

Niko Kaisamatti

**RAP5 JÄÄHDYTYSPUHALTIMIEN SUORAKÄYTTÖJEN KORVAAMINEN TAA-
JUUSMUUTTAJAKÄYTÖILLÄ**

RAP5 JÄÄHDYTYSPUHALTIMIEN SUORAKÄYTTÖJEN KORVAAMINEN TAA- JUUSMUUTTAJAKÄYTÖILLÄ

Niko Kaisamatti
Opinnäytetyö
Kevät 2024
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-
ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka

Tekijä(t): Niko Kaisamatti

Opinnäytetyön nimi: RAP5 jäähdytyspuhaltimien suorakäyttöjen korvaaminen taajuusmuuttajakäytöllä

Työn ohjaaja(t): Manne Tervaskanto, Juha Iisakka

Työn valmistuslukukausi ja -vuosi: Kevät 2024

Sivumäärä: 28

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä selvitys Outokummun Tornion tehtaiden RAP5-linjan hehkutusuunien jäähdytysalueen jäähdytyspuhaltimien suorakäyttöjen korvaamisesta taajuusmuuttajakäytöllä energian säästämiseksi. Työn aiheen sain Outokummun kylmävalssaamon kunnossapitoinsinööri Juha Iisakalta.

Työssä kerrotaan yleistä teoriaa RAP5-linjan toiminnasta, Siemensin taajuusmuuttajista, SIMOCODE moottorinohjaimista ja oikosulkumoottoreista. Työssä perehdytään myös teräsnauhan jäähdytykseen RAP5-linjalla sekä siihen mikä merkitys jäähdytys- ja poistopuhaltimilla on teräsnauhan jäähdyttämisessä. Työssä tehtiin energiansäästölaskelma, jossa verrataan nykyistä kuristussäätöä pyörimisnopeussäätöön eli taajuusmuuttajakäyttöön. Työn loppupuolella käsitellään muutoksia, joita tulee suorakäyttöjen korvaamisessa taajuusmuuttajakäytöllä. Työ on ollut erittäin opettavainen ja vahvistanut käsitystä erilaisten moottorikäyttöjen toiminnasta sekä teräsnauhan jäähdytyksestä RAP5-linjalla.

Asiasanat: teräs, taajuusmuuttaja, oikosulkumoottori

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Electrical and Automation engineering, Option of Automation Engineering

Author(s): Manne Tervaskanto

Title of thesis: Replacing direct drive cooling fan units with variable speed drives for RAP5

Supervisor(s): Manne Tervaskanto, Juha Iisakka

Term and year when the thesis were submitted: Spring 2024

Number of pages: 28

The purpose of the thesis was to investigate replacing the direct drives of the cooling fans in the cooling area of the furnaces of Outokumpu Tornio plants with frequency converters to save energy. The topic of the thesis was provided by Juha Iisakka, the maintenance engineer of Outokumpu cold rolling mill.

The thesis discusses general theory regarding the operation of the RAP5 line, Siemens frequency converters, SIMOCODE motor controllers, and induction motors. It also takes a look into the cooling of steel strips on the RAP5 line and the significance of cooling and exhaust fans in cooling the steel strip. An energy-saving calculation was conducted to compare the current speed control with frequency converter control. Towards the end of the thesis, changes resulting from replacing direct drives with frequency converter drives are addressed. The thesis has been highly instructive and has reinforced understanding of various motor operations as well as steel strip cooling on the RAP5 line.

Keywords: steel, variable-frequency drive, induction motor

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	OUTOKUMPU OY	7
	2.1 Tornion tehtaat	7
	2.2 Kylmävalssaamo 2	7
3	TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖT	10
	3.1 Taajuusmuuttajan rakenne	10
	3.2 Siemensin-taajuusmuuttajat	11
	3.3 Siemens SIMOCODE	11
	3.4 Oikosulkumoottori.....	11
	3.5 ABB:n pienjänniteoikosulkumootorit	12
4	TERÄSNAUHAN JÄÄHDYTYS RAP5-LINJALLA	14
	4.1 Jäähdytyksen toimintaperiaate	14
	4.2 Jäähdytys- ja poistoilmapuhaltimet.....	14
	4.3 Jäähdytysvesipumppujen moottorit	17
5	JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN MUUTOKSET	18
	5.1 Mekaaniset muutokset	18
	5.2 Sähkö- ja automaatio muutokset	18
6	ENERGIANSÄÄSTÖLASKELMA.....	20
	6.1 Mittausjärjestelyt.....	21
	6.2 Jäähdytyspuhaltimen energiansäästö-laskelma	22
	6.3 Poistoilmapuhaltimien energiansäästö-laskelma	24
7	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET.....	28

1 JOHDANTO

Opinnäytetyö tehtiin Outokummun Torniossa sijaitsevalle jatkuvatoimiselle valssaus-, hehkutus- ja peittäuslinjalle eli kylmävalssaamo 2:lle (RAP5). Työn tarkoituksena on perehtyä yleisellä tasolla taajuusmuuttajien ja oikosulkumoottoreiden rakenteeseen. Työssä käsitellään myös Siemensin taajuusmuuttajaperhettä sekä ABB:n valmistamia pienjänniteoikosulkumoottoreita. Työssä tehdään myös energiansäästölaskelma, jossa verrataan jäähdytyspuhaltimien ja jäähdytysvesipumpujen suorakäyttöä taajuusmuuttajakäyttöön. Työn tarkoituksena on pohjustaa suorakäyttöjen korvaamista taajuusmuuttajakäytöllä, jolla saadaan aikaan energiansäästöä.

Olen itse työskennellyt linjalla kaksi kesää operaattorina ja yhden kesän vuorotyönjohtajana, joten linja on minulle tuttu. Kylmävalssaamo 2:lla teräsnauhat valssataan eli lujitetaan. Tämän jälkeen nauhat hehkutetaan, hehkuttamisella nauhan muokkausominaisuudet palautetaan. Hehkuttamisen jälkeen teräsnauhat jäähdytetään ja niistä poistetaan hilse. Tämän jälkeen teräsnauhat peitataan eli pinta puhdistetaan elektrolyytillä sekä hapolla. Viimeisenä on viimeistelyvalssain, jolla teräsnauhan pinta viimeistellään. Viimeistelyvalssaus on käytössä vain tietyillä teräksen työvaiheilla.

