OK122AG043	10109152	MONO	2775		1,710	1,110	1,790	1,190
T13-OK00246	OK122INNER033	10109144	WIC	9515	4377	1,973	1,171	2,226	1,425
T13-OK00284	OK122BF038	10109143	WIC	3043	4377	1,974	1,175	2,227	1,426
T108-OK00382	OK122OUTER033	10109141	MONO	7877	21072	1,976	1,168	2,227	1,428
T108-OK00383	OK122OUTER033	10109141	MONO	7877	21072	1,976	1,168	2,228	1,426
T108-OK00338	OK122OUTER035	10109141	MONO	4631	21072	1,975	1,172	2,224	1,427
T108-OK00383	OK122OUTER035	10109141	MONO	3376	21072	1,974	1,171	2,228	1,427
T108-OK00342	OK122OUTER035	10109141	MONO	4631	21072	1,970	1,171	2,226	1,425
T108-OK00302	OK122OUTER035	10109141	MONO	3460	21072	1,970	1,160	2,228	1,431
T13-OK00312	OK122INNER039	10109144	WIC	3563	4377	1,974	1,180	2,227	1,424
T13-OK00313	OK122INNER039	10109144	WIC	2428	4377	1,975	1,180	2,228	1,427
T13-OK00314	OK122INNER039	10109144	WIC	3561	4377	1,974	1,180	2,227	1,424

Kuva 14. Esimerkki Fornaci di Bargan asiakasraportista.

Porin tehtaan mittauksiedot kerätään Access-pohjaiseen tietokantaan, jossa kaikkien erilaisten lankatyypin virtamittauksiedot syötetään samaan lomakenäkymään (kuva 15). Vaikkakin Porin malli on jo lähempänä oikeaa tietokantaa, sitä ei missään tapauksessa voida pitää pohjana tulevaa tietokantaa suunniteltaessa. Se sisältää esim. huomattavasti tyhjiä arvoja sekä laskettuja kenttiä, joita tietokannassa ei pitäisi esiintyä. Asiakasraportit tehdään Porissa lankakohtaisesti hakemalla tiedot Accessista Excelliin, jossa generoidaan asiakkaalle lähetettävä raportti (kuva 16).

Microsoft Access

File Edit View Insert Format Records Tools Window Help

Anal

Toimitukset

Puriste: 0624 Tunnus: 3 Lankatyyppi: 1 Spool: 0 Asiakas: Accel

Seuraava tyhjä sivu

Halkaisija nimellinen

21  
28  
30  
32  
36  
42  
42S  
54  
55  
66  
264  
330  
636  
1338  
2800  
LANKAT

ASCI  
Bruker AG  
Bruker S.A.  
Cern  
Hitachi  
Jastec  
Magnez  
Mitsubishi  
NSRRC  
OKAS  
OKAS / Siemens  
Toshiba

RRR: 130 Kierre: Halk. paljas: Alfa: Lampotia: 4,240

**LUVATA**  
Partnerships beyond metals

Lampokriteeri: 4,200 IC\_KRITEERI: 0.1 IC\_KRITEERIZ: Yli koko lar

Ekvivalenttihalkaisijan laskeminen

Kompensoit arvo	
Ic	n-tekija
0.5 T	
1 T	
2 T	
3 T	
4 T	
5 T	112 75 114
6 T	
7 T	
8 T	
9 T	
9.5 T	
T	
T	
T	

PVM: 14.9.2006

Huom:

Numero: 1809

Clipboard (1 of 12)

Records: 1798 of 1798

Form View

Kuva 15. Esimerkki Porin virtamittausten syöttölomakkeesta.

# TEST REPORT

## Technical data for :

OK 28 Superconductor No: 05577, Spools 13763 and 13764

Customer..... Bruker Biospin AG

P.O. Number..... 4063228

Part Number..... 40437

Diameter, nominal .....  $1.060 \pm 0.005$  mm

- Variation on one spool.....  $\pm 0.003$  mm

Diameter ( bare, nominal )..... 1 mm

Insulation..... PVA

Number of filaments..... 28

Filament diameter ( nominal ).....  $69 \mu\text{m}$

Cu/Sc ( nominal )..... 6.6

## Measured data :

Spool	Length [m]	Side	Bare diameter Average [mm]	Insulated wire diameter				Cu/Sc
				Min [mm]	Average [mm]	Max [mm]	Stdev [mm]	
13763	9100	Outer	0,999	1,063	1,064	1,064	0,0003	6,59
		Inner	1,000	1,064	1,064	1,065	0,0002	6,44
13764	9140	Outer	0,999	1,063	1,064	1,064	0,0003	6,59
		Inner	0,999	1,063	1,064	1,064	0,0004	6,58

Continuous dimension measurement standard deviation 0.00008 mm.

Twist pitch..... OK mm ( spec. 25 - 100 mm )

RRR..... 126 ( spec. > 60 )

## Critical currents, current densities and n-factors :

Field [T]	$I_c$ [A]	$J_c$ [ $\text{A}/\text{mm}^2$ ]	n-factor
2	530 (452)	5126	
3	424 (371)	4101	
4	350 (306)	3390	48 (30)

Temperature 4.2 K. Criteria  $0.1 \mu\text{V}/\text{cm}$ . Specified values on the brackets.

Kuva 16. Esimerkki Porin asiakasraportista.

Waterburyn tehtaan mittauksien kerääminen yksinkertaiseen Access-tietokantaan. Tietoja ajetaan sieltä Excelliin, josta asiakasraportit muodostetaan. Asiakasraportit (kuva 17) muistuttavat paljolti Fornaci di Bargan raportteja, joissa yhdellä sivulla on tietoja useasta toimituserän langasta.

