Egzon Kurteshi

Virroittimien ja virtakiskojen kulumisen selvitys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

18.10.2023

Tiivistelmä

Tekijä:	Egzon Kurteshi
Otsikko:	Virroittimien ja virtakiskojen kulumisen selvitys
Sivumäärä:	33 sivua
Aika:	19.10.2023

Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine:	Koneautomaatio
Ohjaajat:	Esimies Henri Vilpas Lehtori Heikki Paavilainen

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi WIOSS WITRON On Site Services GmbH ja tämä työ suoritettiin Inex Partners Oy:n logistiikkakeskuksessa, joka on automatisoitu WITRONIN toimesta.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kuparin ja hiilen kulumisen syitä kosteassa ilmassa ja huomioida ulkoisia tekijöitä, jotka edesauttavat niiden kulumista. WITRONIN huolloissa on havaittu merkittävää ja nopeaa kuparien ja hiilien kulumista PCRA- ja TCRA-virroittimissa ja virtakiskoissa kosteassa ilmassa.

Opinnäytetyössä kerättiin kattavaa taustatietoa laitteista, komponenteista, kuparista, hiilestä, ilman kosteudesta ja korroosiosta.Lisäksi vertailtiin tuotantoalueiden lämpötila eroja ja suhteellisen kosteuden eroja.

Tutkimuksessa selvisi, että kyseessä on todennäköisesti galvaaninen korroosio. Jalometallikupari ja jalomateriaalinen grafiitti joutuvat sähköiseen kosketukseen elektrolyytissä ja näin ollen kuparin pinta lähtee syöpymään. Syöpymisen myötä, kuparinpinnasta tulee epätasainen ja kun virroittimen hiili liukuu sitä vasten, hiili kuluu huomattavasti nopeammin.

Tämän opinnäytetyön avulla WITRON voi hyödyntää tietoa korroosiosta vaikuttaa heidän virroittimien ja virtakiskojen kulumiseen. Tämä vaikuttaisi Inex Partners Oy:n taloudelliseen tehokkuuteen tietämällä korroosion vaaroista ja kuinka ennaltaehkäistä niitä.

WITRON voi myös tulevissa projekteissaan hyödyntää tätä opinnäytetyötä tehdessään sopimuksia laitteen- ja komponenttien valmistajien kanssa. Yritys voi jo suunnitteluvaiheessa tiedostaa korroosion riskit.

Avainsanat: Korroosio, kupari, hiili, grafiitti, suhteellinen kosteus

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author:	Egzon Kurteshi
Title:	Analysis of the Wear and Tear of Collectors and Busbars
Number of Pages:	33
Date:	19 October 2023
Degree:	Bachelor of Engineering
Degree Programme:	Mechanical Engineering
Professional Major:	Machine Automation
Supervisors:	Henri Vilpas, Maintenance Manager
	Heikki Paavilainen, Senior Lecturer

This thesis was commissioned by WIOSS WITRON On Site Services GmbH and the work was carried out in the logistics center of Inex Partners Oy, which has been automatised by WITRON.

The aim of this thesis was to discover the causes of wear of copper and carbon in humid air and to take into account external factors that contribute to their wear. During Witron's maintenance, significant and fast wear of copper and carbon has been observed in PCRA- and TCRA collectors and busbars.

Comprehensive background information on devices, components, copper pairs, carbon, air humidity and corrosion was researched for the thesis. Differences in temperature and relative humidity of the production areas were compared.

The research revealed that it is in all probability galvanic corrosion. Noble metal Copper and noble material graphite come into electrical contact in the electrolyte and thus the surface of the copper begins to corrode. Because of the corrosion, the surface of copper becomes uneven, and when the carbon of the pantograph slides against it, the carbon wears much faster.

WITRON can effectively apply the corrosion research findings from this thesis to significantly impact the wear of their collectors and busbars. This would affect Inex Partners Oy's financial efficiency by knowing risks of corrosion and how to prevent them.

WITRON can also use this thesis in its future projects, taking into account the risks of corrosion already in the design phase when making contracts with device and component manufacturers.

Keywords: Corrosion, copper, carbon, graphite, relative humidity

Sisällys

Lyhenteet

1 Johdanto 1

1.1 WIOSS WITRON on Site Services GmbH 1
1.2 Inex Partners 2
1.3 WIOSS WITRONIN ja Inex Partnersin yhteistyö 4

2 Taustatietoa 6

2.1 Laitteet ja komponentit 6
2.1.1 Tarjotinnosturi 6
2.1.2 Tarjotinnosturin virroitin 7
2.1.3 Tarjotinnosturin virtakisko 8
2.1.4 Lavanosturi 9
2.1.5 Lavanosturin virroitin 10
2.1.6 Lavanosturin virtakisko 10
2.2 Kupari 11
2.2.1 Kuparin käyttö 12
2.2.2 Kuparin hyödyt 12
2.2.3 Kupariseos 13
2.3 Hiili 13
2.3.1 Hiilen esiintyminen 13
2.3.2 Hiilen fyysiset ominaisuudet 13
2.3.3 Hiilen kemialliset ominaisuudet 14
2.3.4 Hiilen käyttö 14
2.3.5 Hiilen yleisiä sisältöjä teollisuudessa 15
2.4 Ilman kosteus 15
2.5 Korroosio 16
2.5.1 Korroosion tärkeys 16
2.6 Korroosion eri muodot 17
2.6.1 Ilmakehän korroosio 17
2.6.2 Galvaaninen korroosio 18
2.6.3 Pistekorroosio 20
2.6.4 Rakokorroosio 20
2.6.5 Jännityskorroosio 20

2.6.6 Tasainen korroosio 20
2.6.7 Eroosio 21
2.6.8 Raerajakorroosio 21

3 Kulumisen syiden selvitys 22

3.1 Suhteellisen kosteuden ja lämpötilaerojen vertailut 22
3.2 Selvitys 25
3.3 Korroosion torjuminen 29

4 Tulokset ja yhteenveto 1

Lähteet 3

Lyhenteet

PCRA: Pallet Crane. Lavanosturi.

TCRA: Tray Crane. Tarjotinnosturi.

PT: Päivittäistavara.

KT: Käyttötavara.

ATS: Automated Tote System. Automaattinen laatikon käsittelyjärjestelmä.

.

1 Johdanto

WITRON yrityksellä on huolloissa 5 vuoden aikana havaittu merkittävää ja nopeaa kuparien ja hiilien kulumista PCRA- ja TCRA-virroittimissa ja virtakiskoissa kostutetuissa tiloissa. Tavoitteena oli lähteä tutkimaan kuparin ja hiilen kulumisen syitä ja huomioida ulkoisia tekijöitä, jotka edesauttavat kuparin ja hiilen kulumista.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana toimi WIOSS WITRON On Site Services GmbH ja tämä työ suoritettiin Inex Partners Oy:n logistiikkakeskuksessa, joka on automatisoitu WITRONIN toimesta.

Opinnäytetyössä perehdytään myös kupariin, hiileen, korroosioon ja sen eri muotoihin.

1.1 WIOSS WITRON on Site Services GmbH

Yli 50 vuotta sitten Walter Winkler perusti WITRONIN yhdessä vaimonsa Hildegardin kanssa. WITRONIN pääkonttori sijaitsee tänä päivänä Saksan Parksteinissa.

WITRON tarjoaa ja suunnittelee logistiikan ja muulle teollisuuden aloille automaatio ratkaisuja asiakkaan ekosysteemin vaatimin tavoin. He myös operoivat niissä logistiikkakeskuksissa ja orientoivat asiakkaita käyttämään heidän suunnittelemiaan laitteitaan.

He myös vastaavat suunnittelemiansa automaatiolaitteiden toimivuudesta, kunnossapidosta, parannuksista ja huolloista.

WITRON operoi globaalisesti ja heillä on töissä noin 5900 työntekijää, joista noin 140 työskentelee Sipoon logistiikkakeskuksessa. [1.]

1.2 Inex Partners

SOK:n omistama suomalainen logistiikkapalveluyritys Inex Partners Oy tuottaa S-ryhmän asiakkaillensa päivittäis- ja käyttötavaralogistiikkapalveluita. Heidän päivittäistavarakauppansa tavarantoimittajia ovat Prisma, S-Market, Alepa, Sale, Food Market Herkku ja ABC ja käyttötavarakauppansa asiakkaita ovat Prisma, Sokos Emotion. He ovat laajentaneet myös palveluita S-ryhmän verkkokauppoihin ja Viron Prismoihin. [2.]

Inex Partnersin logistiikkakeskukset olivat ennen Espoon Kilossa ja Sipoon Bastukärrissä. Inex kuitenkin siirsi vuonna 2016 Espoon Kilon logistiikkakeskuksen kokonaan Sipoon tehtaalle ja näin ollen Espoon ja Sipoon tehtaat yhdistyivät.

Inex Partnersilla työskentelee noin 1200 työntekijää. 2016 Sipooseen avattiin päivittäistavaroiden logistiikkakeskus ja näin ollen siitä tuli Suomen suurin logistiikkakeskus, jonka pinta-ala on 270 000 m2, joka vastaa melkein 37 jalkapallokentällistä ja sen tilavuus on 3 500 000 m3. [3.]

Kuva 1. Inex Partnersin Sipoon logistiikkakeskus [4].

Inex Partnersin Sipoon logistiikkakeskus jakaantuu kahteen, Päivittäistavara-logistiikkakeskus ja Käyttötavara-logistiikkakeskus. PT-logistiikkakeskuksen tuotanto pyörii ympäri vuorokauden ja siellä työskennellään joka päivä.

KT-logistiikkakeskuksessa tuotanto pyörii 5 päivää viikossa ja siellä työskennellään ympäri vuorokauden. [5.]

Inex Partnersin PT-logistiikkakeskus jakaantuu 6:een eri tuotantoalueeseen.

- Kuiva 1, jossa käsitellään teollisia elintarvikkeita +18–21 °C lämpötilassa. Aluetta ei kostuteta.

- Kuiva 2, jossa käsitellään teollisia elintarvikkeita +18–21 °C lämpötilassa. Aluetta ei kostuteta.

- Tuore 3, jossa käsitellään vihanneksia ja hedelmiä. +4 - +13 °C lämpötiloissa. Aluetta kostutetaan.

- Vaihe 4, jossa käsitellään esimerkiksi maitotuotteita. +4 °C. Aluetta ei kostuteta.

- ATS-tilassa käsitellään liha-, kala- ja muita jalostetuotteita +2 °C lämpötilassa. Aluetta ei kostuteta.

- Pakkanen, jossa käsitellään pakkastuotteita -26 °C lämpötilassa. Aluetta ei kostuteta.

  Käyttötavarapuolella käsitellään kodinkoneita, vaatteita, vapaa-ajan tuotteita jne. [6.]