Opinnäytetyö keskittyy teräsnauhojen jäähdytykseen. Teräsnauhat jäähdytetään pääasiassa ilmalla tai vedellä riippuen teräksen työvaiheesta. Ilmajäähdytys toteutetaan jäähdytysilma- ja poistoilmapuhaltimilla. Kyseiset puhaltimet ovat suorakäyttöisiä eli pyöriessään ne pyörivät koko ajan täydellä nimellispyörintänopeudella. Ilman virtausta säädetään ilmakehässä olevalla siipisäädöllä. Nykyinen järjestelmä on vanhanaikainen sillä puhaltimen nopeutta ei voi säätää. Tämän takia syntyy ylimääräistä energiankulutusta, koska jossain tilanteissa puhallin pyörii täydellä pyörimisnopeudella ja siipisäätö on vain hieman auki. Taajuusmuuttajakäytöllä puhaltimien pyörimisnopeutta voidaan säätää ja mekaaninen siipisäätö voidaan poistaa.

Teräsnauhojen jäähdytykseen käytettävä vesi pumpataan jäähdytysjärjestelmään jäähdytysvesipumpuilla. Jäähdytysvesipumput ovat myös suorakäyttöisiä ja niiden käytöstä syntyy ylimääräistä energiankulutusta. Jäähdytysvesipumpujen suorakäytöt korvataan taajuusmuuttajakäytöllä energian säästämiseksi. Jäähdytysvesijärjestelmän putkiston mekaaninen rasitus pienenee taajuusmuuttajakäytön myötä, sillä putkistoa rasittavat paineiskut pienenevät.

2 OUTOKUMPU OY

Outokumpu Oy on maailmanlaajuinen ruostumattoman teräksen toimittaja. Outokummun tehtaita on Suomessa, Saksassa, Meksikossa, Ruotsissa ja Yhdysvalloissa. Nämä tehtaot työllistävät noin 8 500 työntekijää. Outokumpu toimittaa ruostumatonta terästä muun muassa autoteollisuuden, rakentamisen, kodinkoneiteollisuuden ja raskaan teollisuuden tarpeisiin. Outokumpu on vaativissa käyttökohteissa tarvittavien erikoistuotteiden markkinajohtaja koko maailmassa. (1.)

Outokummulla on vankka historia ruostumattoman teräksen parissa. Ensimmäinen teräsvalu valettiin Torniossa toukokuussa 1976. Outokumpu on kehittänyt omat tuotantomenetelmät ruostumattoman teräksen valmistukseen. (2.)

2.1 Tornion tehtaot

Outokummun Tornion tehtaot sijaitsevat Torniossa Röyttän alueella. Tornion tehtaisiin kuuluu ferrokromitehdas, terässulatto, kuumavalssaamo, kylmävalssaamot 1 ja 2 (RAP5). Samalla tehdasalueella sijaitsee myös Röyttän satama. Tornion tehtaot on maailman integroiduin ruostumattoman teräksen tuotantolaitos eli kaikki teräksen valmistuksen vaiheet ovat samalla tehdasalueella. (3)

2.2 Kylmävalssaamo 2

Kylmävalssaamo 2 eli RAP5 on jatkuvatoiminen teräksen kylmävalssaus-, hehkutus- ja peittäuslinja (rolling, annealing, pickling eli RAP). Kuumavalssaamolta tulleista teräsnauhista eli kuumanauhista tuotetaan linjalla kirkkaita kuumanauhuja ja kylmävalssattuja lopputuotteita. Linjan kapasiteetti on yksi maailman suurimmista ruostumattoman teräksen kylmävalssaamoista. RAPilla kuumavalssattu nauha saadaan ajettua jo yhden ajokerran jälkeen asiakkaan loppumittaan. Linjalla ajetaan kolmea erilaista teräslaattaa: kuumanauhuja, kylmänauhoja ja ferriittistä. Tässä työssä kuumanauhilla tarkoitetaan kuumavalssaamolta tulleita kuumavalssattuja teräsnauhuja, joihin lukeutuu myös ferriittiset teräsnauhat. Kylmänauhoilla tarkoitetaan teräsnauhaa, joka on jo kertaalleen ajettu RAP5-linjan läpi. Karkeasti jaettuna 60 % tuotannosta on kuumanauhaa ja 40 % kylmänauhua.

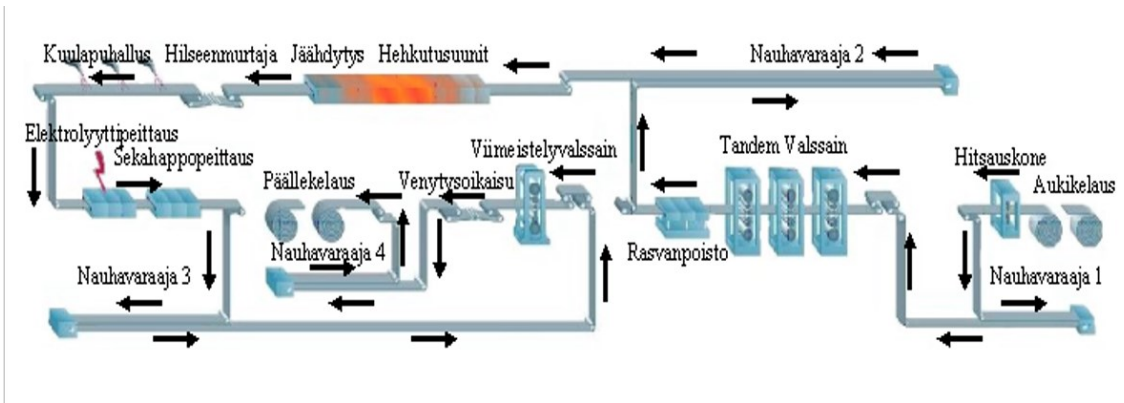
Teräsnauhat syötetään linjaan korkeavarastosta, jonka jälkeen rullista poistetaan sidontapangat. Tämän jälkeen nauhat päätyvät askelpalkkien kautta aukikelaimille. Aukikelaimilta nauha pujotetaan laserhitsauskoneelle, jossa edellisen nauhan häntä ja seuraavan keula hitsataan yhteen. Ennen hitsauskonetta on päätyleikkurit 1 ja 2, joilla nauhojen keuloista ja hännistä poistetaan paksuuspoikkeamat.

Hitsauskoneelta nauha menee varaajaan 2. Varaajasta 1 nauha menee tandemvalssaimelle, jossa nauha kylmävalssataan haluttuun paksuuteen. Valssauksella lujitetaan nauhan ominaisuuksia. Valssaimen jälkeen nauha menee rasvanpoiston läpi, jossa siitä poistetaan valssausöljy. Rasvanpoiston jälkeen nauha menee varaajaan 2, josta nauha menee kahteen peräkkäin olevaan hehkutusuuniin ja jäähtytykseen. Hehkuttamisella palautetaan nauhan muokkausominaisuuksia. Jäähtytyksessä kuumanauhat jäähdytetään vedellä ja kylmänauhat ilmalla.