PN_Descrip	PTnum	KITnum	SerNum	PcNur	Length	PONum	OTnur	KITdate	Alloy	Matrix	Spec_RR	Data_RR	BG_Spec_C	test_Dat
STK 28	20731	44824-51	38029	3	9120	229394	1869	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		126 4.75 - 6.75	6,209
STK 28	20731	44824-51	38040	1	10320	229394	1871	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		145 4.75 - 6.75	6,253
STK 28	20731	44824-51	38040	2	10320	229394	1870	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		145 4.75 - 6.75	6,253
STK 28	20731	44824-51	38076	1	10320	229394	1868	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		147 4.75 - 6.75	6,282
STK 28	20731	44824-51	38105	2-1	10320	229394	1872	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		137 4.75 - 6.75	6,292
STK 28	20731	44824-51	38106	1	1255	229394	1869	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		157 4.75 - 6.75	6,55
STK 28	20731	44824-54	38027	1	16170	229394	1870	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		161 4.75 - 6.75	6,173
STK 28	20731	44824-54	38027	2	16170	229394	1871	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		161 4.75 - 6.75	6,173
STK 28	20731	44824-54	38029	4	1775	229394	1872	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		126 4.75 - 6.75	6,209
STK 28	20731	44824-54	38038	3	5710	229394	1869	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		139 4.75 - 6.75	6,207
STK 28	20731	44824-54	38076	2	8090	229394	1868	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		147 4.75 - 6.75	6,282
STK 28	20731	44824-54	38076	3	8090	229394	1868	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		147 4.75 - 6.75	6,282
STK 28	20731	44824-54	38076	4	7090	229394	1872	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		147 4.75 - 6.75	6,282
STK 28	20731	44824-54	38105	1-1	2750	229394	1869	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		137 4.75 - 6.75	6,292
STK 28	20731	44824-54	38105	1-2	8090	229394	1869	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		137 4.75 - 6.75	6,292
STK 28	20731	44824-54	38106	2	8090	229394	1872	18-joulu-06	Nbti	Cu C10100	>90		157 4.75 - 6.75	6,55
STK - Pori	20882	44824-51	38030	1	15580	229394	1870	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		132 3.0 - 4.5	3,628
STK - Pori	20882	44824-51	38030	2	12940	229394	1872	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		132 3.0 - 4.5	3,628
STK - Pori	20882	44824-51	38031	1	2670	229394	1872	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		137 3.0 - 4.5	3,837
STK - Pori	20882	44824-51	38077	1	15580	229394	1868	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		139 3.0 - 4.5	3,637
STK - Pori	20882	44824-51	38077	2	15580	229394	1869	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		139 3.0 - 4.5	3,637
STK - Pori	20882	44824-51	38078	2-2	14500	229394	1871	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		135 3.0 - 4.5	3,624
STK - Pori	20882	44824-54	38077	3	1875	229394	1871	18-joulu-06	NbTi	Cu C10100	>90		139 3.0 - 4.5	3,637

D	Ampl	SPRE	Jc	MeanDi	Mean3STD	Insulation	Wire_A	wire_S	twist pitch	TensTest	Tens1	TEST_DATE	Cert_Comment
4	724	4.97	3684,432809	1.427	1.430 mm	Formval	1,421	1,422	50 > 160 N/mm2		202	12-joulu-06	
4	702	4.8	3594,279279	1.427	1.430 mm	Formval	1,425	1,426	50 > 160 N/mm2		205	13-joulu-06	
4	702	4.8	3594,279279	1.427	1.430 mm	Formval	1,425	1,426	50 > 160 N/mm2		205	13-joulu-06	
4	689	5.07	3541,823727	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		209	14-joulu-06	
4	707	5.63	3639,343977	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		221	15-joulu-06	
4	675	5.62	3597,557781	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		191	18-joulu-06	
4	709	5.35	3590,079783	1.427	1.430 mm	Formval	1,424	1,425	50 > 160 N/mm2		194	13-joulu-06	
4	709	5.35	3590,079783	1.427	1.430 mm	Formval	1,424	1,425	50 > 160 N/mm2		194	13-joulu-06	
4	724	4.97	3684,432809	1.427	1.430 mm	Formval	1,421	1,422	50 > 160 N/mm2		202	12-joulu-06	
4	727	5.01	3782,700054	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		196	08-joulu-06	
4	689	5.07	3541,823727	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,423	50 > 160 N/mm2		209	14-joulu-06	
4	689	5.07	3541,823727	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,423	50 > 160 N/mm2		209	14-joulu-06	
4	689	5.07	3541,823727	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		221	15-joulu-06	
4	707	5.63	3639,343977	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		221	15-joulu-06	
4	675	5.62	3597,557781	1.427	1.430 mm	Formval	1,423	1,424	50 > 160 N/mm2		191	18-joulu-06	
5	942	4.67	3077,522931	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,425	1,426	50 > 100 N/mm		189	14-joulu-06	Pori Mono
5	942	4.67	3077,522931	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,425	1,427	50 > 100 N/mm		189	14-joulu-06	Pori Mono
5	908	5.07	3170,844265	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,423	1,425	50 > 100 N/mm		189	11-joulu-06	Pori Mono
5	912	4.82	2985,306899	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,422	1,423	50 > 100 N/mm		183	15-joulu-06	Pori Mono
5	912	4.82	2985,306899	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,422	1,423	50 > 100 N/mm		183	15-joulu-06	Pori Mono
5	928	4.74	3232,869982	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,425	1,426	50 > 100 N/mm		186	18-joulu-06	Pori Mono
5	912	4.82	2985,306899	1.427	< 1.430 mm	Formvar	1,421	1,423	50 > 100 N/mm		183	15-joulu-06	Pori Mono

Kuva 17. Esimerkki Waterburyn asiakasraportista.

### 3.4 Uusi tietokanta

Suunniteltavan tietokannan tarkoitus ja olennainen sisältö on syytä tiivistää yhteen yleiseen lauseeseen. Hernandez kutsuu sitä tehtäväselostukseksi /1, s. 81/. Lisäksi on syytä tarkastella, mitä tavoitteita uudella tietokannalla on.

### 3.4.1 Tehtäväselostus

Tehtäväselostus ilmoittaa tietokannan yleisen tarkoituksen. Se on hyvä määritellä suunnitteluprosessin alussa. Sen tulee olla lyhyt ja ytimekäs.

Lähdettiin etsimään vastausta kysymykseen: ”Mikä on Luvata Superconductorsin uuden mittaustietokannan perimmäinen tarkoitus?”

Päädettiin seuraavaan yleiseen lauseeseen: ”Luvata Superconductorsin mittaustietokannan tarkoitus on ylläpitää eri tehtaiden suprajohtimien mittaustietoja”

Hernandezin mukaan seuraavaksi tulee määritellä tietokannan tavoitteet. Nämä tehtävän tavoitteet ovat selvityksiä, jotka ilmoittavat yleisiä tehtäviä, jotka tietokannassa säilytettävät tiedot tekevät mahdolliseksi. Näiden avulla määritellään mm. taulurakenteet, kenttämääritelmät, yhteyksien ominaisuudet ja näkymät sekä datan eheys ja liikesäännöt. Nämä ohjaavat tietokannan kehittämistä /1, s. 87/.

### 3.4.2 Tietokannan käyttäjien tarpeiden tunnistaminen

Tulevan tietokannan tavoitteita lähdettiin selvittämään eri organisaatioissa. Porin yhteyshenkilönä toimii koko insinööriyön yrityksen edustajanakin toimiva Porin tehtaan laatupäällikkö Jarmo Seppälä. Hänellä on laaja tietämys mittauksista ja riittävä kokemus määrittelemään jopa koko tietokannan eri tarpeet. Fornaci di Bargan yhteyshenkilönä toimii Italian tehtaan laatuvaava Valentina Bagnato, jolta tiedustellaan heidän tarpeitaan yhteiseen järjestelmään. Waterburyn yhteyshenkilö tuotantopäällikkö Robert Schaedler on luvannut olla tiiviissä yhteistyössä Yhdysvaltojen puolella yhteisen tavoitteen toteutumiseksi.