1.3 WIOSS WITRONIN ja Inex Partnersin yhteistyö

WITRON ja Inex Partners solmivat ensimmäisen yhteistyön vuonna 2012, kun WITRON automatisoi Inexin KT-logistiikkakeskuksen. 2016 Inexin laajennettua Sipooseen, he päättivät yhdessä tehdä sopimuksen WITRONIN kanssa, että myöhemmin he automatisoisivat myös päivittäistavara-logistiikkakeskuksen.

Näin ollen WITRON suunnitteli ja automatisoi myös PT-logistiikkakeskuksen ja on lupautunut myös tarjoamaan Inexille muita automaatioon liittyviä ratkaisuja, kuten kunnossapitoa, huoltoa ja he vastaavat myös automaatiolaitteiden toimivuudesta. He myös kehittävät ja uudistavat niitä tarpeen tullessa. [7.]

WIOSS WITRONIN vastuualueisiin kuuluu Inex Partners Oy:n logistiikkakeskuksessa:

• reaktiivinen ja proaktiivinen kunnossapito.

• paikallinen asiakastuki

• jatkuva kehitys

• varaosien hallinta

• pienet projektit

• paikallinen hallinto ja johto.

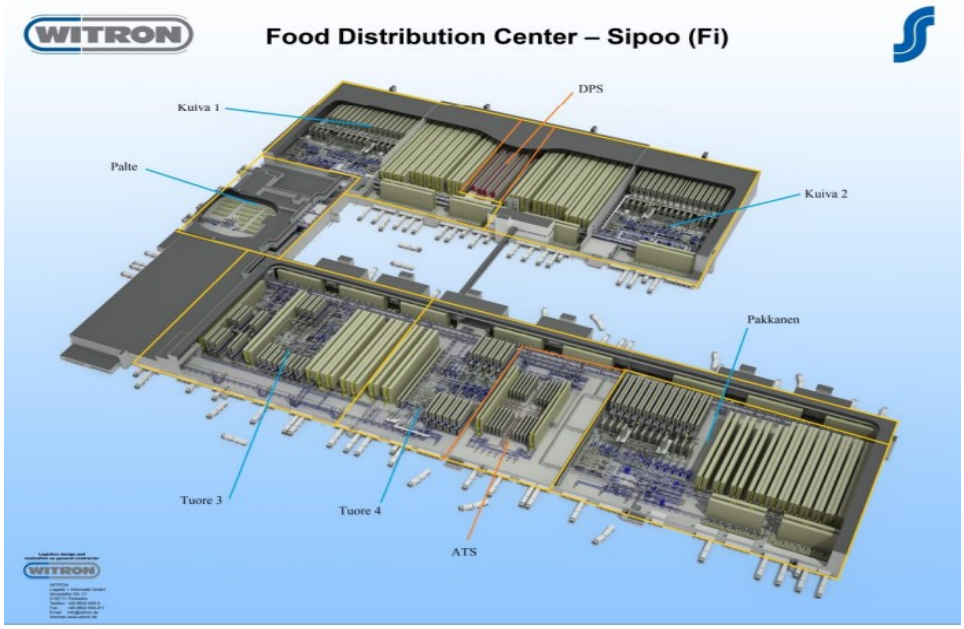
WIOSSIN noin 140 työntekijän henkilöstö Sipoossa koostuu:

• kone-, sähkö- ja automaationalan asentajia ja insinöörejä.

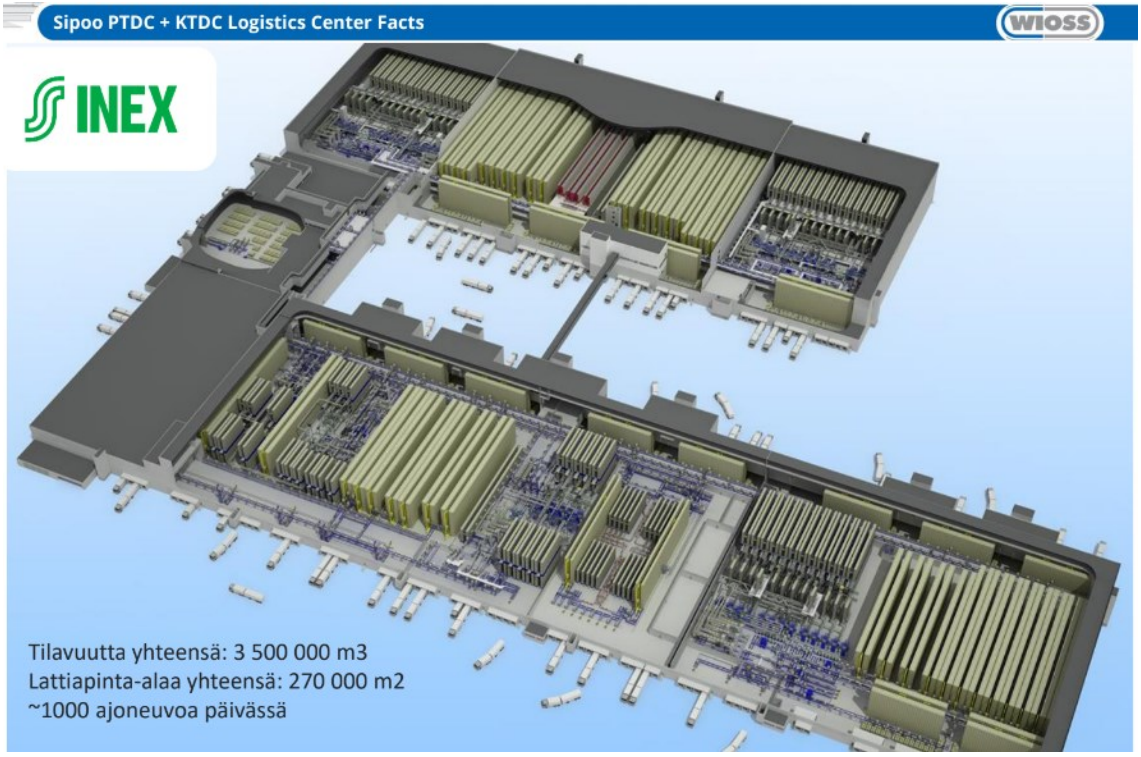
• HR-yksiköstä

• varaosien hallintatiimistä

• hallinnasta [8.]



Kuva 2. WITRONIN suunnitteleman automaatiolaitteiden karttapiirros, jossa näkyy tuotantoalueiden nimet [8].



Kuva 3. Tarkempi kuva [8].

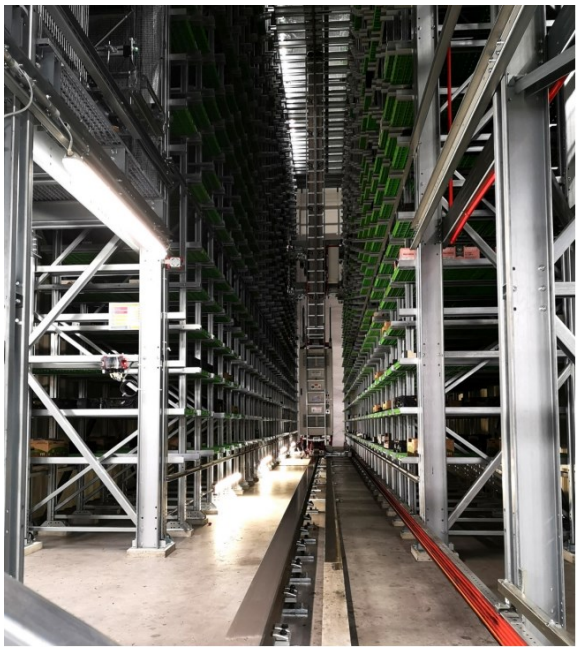
2 Taustatietoa

Tutkimus aloitettiin keräämällä mahdollisimman paljon taustatietoa aiheesta, jotta tutkimuksessa voitaisiin huomioida laajasti kuparin ja hiilen kulumisen syitä.

2.1 Laitteet ja komponentit

2.1.1 Tarjotinnosturi

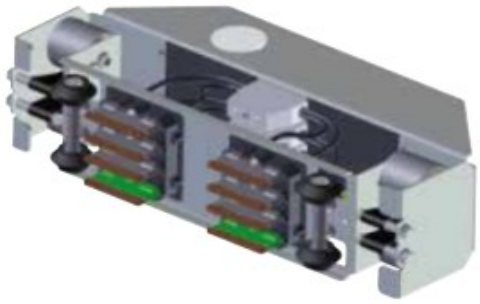
TCRA (Tray Crane) eli Tarjotinnosturi on yksi Inex Partners logistiikkakeskuksen tärkeimpiä laitteita. Se liikkuu X-, Y- ja Z-suunnassa ja lajittelee tuotteet tarjottimissa tarjotinhyllyihin omiin paikkoihinsa ja myös purkaa ne sieltä pois. Nämä tutkittavat tarjotinnosturit sijaitsevat Kuiva 1- ja Tuore 3 -alueilla.



Kuva 4. Tarjotinnosturi ja tarjotinhyllyt [9].

2.1.2 Tarjotinnosturin virroitin

Pro-Ductor-virroittimen nimellisvirran kantavuus on enintään 125A. Tämä soveltuu myös pakkasissa ja kestää jopa -30 °C astetta. Johtimien materiaalina ovat kuparia. Tämän avulla nosturin nopeus voi olla jopa 500 m/min.

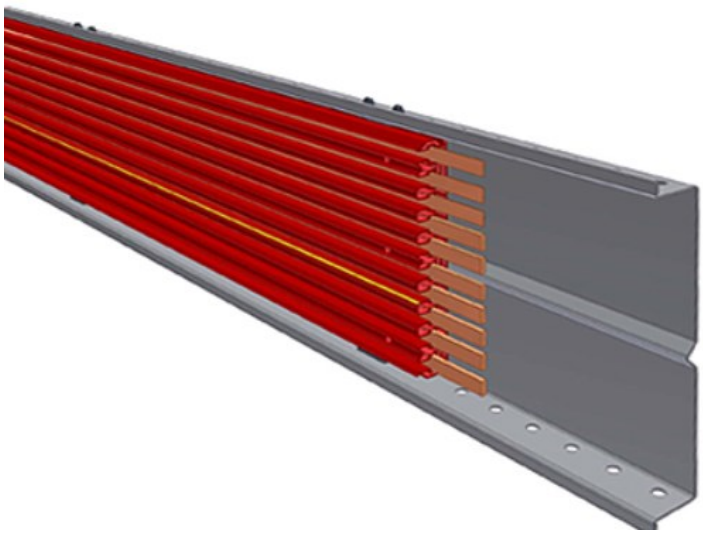


Kuva 5. Tarjotinnosturin virroitin [10].