Tämän jälkeen nauha menee mekaaniseen hilseenpoistoon, jossa nauhan pinnasta irrotetaan epäpuhtauksia ja parannetaan nauhan tasomaisuutta. Hilseenpoiston jälkeen nauha menee kuulapuhallukseen, jossa kolme kuulapuhallusyksikköä puhaltaa teräskuulia nauhan molemmille puolille. Kuulapuhalluksella nauhasta irrotetaan lisää epäpuhtauksia. Kuulapuhallusta käytetään ainoastaan kuumanauhoille ja ferriittisille nauhoille.

Näiden osatyövaiheiden jälkeen nauha menee elektrolyyttipeittaukseen ja sekahappopeittaukseen. Peittausalueen jälkeen nauha menee varaajaan 3, josta nauha menee viimeistelyvalssaimelle. Viimeistelyvalssaimella nauhan pinta saadaan kiiltäväksi. Viimeistelyvalssaimelta nauha menee varaajaan 4, josta se pujotetaan päällekelaimille.

Linjan neljän varaajan on tarkoitus antaa puskuria prosessin eri vaiheille. Mikäli varaajan jälkeinen osatyövaihe pysähtyy, voidaan varaajaa täyttää ilman koko prosessin pysäytystä. Linjaan mahtuu nauhaa 4 950 metriä kaikkien varaajien ollessa täynnä. RAP5-linjan nauhankulkukaavio on esitetty kuvassa 1.



KUVA 1. RAP5-linjan nauhankulkukaavio

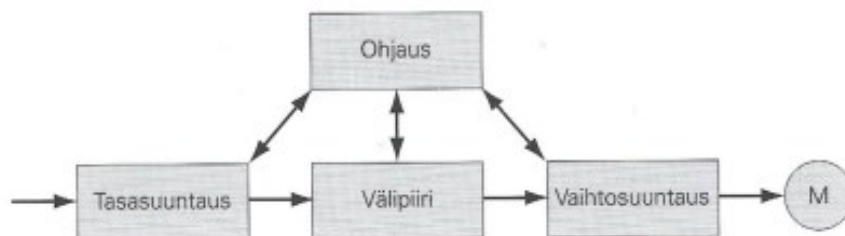
3 TAAJUUSMUUTTAJAKÄYTÖT

Taajuusmuuttaja on laite, jolla ohjataan erityyppisten moottoreiden pyörimisnopeutta. Taajuusmuuttajalla säädellään syötettävän jännitteen taajuutta ja suuruutta. Taajuus on suoraan verrattavissa moottorin pyörimisnopeuteen: mitä isompi taajuus sitä isompi on moottorin pyörintänopeus. Teho eli energiansäästö on verrannollinen pyörimisnopeuden kolmanteen potenssiin

Taajuusmuuttajalla saadaan tehostettua prosessia ja se on tehokas väline prosessin säätöön. Taajuusmuuttajan avulla saadaan parannettua myös mekaanisten kuluvien osien kestoa. Taajuusmuuttajista on mahdollista saada vikatietoja kytkintietona ja moottorin ottaman virran arvo analogiaviestinä. Nykyään teollisuudessa käytetään paljon taajuusmuuttajia oikosulkumoottoreiden pyörimisnopeuden säätämiseen. Tällaisella yhdistelmällä saadaan tuotettua hyvin optimoituja prosesseja. (4; 5.)

3.1 Taajuusmuuttajan rakenne

Taajuusmuuttaja koostuu tasasuuntaajasta, välipiiristä, vaihtosuuntaajasta ja ohjauksesta. Tasasuuntaajalla vaihtosähköstä tehdään sykhtelevää tasasähköä diodien avulla. Välipiirissä tasasähköstä poistetaan poikkeamat kondensaattoreiden avulla. Vaihtosuuntaajalla tasavirta muutetaan 3-vaiheiseksi vaihtovirraksi, joka syötetään moottorille. Moottorille menevän vaihtovirran taajuus ja jännite määräytyy ohjausyksikön mukaan. Taajuusmuuttajan periaatteellinen rakenne on esitetty kuvassa 2. (5.)



KUVA 2. Taajuusmuuttajan periaatteellinen rakenne (5)

3.2 Siemensin-taajuusmuuttajat

Siemensin taajuusmuuttajat koostuvat SINAMICS-tuoteperheestä. SINAMICS-tuoteperheestä löytyy taajuusmuuttajia yksinkertaisiin moottorikäyttöihin sekä vaativiin sovelluksiin. SINAMICS-tuotteiden ohjausrakenne on sama parametointi sekä ohjausperiaate.

Siemens taajuusmuuttajat voidaan jakaa kuuteen kategoriaan: perussuorituskyvyn taajuusmuuttajat, korkean suorituskyvyn taajuusmuuttajat, servomuuntimet ja MICROMASTER-taajuusmuuttajat. SINAMICS-taajuusmuuttajien tehoalue on 0,12 kW – 6 840 kW. (8.)

3.3 Siemens SIMOCODE

SIMOCODE on Siemensin valmistama monipuolinen ja muunneltavissa oleva moottorin suojaus- ja hallintajärjestelmä. SIMOCODE on liitettävissä helposti automaatiojärjestelmiin PROFINET ja PROFIBUS väylien kautta ja tämän avulla moottorista saadaan kattavasti tietoja. Tämä mahdollistaa tuleviin vikatilanteisiin puuttumisen ja auttaa ennakoimaan, jotta vältytään isommilta vaurioilta. (9.)

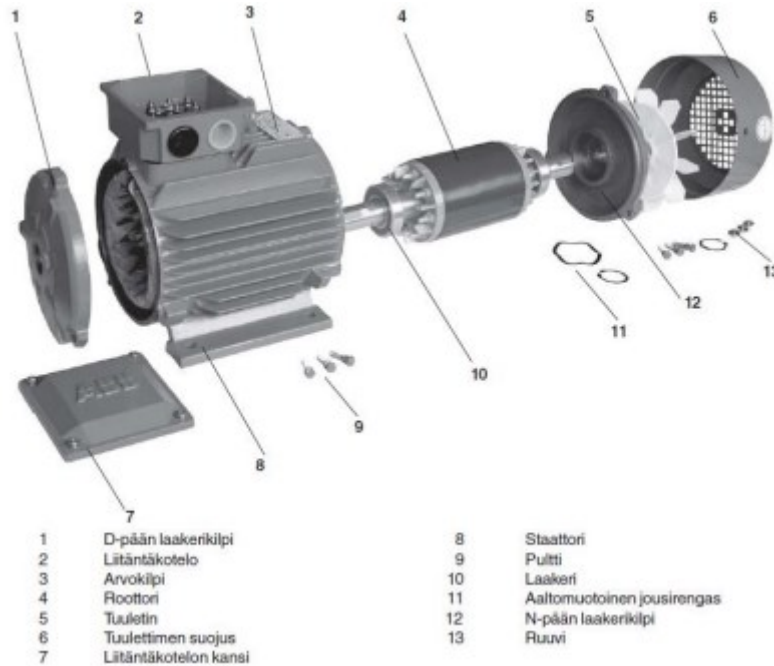
Siemens tarjoaa kahta mallia SIMOCODE-tuoteperheestä. Mallien erot tulevat pääasiassa ominaisuuksista. SIMOCODE pro S on perustason moottorinhallintajärjestelmä, joka tarjoaa PROFIBUS-väyliäliitännän. SIMOCODE pro V on puolestaan monipuolisempi moottorinhallintajärjestelmä. Pro V:ssä on kokoaikainen tehonmittaus ja sen avulla saadaan tietoon myös jännitteen arvo. Pro S ja Pro V tarjoat myös kokonaisvaltaisen moottorin suojauksen.