### 3.4.3 Tehtävän tavoitteet

Vierailuilla ja sähköpostiviesteillä kerättyjä tietoja hyväksikäyttäen määriteltiin väitöslauseen muotoiset tehtävätavoitteet ja lisäksi kerättiin hakasulkeisiin ominaisuuksia, jotka liittyvät ja selventävät tehtävätavoitteita. Nämä tehtävätavoitteet ja ominaisuudet lähetettiin luettavaksi ja kommentoitavaksi eri tehtaiden yhteyshenkilöille.

Tehtävätavoitteet:

1 Tietokannan täytyy ylläpitää tietoja yrityksistä, joille myymme suprajohdimia ja toimitamme mittauksia. [yrityksen nimi, yhteyshenkilö(t), osoitteet...]

2 Tietokannan täytyy pitää kirjaa eri asiakkaiden eri lankatyypin asiakasvaatimuksista. [mitattava kenttä, kriittinen virta, n-tekijä, ...]

3 Tietokannan täytyy ylläpitää tietoja lankojen perustiedoista. [Puristenumero, lankatyyppi, materiaali, pakkauspäivä, pakkaustehdas, raaka-ainetiedot...]

4 Tietokannan täytyy pitää kirjaa kaikista kryogeenisistä mittauksista, joita langoille tehdään. [mitattava kenttä, kriittinen virta, n-tekijä, RRR, mittauslämpötila, mittauskriteeri...]

5 Tietokannan täytyy pitää kirjaa kaikista mekaanisista mittauksista ja testeistä, joita langoille tehdään. [langan halkaisija, Cu/Sc-suhde, murtolujuus, säikeiden eheys, sharp bend-testi,...]

6 Tietokannasta pitää pystyä generoimaan tuloksiin perustuvia asiakaskohtaisia raportteja.

7 Tietokannasta pitää pystyä tekemään kyselyjä ja analyysyjä mittauksista ja verrata niitä asiakasvaatimuksiin.

8 Tietokannan pitää olla käytettävissä kaikilla Luvata Superconductorsin tehtailla ja sen pitää päivittää riittävän usein sinne syötettyjä tietoja.

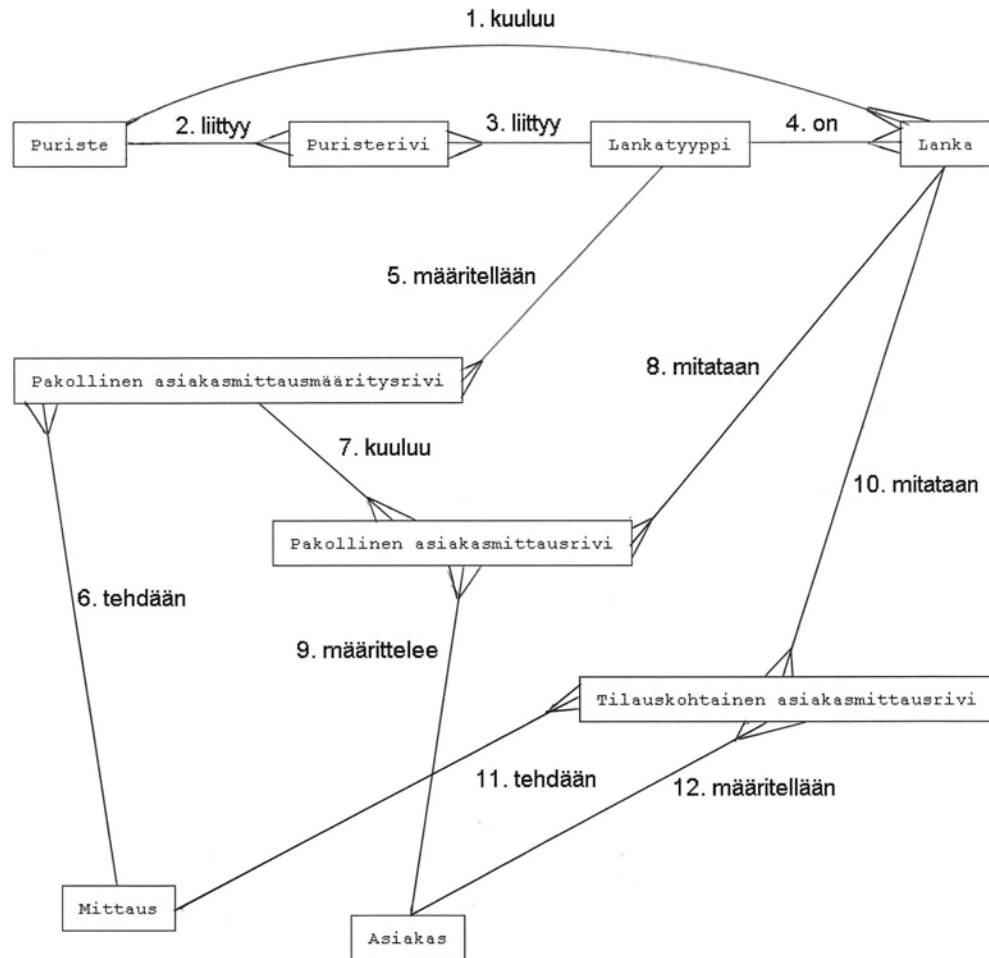
## 4 TIETOKANNAN KÄSITTEELLINEN MALLINTAMINEN

Käsitteellisessä mallintamisessa tehdään tietokantaa kuvaava käsitekaavio, jossa kuvataan tulevan tietokannan sisältö ja rakenne. Mallintamisen tunnetuin ja käytetyin menetelmä on Chenin vuonna 1976 esittelemä ER-malli (engl. Entity-Relationship model). Tämä malli koostuu useasta erilaisesta osasesta, joita kuvataan tietyillä kuvioilla ja jotka yhdistetään toisiinsa tietyillä suhteilla. Näistä muokataan ER-diagrammi, josta nähdään kaikki tarvittavat taulut ja niiden suhteet sekä toimintatavat toisiinsa nähden. /2/

Suprajohdinten valmistus- ja mittausympäristö on kuvattuna graafisesti ER-kaavion muodossa taulukossa 1. Taulujen välisiä yhteystyyppejä on kaksi: yksi moneen -yhteys (1:M tai M:1) sekä monta moneen -yhteys (M:M), joka on toteutettu linkitystaulujen avulla. Myös yhteydet ovat nähtävissä kaaviossa.

