

Juho Saarimaa

ANODIJAKSON PITUUDEN VAIKUTUS NOSTO-OHJELMAAN BOLIDEN HARJA- VALTA OY:N ELEKTROLYYSISSÄ

Kandidaatintyö
Johtamisen ja talouden tiedekunta
Jussi Myllärniemi
12/2021

TIIVISTELMÄ

Saarimaa Juho: Anodijakson pituuden vaikutus nosto-ohjelmaan Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysissä
Study of harvesting schedules with different anode life cycles at Boliden Harjavalta copper refinery
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Tietojohdaminen
Joulukuu 2021

Boliden Harjavalta Oy:n kuparielektrolyysi on Porissa sijaitseva 1940-luvulla tuotantonsa aloittanut tuotantolaitos, joka on nykyään osa pohjoismaista Boliden-konsernia. Uusien hybridisiltanosturien hankkimisen myötä elektrolyysin sisäinen logistiikka mahdollistaa uusia toimintatapoja ja optimointeja, joita tässä työssä tutkitaan empiirisenä tutkimuksena. Elektrolyysin sisäisen logistiikan aikataulutuksen määrittävä tekijä on anodijakson pituus, joka luo pohjan elektrolyysin logistiselle aikataulusuunnitelmalle eli nosto-ohjelmalle.

Tutkimusongelman ydinkysymyksenä työssä on seuraava: minkä pituinen anodijakso on Bolidenin elektrolyysin toiminnan kannalta toimivin? Työssä luotiin elektrolyysille soveltuvat 19-, 20-, ja 21-päiväiset nosto-ohjelmat, ja tarkasteltiin tulosten pohjalta järkevää anodijakson pituutta uusille hybridisiltanostureille. Juurisyy tarpeelle lyhentää elektrolyysin nosto-ohjelman pituutta on oletus virtahyötysuhteen noususta koko anodijaksolle, kun katodijaksot lyhenevät.

Työn logistiseen laskentaan kerättiin pohjatietoa kuparielektrolyysin Wedge-järjestelmästä, joka tarjoaa informaatiota elektrolyysiprosessista ja nosturien sekvenssien ajoista allaskohtaisesti. Kerätyn datan pohjalta laskettiin allasryhmäkohtaiset ajoajat anodi- ja katodiajoille, joiden pohjalta työssä muodostettiin teoreettisia nosto-ohjelmia. Lopputuloksena empiirisestä tutkimuksesta saatiin laskentaan perustuvat päätelmät parhaasta mahdollisesta anodijakson pituudesta elektrolyysille. Tuloksena saatiin myös mahdollisia kehitysehdotuksia, optimointeja ja investointeja, jotta tämänhetkistä lyhyempi nosto-ohjelma elektrolyysissä olisi mahdollinen.

Tulokset osoittavat, että elektrolyysissä on potentiaalia ajaa ryhmiä nopeasti, kun prosessi ja käytössä oleva laitteisto saadaan vaaditulle tasolle luotettavuuden ja tasaisuuden suhteen. Empiirisen tutkimuksen tulosten todenmukaisuutta on tarkasteltu Wedge-järjestelmästä koko kandidaatintyön tekemisen ajalta, ja tulokset ovat yhteneviä todellisen tilanteen kanssa. Näin ollen työn laskentaa voidaan käyttää apuna elektrolyysin sisäistä logistiikkaa koskevissa päätöksissä ja uusien nosto-ohjelmien suunnittelussa. Tulevaisuudessa työtä voidaan käyttää myös pohjana hybridinosturien anodiajon automaatiosekvenssien suunnittelussa ja luonnissa.

Avainsanat: Logistiikka, logistiikkalaskenta, tehdasautomaatio, elektrolyysi, Boliden

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO.....	1
1.1 Tutkimuksen tausta.....	1
1.2 Tutkimusongelma ja rajausta.....	2
1.3 Tutkimusmenetelmät, materiaali ja rakenne.....	3
1.3.1 Kirjallisuus.....	3
1.3.2 Empiirinen tutkimus.....	4
2. KESKEISTEN KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY.....	6
2.1 Logistiikka.....	6
2.2 Anodi ja katodi.....	7
2.3 Nosto-ohjelma ja allasryhmä.....	7
2.4 Anodi- ja katodijakso.....	9
2.5 Elektrolyysin tärkeimmät tuotannon mittarit.....	9
3. ELEKTROLYYSIN LOGISTINEN LASKENTA.....	11
3.1 Ryhmäkohtainen suoritus aika.....	11
3.2 Muut nosto-ohjelmiin vaikuttavat tekijät.....	14
3.3 AHS-laskenta.....	15
4. NOSTO-OHJELMIEN PESUPARIEN LUONTI.....	17
4.1 Pohjatiedot pesuparien luonnille.....	17
4.2 21-päiväisen nosto-ohjelman pesuparit.....	18
4.3 19- ja 20-päiväisen nosto-ohjelman pesuparit.....	19
5. NOSTO-OHJELMIEN LUONTI JA VERTAILU.....	21
5.1 Katodijaksojen pituus.....	21
5.2 Nosto-ohjelmien luonti ja vertailu.....	22
5.3 Laskennallisen nosto-ohjelman vertailu käytössä olevaan.....	26
6. TULOKSET JA YHTEENVETO.....	28
6.1 Tutkimuksen tulokset.....	28
6.2 Tulosten arviointi.....	29
6.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	30
6.4 Yhteenveto.....	30
LÄHTEET.....	32
LIITTEET.....	33
Liite A.....	33
Liite B.....	34
Liite C.....	35
Liite D.....	36

Liite E	37
Liite F	38
Liite G	39
Liite H	40
Liite I	41
Liite J	42
Liite K	43

1. JOHDANTO

Tässä johdannossa käydään läpi tutkimuksen taustat, rakenne, tutkimusongelma, sekä tutkimusaineisto. Työn alkupuolella käydään myös läpi työhön liittyvät keskeiset käsitteet, joiden ymmärtäminen on pakollista työn seurattavuuden kannalta ulkopuoliselle lukijalle.