SIMOCODE soveltuu kemian teollisuuteen, kaivosteollisuuteen, terästeollisuuteen, paperiteollisuuteen sekä vesihuoltoon. (9.)

3.4 Oikosulkumoottori

Oikosulkumoottori on yksinkertaisen rakenteensa ja kestävyytensä ansiosta yleisin teollisuudessa käytetty moottorityyppi. Oikosulkumoottoreista on hyvä saatavuus suurien valmistuserien sekä yksinkertaisen rakenteen ansiosta. Oikosulkumoottorin ainoita mekaanisia kuluvia osia ovat laakerit. Taajuusmuuttajien ja säätötapojen kehityksen myötä oikosulkumoottoreista on saatu erittäin tarkkoja ja suorituskykyisiä oikosulkumoottorikäyttöjä. Oikosulkumoottoreista käytetään myös nimiä induktiokone ja epätahtikone.

Kolmivaiheisen oikosulkumoottorin rakenne (kuva 3) koostuu rautaisesta staattorista, jossa on staattorikäänitys sekä staattorin sisäisestä roottorista, jossa on myös käänitys. Moottorin vaapaassa eli N-päässä on tuuletin, joka jäähdyttää moottoria. Moottorin runko jäähdyttää myös moottoria jäähdytysripijensä kautta. Roottori, joka on akselin ympärillä, on kiinnitetty koteloon laakereilla. (6.)



KUVA 3. Oikosulkumoottorin rakenne (6)

Oikosulkumoottorin roottoriin indusoituu lähdejännite, kun roottorin käänitys leikkaa staattorikentän vuoviivat. Indusoituvaa lähdejännitettä saa aikaan virtoja ja magneettikentän. Magneettikenttä ja staattorikenttä saavat aikaan sen, että roottori alkaa pyöriä. Staattorin ja roottorin väliin jää ilma-rako, joten ne eivät ole kosketuksissa. (6.)

3.5 ABB:n pienjänniteoikosulkumoottorit

ABB valmistaa oikosulkumoottoreita tehoalueella 0,09 kW–1 000 kW ja runkokooltaan 63–450. Moottoreita valmistetaan valurautarunkoisina ja alumiinirunkoisina. ABB:n valmistamat oikosulkumoottorit ovat hyvin yleisiä teollisuuden prosessimoottoreina. Moottoreita on saatavilla kolmessa

eri hyötysuhdeluokassa. Taulukosta 1 selviää moottoreiden IE-luokitukset, runkomateriaalit sekä tehoalueet. IE-luokitus ja runkokoko perustuvat IEC-standardiin.

TAULUKKO 1. IE-luokitukset (7)

IE-luokitus	Runkomateriaali	Tehoalue
IE2	Alumiini	0,09 kW - 90 kW
	Valurauta	0,18 kW - 1000 kW
IE3	Alumiini	0,75 kW - 55 kW
	Valurauta	0,75 kW - 355 kW
IE4	Valurauta	75 kW - 355 kW

ABB:n oikosulkumoottoreiden oleelliset tekniset tiedot löytyvät tuote- ja tyyppikoodista. Tyyppi- ja tuotekoodit ovat taulukon 2 muotoisia. A-sarakkeessa on moottorin tyyppi, B-sarakkeessa kolme ensimmäistä numeroa kertoo moottorin runkokoon, ja loput kirjaimet kertovat asennusteknisiä mittoja kuten staattoripaketin pituuden. (7.)

TAULUKKO 2. ABB moottorin tyyppi- ja tuotekoodi (7)

A	B	C
M 2 C A 3 1 5 S M A 3 G C A 3 1 2 2 1 0 – A D A		
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14		
A Moottorin tyyppi	B Runkoko, asennustekniset <u>mitat</u>	C Tuotekoodi
	staattorin pituus	

Numeroidut sarakkeet kertovat seuraavat tiedot:

- 1–4: moottorin tuotesarja sekä runkomateriaali
- 5–6: IEC-standardin mukainen runkokoko
- 7: napapariluku, joka kertoo nimellispyörimisnopeuden
- 8–10: moottorin yksilöivä tunnus, jolla erotetaan samalla runkokoolla ja nimellispyörimisnopeudella olevat eritehoiset moottorit
- 12: asennustapa
- 13: jännite ja taajuus
- 14: moottorin sukupolvikoodi. (7).

4 TERÄSNAUHAN JÄÄHDYTYS RAP5-LINJALLA

Kylmävalssaamo 2:lla eli RAP5-linjalla on uunin jäähdytysalueella 14 suorakäyttöistä 250 kW:n jäähdytysilmapuhallinta, sekä neljä poistokaasupuhallinta, joista kaksi on 630 kW ja kaksi 800 kW. Jäähdytysalue on jaettu vyöhykkeisiin 1–9. Vyöhykkeillä 1–7 teräsnauhan jäähdytys toteutetaan pääasiassa ilmalla ja vyöhykkeillä 8–9 vedellä. Puhaltimien ollessa käytössä ne pyörivät koko ajan samalla nopeudella ja ilman virtausta säädetään ainoastaan ilmanavassa olevalla kuristussäädöllä.

4.1 Jäähdytyksen toimintaperiaate

Hehkutusuunien jäähdytysalueella uunista tullut teräsnauha jäähdytetään vedellä tai ilmalla riippuen teräksen työvaiheesta. Moottoreiden kuormitus riippuu teräksen työvaiheesta. Jäähdytysvyöhykkeissä 1–7 teräsnauhan ylä- ja alapuolelle puhalletaan ilmaa. Tämän takia vyöhykkeillä 1–7 on joka vyöhykkeelle kaksi jäähdytysilmapuhallinta, ylä- ja alapuolelle oma puhallin.