Kohde on tunnistettavissa oleva asia tai tapahtuma (engl. entity). Suhteella tarkoitetaan vähintään kahden kohteen välillä vallitsevaa riippuvuutta (engl. relationship). Jokaisella samantyyppisellä kohteella on tiettyjä yhteisiä ominaisuuksia (engl. attribute). Ominaisuudet voivat olla yksittäisiä tai useasta osasta koottuja. Ne voivat olla avaimia, jotka yksilöivät kohteen. Ominaisuudet voivat olla yksi- tai moniarvoisia, ja ne voivat saada tyhjän arvon (engl. null) tai tuntemattoman arvon. Ominaisuuden arvo voi olla johdettu muista tiedoista. Kaavion teko lähtee kohteiden tunnistamisella, jotka kuvataan suorakaiteella. Seuraavaksi kaavioon lisätään yhteystyypit, jotka kertovat kohteiden osallistumistyyppit. /3/

Taulukko 1. Mittaustietokannan ER-kaavio



## 5 TIETOKANNAN LOOGINEN SUUNNITTELU

Edellä esitettiin, miten tietokannan tehtäväselostus tehdään ja mitkä ovat tietokannan tavoitteet. Tietokannan toteutus etenee käsitteellisen mallintamisen jälkeen tietokannan loogisella suunnittelulla. Looginen suunnittelu sisältää taulujen ja kenttien määrittelyt, avainten määrittelyn, tauluyhteyksien ja datan eheystason selvittämisen.



## 5.1 Taulut, kentät ja pääavaimet

Tietokantaan tulevat tiedot ryhmitellään aiheittain. Jokaisesta aiheesta luodaan oma taulunsa. Kukin tieto sijoitetaan vain yhteen tauluun, lukuun ottamatta avainkenttiä. Seuraavaksi jokaiseen tauluun muodostetaan kentät, joista jokainen sisältää vain yhdenlaista tietoa. Jokaisessa taulussa on jokin yksilöllinen kenttä, joka toimii taulun virallisena tunnisteena, pääavaimena, kaikkialla tietokantarakenteessa. Pääavaimen sisältö on taulukon jokaisessa tietueessa eli jokaisella rivillä erilainen. Tässä tietokannassa on käytössä myös yhdistelmäpääavaimia, jolloin kaksi tai useampi kenttä muodostaa yksilöllisen pääavaimen. /1, s. 224./

Aiemmin tässä työssä toteutettu ominaisuuslista oli pohjana tietokannan taulujen ja kenttien muodostamisessa. Taulukossa 2. esitellään mittaustietokannan taulut kenttineen. Lisäksi kerrotaan lyhyt kuvaus taulun sekä kenttien tarkoituksesta. Pääavaimet on alleviivattu ja viiteavaimet on merkitty katkoviivalla. Viiteavaimet viestivät kahden taulun välisestä yhteydestä. Viiteavain muodostuu, kun toisen taulun pääavain tulee toisen taulun kentäksi. Taulut on tehty tietokannan tavoitteiden ja ER-kaavion perusteella.

## Taulukko 2. Suunnitellut taulut kenttineen

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
Puriste	Taulussa listataan kokonaisen suprajohdinpuristeen tiedot, jotka eivät voi muuttua, kun puriste jaetaan langoiksi.	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>Puristenumero</u>	teksti	Suprajohdin puristeen yksilöllinen tunnistenumero
Säiemäärä	numero	Puristeen säikeiden lukumäärä
Materiaalityyppi	teksti	Kertoo puristeen materiaaluokan (NbTi, Nb <sub>3</sub> Sn)
Pakkauspäivä	PVM	Päivämäärä, jolloin puriste on pakattu
Pakkaustehdas	teksti	Paikka, jossa pakkaus on suoritettu
<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
Puristerivi	Puristerivi yhdistää erilaiset lankatyypit eri puristeisiin, koska yhdestä puristeesta voidaan tehdä useaa eri lankatyyppiä ja vastaavasti yhtä lankatyyppiä voi olla useassa eri puristeessa.	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>Puristenumero</u>	teksti	Puriste-aulun avainkenttä
<u>LankatyyppiID</u>	numero	Lankatyyppi-aulun avainkenttä

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
Lankatyypit	Taulussa listataan erilaiset supralankatyypit. Jokainen toisestaan poikkeava ominaisuus luo uuden lankatyypin.	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>LankatyypitID</u>	numero	Lankatyypin yksilöllinen tunnistenumero
Nimellinen paljas halkaisija	numero	Langan nimellinen paljas halkaisija
Nimellinen eristetty halkaisija	numero	Langan nimellinen eristetty halkaisija
Alfa	numero	Langan nimellinen Cu/Sc-suhde
Part Number	numero	Asiakkaan lankatyypitunnus
TigrAps numero	numero	Tuotannonohjausjärjestelmän lankatyypitunnus

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
Lanka	Taulussa listataan puristeista syntyneet erilliset langat ja niiden sellaiset ominaisuudet, jotka eivät riipu lankatyypistä.	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>LankaID</u>	numero	Yksittäisen langan yksilöllinen tunnistenumero
Puristenumero	teksti	Puriste-aulun avainkenttä
LankatyypitID	numero	Lankatyypit-aulun avainkenttä
Lankatunnus	teksti	Puristeen osan tuotannossa kulkeva tunnus
Spoolnumero	numero	Lähetettävän kelan kelanumero
Tilausnumero	teksti	Langalle kuuluva tilausnumero
Janapituus	numero	Langan todellinen pituus
Asiakaspituus	numero	Asiakkaan tilaama pituus
Bruttopaino	numero	Langan ja kelan paino
Nettopaino	numero	Langan paino
Kelatyypit	teksti	Kelan, jolle lanka on puolattu, tyyppi
Lähetyspäivä	PVM	Langan asiakkaalle lähetyspäivä
Eristysvirheitä	Kyllä/Ei	Onko langassa eristysvirheitä

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
	Pakollinen mittausmääritysriivi Taulussa määritellään etukäteen minkälaisia pakollisia mittauksia tehdään mistäkin lankatyypistä	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>LankatyyppiID</u>	numero	Lankatyyppi-aulun avainkenttä
<u>MittausID</u>	numero	Mittaus-aulun avainkenttä

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
	Pakollinen mittausriivi Taulussa suoritetaan pakollisiksi määritellyt mittaukset tietylle langalle ja asiakkaalle.	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>LankaID</u>	numero	Lanka-aulun avainkenttä
<u>MittausID</u>	numero	Mittaus-aulun avainkenttä
<u>LankatyyppiID</u>	numero	Lankatyyppi-aulun avainkenttä
<u>AsiakasID</u>	numero	Asiakas-aulun avainkenttä
Pakollinen mittautulos	numero	Yhdistelmäavaimen kuvaaman mittauksen tulos
Asiakas min	numero	Asiakkaan minimivaatimus kyseiseen mittaukseen
Asiakas max	numero	Asiakkaan maksimivaatimus kyseiseen mittaukseen
Asiakkaan vaadittu arvo	teksti	Asiakkaan vaatima arvo kyseiseen mittaukseen (esim. kyllä/ei)

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>
Tilauskohtainen mittausrivi	Taulussa suoritetaan tilauskohtaiset asiakkaan vaatimuksesta tehtävät mittaukset.