Pro-Ductor-virroittimia on saatavana 3–4 johtimella, joiden nimellisvirran kantavuus on enintään 125A [11.]

2.1.3 Tarjotinnosturin virtakisko

Pro-Ductor-virtakisko on erityisesti suunniteltu käytettäväksi automatisoiduissa varastoissa ja tämä sopii parhaiten automatisoiduissa korkeavarastoihin. Kupa-rijohtimet sijaitsevat erikseen jokaisessa urassa. Ajonopeus voi parhaimmillaan saavuttaa jopa 500 m/min. Virtakapasiteetti on 50A. Käyttölämpötila -30 - +60 °C. [12.]



Kuva 6. Tarjotinnosturin virtakisko [13].

2.1.4 Lavanosturi

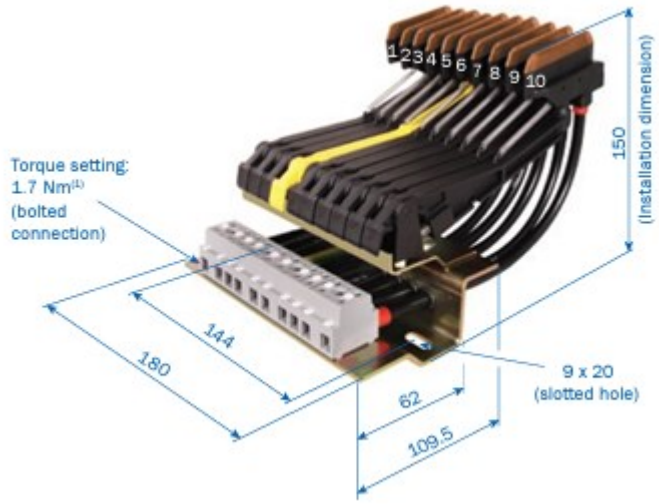
PCRA (Pallet Crane) eli Lavanosturi on yksi Inex Partners -logistiikkakeskuksen tärkeimpiä laitteita. Se liikkuu X-, Y- ja Z-suunnassa ja lajittelee lavoja lavahyllyihin omiin paikkoihinsa. Nämä tutkittavat lavanosturit sijaitsevat Kuiva 1- ja Tuore 3 -alueilla.

Kuva 7. Lavanosturi ja lavahyllyt Meijerin tehtaalla [14].

Kuva 8. Virtakisko vasemmalla ja oikealla virroitin [14].

2.1.5 Lavanosturin virroitin

Collector KESR63S-8-14HS-virroittimen napojen lukumäärä on 10. Tarkempia tietoja ei löytynyt, sillä loput tiedot olivat salaisia. [15.]



Kuva 9. Lavanosturin Collector KESR63S-8-14HS-virroitin [16].

2.1.6 Lavanosturin virtakisko

VKS10-virtakiskomalli on kehitetty erityisesti pinoamisnostureille ja se on ollut markkinoiden standardi johtaville toimittajille jo vuosia. Tämä mahdollistaa käyttötehon, ohjausvirtojen ja muiden signaalien siirron.

Tämä 10-napainen rakenne ja laajan teho alueen ansiosta kosketussuojattu järjestelmä soveltuu käytäville, nostomaastoon ja moniin sovelluksiin.

Järjestelmä auttaa havaitsemaan ongelmat ja viat varhaisessa vaiheessa ja suunnittelemaan huoltojaksoja. Tämä soveltuu hyvin kylmä- ja pakkasvarastoihin. Johtimen materiaalina on kupari.

Nimellisvirta pyörii 63-140A välillä. Napojen lukumäärä voi olla 4-10. Nimellisjännite suojajohtimella 690V. Nopeus maksimillaan jopa 450 m/min. Käyttölämpötila -30C - +55 °C välillä. [17.]

Kuva 10. Virtakisko [18].

2.2 Kupari

Kuparia on käytetty tuhansia vuosia ja näin ollen kupari oli yksi ensimmäisistä ihmisten käyttämistä metalleista. Pääsyynä sen aikaiseen löytämiseen ja käyttöön on se, että kuparia voi esiintyä luonnossa suhteellisen puhtaassa muodossa.

Tuona aikana kuparista ei tehty aseita sen pehmeyden vuoksi, vaan sitä käytettiin enimmäkseen pieniin asioihin, kuten korujen, sormuksien valmistamiseen. Kuparin kestävyyden ja sen pehmeyden eli muokkautumisen ansiosta sen käyttö

kuitenkin säilyi pitkäksi ajaksi, vielä tähän päivään asti. Kupari on yksi jalometalleista. [20.]

2.2.1 Kuparin käyttö

Kuparia käytetään monissa teollisissa sovelluksissa. Tärkeimmät käyttökohteet ovat sähköjohdot, putkityöt, kattotyöt ja teollisuuskoneet. [21.]

2.2.2 Kuparin hyödyt

1. Sähkönjohtavuus. Kuparilla on toiseksi paras sähkönjohtavuus hopean jälkeen. Kuparin ylivoimainen johtavuus mahdollistaa pienempien johtimien käytön, mikä säästää tilaa ja kustannuksia. Kuparilla on 100 prosentin johtavuusluokitus, ja nykyaikaisen teknologisen kehityksen ansiosta se voi saavuttaa jopa 101 prosentin johtavuuden omaan standardiinsa verrattuna, kun happi poistetaan. Alumiinin johtavuus on vain 61 % kuparin johtavuudesta.

2. Lämmönjohtavuus. Kupari lämpenee ja jäähtyy nopeasti ja näin se mahdollistaa ihanteellisen lämmönhallintaratkaisun. Kupari on suositeltavin materiaali lämmönvaihtosovelluksissa verrattuna alumiiniin, jonka lämmönjohtavuus on 58 prosenttia kuparista.

3. Kestävyys. Kuparia käytetään monumenteissa, kolikoissa ja rakennusmateriaaleissa, koska se kestää valtavia paineita ja äärimmäisiä lämpötilan muutoksia.

4. Korroosiokestävyys.

5. Muokattavuus. Kuparin muokattavuus mahdollistaa sen muovauksen ja prosessoinnin ainutlaatuisiin muotoihin ja kokoihin.

6. Kierrätys. Kuparilla on pisin kierrätyshistoria sivilisaation tuntemista materiaaleista. On arvioitu, että 80 prosenttia kaikesta viimeisten 10 000

vuoden aikana louhitusta kuparista on edelleen käytössä jossain päin maailmaa. Arviot osoittavat myös, että yli 30 prosenttia tämän päivän maailman vuotuisesta kuparin kysynnästä saadaan kierrätetystä kuparista. [22.]

2.2.3 Kupariseos

Kupariseoksia on yli 400, jotka sopivat moniin sovelluksiin, valmistusprosesseihin ja ympäristöihin. Seokset luodaan valmistamalla kiinteä materiaali kahdesta tai useammasta eri metallista. Kupariseoksia ovat esimerkiksi: Pronssi, messinki, kuparinikkeli ja berylliumkupari. [23.]

2.3 Hiili

Hiili (C) kuuluu epämetallisiin alkuaineisiin. Hiilen löytäminen ajoittuu esihistoriallisille ajoille. Myöhemmin 1700-luvulla vahvistettiin, että grafiitti oli hiilen muoto samalla tavalla kuin timantti (joka löydettiin 14 vuotta aiemmin). [24.]

2.3.1 Hiilen esiintyminen

Hiiltä luonnehditaan maailmankaikkeuden neljänneksi yleisimmäksi alkuaineeksi ja maankuoren 15. yleisimmäksi alkuaineeksi.

Hiili esiintyy eri muodoissa, joita kutsutaan allotroopeiksi. Hiilen yleisiä allotrooppeja ovat timantti ja grafiitti. [25.]

2.3.2 Hiilen fyysiset ominaisuudet

Hiilen eri muodoilla on erilaisia fysikaalisia ominaisuuksia. Tässä tutkimuksessa keskitytään eniten grafiittiin, joka on mustaa, pehmeää ja tahraavaa materiaalia, kun taas kristalli on läpinäkyvää ja kovin luonnon elementti.

Grafiitin sähkönjohtavuus on erinomainen ja parempi verrattuna timanttiin, joka on erinomainen sähköeriste. Grafiitti on myös jalollinen materiaali. [26.]

Witronin nostureiden virroittimissa käytetään grafiittia [18].

Grafiitti kestää ihan mitä vaan, kunhan sitä ei polta [27].

2.3.3 Hiilen kemialliset ominaisuudet

Hiili on reaktiivista ainetta ja muodostaa noin miljoona erilaista yhdistettä, ja niiden määrä kasvaa merkittävästi joka vuosi. Grafiitti on reaktiivisempi kuin timantti. Hiili kestää hyvin voimakkaimpien hapettimien aiheuttamaa hapettumista normaaleissa olosuhteissa. [28.]

2.3.4 Hiilen käyttö

Grafiittia käytetään laajalti eri teollisuuksien laitteissa, kuten rasvaisten voiteluaineiden valmistuksessa, moottoreiden hiiliharjoissa.

Aktiivihiiltä tai puuhiiltä käytetään suodattimien valmistuksessa hengityssuojaimiin ja keittiön liesituulettimiin.

Timanttia käytetään porien ja jyrsinten valmistuksessa kivien ja muiden kovien materiaalien leikkaamiseen sen valtavan lujuuden ja kestävyyden vuoksi.

Hiilikuitua käytetään onkivapojen, tennismailojen ja lentokoneiden valmistuksessa, koska se on poikkeuksellisen vahvaa ja kevyttä.

Hiili on mullistanut nanoteknologian löytämällä hiilinanoputkia, joita käytetään laajalti elektroniikkateollisuudessa. Hiilimustaa käytetään pigmenttien ja musteiden valmistuksessa. Hiilidioksidia käytetään sammuttimissa. [29.]

2.3.5 Hiilen yleisiä sisältöjä teollisuudessa

Laatuja on esimerkiksi luonnon grafiitteja, joita löytyy suoraan luonnosta. Sitten on muokattuja grafiitteja, joita löytyy kuituvalmisteisissa hiiliharjoissa, joissa on suuri ominaisresistanssi.

Sitten löytyy myös elektro-grafiittisia hiiliharjoja, joita käytetään eniten, koska siinä on grafiittia suurin osa ja saattaa kestää paremmin kosteuksien vaihtelua. Sitten löytyy myös hopea grafiittisia hiiliharjoja, joilla saadaan ominaisresistanssi pieneksi.

Materiaalit täytyvät olla standardien mukaisia ja luonnonystävällisiä, koska ne eivät saa aiheuttaa vaaraa muille ja erikoisaineista täytyisi tiedottaa käyttöturvatiedotteessa [30.]