1.1 Tutkimuksen tausta

Kupari on yksi kolmesta eniten käytetyistä metalleista maailmassa raudan ja alumiinin jälkeen ja on vaikeaa ajatella nyky maailmaa ilman kuparia (Wincewicz-Bozy et al. 2021, s. 204). Digitalisoituminen kasvattaa maailman kuparin tarvetta kiihtyvällä tahdilla. Hyvän sähköjohtavuuden lisäksi kuparilla on esimerkiksi hyvä lämmönjohtokyky ja korroosionkesto (Wincewicz-Bozy et al. 2021, s. 204).

Suomessa kuparia on tuottanut 1910-luvulta lähtien AB Outokumpu Oy, jonka kuparipuolen toiminta siirrettiin 1944 Harjavaltaan. Vuonna 2004 Outokummun kuparipuoli liittyi osaksi ruotsalaista Boliden-konsernia. (Boliden Harjavalta 2021) Boliden Harjavallan kuparielektrolyysi jalostaa Harjavallasta tulevat kuparianodit Porissa puhtaiksi kuparilevyiksi. Tämän Porissa tapahtuvan prosessin logistiikan tutkiminen on työssä keskeisessä pisteessä.

Työn aiheeksi ja otsikoksi valittiin anodijakson pituuden vaikutus nosto-ohjelmaan Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysissä. Tarkoituksena on tutkia empiirisesti kuparianodien, eli alkutuotteiden logistiikkaketjua Harjavallan valimosta Poriin elektrolyysialtaisiin ja siitä lopputuotteiksi, keskittyen enimmäkseen Porin sisäisen logistiikan aikataulullisiin seikkoihin. Tämä ketju on havainnollistettu kuvassa 1.



Kuva 1: Elektrolyysin yksinkertaistettu logistiikkaketju (muokattu lähteestä: Boliden Harjavalta 2021)

Sisäiseen logistiikkaketjuun liittyy myös suuresti katodien eli lopputuotteiden logistinen aikataulu, sillä näiden ajoa tehdään suurelta osin samoilla siltanostureilla elektrolyysihallin sisällä anodiajon kanssa. Tätä logistista tutkimusta voidaan tarvita elektrolyysin logistisissa päätöksissä ja pohjana anodilogistiikan siltanosturiliikenteen automaattisekvenssien suunnittelussa ja optimoinnissa tulevina vuosina.

1.2 Tutkimusongelma ja rajaus

Tutkimusongelman ydinkysymyksenä työssä on seuraava: minkä pituinen anodijakso on Bolidenin elektrolyysin toiminnan kannalta toimivin? Pohjatyönä ydinkysymyksen pohdinnalle tarvitsee luoda nosto-ohjelmat eli siltanosturien aikataulusuunnitelmat kaikille tarkasteluväleille, jotka ovat mahdollisimman optimoituja ajallisesti, jottei aikahyötysuhde laske. Rajaussyistä tarkastellaan pelkästään 19-, 20- ja 21-päiväistä anodijaksoa. Tämän jälkeen tärkeänä osana on luotujen nosto-ohjelmien realistisuuden tarkastelu niin ajallisesti, kuin resurssien kannalta. Tutkimusongelma rajataan suurimmaksi osaksi pelkkään Boliden Harjavallan kuparielektrolyysin sisälogistiikkaan, jotta kandidaatintyön laajuus pysyy kandidaatintyölle sopivana.

Tavoitteena työssä on löytää elektrolyysille sopiva nosto-ohjelman pituus uusille hybridisiltanostureille. Nosto-ohjelma ei saa luoda tilannetta, että resurssien määrää pitää muuttaa. Myöskään ohjelma ei saa olla niin tiukka, ettei pienimpäänkään laitteistohäiriöön ole varaa. Myöskin katodin fysikaalinen paksuus tulee vastaan jos katodijaksoa lyhennetään tai pidennetään liikaa. Hybridisiltanosturit luovat mahdollisuuden nostaa anodeja ja katodeja samalla nosturilla, joka ei vanhoilla siltanostureilla ollut mahdollista.

Juurisyy tarpeelle lyhentää elektrolyysin nosto-ohjelman pituutta on oletus virtahyötysuhteen noususta koko anodijaksolle, kun katodijaksot lyhenevät. Myös lyhyempi nosto-ohjelma optiimoi henkilöresurssien käyttöä, kun vuorot eivät lopu kesken. Kääntöpuolena kuitenkin lyhyempi nosto-ohjelma nostaa hieman resurssitarvetta ja häiriötilanteissa hävitty aika joudutaan työajan ylimenevältä ajalta tekemään ylitöinä.

1.3 Tutkimusmenetelmät, materiaali ja rakenne

Työssä tutkimus tehdään suurilta osin empiirisenä tutkimuksena, jonka tukena käytetään kirjallisuudesta löytyvää materiaalia. Alkuosa työstä tehdään kokonaan kirjallisuuteen perustuen.