Jäähdytys on tärkeässä roolissa teräksen laadun kannalta. Mikäli teräsnauha jäähtyy epätasaisesti nauhan ylä- tai alapuolelle jää naarmuja jäähdytysvyöhykkeiden rakenteista. Jäähdytyspuhaltimilla säädetään nauhan riippumaa jäähdytyksessä kylmänauhaa ajettaessa. Riippuman säädöllä pyritään ehkäisemään jäähdytyksen naarmuja. Tämän lisäksi teräsnauhojen tasomaisuus riippuu jäähdytyksen onnistumisesta. Edellä mainittujen laatupoikkeamien välttämiseksi jäähdytysvyöhykkeisiin 2 ja 3 joudutaan ajamaan vettä kylmänauhaa ajettaessa. Vedellä pyritään varmistamaan teräsnauhan tasainen jäähtyminen.

4.2 Jäähdytys- ja poistoilmapuhaltimet

RAP5-linjalla on käytössä uunien jäähdytysalueella 14 jäähdytysilmapuhallinta, joiden moottorit ovat teholtaan 250 kW. Puhaltimet ovat Gruber Hermanoksen valmistamia ja niiden ilmamäärän tuotto on 1 650 m³/min. Moottorit ovat ABB:n valmistamia oikosulkumoottoreita ja niiden runkokoko on 355. Moottorilähdöissä on Siemensin SIMOCODET moottorinohjaimina. Hyötysuhteeltaan moottorit on luokiteltu EFF-luokituksen mukaisesti. Moottorit ovat vuodelta 2002, jolloin IE-luokitus

ei ollut vielä käytössä. EFF- luokitus ja IE-luokitus eivät ole suoraan verrattavissa toisiinsa. Moottorit kuuluvat EFF2 luokkaan, joka karkeasti ottaen on lähellä IE2-luokitusta.

Jäähdytyspuhaltimien tehtävä on tuottaa teräsnauhan jäähdytykseen tarvittava ilma, joka otetaan ulkoilmasta. Jäähdytyspuhaltimet on jaettu seitsemään jäähdytysvyöhykkeeseen siten, että kussakin jäähdytysvyöhykkeessä on kaksi puhallinta. Kuumanauhaa ajettaessa pyörii neljä puhallinta, vyöhyke 1:n puhaltimet 1 ja 2, vyöhykkeiden 1–3 poistokaasupuhallin 1 ja vyöhykkeiden 4–9 poistokaasupuhallin 1. Kylmänauhaa ajettaessa puhaltimien kuormitus on suurin, sillä silloin pyörii vyöhykkeiden 1–7 kaikki 14 jäähdytyspuhallinta, vyöhykkeiden 1–3 kaksi poistopuhallinta ja vyöhykkeiden 4–9 kaksi poistopuhallinta. Taulukosta 3 nähdään mitkä puhaltimet pyörivät kylmänauhaa ajettaessa ja mitkä kuumanauhaa ajettaessa. Jäähdytyspuhaltimien ilmanavissa on kuristus-säätö (Kuva 4), jonka asento vaihtelee teräsnauhan riippuman ja teräsnauhan lämpötilan perusteella. Jäähdytyspuhaltimet ovat suorakäyttöisiä, joten kuristussäätö on ainoa säätö jäähdytysilman virtauksessa.

TAULUKKO 3. Puhaltimien jaottelu kylmänauha ja kuumanauha ajossa

		Kylmänauha	Kuumanauha
Jäähdytysvyöhyke 1	Jäähdytyspuhallin 1	x	x
	Jäähdytyspuhallin 2	x	x
Jäähdytysvyöhyke 2	Jäähdytyspuhallin 1	x	
	Jäähdytyspuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 3	Jäähdytyspuhallin 1	x	
	Jäähdytyspuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 4	Jäähdytyspuhallin 1	x	
	Jäähdytyspuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 5	Jäähdytyspuhallin 1	x	
	Jäähdytyspuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 6	Jäähdytyspuhallin 1	x	
	Jäähdytyspuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 7	Jäähdytyspuhallin 1	x	
	Jäähdytyspuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 1-3	Poistopuhallin 1	x	x
	Poistopuhallin 2	x	
Jäähdytysvyöhyke 4-9	Poistopuhallin 1	x	x
	Poistopuhallin 2	x	



KUVA 4. Jäähdytysilmapuhaltimen kuristussäätö.

Jäähdytysalueella on neljä poistoilmapuhallinta, joista kaksi on 630 kW moottoriteholla olevia ja kaksi 800 kW moottoriteholla olevia. Moottorit ovat jaettu jäähdytysvyöhykkeisiin siten, että 630 kW:n puhallimet ovat vyöhykkeille 1–3 ja 800 kW:n moottorit vyöhykkeille 4–9. Kaikki neljä moottoria ovat ABB:n valmistamia moottoreita ja ovat runkokooltaan 450. Hyötysuhdeluokitus on EFF-luokituksen mukainen eli ei suoraan verrattavissa nykyiseen IE-luokitukseen.

Poistoilmapuhaltimien tehtävä on puhaltaa ilmaa pois jäähdytyksestä. Vyöhykkeiden 1–3 poistokaasupuhaltimien ilmamäärän tuotto on 5 400 m³/min. Moottorit ovat ABB:n valmistamia oikosulkumoottoreita ja niiden runkokoko on 450. Vyöhykkeiden 4–9 poistoilmapuhaltimien ilmamäärän tuotto on 7 540 m³/min. Puhaltimia pyörittää ABB:n oikosulkumoottorit ja niiden runkokoko on 500. Poistokaasupuhaltimien moottorit ovat suorakäyttöisiä.

4.3 Jäähdytysvesipumppujen moottorit

Teräsnauhan jäähdytykseen käytettävä vesi pumpataan jäähdytysvyöhykkeisiin seitsemällä jäähdytysvesipumpulla. Pumppuja pyörittävät ABB:n oikosulkumoottorit, jotka ovat teholtaan 45 kW-250 kW, moottorit ovat suorakäyttöisiä. Veden virtausta jäähdytysvyöhykkeisiin säädetään sulkuventtiileillä. Jäähdytysvesi pumpataan jäähdytysvyöhykkeisiin putkiston kautta.

Moottorit jakautuvat siten, että jäähdytysvesijärjestelmä 2:n pumppuja pyörittää kaksi 90 kW:n moottoria. Jäähdytysvesijärjestelmä 1:n pumppuja pyörittää kaksi 45 kW kilowatin moottoria ja kolme 250 kW moottoria. Jäähdytysvesijärjestelmän kolme 250 kW:n moottoria on samanlaisia kuin vyöhykkeiden 1–7 jäähdytysilmapuhaltimet.

Jäähdytysvesipumppujen suorakäyttöjen korvaamisessa taajuusmuuttajakäyttöillä olisi myös hyötyä, sillä tällä saataisiin parannettua jäähdytysvesiputkiston mekaanista kuormitusta sekä energiänsäästöä. Nykyisillä suorakäyttöillä putkistoon tulee kovia paineiskuja, jotka aiheuttavat putkistoon jatkuvasti vuotoja.