2.4 Ilman kosteus

Ilman kosteus on ilmassa esiintyvää vesihöyryä, jota ei pysty silmin havaita eikä kosketuksella tuntea. Lämpötilalla on vaikutusta vesihöyryn määrään ilmassa. Mitä lämpimämpi ilma, sitä enemmän se pidättää höyryä ja kylmässä ilmassa se on päinvastoin.

Kosteuden ilmaisemisessa käytetään eri suureita.

- Suhteellinen kosteus ilmaistaan prosenttilukuna, joka kertoo vesihöyryn määrän ilmassa prosenttiosuutena sen hetken lämpötilaan verraten [31.]

- Kastepiste on lämpötila, johon ilman täytyy jäähtyä, jotta se kyllästyy täysin vedellä. Jos ilma jäähtyy edelleen kastepisteen alapuolelle, ilmassa oleva vesi alkaa tiivistyä kasteen muodossa [32].

- Kosteussisältö ilmaisee ilmassa olevan kosteuden painoyksikön.

- Absoluuttinen kosteus kertoo, että kuinka paljon vesihöyryä grammoissa sisältyy ilmaan kuutiometreissä, eli (g/m³).

- Kyllästyskosteus kertoo, että paljonko jokaisessa lämpötilassa on vesihöyryä ilmassa [31.]

Tässä työssä keskitytään suhteelliseen kosteuteen

2.5 Korroosio

Ennen kuin voidaan selvittää kuparin ja hiilen kulumisen syitä, täytyy perehtyä korroosion ja sen eri muotoihin.

Korroosiosta voidaan puhua silloin, kun samalla pinnalla tapahtuu hapettumista ja pelkistymistä, eli hapettuva pinta alkaa vaipua käyttökelvottomaan kuntoon [33].

Korroosio on sähkökemiallinen prosessi, jossa metalli hapettuu ympäristön ulkoistentekijöiden vaikutuksesta. Hapettuessaan metalli syöpyy eli luovuttaa elektroneja.

Hapettuvaa pintaa kuvaillaan anodiksi ja pintaa, joka suojautuu, kutsutaan katodiksi [33].

Katodi on jalompi kuin anodi. Korroosion aiheuttava voima sille tapahtumalle on sitä suurempi, mitä suurempi jalousero katodilla ja anodilla on. Jalousero ratkaisee korroosion nopeuden [27.]

2.5.1 Korroosion tärkeys

Korroosion tietäminen on tärkeää, koska olisi järjetöntä, jos suunnittelija jättäisi jostain kokoonpanokoneesta huomioimatta korroosionäkökohdat, koska lähes

kaikki ympäristönolosuhteet voivat aiheuttaa korroosiota laitteen materiaalille. Joskus pienikin määrä materiaalin syöpymisestä voi vaikuttaa merkittävästi laitteen toimintaan ja sen käytettävyyteen.

Yhdysvalloissa arvioidaan, että korroosion vuosikustannukset ylittävät 600 miljardia dollaria.

Korroosiokustannuksiltaan korkeimpia toimialoja ovat juomavesi-/viemäröintijärjestelmät ja eri teollisuuden alat, kuten autoteollisuus. Muut korroosion seuraukset kuten ruosteiden autojen romutukset ja vaihtamisen ympäristövaikutukset sekä esimerkiksi teiden ja siltojen uusimisesta johtuvien rakentamisen viivästysten taloudelliset ja ympäristövaikutukset pahentavat edellä mainittua kustannusarviota.

Näin ollen korroosion epähuomioon jättäminen aiheuttaa esimerkiksi tehtaan laitteille enemmän huoltoja, varaosien vaihtamista ja pahimmassa tapauksessa laitteiden rikkoutumisen [34, s. 134].

2.6 Korroosion eri muodot

Korroosio-ongelmien ehkäisy ja niiden analysoiminen edellyttää järjestelmässä mahdollisesti esiintyvän korroosion tyypin tunnistamista. Korroosion tyypit on jaettu kahdeksaan. [35, s.142–143.]

2.6.1 Ilmakehän korroosio

Ilmastollinen korroosio eli Ilmakehän korroosio riippuu elektrolyytin läsnäolosta, joka voi olla sade, kaste, kosteus tai sulava lumi.

Ilmakehän korroosio tapahtuu kosteissa olosuhteissa, joissa ilman suhteellinen kosteus ylittää suhteellisen tasapainokosteuden yli minkä tahansa metallin pinnalla olevan kylläisen liuoksen. Ilmakehän korroosio voidaan luokitella sellaisiin luokkiin kuin kuivakorroosio, kosteakorroosio ja märkäkorroosio. Sää voidaan

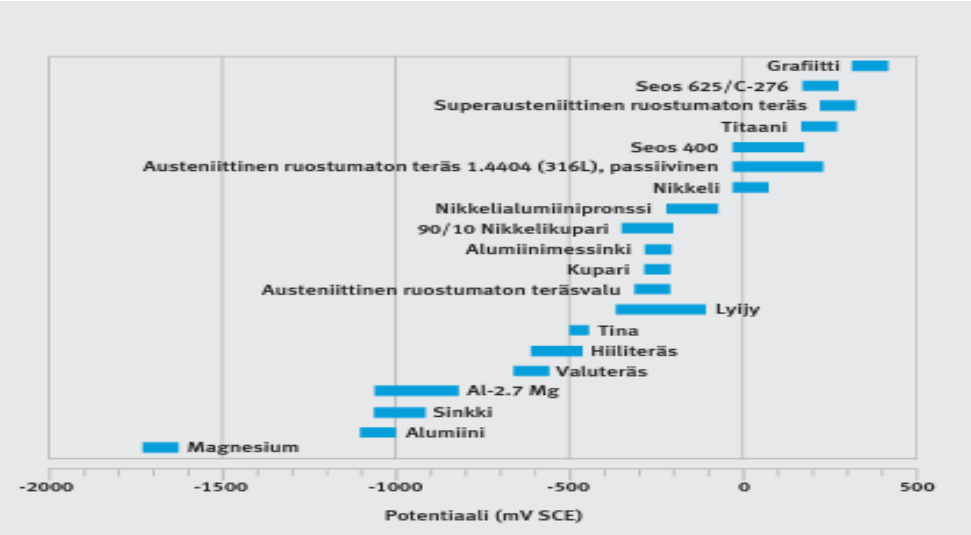
määritellä ilmakehän olosuhteiden kokonaismääräksi tietyssä paikassa ja tiettynä aikana. Ilmakehän metallien korroosioon vaikuttavia tekijöitä ovat kosteuden- ja veden adsorptioaika. [36.]

2.6.2 Galvaaninen korroosio

Kontaktikorroosio eli Galvaaninen korroosio viittaa korroosiovaurioon, joka syntyy kahden eri metallin- sähköisessä kosketuksessa elektrolyytissä tai jaloudeltaan eri materiaalia sähköisessä kosketuksessa elektrolyytissä, jolloin jalompi metalli tai jalo materiaali suojautuu ja asettuu katodiksi ja aktiivisempi metalli tai jalo materiaali pyrkii syöpymään ja asettumaan anodiksi.

Galvaaniseen korroosioon tarvitaan 3 ehtoa.

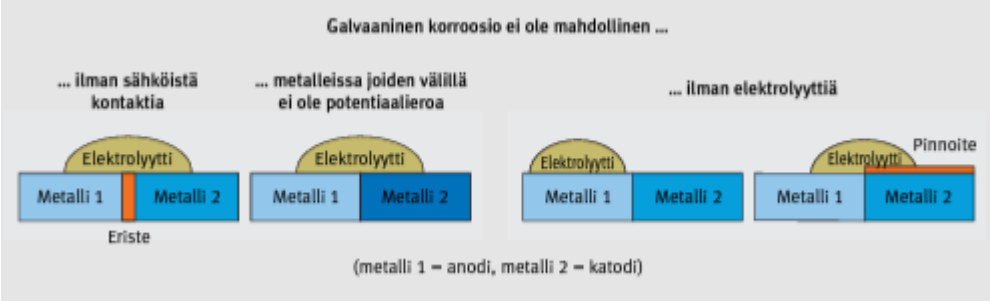
- Mukana tulee olla sähkökemiallisesti erilaisia metalleja tai kaksi erilaista jaloa materiaalia.
- Metallien tai materiaalien on oltava sähköisessä kosketuksessa.
- Metallit tai eri materiaalit on altistettava elektrolyytille [37.]



Kuva 11. Galvaaninen sarja, joka kertoo näiden materiaalien jalouserosta [38].

Mitä kauempana kaksi metallia tai jaloa materiaalia ovat toisistaan kyseissä kuvassa (Kuva 38.), sitä suurempi on korroosion mahdollisuus, kun ne kytketään elektrolyyttiin. Esimerkiksi magnesium ja hiiliteräs ovat huono yhdistelmä. [39. s. 144.]

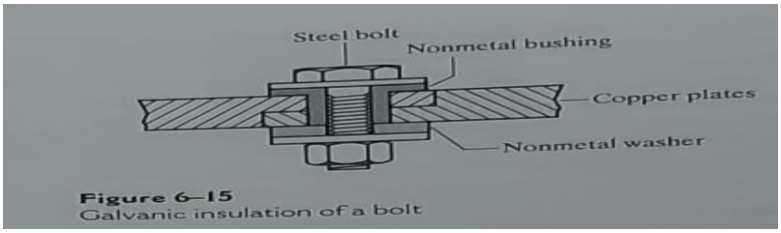
Jos katsotaan grafiitin ja kuparin jalouseroa, niin huomataan selkeä jalousero.



Kuva 12. Olosuhteita, joissa ei voi esiintyä galvaanista korroosiota [38].

Galvaanista korroosiota säätelevä tekijä on myös anodin ja katodin suhteellinen koko. Jos anodi on pieni suhteessa katodiin, hyökkäys anodiin on suuri. Jos tilanne on päinvastainen, hyökkäys on matala, vaikka ero galvaanisessa sarjassa on suuri. Esimerkiksi teräslevyssä oleva alumiinipultti on erittäin herkkä galvaaniselle hyökkäykselle, koska siinä on pieni anodi (alumiinipultti) ja suuri katodi (levy). Käänteinen tilanne, teräspultti alumiinilevyssä, olisi vähemmän altis havaittavalle hyökkäykselle, koska anodi on suurempi katodiin verrattuna.

Galvaanista korroosiota on helppo hallita, kun ei sekoita elektrolyyttiin upotettuja metalleja. Jos metallien sekoittamista ei voi välttää niin nämä kaksi metallia tulee eristää sähköisesti, jotta niiden välillä ei ole polkua virtaukselle. [40, s. 145]



Kuva 13. Pultin galvaaninen eristys [40, s.145].

2.6.3 Pistekorroosio

Pistekorroosio on yksinkertaisesti paikallinen korroosionvaurio, joka aiheuttaa hajanaisia pieniä reikiä metalliin.