1.3.1 Kirjallisuus

Työssä kirjallisuutta käytetään yleiseltä osalta elektrolyysien toiminta-periaatteiden, käsitteiden ja yleisesti logistiikan selittämiseen. Työn pääotsikoista otsikot johdanto ja keskeiset käsitteet käydään läpi kirjallisuuden avulla.

Kirjallisuuden tietokannaksi työssä päätettiin käyttää pelkkää Andoria riittävän kattavan kirjallisuuden löytymisen seurauksena. Työssä käytetään myös Bolidenin omaa materiaalia tarkempien logistiikkaketjujen ja käsitteiden määrittelyssä ja joissain osioissa suullista haastattelua elektrolyysin sisäisen kirjallisuuden puuttumisen takia. Taulukossa 1 käydään läpi tähän mennessä käytetyt hakusanat, rajaukset ja löytyneet tulokset.

Taulukko 1: Käytetyt hakusanat, rajaukset ja tulokset

Hakusanat	Aineiston rajaus	Andor
"electrorefining" AND "copper"	-	1887
"logistiikka"	kirjat	393

Empiirisesti tutkimalla saadun datan luomisprosessia ja taulukoiden läpi käymistä tarkastellaan työn luvussa 3: Elektrolyysin logistinen laskenta. Logistiikka-laskennan lopputuloksena luodaan 19d, 20d ja 21d nosto-ohjelmat, joiden luonti ja vertailu tehdään luvussa 4: Nosto-ohjelmien luonti ja vertailu. Lopulta saadut tulokset (Liitteet A-H) summataan luvussa päätelmät. Kuvassa 2 käydään läpi empiirisen tutkimuksen tutkimusaineiston luomisen vaiheet.



Kuva 2: Empiirisen tutkimuksen tutkimusaineiston luomisen vaiheet

Pohjatiedot empiiriselle tutkimukselle on suurilta osin kerätty vuosien aikana elektrolyysihallin nostotyönjohtajilta ja prosessi-insinööriltä opitusta suullisesta tiedosta. Koska elektrolyysihallin toiminnasta ei ole saatavilla kirjoitettua tietoa, on yksi työn tavoite dokumentoida suullista tietoa elektrolyysin sisäisen logistiikan toimintaperiaatteista ja nosto-ohjelmiin vaikuttavista tekijöistä. Tämä luo uusille nostotyönjohtajille, prosessi-insinööreille ja muille tiedoa tarvitseville henkilöille mahdollisuuden tutustua elektrolyysin sisälogistiikkaan koonnetusti teoriapohjalta.

Työssä käytetään myös pohjana prosessi-insinööriltä saatua suullista haastattelua ja omia havaintoja elektrolyysin toiminnasta. Omien havaintojen ja kerättyjen pohjatietojen paikkansapitävyys on tarkastettu elektrolyysin toimihenkilöiden toimesta kandidaatintyön lopputarkastuksessa. Näistä tiedoista koonnettuna työhön saatiin hyvä teoreettinen pohja laskennalle. Kuvasta 2 nähdään, että ryhmäkohtaiseen laskentaan siirryttäessä tarvittiin näiden pohjatietojen lisäksi vielä Wedge-järjestelmästä saatuja nosturien syklitietoja, jotta laskenta saatiin suoritetuksi. Nämä kaikki informaatiokanavat yhdistämällä pystyttiin luomaan vaaditut nosto-ohjelmat, jonka pohjalta päästiin työn lopputuloksiin ja päätelmiin.

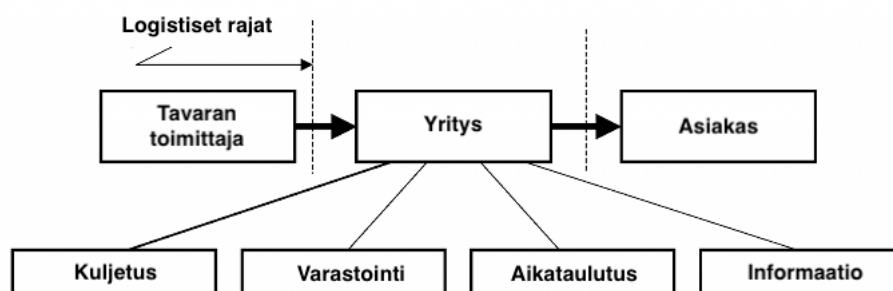
2. KESKEISTEN KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELY

Tässä luvussa esitellään keskeisiä käsitteitä työstä, jotta lukijan on helpompi seurata tulevien osioiden sisältöä. Suurin osa työssä käytettävistä käsitteistä on Boliden Harjavallan elektrolyysin toimintaan liittyviä personoituja käsitteitä tai yleisesti elektrolyysiprosessiin liittyviä käsitteitä.

2.1 Logistiikka

Yleensä logistiikasta puhuttaessa tarkoitetaan tavaroiden suunnitelmallista liikkumista ja varastointia. Logistiikka sisältää valtavasti erilaisia toimintamalleja eri strategioiden toteuttamiseksi, kuten kysynnän ennustamista, tuotannon nopeuttamista ja varastomäärien optimointia. Logiikkastrategiaa luotaessa on tärkeää, että strategia on yritykselle ja tuotteelle sopiva. (Tapaninen 2018, s. 21–22) Yritykset panostavat logistiikkaan parantaakseen kustannustehokkuuttaan tai lisätäkseen tuotantonsa ja jakelunsa joustavuutta ja kykyä vastata asiakkaiden kasvaviin palveluodotuksiin (Seristö 2002, s. 204).