5 JÄÄHDYTYSJÄRJESTELMÄN MUUTOKSET

Taajuusmuuttajien asennuksen myötä järjestelmään joudutaan tekemään muutoksia. Mekaaniset muutokset koskevat taajuusmuuttajien asennusta sekä kuristussäädön poistamista. Sähköisissä muutoksissa tulee huomioida moottoreiden N-pään laakerin eristys sekä taajuusmuuttajista johtuvat tehohäviöt. Automaatiotekniikan kannalta muutoksia tulee, kun taajuusmuuttajat yhdistetään automaatiojärjestelmään.

5.1 Mekaaniset muutokset

Vaikka taajuusmuuttajien myötä järjestelmään tulee pääasiassa sähkö- ja automaatiomuutoksia, vaatii järjestelmä myös mekaanisia muutoksia. Taajuusmuuttajien asentaminen vaatii sähkötilaan kiskot, joihin taajuusmuuttajat voidaan kiinnittää. Kiskot asennetaan lattiaan kiinni pulttaamalla. Sähkötilassa on runsaasti tilaa taajuusmuuttajille ja ne voidaan asentaa helposti muiden prosessilaitteiden taajuusmuuttajien jatkoksi.

Säätötavan muuttuessa kuristussäädöstä nopeussäätöön voidaan koko kuristussäätö purkaa pois. Purkamisen myötä ilmanavaa joudutaan tulppaamaan kuristussäädön läpivientien osalta. Tämän avulla saadaan vähennettyä yksi mekaanisesti kuluva osa järjestelmästä.

5.2 Sähkö- ja automaatio muutokset

Sähköisissä muutoksissa tulee ottaa huomioon, että taajuusmuuttajan moottorille syöttämä jännite ei ole sinimuotoista. Tämän takia moottorissa syntyvistä yliaalloista syntyy ylimääräisiä häviöitä verrattuna sinimuotoisesti syötettyyn jännitteeseen. Moottoreiden osalta tulee huomioida N-pään laakerin eristys, joka estää laakerivirtojen syntymisen. Taulukon 3 mukaan jäähdytyspuhaltimien moottoreissa on eristetty N-pään laakeri. Moottoreiden kaapelointi tulee myös tarkistaa ja tarpeen vaatiessa muuttaa sopivaksi taajuusmuuttajakäytölle. Kaapelointi suoritetaan taajuusmuuttajien alla kulkevan kaapelikellarin kautta.

TAULUKKO 4. N-pään laakerin eristys runkoon ja tehon perusteella (7. s.15)

Nominal power (PN) and / or Frame size (IEC)	Precautionary measures
$P_n < 100 \text{ kW}$	No action needed
$P_n \geq 100 \text{ kW}$ OR $IEC 315 \leq \text{Frame size} \leq IEC 355$	Insulated non-drive end bearing
$P_n \geq 350 \text{ kW}$ OR $IEC 400 \leq \text{Frame size} \leq IEC 450$	Insulated non-drive end bearing AND Common mode filter at the converter

Automaation osalta taajuusmuuttajat tulee liittää osaksi nykyistä automaatiojärjestelmää. Taajuusmuuttajien parametointi on tärkeässä osassa järjestelmän toimivuuden kannalta. Muutos vaatii myös ohjelmallisia muutoksia, jotta taajuusmuuttajista saadaan täysi hyöty. Ohjelmalliset muutokset ja säädöt vaativat kerättyä dataa sekä testausta eri teräksen työvaiheilla, jotta päästään lopputulokseen, jossa jäähdytysprosessista saadaan energiatehokkaampi.

Muutokset tulee suorittaa vaiheittain eli kaikkiin puhaltimiin ei ole järkevää tehdä muutosta heti. Mikäli kaikkien puhaltimien osalta suoritetaan suoraikäyttöjen korvaaminen taajuusmuuttajakäytöllä voi aiheutua tilanne, jossa puhaltimien muutostöiden takia linjaa joudutaan seisottamaan suunniteltua pidempään. Kun muutos tehdään vaiheittain, saadaan kerättyä tietoa muutostöistä sekä lopputuloksesta. Näitä tietoja voidaan käyttää hyväksi loppujen puhaltimien muutostöissä.

6 ENERGIANSÄÄSTÖLASKELMA

Energiansäästöselmalla todennetaan mahdollinen energiansäästömahdollisuus. Laskelmassa verrataan nykyistä kuristussäätöä sekä pyörimisnopeussäätöä eli taajuusmuuttajakäyttöä. Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty kaavoja, joilla lasketaan akseliteho y osailmavirran x avulla kuristussäädöllä ja pyörimisnopeussäädöllä. Tässä työssä ilmavirran arvoina käytettiin puhaltimien valmistajan ilmoittamia arvoja. Kaavoista voidaan todeta, että paineenkorotuksen vakio-osuudella ei ole merkitystä akselitehon laskemiseen kuristussäädössä. Laskentapohja laskelmiin tuli Outokummulta.

TAULUKKO 5. Keskipakoispuhallimen kuristussäätö (10.)

Keskipakoispuhallin kuristussäätö	
Paineenkorotuksen vakio-osuus	1 kilowatin teholle skaalattu yhtälö P4:n laskemiseen
0 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
10 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
20 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
30 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
40 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
50 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
60 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
70 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
80 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
90 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$
100 %	$y = -0,5415x^2 + 1,1685x + 0,3854$

TAULUKKO 6. Keskipakoispuhaltimen pyörimisnopeussäätö (10.)

Sovitekaavoissa **y** tarkoittaa puhaltimen akselitehoa ja **x** tarkoittaa osailmavirtaa.

Keskipakoispuhallin pyörimisnopeussäätö	
Paineenkorotuksen vakio-osuus	1 kilowatin teholle skaalattu yhtälö P4:n laskemiseen
0 %	$y = 1,9614x^2 - 1,1894x + 0,223$
10 %	$y = 1,678x^2 - 0,8522x + 0,1712$
20 %	$y = 1,3949x^2 - 0,5155x + 0,1195$
30 %	$y = 1,2167x^2 - 0,3276x + 0,1106$
40 %	$y = 1,039x^2 - 0,1404x + 0,1019$
50 %	$y = 0,9175x^2 - 0,0364x + 0,1206$
60 %	$y = 0,796x^2 + 0,0677x + 0,1393$
70 %	$y = 0,5541x^2 + 0,3356x + 0,1132$
80 %	$y = 0,3116x^2 + 0,6043x + 0,0868$
90 %	$y = 0,2316x^2 + 0,6618x + 0,1092$
100 %	$y = 0,1509x^2 + 0,72x + 0,1314$

6.1 Mittausjärjestelyt

Puhaltimien tehonmittaukset suoritettiin CHAUVIN ARNOUX GROUPIN valmistamalla logger PEL103 teho- ja energiatalentimella. Mittaukset suoritettiin jäähdytysvyöhyke 1 puhaltimelle 1. Puhallin valikoitui mittauksen kohteeksi, koska kyseinen puhallin pyöri aina linjan ollessa ajolla riippumatta teräksen työvaiheesta.