Tämä on salakavala korroosionmuoto, koska osan käyttökelpoisuuden voi menettää suhteellisen pienen metallimäärän poistamisen vuoksi. Jos esimerkiksi yksittäinen kuoppa lävistää putken säiliön sivun, huolettavuus menetettäisiin, kunnes kuoppa korjataan. [41, s.143.]

2.6.4 Rakokorroosio

Rakokorroosio on paikallinen hyökkäys metallien välisiin pintoihin tai metallin ja ei-metallipintojen väliseen rakoon. Rakokorroosiota syntyy yleensä huonosti tiivistetyissä putkilaipoissa sekä nesteisiin upotettujen pulttienpäiden ja kiinnikkeiden alla. [42, s. 144.]

2.6.5 Jännityskorroosio

Jännityskorroosio eroaa muista siten, että materiaalin huononeminen ei johdu merkittävästä materiaalin poistosta, vaan halkeilusta. Tätä ilmiötä ei tunneta hyvin, mutta sitä esiintyy muoveissa, alumiiniseoksissa, kupariseoksissa, magnesiumseoksissa, hiiliteräksissä jne.

Jännityskorroosiohalkeamiseen vaikuttavat voimakkaasti lämpökäsittelyn kunto ja osan jännitys. [43, s. 145.]

2.6.6 Tasainen korroosio

Yleinen korroosio eli tasainen korroosio esiintyy siten, että metalli syöpyy tasaiseen tahtiin koko pinnaltaan, kun anodisen ja katodisen alueet vaihtavat jatkuvasti paikkoja ja tätä ilmiötä yleensä esiintyy suojaamattomilla metallipinnoilla erilaisissa ilmaston-olosuhteissa. [44, s. 64.]

Yleistä korroosiota esiintyy esimerkiksi peltipurkkipuskassa, jossa se syöpyy tasaisessa tahdissa.

2.6.7 Eroosio

Eroosio eroaa korroosiosta siten, että eroosio on fyysinen prosessi ja korroosio on kemiallinen prosessi.

Eroosiosta puhutaan silloin, kun luonnollisen ulkopuolisen tekijän tai painovoiman vaikutuksesta kiviosat liikkuvat, eli tällä tarkoitetaan toisin sanoen aineen fyysisiä muutoksia kun taas korroosiolla tarkoitetaan aineen kemiallisia muutoksia.

Eroosioon vaikuttavat tekijät ovat esimerkiksi, vesi, ilma, lumi, eläimet, kasvit, tuuli ja ihmiset, kun taas korroosiota aiheuttavat aineet ovat esimerkiksi happi [45].

2.6.8 Raerajakorroosio

Raerajakorroosio voi syntyä metalliseosten jäähdytyksen, lämpökäsittelyn, hitsauksen tai korkean lämpötilan vaikutuksesta, kun raerajoihin muodostuu yhdisteitä, jotka heikentävät metallin korroosionkestävyyttä.

Raerajakorroosiota voivat laukaista epäpuhtaudet, jotka suodattuvat raerajoille, tai tietyn seosaineen kertyminen tai väheneminen raerajojen ympärillä olevassa matriisissa johtuen raerajaerkaumista. Esimerkiksi, jos alumiiniseokseen liittyy rautaepäpuhtautta, ja raudan liukoisuus matriisiin on alhainen, rauta voi kertyä raerajoille, mikä puolestaan aiheuttaa raerajakorroosiota. [46.]

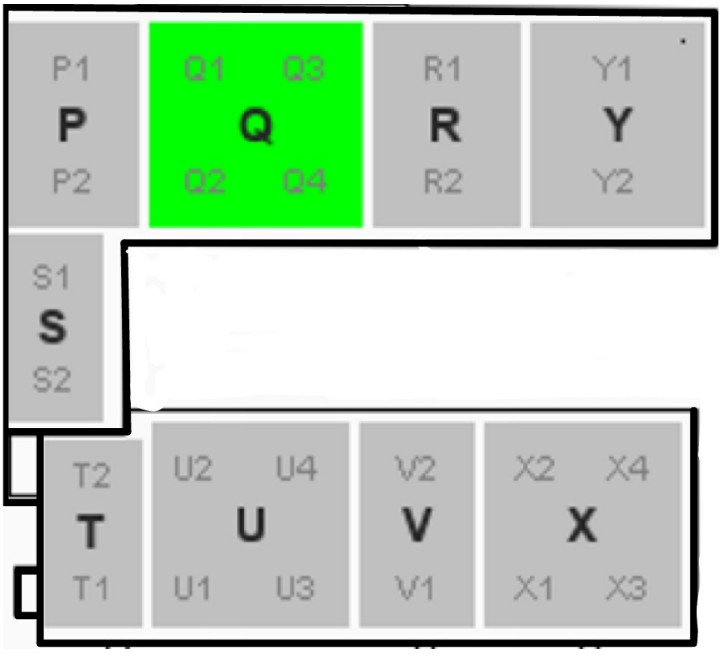
3 Kulumisen syiden selvitys

WITRONILLA on huolloissa 5 vuoden aikana havaittu merkittävämpää ja nopeampaa kuparien ja hiilien kulumista PCRA- ja TCRA-virroittimissa ja virtakiskoissa kostutetuissa tiloissa. Tavoitteena oli lähteä tutkimaan kuparin ja hiilen kulumisen syitä ja huomioida ulkoisia tekijöitä, jotka edesauttavat kuparin ja hiilen kulumista.

Tutkimus aloitettiin vertaamalla Q- ja U-lohkojen suhteellista kosteutta ja lämpötilaeroja.

3.1 Suhteellisen kosteuden ja lämpötilaerojen vertailut

Tehtaalta saatiin kosteuden ja lämpötilojen tiedot tammikuun 2023 – syyskuun 2023 välisenä aikana.



Kuva 14. Päivittäistavarakaupan kosteus- ja lämpötilaanturit kirjainmuodoissa [47].

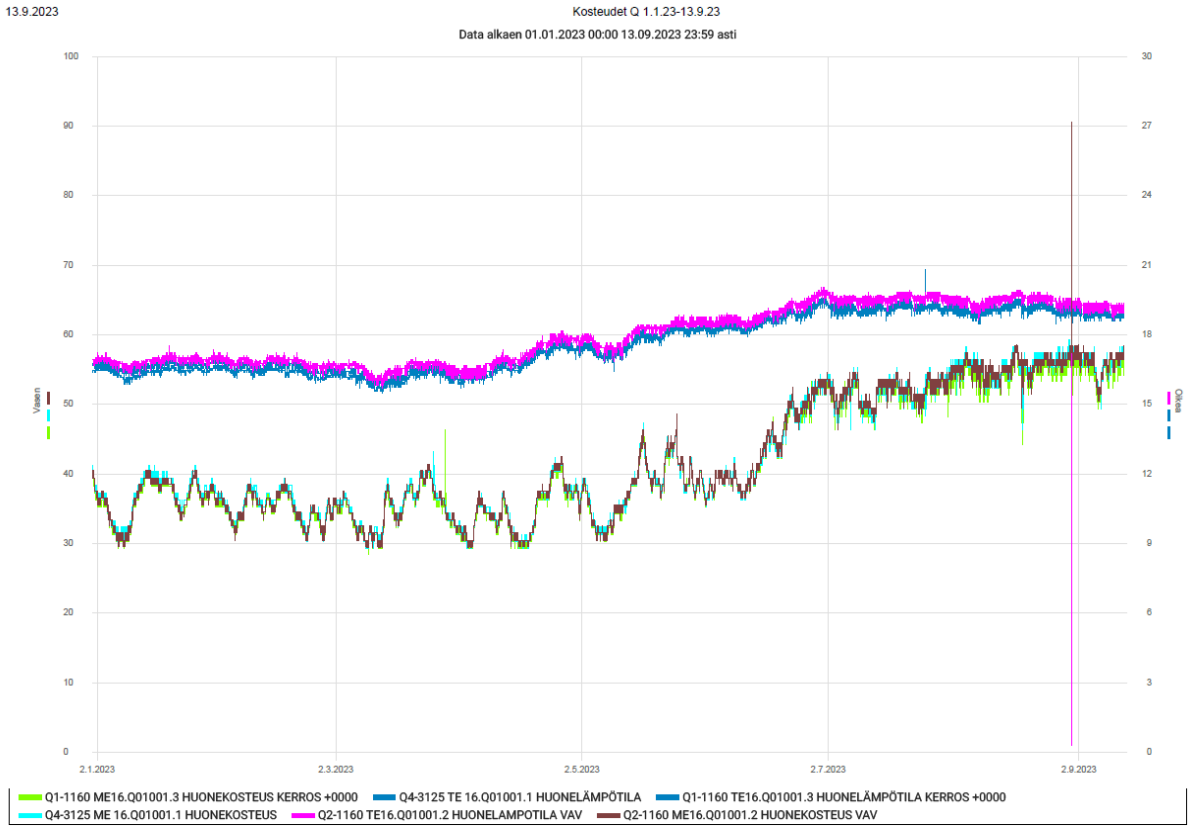
P-, Q- ja R-kirjaimet ovat Kuiva 1 -tuotantoaluetta ja Y-alue kuvaa Kuiva 2 -tuotantoaluetta. Q2-, Q1- ja Q4 -alueilla ovat kosteuden mitta-antureita ja

lämpötila-antureita. T- ja U-kirjaimet kuvaavat Tuore 3 -aluetta ja V-kirjain kuvaa Vaihe 4 -tuotantoaluetta.

U1-, U2-, U3- ja U4- alueilla ovat lämpötila- ja kosteuden mittaus-antureita. V1- ja V2 -alueilla ovat lämpötila- ja kosteuden-mittausanturit. X-kirjain kuvaa Pakkasen tuotantoaluetta. [47.]

Saatujen logistiikkakeskuksen datatietojen mukaan, jossa näkyivät suhteellisen kosteuden- ja lämpötilamuutokset tänä vuonna ja jossa huomioitiin myös eri vuoden ajat.

Huomattiin, että suhteellinen kosteus oli erittäin vaihtelevaa U-lohkossa ja se liikkui 80-90 % välillä. Q-lohkossa taas kosteus ei ylittänyt 60 % ja lopussa suhteellinen kosteus oli vaihtelevaa.