<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>LankaID</u>	numero	Lanka-aulun avainkenttä
<u>AsiakasID</u>	numero	Asiakas-aulun avainkenttä
<u>MittausID</u>	numero	Mittaus-aulun avainkenttä
Tilauskohtainen mittaustulos	numero	Yhdistelmäavaimen kuvaaman mittauksen tulos
Asiakas min	numero	Asiakkaan minimivaatimus kyseiseen mittaukseen
Asiakas max	numero	Asiakkaan maksimivaatimus kyseiseen mittaukseen
Asiakkaan vaadittu arvo	teksti	Asiakkaan vaatima arvo kyseiseen mittaukseen (esim. kyllä/ei)

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>
Asiakas	Taulu sisältää tietoja asiakkaista.

<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>AsiakasID</u>	numero	Asiakas-aulun avainkenttä
Asiakkaan nimi	teksti	Selviö
Yhteyshenkilö1	teksti	Selviö
Yhteyshenkilö2	teksti	Selviö
Osoiterivi1	teksti	Selviö
Osoiterivi2	teksti	Selviö
Osoiterivi3	teksti	Selviö
Osoiterivi4	teksti	Selviö
Osoiterivi5	teksti	Selviö

<b>Taulun nimi</b>	<b>Taulun kuvaus</b>	
Mittaus	Taulu sisältää suoritettavien mittausten kuvauksen ja yksikön	
<b>Kentän nimi</b>	<b>Tietotyyppi</b>	<b>Kentän kuvaus</b>
<u>MittausID</u>	numero	Suoritettavan mittauksen yksilöllinen tunnistenumero
Mittauksen nimi	teksti	Suoritettavan mittauksen kuvaus (esim. x-halkaisija, 1 Teslan virta, kierteen
Yksikkö	teksti	Mittauksen yksikkö (esim. mm, A, mm/kiertos)

## 5.2 Taulujen yhteydet

Taulujen välisten yhteyksien selvittämisessä tunnistetaan pää- ja viiteavaimet sekä luodaan tarvittavat linkitystaulut. Pääavaimet olivat nähtävillä edellä taulujen ja kenttien yhteydessä. Yhteys kahden taulun välille muodostetaan lisäämällä toisen taulun pääavain toisen taulun kentäksi. Tämä toiseen tauluun lisätty avain toimii viiteavaimena. Kun on tarve tehdä ns. monta moneen -yhteys, tietokannassa tarvitaan linkitystaulu. Tämä taulu luodaan kahden tai useamman taulun välille, ja siihen muodostetaan jokaisesta taulusta yksi moneen -yhteys. Tähän linkitystauluun lisätään jokaisesta taulusta niiden pääavaimet viiteavaimiksi. Viiteavaimet muodostavat yhdessä linkitystaulun pääavaimen /1, s. 293/.

Seuraavassa mittaustietokannan ER-kaaviossa (taulukko 1) esiintyvien yhteyksien selitykset:

1. kuuluu  
Lanka *kuuluu* osaksi puristetta. Puristeesta voi syntyä monta eri lankaa, mutta yksi lanka voi olla vain yhdestä puristeesta.

2. liittyy ja 3. liittyy

Lankatyyppi *liittyy* puristerivin kautta puristeeseen ja päinvas-toin. Koska yhdestä puristeesta voidaan tehdä useaa eri lanka-tyyppiä ja vastaavasti yhtä lanka-tyyppiä voi olla useassa eri puristeessa on kyseessä monesta moneen yhteys. Puristerivi toimi linkitystauluna lankatyypin ja puristeen välillä.

4. on

Yksi lanka *on* aina yhtä tiettyä lankatyyppiä, mutta eri langat voivat kuulua samaan lanka-tyyppiin.

5. määritellään ja 6. suoritetaan

Pakollisella asiakasmittausmääri-tysrivillä *määritellään* lanka-tyyppi, josta *suoritetaan* mittaus. Koska yhdestä lankatyypistä suoritetaan useita eri mittauksia ja monet mittaukset suoritetaan useista eri lankatyypeistä pitää tässä monesta moneen yhteydes-sä olla linkitystaulu.

7. kuuluu, 8. mitataan ja 9. määrittelee

Pakollinen asiakasmittausrivi *kuuluu* pakolliseen asiakasmit-tausmääritysriiviin ja siitä *mita-taan* lanka, jonka mittaukset asiakas *määrittelee* mukaan. Pa-kollinen asiakasmittausrivi toimii

linkitystauluna langan, asiakkaan ja mittausmääritysrivin välillä.

10. mitataan, 11. tehdään ja 12. määrittelee

Tilauskohtaisen asiakasmittausrivin monesta moneen yhteydessä *mitataan* lanka, jolloin sille *tehdään* mittaus, jonka asiakas *määrittelee*. Tilauskohtainen asiakasmittausrivi toimii linkitystauluna lanka-, mittaus- ja asiakas- taulujen välillä.

### 5.3 Datan eheys

Datan eheydellä tarkoitetaan sitä, että tietokannan tiedot ovat niille asetettujen vaatimusten tai rajoitusten mukaisia /1, s. 321/. Esimerkiksi puristeen pakkaustehtas ei voi saada muita arvoja kuin Pori, Fornaci di Barga tai Waterbury. Viite-eheydellä tarkoitetaan, että jokaista viittaavassa taulussa esiintyvää viiteavaimen arvoa pitää vastata sama pääavaimen arvo kohteena olevassa taulussa /2/. Esimerkiksi, kun Lanka-taulussa on viiteavaimena puristenumero, pitää tämän arvon löytyä pääavaimena Puriste-taulusta. Toisin sanoen lankoja voi olla vain olemassa olevista puristeista. Datan eheyttä testattiin Accessilla toteutetussa kokeilutietokannassa, jossa viiteavaimien arvojen puuttuminen ilmoitetaan virheilmoituksella.



## 6 TIETOKANNAN TOTEUTUKSEN VALMISTELU

### 6.1 Sovelluksen valinta

Yhteistä kaikille relaatiotietokantaratkaisuille on, että niitä kaikkia voidaan hallita SQL:n avulla. Osa sovellusten valmistajista on kehittänyt omia murteitaan tehokkuuden parantamiseksi, mutta pohjimmiltaan lähes kaikki tietokantaratkaisut ovat ANSI-SQL yhteensopivia. Tämä tarkoittaa, että käytössä on aina tietty komentojen perusjoukko joka toimii kaikissa tietokannoissa.