6.2 Jäähdytyspuhaltimen energiansäästö-laskelma

Jäähdytyspuhaltimien energiansäästö-laskelmassa käytetään jäähdytysvyöhyke 1 puhallinta 1. Sähkövirran arvo saatiin, kun seurattiin puolentoista tunnin ajan kyseisen puhaltimen virran arvoa. Virran arvo oli tämän ajanjakson ajan noin 200 A. Teho saatiin laskettua kolmivaihetehon kaavalla 1. Kaavassa $2 U_p$ on pääjännite, joka tässä tapauksessa on 690 V, I on kuorman virran arvo eli 200 A ja $\cos \varphi$ moottorin tehokerroin eli 0,87. Laskenta suoritettiin kaavojen 2 ja 3 mukaisesti. Laskennallisesti saatu arvo on 208 kW. Kyseiseltä puhaltimelta saatiin myös mitattu arvo, joka oli 201 kW. Voidaan siis todeta, että laskettu ja mitattu arvo ovat hyvin lähellä toisiaan.

KAAVA 1. Kolmivaihejärjestelmän teho

$$P = 3 \times U_v \times I_v \times \cos \varphi$$

KAAVA 2. Vaihejännitteen kaava

$$U_v = \frac{U_p}{\sqrt{3}} = \frac{690 \text{ V}}{\sqrt{3}} \approx 398 \text{ V}$$

KAAVA 3. Jäähdytyspuhallin 1 laskennallinen teho

$$P = 3 \times 398 \text{ V} \times 200 \text{ A} \times 0,87 \approx 208 \text{ kW}$$

Kuvasta 5 nähdään säätötavasta riippuvat tehoerot eri ilmavirtauksilla. Pyörimisnopeussäädön laskeamiseen on käytetty taulukon 5 kaavaa 50 % paineenkorotuksen arvolla. Kaavassa x on esimerkiksi 9 900 m³/h ilmavirtauksen kohdalla 0,05 eli kymmenesosa 0,5:stä, koska ilmavirta 9 900 m³/h on kymmenesosa valmistajan ilmoittamasta 99 000 m³/h. Ilmavirtauksen 74 250 m³/h kohdalla x on 75 % luvusta 0,5 eli 0,375. Ilmavirta 74 250 m³/h on myös 75 % ilmavirtauksesta 99 000 m³/h. X :n arvot on laskettu samalla periaatteella kuvissa 6 ja 7.

	Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 9900m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenkorotuksen vakio-osuus	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori
50 %	0,121074	0,393811	0,273	54,5
	Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 24750m ³ /h		Tehoero	Tehoero
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori
50 %	0,140928	0,371488	0,231	46,1
	Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 37125m ³ /h		Tehoero	Tehoero
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori
50 %	0,15002	0,3937	0,244	48,7
	Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 49500m ³ /h		Tehoero	Tehoero
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori
50 %	0,168844	0,772806	0,604	120,8
	Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 74500m ³ /h		Tehoero	Tehoero
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori
50 %	0,232738	0,941127	0,708	141,7
	Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 99000m ³ /h		Tehoero	Tehoero
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori
50 %	0,331775	1,092525	0,761	152,9

KUVA 5. Jäähdytyspuhallin 1 Pyörimissäädön- ja kuristussäädön tehoerot

Ajatellaan, että jäähdytysvyöhyke 1 puhallin 1 käy 300 vuorokautta ja keskimääräinen ilmavirta olisi 37 125 m³/h. Kuvasta 6 nähdään, että kyseisellä ilmavirralla säätötavasta riippuva tehoero on 49 kW. Kaavasta 4 nähdään, että 300 vuorokauden aikana saavutettu säästö on 352 800 kWh. Rahallisesti tämä tekee vuoden 2023 pörssisähkön keskihinnalla 7,02 snt/kWh noin 24 767 €.

KAAVA 4. Jäähdytyspuhallin 1 energiansäästö 300 vuorokauden aikana

$$49 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 300 \text{ p} = 352 \text{ 800 kWh}$$

6.3 Poistoilmapuhaltimien energiansäästölaskelma

Kuten aikaisemmin todettiin, että laskettu teho on hyvin lähellä mitattua tehoa, käytettiin poistokaasupuhaltimien kohdalla laskennallista tehoa. Laskenta suoritettiin kaavan 1 mukaan. Virran arvo laskentaan saatiin ibaAnalyzer ohjelmasta.

Kaavasta 5 nähdään vyöhykkeiden 1–3 poistoilmapuhaltimen 1 laskettu teho. Ajatellaan, että kyseinen puhallin käy 300 vuorokautta ja keskimääräinen ilmavirta olisi 243 000 m³/h. Kuvasta 6 nähdään, että 243 000 m³/h ilmavirralla säätötavasta riippuva tehoero on 314,5 kW. Tehoero tarkoittaa, että pyörimisnopeussäädöllä 243 000 m³/h ilmavirran tuottamiseen tarvitaan 314,5 kW vähemmän tehoa. Kaavassa 6 on laskettu energiansäästö 300 vuorokauden ajalta. Rahallisesti energiansäästö on 2023 pörssisähkön keskihinnalla 158 961 €.

KAAVA 5. Vyöhykkeiden 1–3 poistoilmapuhallin 1 laskennallinen teho

$$P = 3 \times 398 \text{ V} \times 450 \text{ A} \times 0,83 = 446 \text{ kW}$$

Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 32400m ³ /h				Tehoero	Tehoero
Paineenki	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori	
50 %	0,12	0,39	0,27	121,6	
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 81000m ³ /h					
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori	
50 %	0,13	0,34	0,21	92,7	
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 121500m ³ /h					
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori	
50 %	0,15	0,38	0,24	106,3	
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 162000m ³ /h					
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori	
50 %	0,17	0,77	0,60	269,4	
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 243000m ³ /h					
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori	
50 %	0,24	0,94	0,71	314,5	
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 324000m ³ /h					
	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%	kW/moottori	
50 %	0,33	1,09	0,76	339,3	

Kuva 6. Vyöhyke 1–3 poistopuhallin 1 tehoerot

KAAVA 6. Vyöhykkeiden 1–3 poistoilmapuhallin 1 laskennallinen energiansäästö 300 vuorokauden aikana

$$314,5 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 300 \text{ p} = 2\,264\,400 \text{ kWh}$$

Vyöhykkeiden 4–9 poistoilmapuhaltimet ovat teholtaan 800 kW ja tarkastelun kohteena oli puhallin 1. Laskenta suoritettiin samoilla menetelmillä kuin työssä aikaisemmin lasketut energiansäästöt (kaava 7). Kuvasta 7 nähdään säätötavasta riippuvat tehoerot. Lasketaan vyöhykkeiden 4–9 poistoilmapuhallin 1:lle 300 vuorokauden ajalta oleva energiansäästö 226 200 m³/h ilmavirralla. Kaavasta 8 nähdään, että energiansäästö 300 vuorokauden ajalta on 3 479 040 kWh. Kun energiansäästö lasketaan rahallisesti vuoden 2023 pörssisähkön keskiarvohinnalla tulee säästöä noin 244 229 €.