Työssä tarkastellaan kuvan 3 pystyviivojen välistä logistista ketjua niin alkutuotteen kuin lopputuotteen osalta. Boliden Harjavalla Oy:n elektrolyysissä nämä liittyvät yhteen sisäisen logistiikan kautta siltanosturilogistiikan muodossa.



Kuva 3: Logistiikka ja tuotantoketju (muokattu lähteestä Skøtt-Larsen et al. 2007, s. 24)

Yksinkertaistettuna elektrolyysissä siis alkutuote siirretään suoraan junasta preparaatioyksikön kautta siltanosturilla altaaseen, josta se nousee valmiina lopputuotteena irrotuskoneen kautta suoraan autoon. Työssä suurimpana

tarkastelukohteena on kuvassa 3 esiintyvä yrityksen tuotantoketjun sisäinen aikataulutus sisäisen logistiikan suhteen.

2.2 Anodi ja katodi

Bolidenin Harjavalta Oy:n elektrolyysin päätuotteena on kuparinen katodilevy, joka valmistetaan elektrolyysin avulla elektrolyysialtaissa. Prosessin idea on nostaa alkutuotteen kuparipitoisuus vaaditulle tasolle tuottamalla kestopatodilevyn pinnalle puhdasta kuparia elektrolyysin avulla poistaen samalla suurimman osan alkutuotteen epäpuhtauksista, jotka vajoavat altaan pohjalle.

Epäpuhtauksien poisto on korkealaatuisen kuparin tuotannonossa kriittisessä osassa (Villarreal 1998, s. 405). Davenportin ja Biswasin (2021, s. 10) mukaan elektrolyysiprosessin kuparisessa lopputuotteessa on enää 20 miljoonasosaa (ppm) epäpuhtauksia jäljellä. Näin ollen sitä voidaan käyttää sähköisissä ja muissa korkeaa puhtautta vaativissa tuotteissa. (Davenport & Biswas 2002, s. 10)

Alkutuotteena elektrolyysiprosessille on kuparianodi. Davenportin ja Biswasin (2021, s. 10) mukaan elektrolyysi tarvitsee toimiakseen tasapaksuja kuparianodeita katodien väliin elektrolyysialtaaseen. Anodeita tuotetaan liekkisulatetusta kuparista muottiin kaatamalla. (Davenport & Biswas 2002, s. 10) Kuparianodien kuparipitoisuus on 98–99 %, ja levymäiset anodit painavat noin 400 kg (Boliden Harjavalta, 2021).

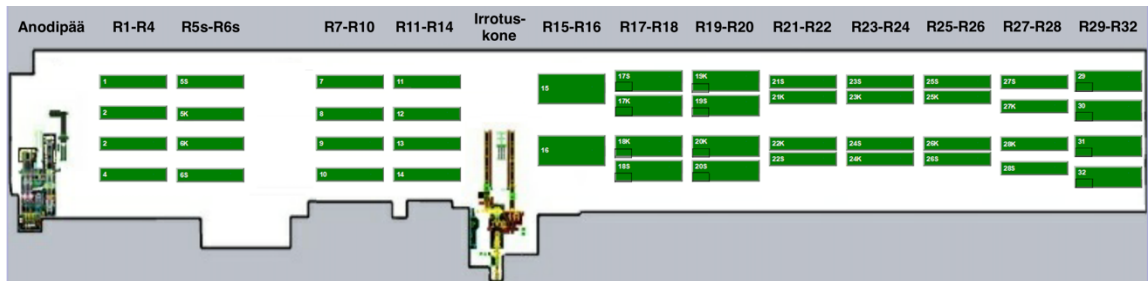
2.3 Nosto-ohjelma ja allasryhmä

Bolidenin elektrolyysin siltanosturilogistiikan aikataulusuunnitelmaa sanotaan nosto-ohjelmaksi. Nosto-ohjelman päätarkoitus on luoda ajopohja nosturikuljettajille ja suunnitella päivän pituus resurssien kannalta mahdolliseksi. Alla oleva taulukko 3 sisältää kuvitteellisen esimerkin nosto-ohjelmasta.

Taulukko 3: Esimerkki elektrolyysin nosto-ohjelmasta (liite I)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Ma	47	5s			29		6s	32	22			124
Ti	51	7			11		10	14	26			132
Ke	50	1			17		28		6k	31		131
To	30	21					4	20	9	13		131
Pe	30	25					15	16	3	19		130
La	47	5k			30		24		23		vesien vaihto	107
Su	51	8			12		5s	29	27			132
Ma	50	2			18		7	11	6s	32		148
Ti	30	22					1	17	10	14		131
Ke	30	26					21		28		konehallin siivous	94
To	47	6k			31		25		4	20		127
Pe	51	9			13		5k	30	15	16		148
La	50	3			19		8	12	24			131
Su	30	23					2	18	5s	29		127
Ma	34	27					22		7	11		115
Ti	47	6s			32		26		1	17		127
Ke	51	10			14		6k	31	21			128
To	34	28					9	13	25			115
Pe	50	4			20		3	19	5k	30		147
La	50	15			16		23		8	12		131
Su	30	24					27		2	18		114

Nosto-ohjelma jaetaan anodinvaihtoihin, joita kutsutaan myös pesuiksi tai pesunostoiksi (sarakeet D–F, taulukko 3) ja katodinvaihtoihin (sarakeet H–K). Sarake C ilmaisee anodinvaihtojen allasmäärää ja sarake M kokonaisallasmäärää päivää kohden. Sarakkeiden D–K numerot ilmaisevat tehtävän allasryhmän numeroa, joiden sijainti hallissa on esitelty kuvassa 4.