PC-ympäristöstä löytyy erilaisiin käyttötarkoituksiin suunniteltuja tietokantaohjelmistoja, joista tunnetuimmat ovat Microsoftin Access ja alkuaan Borlandin, nykyään Corelin markkinoima Paradox. Usein tietokantaohjelmaksi riittää hyvin omassa koneessa tai lähiverkossa sijaitseva ohjelma, jos kyseessä on vain yhdessä paikassa pidettävä tai muutaman henkilön käyttämä sovellus. Tämän tietokannan perusteisiin kuului globaalisuus joten käyttö eripuolilta maailmaa pitää olla helposti ja turvallisesti mahdollista. Vaativampia tietokantasovelluksia edustaa Microsoftin SQL Server sekä Oracle, jotka ovat ammattilaisten tietokantatyökaluja. Tarjolla on myös useita ilmaisia tietokantaohjelmia, joista ehkä yleisimmin on tällä hetkellä käytössä MySQL. Se on relaatiomallinen sql-kieleen pohjautuva tietokantaohjelma, joka on saatavissa useisiin eri käyttöympäristöihin. Vielä eräs, ei niinkään tietokantaohjelmistona tunnettu, sovellus on Lotus Notes.

Lotus Notes olisi houkutteleva valinta, koska se on käytössä kaikilla tehtailla ja jokaisella käyttäjällä. Notesin tietoturva on huipputasoa, mutta sen käyttöliittymät ovat erittäin vaikeaselkoisia ja pienimmätkin muutokset tietokantaan pitäisi teettää ammattilaisella.

Microsoft Access olisi myös jokaisen käytettävissä ja varteenotettava vaihtoehto, ellei Luvata Pori Oy olisi juuri investoinut uuteen Microsoft SQL Server 2005:een, jonka

käyttömahdollisuus tekee valinnan varsin helpoksi ja tietokannan toteutusympäristöksi valitaan todennäköisesti se.

Tietokannan informaation käsittelyyn tehtävät sovellukset voidaan toteuttaa monella eri menetelmällä, joista nykyään houkuttelevimmalta vaikuttaisi jonkinlainen Internetpohjainen PHP-sovellus. Sen valinta kuuluu kuitenkin tämän työn ulkopuolelle.

Taulujen ja yhteyksien testaamiseksi toteutettiin tässä työssä suunniteltu tietokanta Microsoft Accessilla. Monimutkaisten yhteyksien ja moniavaimellisten linkitystaulujen toimivuutta oli helpompi tarkastella konkreettisen tietokannan avulla.

## 6.2 Tietoturva

Tietoturvalla tarkoitetaan järjestelyjä, joilla pyritään varmistamaan käytettävyys, tiedon eheys ja luottamuksellisuus. Tietoturvan järjestelyjä ovat esimerkiksi salaus ja varmuuskopiointi sekä palomuurin, virustorjuntaohjelman ja varmenteiden käyttö. Tietoturvaan kuuluu muun muassa tietoaineistojen, laitteistojen, ohjelmistojen, tietoliikenteen ja toiminnan turvaaminen. /10/

Mittaustietokanta toteutetaan Luvata Pori Oy:n palvelimella sijaitsevalle Microsoft SQL Serverille. Käyttöoikeudet tietokantaan rajataan tarvittun tiedon perusteella henkilökohtaisilla oikeuksilla.

Tietokannan varmuuskopioinnit hoidetaan keskitetysti tietohallinnon toimesta Luvata Pori Oy:n yleisten käytäntöjen mukaisesti.

## 6.2 Jatkotoimenpide-ehdotukset

Tietokannan suunnittelussa on päästy vaiheeseen, joka sisältää tietokannan rakenteen tauluineen ja kenttineen sekä taulujen väliset yhteydet. Koossa olevilla tiedoilla pysty-

tään teettämään itse tietokanta Microsoft SQL Serverille ja saamaan mittaustiedoille tietokantarakenne, johon tietoja voidaan syöttää ja niitä voidaan analysoida.

Tietokannan tietojen käyttö pitää harkita tarkasti. Tehdäänkö järjestelmästä Web-pohjainen, jolloin siitä tulee hyvin joustava sekä kaikkialla toimiva. Toinen tapa toteuttaa käyttöliittymät on käyttää jotain erillistä ohjelmaa, kuten Microsoft Access, jolloin ollaan sitouduttu yhteen järjestelmään, mutta esimerkiksi raporttien ulkoasu voi olla kehittyneempi ja syöttölomakkeet selkeämpiä. Paras tapa edetä voisi olla edellä mainittujen tapojen yhdistäminen.

## 7 YHTEENVETO

Tämän työn tarkoituksena oli määritellä tietokanta Luvata Superconductorsin eri tehtaiden mittaustiedoille. Piti selvittää eri tehtaiden lähtötilanne ja kartoittaa tarpeet tietokannan sisältöön.

Työn edetessä selveni, että suunniteltavasta tietokannasta tulisi melko monimutkainen, eikä jo olemassa olevia järjestelmiä juurikaan voida hyödyntää uudessa. Mittaustietojen monimutkaisuuden vuoksi jouduttiin suunnittelussa turvautumaan useisiin moniavaimellisiin linkitystauluihin. Accessilla laadittu kokeilutietokanta oli välttämätön, jotta tietokannan eheys pystyttiin toteamaan.

Tietokannan suunnittelussa päästiin tavoiteltuun vaiheeseen, jossa tietokannan rakenne, tauluineen, kenttineen ja yhteyksineen on laadittu. Verrattuna vanhoihin järjestelmiin uusi tietokanta täyttää relaatiotietokannan määritelmät, eikä sisällä juurikaan tyhjiä arvoja sisältäviä kenttiä, eikä lainkaan laskettuja kenttiä.

Näillä tiedoilla voidaan edetä teettämään itse tietokanta Microsoft SQL Serverille. Näin syntynyt tietokanta on vasta varasto informaatiolle, johon pitää kehittää käyttöliittymät tietojen tallennusta ja hakua varten.

Projekti on siis vasta alussa ja globaalisti toimiva tietokanta on satojen työtuntien päässä. Sen toteuttaminen vaatii paljon resursseja, joita pystytään toivottavasti ohjaamaan tärkeään asiaan.