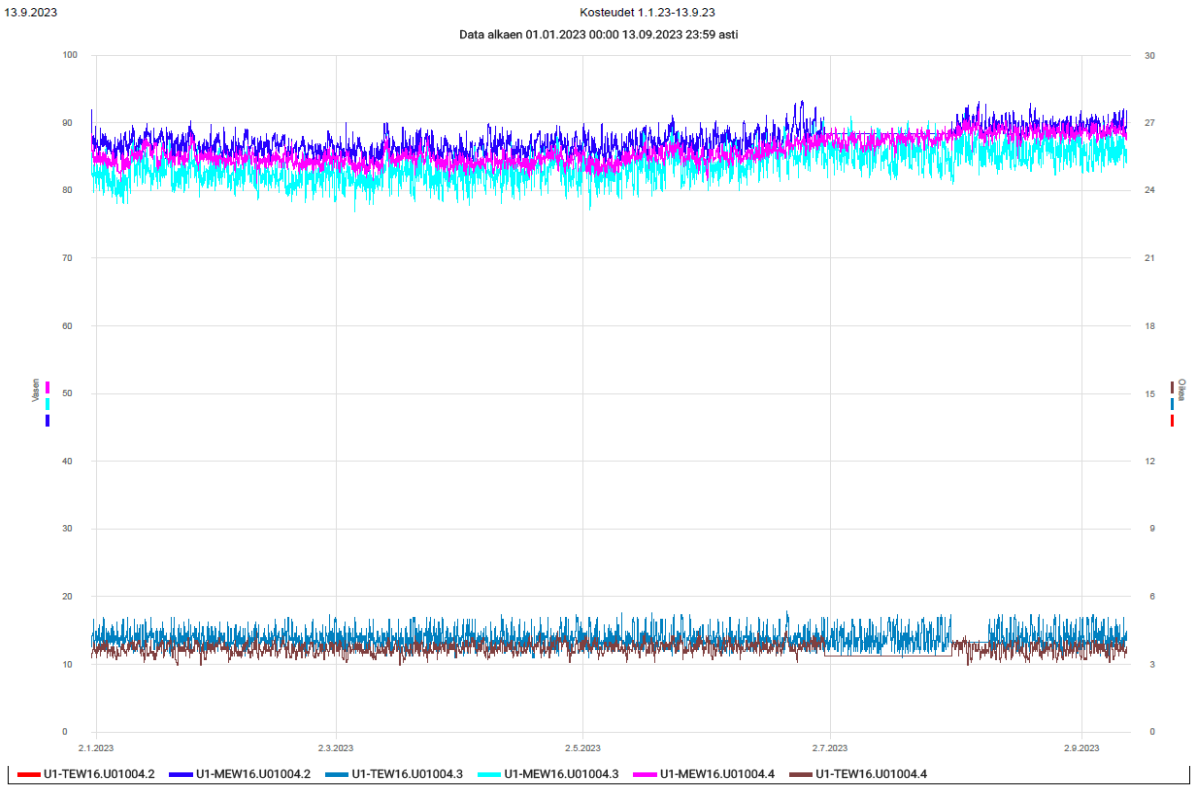


Kuva 15. Kosteus ja lämpötila muutokset Q-alueella 01.01.-13.09.2023 aikana [47.]

Vasemmanpuoleisen sarakkeen luvut kertovat suhteellisesta kosteudesta ja oikeanpuolimmaisen sarakkeen luvut kertovat lämpötilasta.

Violetti (Q2 alueen lämpötila anturi) ja sininen Q1- ja Q4 -alueiden lämpötila-anturit kertovat lämpötilan muutosta tämän vuoden aikana, jossa se pyöri 18–21 °C lämpötilassa.

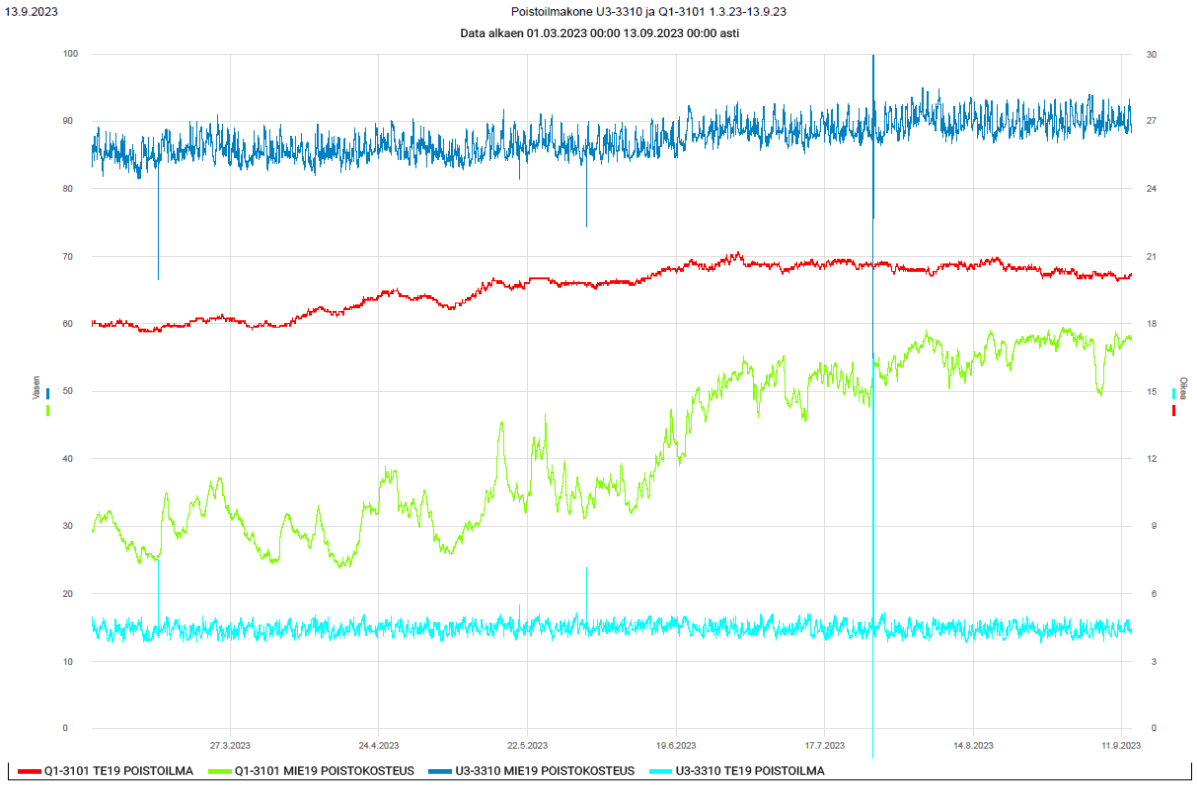
Vaaleansininen Q4-, vaaleanvihreä Q1-, ja Q2-ruskea anturi kertovat suhteellisen kosteuden muutoksista, jossa lopussa se oli noussut hieman alle 60 % [47.]



Kuva 16. Kosteus- ja lämpötilamuutokset U-alueella 01.01.-13.09.2023 aikana [47.]

Vasemmanpuoleisen sarakkeen luvut kertovat suhteellisesta kosteudesta ja oikeanpuolimmaisen sarakkeen luvut kertovat lämpötilasta.

Lämpötila-anturit U1-TEW16.U01004.3 ja U1-TEW16.U01004.4 kertovat lämpötilanmuutoksista, jossa todettiin, että lämpötila oli pysynyt samana koko vuoden, eli noin +4 °C asteessa. Kun taas kosteusanturit U1-MEW16.U01004.4, U1-MEW16.U01004.3 ja U1-MEW16.U01004.2 mittasivat suhteellista kosteutta ja todettiin, että kosteus on ollut vaihtelevaa ja pyörinyt 80–90 % välillä ja ajoittain mennyt yli 90 %. [47.]



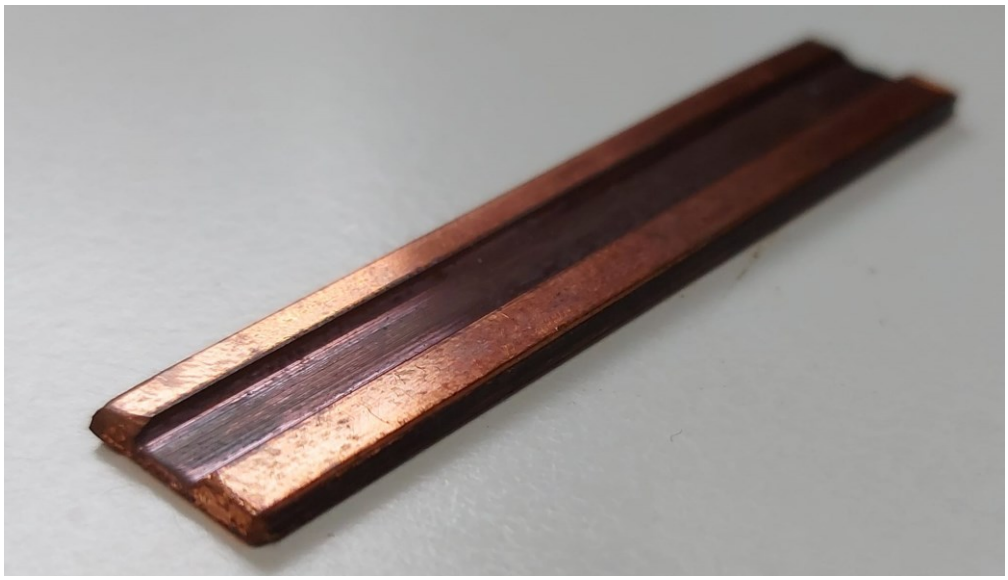
Kuva 17. Q- ja U-lohkojen suhteellisen kosteuden ja lämpötila vertailu tilasto [47.]

Tässä voidaan todeta tarkemmin, että U-lohkossa suhteellinen kosteus on ollut vähimmillään 80 % ja enimmillään yli 90 % ja Q-lohkossa vähimmillään noin 25 % ja enimmillään alle 60 %. Lämpötila U-lohkossa on pysynyt läpi vuoden miltei saman noin +4 °C. Q-lohkossa lämpötila pysyi 18–21 °C asteen välillä.

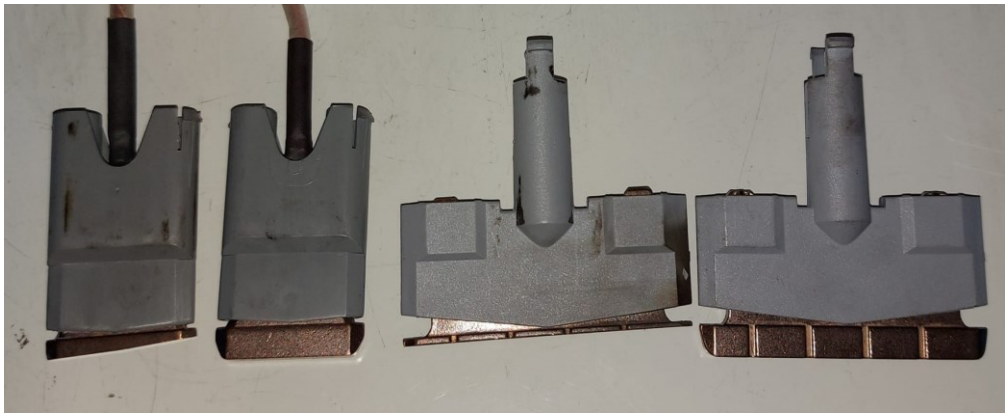
3.2 Selvitys

WITRONIN huollossa oli havaittu, että kupari kuluu Tuore 3 -puolella puolet nopeammin kuin Kuiva 1 -puolella. Havaittiin myös, että grafiitti kuluu Tuore 3 -

puolella 4 kertaa nopeammin kuin Kuiva 1 -puolella [47.] Valmistajiin oltiin yhteydessä liittyen kuparin ja hiilen materiaalien sisällöstä, mutta he eivät suostuneet antamaan tarkempia tietoja niiden sisällöstä.