KAAVA 7. Vyöhykkeiden 4–9 poistoilmapuhallin 1 laskennallinen teho

$$P = 3 \times 398 \text{ V} \times 625 \text{ A} \times 0,82 = 615 \text{ kW}$$

Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 45240m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenk	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%
50 %	0,121074	0,468296	0,347
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 113100m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenk	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%
50 %	0,130386	0,338167	0,208
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 169650m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenk	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%
50 %	0,146031	0,384445	0,238
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 226200m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenk	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%
50 %	0,168844	0,772806	0,604
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 339300m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenk	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%
50 %	0,235973	0,941127	0,705
Suhteellinen akseliteho ilmavirtauksella 452400m ³ /h		Tehoero	Tehoero
Paineenk	Pyörimisnopeussäätö	Kuristussäätö	%
50 %	0,331775	1,092525	0,761

KUVA 7. Vyöhykkeiden 4–9 poistopuhallin 1 tehoerot

KAAVA 8. Vyöhykkeiden 4–9 poistoilmapuhaltimen laskennallinen energiansäästö 300 vuorokauden aikana

$$483,2 \text{ kW} \times 24 \text{ h} \times 300 \text{ p} = 3\,479\,040 \text{ kWh}$$

Edellä tehtyjä energiansäästölaskelmia on verrattu erääseen toiseen energiansäästölaskelmaan, jossa on vertailtu eri säätötapoja. Vertailun perusteella voidaan todeta, että tässä työssä lasketut energiansäästöt ovat realistisia. Taulukossa 7 on koottu lasketut energiansäästöt. Tuloksia tarkasteltaessa täytyy muistaa, että tulokset ovat laskennallisia ja ne voivat erota todelliseen tilanteeseen jonkin verran. Huomionarvoista on myös se, että tuotannosta karkeasti jaettuna 60 % on kuumaa ja 40 % kylmää. Tämä tarkoittaa siis, että 40 % tuotannon ajasta kaikki 14 jäähdytyspuhallinta ja kaikki neljä poistopuhallinta pyörivät.

TAULUKKO 7. Energiansäästöt taulukoituna

		Laskennallinen energiansäästö (kWh)	Laskennallinen energiansäästö (€)
Jäähdytysvyöhyke 1	Jäähdytyspuhallin 1	352800 kWh	24767 €
Jäähdytysvyöhyke 1-3	Poistopuhallin 1	2264400 kWh	158961 €
Jäähdytysvyöhyke 4-9	Poistopuhallin 1	3479040 kWh	244229 €

7 YHTEENVETO

Jäähdytyspuhaltimien suorakäyttöjen korvaaminen taajuusmuuttajakäytöillä tuo RAP5-linjalle muutakin hyötyä kuin energiansäästöä. Taajuusmuuttajien myötä teräsnauhan jäähdytystä voidaan säätää paremmin ja tämän avulla pystytään vaikuttamaan teräsnauhojen laatuun tarkemmin. Yksittäisten puhaltimien kuormitus vähenee, koska moottoreita ei tarvitse pyörittää koko aikaa täydellä nopeudella. Nykyinen kuristussäätö voidaan poistaa taajuusmuuttajien asentamisen jälkeen eli saadaan poistettua yksi mekaaninen kuluva osa. Nykyisen kuristussäädön hyvä puoli on se, että säätö on nopea.

Energiansäästölaskelmasta saadut tulokset kertovat, että kuristussäädön muuttamisesta pyörimisnopeussäätöön tulisi huomattavia taloudellisia säästöjä. Energiansäästöä tulee kuitenkin ajatella pidemmällä ajanjaksolla ja pitää mielessä, että karkeasti jaettuna tuotannosta on 60 % kuumanauhaa ja 40 % kylmänauhaa. Järjestelmän muuttaminen maksaa ja seuraava vaihe muutostyön etenemisessä voisi olla takaisinmaksuajan määrittäminen. Tämän perusteella voitaisiin miettiä, onko muutostyö toteuttamiskelpoinen.

LÄHTEET

1. Outokumpu 2023. Outokumpu lyhyesti. Hakupäivä 7.11.2023. <https://www.outokumpu.com/fi-fi/about-outokumpu/in-brief>.
2. Outokumpu 2023. Outokummun historia. Hakupäivä 7.11.2023. <https://www.outokumpu.com/fi-fi/about-outokumpu/history-of-outokumpu>.
3. Outokumpu 2023. Tornio stainless steel. Hakupäivä 7.11.2023. <https://www.outokumpu.com/fi-fi/locations/tornio-stainless-steel>.
4. VFDs 2014. What is Variable frequency drive? Hakupäivä 1.11.2023. <https://vfds.com/blog/what-is-a-vfd/>.
5. Kippo, Asko K. & Tikka, Aimo 2008. Automaatiotekniikan perusteet. Helsinki: Edita Prima Oy.
6. Hietalahti, Lauri 2013. Teollisuuden sähkökäytöt. Tampere: Amk-kustannus Oy Tammer-teknikka.
7. ABB. 2014. Catalog. Low voltage. Process performance motors according to EU MEPS. Hakupäivä 4.12.2023. https://library.e.abb.com/public/23ff859eee0200c3c1257e1a002770a2/Catalog_Process_performance_acc_to_EU_MEPS_9AKK105944%20EN%2010_2014.low.pdf?filename=Catalog_Process_performance_acc_to_EU_MEPS_9AKK105944%20EN%2010_2014.low.pdf.
8. Siemens. Low Voltage Converters. 2023. Hakupäivä 5.12.2023. <https://www.siemens.com/global/en/products/drives/sinamics/low-voltage-converters.html>.
9. Siemens. SIMOCODE pro. 2024. Hakupäivä 13.2.2024. <https://www.siemens.com/global/en/products/automation/industrial-controls/sirius/sirius-monitor/simocode.html>
10. Motiva. 2003. Motiwatti 2.0 energiakatselmoijan työkalun laskentaperusteet. Helsinki: Motiva Oy. Hakupäivä 27.2.2024. https://www.motiva.fi/files/1417/Motiwatti_2.0_energiakatselmoijan_tyokalun_laskentaperiaatteet.pdf