**Kuva 4:** Elektrolyysihallin pohjapiirros. Muokattu elektrolyysin Wedgen pohjakuvasta (2021)

Allasryhmiä elektrolyysissä on 34 jotka on numeroitu 1–32, ja ryhmät 5 ja 6 jaettu kahteen osaan (5s, 5k, 6k, 6s). Allasryhmät eivät ole keskenään saman kokoisia, vaan ryhmässä olevien elektrolyysialtaiden määrä vaihtelee ryhmien sisällä. Nosto-ohjelman aikataulullinen tavoite on saada tehtyä päivän suunniteltu allasmäärä työajan puitteissa. Bolidenin elektrolyysissä tehdään kahta vuoroa seitsemänä päivänä viikossa. Anodinvaihdot suoritetaan aamuvuorossa ja katodinvaihdot iltavuorossa.

2.4 Anodi- ja katodijakso

Taulukossa 3 on esiteltyä teoreettinen 21-päiväinen anodijaksopohja. Anodijakso tarkoittaa aikaa, kuinka pitkään anodit ovat ryhmässä ilman, että niitä vaihdetaan uusiin. Tästä seuraa, että anodijakson pituus myös määrittää, missä ajassa elektrolyysin kaikkien ryhmien anodinvaihdot on tehtävä.

Katodijakso tarkoittaa aikaa, kuinka pitkään kestopatodilevy on elektrolyysi-altaassa, ennen kuin se nostetaan altaasta ja irrotetaan katodinippuihin lopputuotteeksi. Katodit irrotetaan kolme kertaa yhden anodijakson aikana. Taulukossa 3 keltaisella merkityt sarakkeet H–I ovat ensimmäisen katodijakson katodinvaihtoja, eli nousevat katodit ovat ensimmäistä kertaa katodinvaihdossa anodinvaihdon jälkeen. Sarakkeet J–K ovat toisen katodijakson katodinvaihtoja, ja kolmas katodinvaihto tehdään samaan aikaan anodinvaihdon aikana.

Anodijaksojen pituutta tarkasteltaessa on tärkeää ymmärtää, että anodijakson pituuden muutos ei vaikuta juurikaan elektrolyysin lopputuotteen määrään, sillä katodin kasvu tapahtuu ainoastaan, kun allasryhmä on kytkettyä virtapiiriin. Nosto-ohjelman lyhennys vaikuttaa negatiivisesti aikahyötysuhteeseen, ja vastaavasti positiivinen vaikutus jakson pituudesta tulee kemialliselta puolelta. Kemiallisen puolen yksityiskohtainen tarkastelu sivuutetaan, koska logistiseen puoleen keskittyvässä työssä ei ole mahdollista käydä läpi myös kemiallista puolta rajausteknisistä syistä.

2.5 Elektrolyysin tärkeimmät tuotannon mittarit

Elektrolyysin yhtenä tärkeänä mittarina on AHS eli aikahyötysuhde. Kupari kasvaa elektrolyysialtaissa ainoastaan silloin, kun ryhmän läpi kulkee tasavirtaa. Aikahyötysuhteen avulla tarkastellaan, kuinka monta prosenttia jaksosta allasryhmä on kytkettyä virtapiiriin tasasuuntaajan kanssa.

Työssä yhtenä osana tutkitaan nosto-ohjelmien vaikutusta aikahyötysuhteeseen. Kun nosto-ohjelman aikaa lyhennetään, joutuu ryhmiä olemaan enemmän pois virroista päivää kohden, joten aikahyötysuhde laskee. Lehtisen (2021) mukaan kuitenkin laskennallisten nosto-ohjelmien vaikutukset aikahyötysuhteeseen ovat pieniä, mutta prosessin kokoluokan takia jo pelkkä 1% lasku aikahyötysuhteeseen tuottaa noin 1730 kuparitonniin tappiot vuotta kohden (J. Lehtinen, henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2021).

OEE on elektrolyysin tärkein mittari, jonka osa myös aikahyötysuhde on. OEE-mittarissa kerrotaan keskenään painotettuna kaikki elektrolyysiin vaikuttavat tuotantoa alentavat tekijät ja saatua lukemaa verrataan teoreettiseen maksimiin (OEE-100%). Muut OEE-laskentaan vaikuttavat tekijät ovat virtahyötysuhde (VHS), tasasuuntaajien virta ja käyntiaste. (J. Lehtinen, henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2021)

3. ELEKTROLYYSIN LOGISTINEN LASKENTA

Jotta nosto-ohjelmia pystytään luomaan, tarvitaan pohjaksi tarkastelua ryhmäkohtaisista ajoista. Tämän tarkastelun aikataulusuunnitelmaa luotaessa on käytävä läpi, mitä muita ongelmakohtia nosto-ohjelmissa voi syntyä.

3.1 Ryhmäkohtainen suoritus aika

Ryhmäkohtainen suoritus aika anodinvaihdossa ja katodinvaihdossa ovat tärkein asia nosturilogistiikan aikataulutuksen kannalta. Koska allasryhmät ovat allasmäärältään eri kokoisia ja etäisyys suoritettavan työn avainlaitteille on eri, on ryhmien suoritusajoissa suurta hajontaa.