Kuva 18. Kulunut kupari.



Kuva 19. Kuluneet ja uudet hiilet vierekkäin.

Voidaan todeta, että teollisuudessa käytetään mahdollisimman puhdasta kuparia, koska se toimii erinomaisena sähkön- ja lämmönjohtimena. [30, 27].

Aluksi näytti siltä, että hiilen valinnalla voitaisiin vaikuttaa kuparin kulumiseen, mutta olosuhteet huomioiden kyseessä on todennäköisesti galvaaninen korroosio.

Kun virroittimissa ja virtakiskoissa kuluu hiilet ja kuparit, niin silloin katsotaan näiden kahden materiaalin välistä yhteyttä. Metalleilla on jalouseroja ja grafiitti on hyvin jalo materiaalinen, joka on galvaanisen sarjan huipulla (katso Kuva 11). Grafiitilla ja kuparilla on selkeä jalousero ja tämä saa aikaan sen, että kuparin pinta lähtee syöpymään ja kuparin pinnasta tulee epätasainen, ja kun grafiitti liukuu sitä vasten, niin se kuluu huomattavasti nopeammin.

Jalometallikuparin syöpyminen tapahtuu, kun se joutuu sähköiseen kosketukseen grafiitin kanssa elektrolyytissä, jolloin kupari pyrkii syöpymään ja asettuu anodiksi ja grafiitti pyrkii suojautumaan ja asettumaan katodiksi. Tämä ilmiö on galvaaninen korroosio.

Grafiitti on jalomateriaalinen aine ja hyvin sähköä johtava materiaali ja vaikka grafiitti ei ole metallia, niin se vaikuttaa kupariin kuitenkin samalla tavalla, koska se johtaa hyvin sähköä ja sillä on mitattavissa korroosio potentiaali tai se on hyvin korkea ja se on jalo materiaali [27.]

Kuva 20. Havainnointikuva virtakiskon ja virroittimen kontaktista [14]

Suhteellinen kosteus oli Tuore-puolella vaihtelevaa 80–90 % välillä ja Kuiva-puolella 25–60 %. Aluksi heikkojen lähteiden takia vaikutti siltä, että suhteellisen

kosteuden vaihtelu edistäisi galvaanisen korroosion prosessia, mutta uusien lähteiden mukaan näin ei ole.

Haastattelun aikana Metropolian Ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan yliopettaja K.Laitisen mukaan suhteellisen kosteuden vaihtelun vaikutus ei edistä kuparin eikä hiilen kulumista, koska kun suhteellinen kosteus ylittää yli 60 %, niin kuparin pinnalle on jo muodostunut vesikalvo, ja silloin siellä alkaa tapahtua korroosiota ja täten suhteellisen kosteuden vaihtumisella ei ole enää väliä, kun se ylittää 60 %. Hänen mukaansa suhteellinen kosteus pitäisi saada alle 60 %, jotta korroosiota voidaan välttää, koska muuten kuparin pinnalle muodostuu vesikalvo ja sen myötä pinta lähtee syöpymään. [27.] Kuiva-puolen suhteellisen kosteuden takia, korroosion mahdollisuus ei ollut kaukana syyskuussa 2023.

Voidaan todeta, että sähkönvirta ei edistä kuparin eikä hiilen kulumista, koska sama ilmiö tapahtuisi, jos pinnat olisivat virrattomat. K.Laitisen mukaan kitka vaikuttaisi tähän ilmiöön silloin, jos grafiitti olisi kuivaa, silloin kitka olisi suuri, näin ollen se edistäisi hiilen kulumista, mutta jos grafiitti olisi kosteaa niin silloin kitka pysyisi pienenä. Grafiittia käytetään myös kuivana voiteluaineena. [27.] Virroittimien hiili oli kuivaa ja tehtaalla ei ollut kitkatesteihin soveltuvia laitteita, joten kitkaan liittyvät tehtävät testit jäivät tekemättä.

Tuore- ja Kuivapuolen lämpötilaero ei edistä kuparin ja grafiitin kulumista, koska Metropolia Ammattikorkeakoulun yliopettaja K. Laajalehdon mukaan noin 20 °C lämpötila ero ei pitäisi vaikuttaa kuparin ja hiilen kulumiseen. Tarvittaisiin paljon korkeimpia lämpötiloja, jotta se edistäisi niiden kulumista. [47.]. Pakkasen (-26 °C), ATS:n (+2 °C) ja Kuivan 1 (18 – 21 °C) tuotannon alueilla kupari ja hiili kuluivat normaaliin tahtiin, kun taas Tuore 3 (+4 – 13 °C) alueen tutkittavan laitteen kohdalla (+4°C) kuluminen oli huomattavasti nopeampaa ja lämpötila pysyi samana läpi vuoden.

3.3 Korroosion torjuminen

Tämä ilmiö on varmasti monen eri tehtaan päänvaiva, mutta korroosiomuotoihin on suojauskeinoja. Täytyy muistaa 3 asiaa.

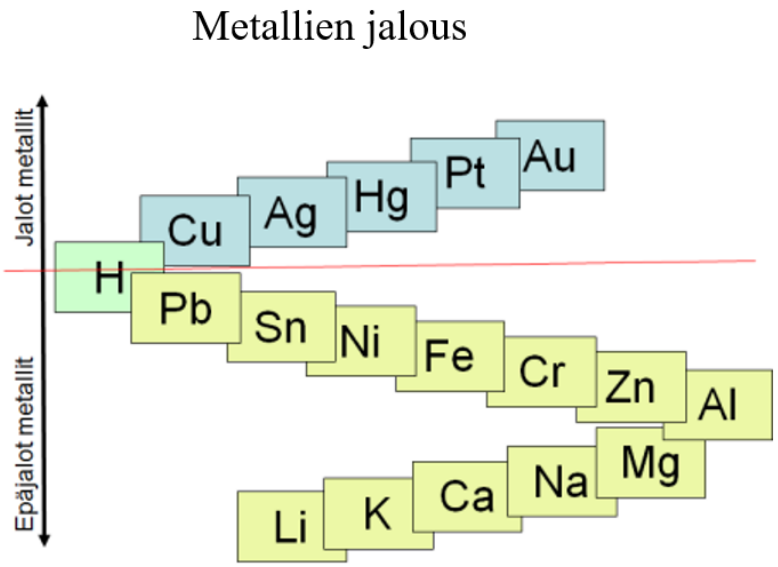
- Materiaalin valinta. Kupari on korroosionkestävää, mutta ei immuuni, jos on tilanne, ettei kuparin pitäminen siinä toimi, silloin kuparin pinnan voisi pinnoittaa jalommalla metallilla, kuten esimerkiksi hopealla. Hopea olisi paras vaihtoehto pinnoittamiselle, koska hopealla on paras sähkönjohtavuus ja näin sähkönjohtavuus ei heikkenisi.

- Ympäristönhallinta. Pitäisi huomioida ympäristön ulkoiset tekijät. Tässä tapauksessa syy lähtee suhteellisesta kosteudesta, joka on ylittänyt 60 %. Yksi ratkaisu olisi saada suhteellinen kosteus alle 60 %, jotta kuparin pinnalle ei muodostuisi vesikalvoa. Tämän ehdotuksen käyttöönotto ei luultavasti olisi ideaalista, koska Inex Partners Oy haluaa Tuore-puolen tuotteensa mahdollisimman tuoreina asiakkaille, sen takia suhteellinen kosteus pysyy yli 80 %.

  Toinen vaihtoehto olisi eristää kuparin pinta kosteudelta, jollain muovilla, mutta tämän toteuttaminen olisi haastavaa [27.]

- Suunnittelu. Täytyisi jo suunnittelu vaiheessa valita sopivat materiaalit. Jos tämä ei ole mahdollista, silloin voisi miettiä, että kuinka eristää sähköisesti kuparin ja hiilen välinen kontakti, esimerkiksi. muovisella välilevyllä tai eristeellä. [48.]

- Jos tila on kosteaa niin silloin tämän tyyppisen virroittimen tilalle voitaisiin käyttää energiansiirtoketjua. Tätä voisi laittaa nostoyksikköön, mutta ei ajoyksikköön sen nopeuden takia. [49.]



Kuva 21. Metallien jalous [50].

Paras vaihtoehto tässä tilanteessa olisi pinnoittaa kuparin pinta jalommalla metallilla. Paras vaihtoehto olisi hopea, sen sähkönjohtavuuden kannalta. Näin myös sähkönjohtavuus olisi tehokasta (Kuva 19.) [27.], myös kuvassa 13 esitetään galvaaninen eritys.

4 Tulokset ja yhteenveto

Tutkimustyö osoittautui hyödylliseksi. Kuparin ja hiilen kulumisen syy löytyi ja selvitettiin myös erilaisten ulkoisten tekijöiden vaikutusta kuparin ja hiilen kulumiseen. Syvällisiä tutkimuksia ei ollut mahdollista toteuttaa. Saatujen tietojen mukaan kyseessä on todennäköisesti galvaaninen korroosio.

Kun suhteellinen kosteus ylittää yli 60 %, silloin kuparin pinnalle muodostuu vesikalvo, jonka kuparin pinta lähtee syöpymään ja sen pinnasta tulee epätasainen. Kun virroittimen grafiitti liukuu sen pintaan vasten, se kuluu huomattavasti nopeammin ja täten tästä ilmiöstä aiheutuu galvaaninen korroosio.

Grafiitilla ja kuparilla on selkeä jalousero. Kuparin syöpyminen tapahtuu, kun se joutuu sähköiseen kosketuksen grafiitin kanssa elektrolyytissä, jolloin kupari pyrkii syöpymään asettuen anodiksi ja grafiitti pyrkii suojautumaan asettuen katodiksi. Vaikka grafiitti ei ole metallia, mutta se on jalo ja sähkön johtava materiaali, jolla on mitattavissa korroosiopotentiaali ja näin se vaikuttaa samalla tavalla kuin metalli. Grafiitin vaihtaminen ei ratkaisisi tätä ongelmaa, koska kaikki grafiitti on jalompaa kuin kupari ja kun ne joutuvat sähköiseen kosketukseen elektrolyytissä, niin kupari lähtee syöpymään ja täten sama ilmiö toteutuisi.