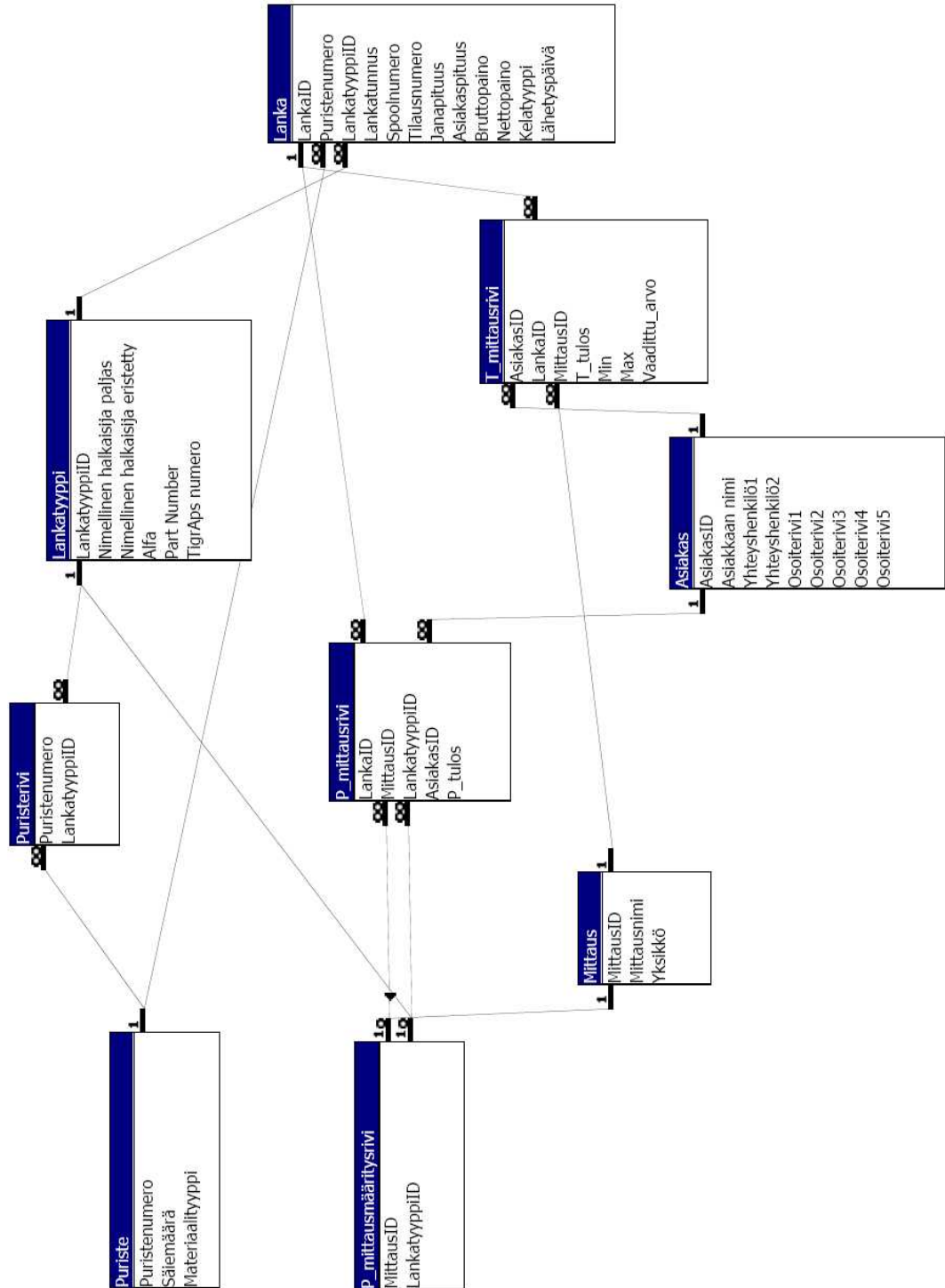
## LÄHTEET

1. Hernandez, Michael J.: Tietokannat - suunnittelu käytännössä. Jyväskylä: Oy Edita Ab, IT Press, 2000, (e-kirja).
2. Lahtonen, Tommi: Tietokannan suunnittelu. Jyväskylän yliopisto, Tietotekniikan laitos. (WWW-dokumentti) <<http://appro.mit.jyu.fi/doc/tiedonhallinta/suunnittelu/>>. Luettu 10.10.2006
3. Hautamäki, Jouko: Merkonomien virtuaalikoulu. Haapajärven ammatti-instituutti. <<http://www.hai.cop.fi/henkilokunta/Jouko.Hautamaki/access/access-kuvaus.htm>> Luettu 13.10.2006
4. A Guide to Superconductivity. (WWW-dokumentti) <<http://www.physnet.uni-hamburg.de/home/vms/reimer/htc/contents.html>> Luettu 17.12.2006
5. Type 1 Superconductors. (WWW-dokumentti) <<http://superconductors.org/Type1.htm>>Luettu 17.12.2006
6. Type 2 Superconductors. (WWW-dokumentti) <<http://superconductors.org/Type2.htm>>Luettu 17.12.2006
7. Uses of Superconductors. (WWW-dokumentti) <<http://superconductors.org/Uses.htm>>Luettu 18.12.2006
8. Reed Richard P. - Clarck, Alan F.:Materials at Low Temperatures, American Society for Metals, USA, 1983.
9. Tuohimaa, A. Lisensiaattitutkimus: Induktiivinen Josephson -liitosverkko magneetikentässä. (1996). Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Sähkötekniikan osasto.
10. Sanastokeskus: Tiivis tietoturvasanasto. Helsinki: 2004. (PDF-dokumentti.) <<http://www.tsk.fi/fi/info/TiivisTietoturvasanasto.pdf>>Luettu 13.1.2007
11. Holm, M. Diplomityö: Pronssimenetelmällä valmistettujen Nb Sn-suprajohtimien reaktioehkutukset. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, konetekniikan osasto,1998.
12. The Large Hadron Collider Project: Technical Questionnaire for the supply of superconducting wire for the LHC 600 A multicore cable. Cern: 2002. (PDF-dokumentti)
13. Energiateollisuus-Sähköntuotanto. (WWW-dokumentti) <<http://www.energia.fi/page.asp?Section=4735&Item=14294>>Luettu 21.12.2006
14. Development of Superconducting Magnetic Separation System. (WWW-dokumentti) <<http://akahoshi.nims.go.jp/TML/english/mag-sep/mag-sep.html>>Luettu 22.12.2006

15. T. Coombs, A. M. Campbell, R. Storey, R Weller: Superconducting Magnetic Bearings for Energy Storage Flywheels (PDF-dokumentti)  
<[www.msm.cam.ac.uk/suconweb/eng/storey/loc04.pdf](http://www.msm.cam.ac.uk/suconweb/eng/storey/loc04.pdf) >Luettu 22.12.2006
16. Jacob Oestergaard, Jan Okholm, Karin Lomholt, Ole Toennesen: Energy losses of superconducting power transmission cables in the grid (PDF-dokumentti)  
<[www.supercables.com/Reference/tabsartikel.pdf](http://www.supercables.com/Reference/tabsartikel.pdf)>Luettu 22.12.2006
17. Luvata Pori Oy, Superconductors: Supran esittelymateriaalia. Pori 2006

# LIITTEET

Liite 1: Accessilla toteutetun tietokantamallin taulujen suhteet



Liite 2: Accessilla toteutetun tietokantamallin taulu: Puriste

Puristenumero	Säiemäärä	Materiaalityyppi	Pakkauspäivä	Pakkaustehda	Lankaid	LankatyyppiID	Lankatunnus	Spoolinumero	Tilausnumero	Janapituus	Asiakaspituus	Bruttopaino	Nettopaino	Kelatyyppe	Lähetyspäivä	
- 07001	28															
					1 1A			20000	32141325	28343	28000	0	0			
					2 2A			20002	2315125	44010	44000	0	0			
					1 1B			20001	231532153	25020	25000	0	0			
					2 2B			20003	325325325	18340	18300	0	0			
*					(AutoNumber)			0	0	0	0	0	0			
- 07002																
					4 1			20004	3253215325	5553	5500	0	0			
					5 2			20005	325325352	3312	3300	0	0			
*					(AutoNumber)			0	0	0	0	0	0			
- 07003																
					3			20006	325324354	10234	10200	0	0			
*					(AutoNumber)			0	0	0	0	0	0			
*					0											