Ryhmän suoritus aikaa mitatessa avainasemassa on allasryhmän keskimmäisen altaan sykli aika, eli aika jossa yhdelle altaalle vaadittu työ on tehty kokonaisuudessaan. Anodinvaihdossa tämä tarkoittaa, että anodi tulee preparaatioyksiköstä kammalle, josta nosturi nostaa anodisetin mukaansa, ajaa altaalle, laskee anodit alas, ja nostaa seuraavan altaan käytetyt anodit eli romut mukaansa, ajaa takaisin anodien preparaatioyksikölle ja laskee käytetyt anodit käytettyjen anodien käsittelykoneelle.

Tämän syklin käsin laskeminen on haastavaa, koska esimerkiksi nosturien jarrutusmatkat eivät ole suoraviivaiset. Nosturi jarruttaa ja kiihdyttää nopeammin ilman kuormaa ja kevyellä kuormalla, kuin täysi anodisetti mukanaan. Tästä syystä ainoa luotettava keino on arvioida sykli aikoja toteutuneiden sykli aikojen perusteella. Elektrolyysin Wedge-järjestelmästä voidaan tarkastella nosturien sykli aikoja niin pitkälle, kuin dataa on kerätty. Keräämällä dataa muutamasta täydellisestä keskialtaan syklistä ryhmää kohden saadaan hyvin lähellä totuutta oleva tulos ryhmän ajoajasta. Mittauksen tulokset ovat koottuna 5 sekunnin tarkkuudella liitteessä A.

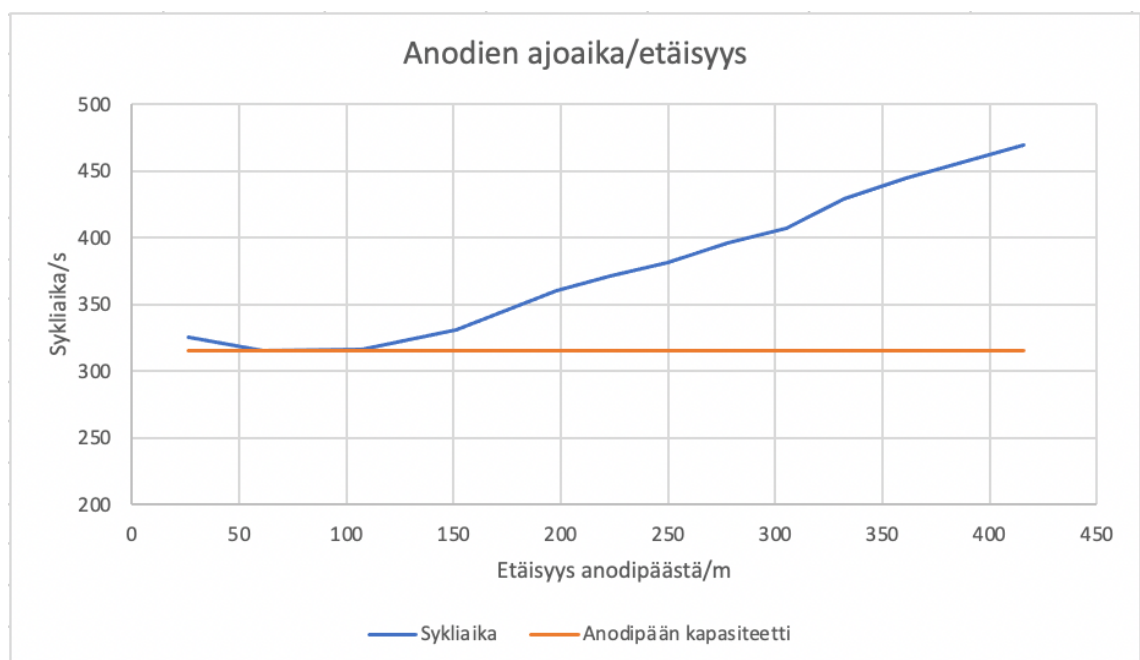
Mittaustuloksia kerätessä on tärkeää myös huomata, että täydelliset sykli ajat voivat joissain poikkeustapauksissa olla laitteiston kapasiteettia nopeampia. Jos esimerkiksi anodinvaihtoa tehdään anodipäätä lähimpiin allasryhmiin (1–6), on mahdollista, että nosturi on odottanut edellisessä syklistä esimerkiksi ryhmässä ollutta häiriötä, jolloin laitteet ovat valmiina jo ennen syklin alkua. Tämän takia tarkastellessa täytyy määrittää, että jos sykli aika on alle laitteen laskennallisen kapasiteetin, voidaan koko ryhmä ajaa samaa nopeutta, kun laitteen kapasiteetti on. Anodipään (preparaatioyksikkö ja käytettyjen anodien käsittelykone) laskennallinen kapasiteetti on 400 anodia tunnissa,

josta seuraa, että 35 anodin anodisetillä laskettaessa sykliajaksi tulee 315 sekuntia. Näin ollen kaikki alle 315 sekunnin sykliajat voidaan merkitä suoraan 315 sekunnin pituisiksi.