Tuloksissa myös selvisi, että suhteellisen kosteuden vaihtelu ei edistä galvaanista korroosiota, sillä K. Laitisen mukaan riittää, että suhteellinen kosteus ylittää yli 60 %. Kuiva- ja Tuorepuolen tutkittavien laitteiden kohtien lämpötilaerolla (+4 °C) ei ollut vaikutusta korroosion edistämiseen. Sähkönvirta ei edistä korroosiota, koska sama ilmiö tapahtuisi myös virrattomassa olosuhteessa.

Kitkan vaikutus riippuu grafiitin materiaalista. Jos se on kosteaa, silloin se on liukas ja kitka jäisi pieneksi. Jos se olisi kuivaa grafiittia (joka on virroittimissa), niin silloin kitka olisi suuri. Voidaan olettaa, että kitka edistäisi, mutta tämä asia jäi toteuttamatta, koska tehtaalla ei ollut kitkatesteihin soveltuvia laitteita, joten kitkaan tehtävät testit jäivät tekemättä. Valmistajilta ei saatu grafiitin eikä kuparin sisällön tietoja.

Tutkimusta tehtiin perehtyen samankaltaisiin tutkielmiin, haastatellen materiaalitekniikan asiantuntijoita ja yliopettajia ja lukemalla kirjallisuutta.

Tämän opinnäytetyön aikana perehdyttiin kupariin, hiileen, niiden ominaisuuksiin, myös korroosioon ja sen eri olomuotoihin, koska ne olivat ratkaisevia tekijöitä tämän ongelman selvittämiseksi.

Lisäksi myös tutustuttiin nostureihin ja niiden virroittimiin ja virtakiskoihin.

WIOSS WITRON on Site Services GmbH voivat hyödyntää tätä opinnäytetyötä tulevaisuudessa ja voivat keventää heidän kunnossapitonsa- ja huoltonsa resursseja. Opinnäytetyö voi auttaa optimoimaan varaosien käyttöä, vähentäen tarvetta uusien varaosien tilaukseen ja näin vähentäen Inex Partners Oy:n kuluja. WITRON voi myös tulevissa projekteissaan ottaa näitä (ympäristön ulkoiset tekijät, materiaalin valinta) asioita huomioon tehdessä sopimuksia laitteen- ja komponenttien valmistajien kanssa jo suunnitteluvaiheessa, jotta vältyttäisiin esimerkiksi tämänkaltaisilta ongelmilta.

Tämä oli hyödyllinen tutkimustyö WITRONILTA ja Inex Partners Oy:lle, koska tulevaisuudessa he voivat hyödyntää tätä opinnäytetyötä ja vaikuttaa heidän virroittimien ja virtakiskojen kulumiseen.

Tämä vaikuttaisi yrityksen taloudelliseen tehokkuuteen, ja he saavat tietoa korroosiosta, sen vaaroista ja kuinka ennaltaehkäistä niitä tulevissa projekteissa.

Lähteet

1 Witron. 2023. Verkkodokumentti. <https://witron.de/en/company/>. Luettu 3.8.2023.

2 Mitä Inex tekee. 2023. Verkkoaineisto. Inex Partners Oy. <https://inex.fi/inex-yrityksena/mita-inex-tekee>. Luettu 3.8.2023.

3 Inex yrityksenä. 2023. Verkkoaineisto. Inex Partners Oy. < https://inex.fi/inex-yrityksena/inex-lukuina/>. Luettu 3.8.2023.

4 Vastuullisuus. 2023. Verkkodokumentti. <https://inex.fi/vastuullisuus/. Luettu 3.8.2023.

5 Mitä Inex tekee. Verkkoaineisto. <https://inex.fi/inex-yrityksena/mita-inex-tekee/> Luettu 3.8.2023.

6 Järvenpää Jani. 2021. Häiriötietojen keräys prosessista. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 4.8.2023.

7 Witronista. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Witron WIOSS. Luettu 4.8.2023.

8 Witron Wioss. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Witron WIOSS. Luettu 4.8.2023.

9 Osterholm Toni. 2020. Kunnonvalvonnan värähtely mittaus. Kenttätesti. Insinöörityö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 5.8.2023.

10 Pro-Ductor. Technical Information. Collector trolleys. Verkkodokumentti. <https://streleindustrial.com/wp-content/uploads/2020/07/PR4_PR7_PR10_A4_Technical.pdf>. Luettu 8.9.2023.

11 Pro-Ductor. Technical Information. Collector trolleys series PCT4. Verkkodokumentti. < https://streleindustrial.com/wp-content/uploads/2020/07/PR4_PR7_PR10_A4_Technical.pdf>. Luettu 8.9.2023.

12 Pro-Ductor. Technical Information. Mounting of housing PR4. Verkkodokumentti. < https://streleindustrial.com/wp-content/uploads/2020/07/PR4_PR7_PR10_A4_Technical.pdf> . Luettu 8.9.2023.

13 Akapp-Stemmann. Pro-Ductor. 2023. Verkkoaineisto. < https://akapp.com/pro-ductor/?lang=en >. Luettu 8.9.2023.

14 Vahle. Compact Conductor System VKS10. 2023. Verkkoaineisto. <https://www.vahle.de/en/products/compact-conductor-system-vks10> Luettu 9.9.2023.

15 Vahle. Compact Conductor System VKS10. Compact Current Collections. 2023. Verkkodokumentti. <https://www.vahleinc.com/assets/pdfs/catalogs/Cat_03a_US_Compact_Conductor_System_VKS_10_Rev02.pdf> Luettu 10.9.2023.

16 Vahle. Compact Conductor System VKS10. Compact Current Collections. 2023. Verkkodokumentti. <https://www.vahleinc.com/assets/pdfs/catalogs/Cat_03a_US_Compact_Conductor_System_VKS_10_Rev02.pdf> Luettu 10.9.2023.

17 Vahle. Compact Conductor System VKS10. Specifications. 2023. Verkkoaineisto. <https://www.vahle.de/en/products/compact-conductor-system-vks10> Luettu 9.9.2023.

18 Witool. 2023. Yrityksen sisäinen aineisto. Witron WIOSS. Luettu 9.9.2023.

19 Bolton, William & Higgings, R.A. 2021. Materials for engineers and technicians. Seventh edition. Luettu 10.9.2023.

20 ThoughtCo. The Ancient History Of Copper. 2023. Verkkoaineisto. <https://www.thoughtco.com/copper-history-pt-i-2340112>. Luettu 10.9.2023.

21 J. Bertinato. 2016. Properties, Production, and Indrustial Uses of Copper. E-kirja. ScienceDirect. Luettu 10.9.2023.

22 Copper Alliance. 2023. Copper Attributes and Alloys. Verkkoaineisto. < https://copperalliance.org/sustainable-copper/about-copper/copper-attributes-and-alloys/>. Luettu 11.9.2023.

23 Copper Alliance. 2023. Copper Alloys. <https://copperalliance.org/sustainable-copper/about-copper/copper-attributes-and-alloys/>. Luettu. 29.9.2023.

24 Periodic Table. Carbon. History and Discovery. 2023. Verkkoaineisto. <https://periodic-table.com/carbon/>. Luettu 12.9.2023.

25 Periodic Table. Carbon. Occurence. 2023. Verkkoaineisto. <https://periodic-table.com/carbon/>. Luettu 12.9.2023.

26 Periodic Table. Carbon. Physical Properties. 2023. Verkkoaineisto. <https://periodic-table.com/carbon/>. Luettu 12.9.2023.

27 K. Laitinen. Yliopettaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haastattelu. 28.9.2023.

28 Periodic Table. Carbon. Chemical Properties. 2023. Verkkoaineisto. <https://periodic-table.com/carbon/>. Luettu 13.9.2023.

29 Periodic Table. Carbon. Significance and Uses. 2023. Verkkoaineisto. <https://periodic-table.com/carbon/>. Luettu 14.9.2023.

30 H. Sjöholund. Varaesimies. Hiiliharjojen valmistaja. Oy T.Stenbacka Ab. Haastattelu. 28.9.2023.

31 Ilmatieteenlaitos. Ilman kosteus. 2023. Verkkoaineisto. <https://www.ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>. Luettu 15.9.2023.

32 Davis. What is Dew Point. 2023. Verkkonaineisto. <https://www.davisinstruments.com/pages/what-is-dew-point> Luettu 15.9.2023.

33 TRY. Korroosio. 2012. Verkkodokumentti. <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/151/8ac778e/korroosio.pdf/>. Luettu 16.9.2023.

34 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. The Role Of Corrosion in Engineering Materials. Luettu 16.9.2023.

35 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. Types of Corrosion. Luettu 16.9.2023.

36 Zaki Ahmad. 2006. Principles of Corrosion Engineering and Corrison Control. Verkkoaineisto. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780750659246500118/ Luettu. 16.9.2023.

37 Corrosionpedia. 2023. Verkkoaineisto. Galvanic Corrosion. https://www.corrosionpedia.com/definition/568/galvanic-corrosion/. Luettu 16.9.2023.

38 Euro Inox. 2011. Galvaaninen Korroosio. Verkkoaineisto. <https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_FI.pdf/>. Luettu 16.9.2023.

39 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. Galvanic Corrison. Luettu 16.9.2023.

40 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. Galvanic Corrison. Luettu 16.9.2023.

41 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. Pitting. Luettu 19.9.2023.

42 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. Crevice Corrison. Luettu 16.9.2023.

43 Budinski, G. Kenneth & Budinski, K. Michael. 2009. Engineering of Materials, Properties and Selection, Ninth Edition. Stress Corrison Cracking. Luettu 17.9.2023.

44 Jari Aromaa. 2005. Korroosionestotekniikan perusteet. Teknillisien korkeakoulun materiaalitekniikan julkaisija. Espoo. Luettu 27.9.2023.

45 BetweenMates. Erroosio ja Korroosio. 2023. Verkkoaineisto. <https://fin.weblogographic.com/difference-between-erosion-and-corrosion-4384/>. Luettu 25.9.2023.

46 Opetushallitus. 2023. Raerajakorroosio. Verkkoaineisto. < http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_f2_korroosionesto_esiintymismuodot.html/>. Luettu 28.9.2023.

47 K. Laajalehto. Yliopettaja. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Haastattelu. 19.9.2023.

48 Euro Inox. 2023. Galvaanisen korroosion estäminen. Verkkodokumentti. < https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/Contact_with_Other_FI.pdf/>. Luettu 1.10.2023.

49 E. Kims. Sähkötöiden johtaja. Witron Wioss. Haastattelu. 18.10.2023.

50 K. Laitinen. 2023. Korroosiomekanismi. Opintomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Luettu 29.9.2023