Liite 3: Accessilla toteutetun tietokantamallin taulu: Lankatyypit

Lankatyypit : Table													
LankatyypitID	Nimellinen halkaisija paljas			Nimellinen halkaisija eristetty			Alfa	Part Number	TigrAps nume				
	LankalD	Puristenumeri	Lankatunnus	Spoolnumero	Tilausnumero	Janapituus	Janapituus	Asiakaspituus	Bruttopaino	Nettopaino	Kelatyypit	Lahetyspaiva	
1				1,4		0,436		1,6	28520	111			
	+	5 07001	1A	20000	32141325	28343	28343	28000	0	0			
	+	7 07001	1B	20001	231532153	25020	25020	25000	0	0			
	*	(AutoNumber)		0	0	0	0	0	0	0			
2				0,5		0,542		1,6	28524	222			
	+	6 07001	2A	20002	2315125	44010	44010	44000	0	0			
	+	8 07001	2B	20003	325325325	18340	18340	18300	0	0			
	*	(AutoNumber)		0	0	0	0	0	0	0			
3				1		1,06		7	40437	333			
	+	11 07003		20006	325324354	10234	10234	10200	0	0			
	*	(AutoNumber)		0	0	0	0	0	0	0			
4				1,2		1,26		7	40438	444			
	+	9 07002	1	20004	325321525	5553	5553	5500	0	0			
	*	(AutoNumber)		0	0	0	0	0	0	0			
5				1,4		1,47		7	40500	555			
	+	10 07002	2	20005	325325352	3312	3312	3300	0	0			
	*	(AutoNumber)		0	0	0	0	0	0	0			
	*	(AutoNumber)		0	0	0	0	0	0	0			

Liite 4: Accessilla toteutetun tietokantamallin taulu: Lanka, jossa näkyvissä langasta mitattuja tuloksia

LankaID	Puristenumero	LankatyyppiID	Lankatunnus	Spoolinumero	Tilausnumero	Janapituus	Asiakaspituus	Bruttopaino	Nettopaino	Kelatyyppi	Lähetys
-	5 07001	1 1A		20000 32141325		28343	28000	0	0		
▶			<b>MittausID</b>	<b>LankatyyppiID</b>	<b>AsiakasID</b>	<b>P_tulos</b>					
			1	1	4	0,395					
			14	1	4	0,404					
			20	1	4	3,95					
			0	0	0	0					
*											
-	6 07001	2 2A		20002 2315125		44010	44000	0	0		
▶			<b>MittausID</b>	<b>LankatyyppiID</b>	<b>AsiakasID</b>	<b>P_tulos</b>					
			1	2	2	0,487					
			14	2	2	0,502					
			20	2	2	3,95					
			0	0	0	0					
*											
-	7 07001	1 1B		20001 231532153		25020	25000	0	0		
▶			<b>MittausID</b>	<b>LankatyyppiID</b>	<b>AsiakasID</b>	<b>P_tulos</b>					
			1	1	4	0,398					
			14	1	4	0,405					
			20	1	4	3,96					
			0	0	0	0					
*											
+	8 07001	2 2B		20003 325325325		18340	18300	0	0		
+	9 07002	4 1		20004 3253215325		5553	5500	0	0		
+	10 07002	5 2		20005 325325352		3312	3300	0	0		
+	11 07003	3		20006 325324354		10234	10200	0	0		
*	(AutoNumber)			0		0	0	0	0		

Record: 1 of 3

Liite 5: Accessilla toteutetun tietokantamallin syöttölomake: Mittausmäärittelyrivi

P\_mittausmäärittelyrivi

LankatyyppiID	Combo4
0,4	dia paljas
0,4	dia eristetty
0,4	Cu/Sc
0,4	RRR
0,5	dia paljas
0,5	dia eristetty
0,5	Cu/Sc
0,5	RRR
1	dia paljas
1	dia eristetty
1	Cu/Sc
1	RRR
1,2	dia paljas
1,2	dia eristetty
1,2	Cu/Sc
1,2	RRR
1,4	dia paljas
1,4	dia eristetty
1,4	Cu/Sc
1,4	RRR
*	RRR
	vetolujuus 0.2 N/mm2
	murtolujuus N/mm2
	Cu/Sc
	lämpötila K
	lämpötilakriteeri K
	IC kriteeri1
	IC kriteeri2

Record: 20 of 20

Liite 6: Accessilla toteutetun tietokantamallin syöttölomake: Mittaustiedot langalle

**Lanka**

LankaID

Punisterumero

Lankatunnus

Lankatyyppi

Pituus

P\_mittausrivi

LankaID	MittausID	LankatyyppiID	AsiakasID	P_tulos
<input type="text" value="07001"/>	<input type="text" value="dia pallas"/>	<input type="text" value="0,4"/>	<input type="text" value="Magne"/>	<input type="text" value="0,395"/>
<input type="text" value="07001"/>	<input type="text" value="dia eristetty"/>	<input type="text" value="0,4"/>	<input type="text" value="Magne"/>	<input type="text" value="0,404"/>
<input type="text" value="07001"/>	<input type="text" value="Cu/Sc"/>	<input type="text" value="0,4"/>	<input type="text" value="Magne"/>	<input type="text" value="3,95"/>

Record:  of 3

Record:  of 7

Liite 7: Accessilla toteutetun tietokantamallin taulu: Lanka, jossa näkyvissä langasta mitattuja tilauskohtaisia tuloksia

LankaID	Puristenumeri	LankatyyppiID	Lankatunnus	Spoolnumero	Tilausnumero	Janapituus	Asiakaspituus	Bruttopaino	Nettopaino
-	5,07001	1,1A		20000	32141325	28343	28000	0	0
			<b>Tulos</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Vaadittu_arvo</b>			
			7	680	0				
			8	550	0				
			9	430	0				
*			0	0	0				
-	6,07001	2,2A		20002	2315125	44010	44000	0	0
			<b>Tulos</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Vaadittu_arvo</b>			
			5	600	0				
			6	500	0				
			7	400	0				
			17	40	0				
*			0	0	0				
-	7,07001	1,1B		20001	231532153	25020	25000	0	0
			<b>Tulos</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Vaadittu_arvo</b>			
			0	0	0				
+	8,07001	2,2B		20003	325325325	18340	18300	0	0
+	9,07002	4,1		20004	3253215325	5653	5600	0	0
+	10,07002	5,2		20005	325325362	3312	3300	0	0
+	11,07003	3		20006	325324354	10234	10200	0	0
*	(AutoNumber)	0		0	0	0	0	0	0