Katodinvaihdossa kapasiteettitarkastelu tulee paljon suurempaan rooliin. Katodinvaihdon syklissä nosturi nostaa irrotuskoneen palautuspuolelta tyhjästä kestopalautuslevyt, ajaa ne ryhmään, laskee levyt anodien väliin, nostaa seuraavat täydet katodit ryhmästä, ajaa irrotuskoneelle ja laskee katodit irrotuskoneen pesupuolelle. Irrotuskoneen laskennallinen kapasiteetti on 440 katodia tunnissa, joten 34 katodilla laskettaessa saadaan irrotuskoneen rajoittavaksi sykliajaksi 280 sekuntia.

Koska irrotuskone on lähes keskellä hallia, kuten kuvan 4 hallin pohjapiirroksista nähdään, on lähes kaikki hallin ryhmät ajettavissa katodinvaihdossa päin irrotuskoneen kapasiteettia. Sykliajoja tarkastellessa varianssi katodinvaihdon ajoissa on paljon pienempää kuin anodinvaihdossa, joten tarkasteluksi riittää vain kahden täydellisen keskialtaan syklin tarkastelu wedge-järjestelmästä. Koska ainoana muuttujana katodinvaihdossa on etäisyys ryhmien kesken, tarvitsee löytää mahdollisimman kaukana oleva ryhmä irrotuskoneen kummaltakin puolelta, joka on ajettavissa päin kapasiteettia ja tämän jälkeen tarkastella vain tämän alueen ulkopuolella olevia ryhmiä. Katodinvaihdon vähäisistä muuttujista johtuen voidaan valita löydetty minimiarvo sykliajaksi. Mittaustulokset esitetty liitteessä B.

Laskennan realistisuutta voidaan hyvin tarkastella koko hallin anodin- ja katodinvaihtojen ajat käsittävissä kuvaajissa. Kuvista 5 ja 6 huomataan, että kuvaaja on suora kapasiteettia päin ajettaessa ja sykli aika nousee lähes suoraviivaisesti tämän jälkeen etäisyyden kasvaessa.

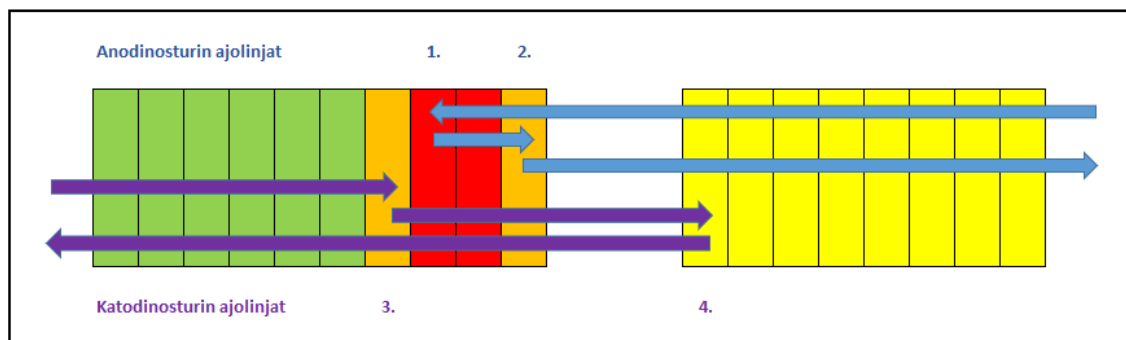


3.2 Muut nosto-ohjelmiin vaikuttavat tekijät

Päivän läpivientiä laskettaessa on tärkeää ottaa huomioon pesunostojen erikoistapaukset ja jäsentää tarkkaan, mitkä asiat vaikuttavat päivän kokonaispituuteen ja mitkä pelkästään aikahyötysuhteeseen. Yksinkertaisesti ajatellen voitaisiin olettaa, että ryhmän ajoaika on suoraan keskialtaan laskettu sykli aika kertaa allasmäärä. Kuitenkin läpivientiin vaikuttaa monta muutakin aikaa vievää tai säästävää asiaa.

Ensimmäinen suuresti läpivientiin vaikuttava asia on pestävien ryhmien oikein ajoitettu sulkeminen, jotta aamuvuoro on jatkuva. Elektrolyysin yksi tärkeä asia päivän pituuden kannalta on, että siltanosturit liikkuvat koko ajan. Jos pesunostoja on aamuvuorossa kaksi kappaletta, täytyy ryhmää suljettaessa ottaa huomioon, että anodeille on aina paikka altaassa, eikä nosturi joudu ajamaan anodipäähän kertaakaan ilman käytettyjä anodeja.

Tämä toteutetaan sulkemalla seuraava pesunostossa oleva ryhmä siinä kohtaa, kun edellisestä pesunostosta ollaan hakemassa viimeisiä käytettyjä anodeja. Koska pesunosto suoritetaan kahdella avoimella altaalla, on seuraava ryhmä suljettava kolmea allasta ennen kuin viimeiset anodit tulevat altaaseen. Kuvassa 7 on esitetty nosturien ajolinjat ryhmää vaihtaessa havainnollistamaan oikeaa sulkemisaikaa.



Kuva 7: Allasryhmän vaihto kahden pesunoston ajossa

Kuvassa sinisellä on merkitty anodinosturin ajolinjat. Anodinosturi ajaa ensin anodipäästä haetut anodit tyhjiin altaaseen joka on kuvassa merkitty numerolla 1. Tämän jälkeen nosturi hakee käytetyt anodit altaasta 2 ja lähtee takaisin anodipäähän. Anodinosturin suorituksen jälkeen katodinosturi suorittaa ajonsa, joka on merkitty kuvaan 7 violetilla. Katodinosturi laskee tyhjät kestopatodit altaaseen 3, jonka jälkeen hakee seuraavasta ryhmästä täydet katodit ja ajaa irrotuskoneelle. Tästä syystä yhden pesunoston päivänä laskennallinen ensimmäisen noston pituus on eri mittainen, kuin kahden noston päivänä. Nostojen pituuden laskenta osina on koottuna liitteessä C.

Ryhmiin sulkemistavasta johtuen toisen pesunoston kolmen ensimmäisen altaan kestoon vaikuttaa edellisen pesunoston kolmen viimeisen altaan aika, eli kahden pesun päivänä ensimmäinen pesunoston aikaan vaikuttava allasmäärä on kolme enemmän, kuin tämän ryhmän allasmäärä. Toisen pesun aikaa laskettaessa allasmäärä on kolme vähemmän, kuin koko ryhmän allasmäärä. Toinen pesunosto ei kuitenkaan ole tässä kohtaa vielä valmis siitä johtuen, että ensimmäinen pesunosto aloitetaan ajamalla kolmet käytetyt anodit tuomatta täysiä anodeja takaisin. Tästä johtuen altaista puuttuvat viimeiset anodit ja kestokatodit. Tämä kuitenkin on aikaisin ajankohta, kun katodeita nostava nosturi voi siirtyä katodinvaihtoon, ja anodeita ajava nosturi voi tehdä pesunoston loppuun.

Tämä menettelytapa on nykyään mahdollista, koska käytössä on hybridinosturit, jolloin anodeita nostava nosturi voi ajaa myös katodit paikalleen pesunoston lopussa. Pelkästään tämä tuottaa jo normaalisti ajettaessa noin 20 minuutin ajansäästön joka päivä hyvin suunnitellussa nosto-ohjelmassa.

Yksi suuresti päivän läpivientiin vaikuttava asia on myös nosturikuljettajien vaihdoista tuleva aikahäviö. Nosturikuljettajia on neljä aamuvuorossa, joista yksi tuottaa kaikki nosturit ja iltavuorossa ajetaan kahdella nosturikuljettajalla. Nosturikuljettajien vaihto kestää noin 5 minuuttia, jolloin kaikki vaihtovälit huomioon ottaen täysimittaisen päivän nosturikuljettajien vaihdosta tuleva aikatappio on 105 minuuttia. Päivän ajoaikaan tämä on helppo summata, kun tiedetään ensin päivän kokonaismitta ja nosturikuljettajien vaihtojen aikataulu.

Läpiviennissä pitää ottaa myös huomioon pesujen erikoistapaukset. Läpivientiin vaikuttavia erikoistapauksia on ryhmien 1–4 pesunostot joissa joudutaan aloittamaan ensimmäiset altaat pelkällä anodinosturilla, sillä kaikki nosturit eivät mahdu anodipään ja veturin takia jonoon kiskolle anodipäähän. Tämä tuottaa kolmen altaan nostoajan verran tappiota pesunoston alkuun.

3.3 AHS-laskenta

Koska aikahyötysuhde ilmoittaa, että kuinka kauan ryhmä on oikosuljettuna pois tasasuuntaajan perästä, täytyy AHS-laskentaa varten tehdä normaaleihin ajoaikoihin AHS-lisäykset. Aikahyötysuhteeseen vaikuttaa myös esimerkiksi ajoajan lisäksi ryhmien sulkemisaika, ryhmän täyttö katodeilla ja ryhmien elektrolyyttipinnan nousun odottaminen.

Koska käytössä on hybridisiltanosturit, voidaan päivän kokonaiskestossa jättää pois suuri osa aikahyötysuhteeseen vaikuttavista tekijöistä, kun lasketaan ryhmäkohtaista aikaa. Näin ollen ryhmän ajoaikaan voidaan suoraan summata lisäaikana aikahyötysuhteeseen vaikuttavat asiat. Aikahyötysuhdetta lasketaan allasminuutteina, joiden tarkoitus on laskea hävittyä aikaa ryhmän allasmäärän suhteessa koko hallin allasmäärään.

Aikahyötysuhteen laskeminen aamun pesunostoihin vaatii paljon enemmän lisäyksiä, kuin illan katodinvaihdot. Pesunostoissa iso aikahyötysuhteeseen vaikuttava asia laskennan kannalta on ryhmän kytkemisajan laskeminen. Ryhmä voidaan kytkeä vasta, kun se on tehty valmiiksi asti, elektrolyyttipinnat on nostettu, ja elektrolyytin lämmöt on kunnossa. Tästä syystä ryhmän aikahyötysuhteen laskemiseksi joudutaan lisäämään ensin aika, joka kestää nosturilla ryhmän täytössä, ja tämän jälkeen vielä aika, joka tulee elektrolyyttipintojen nostamisesta.

Erikoistapauksista R1–R4 vaikuttaa tähän tilanteeseen, ja tästä syystä R1–R4 nosturilla ajettu täyttöaika on reilusti pidempi kuin muissa ryhmissä. Kahden pesunoston päivän sulkemistavasta johtuva laskenta tekee myös tilanteen, jossa on AHS-laskentaan joudutaan lisäämään kolme allasta edellisestä nostosta tulevaa ajoaikaa, jotta jälkimmäisen noston oikeaa sulkemisaikaa pystytään arvioimaan.

4. NOSTO-OHJELMIEN PESUPARIEN LUONTI

Nosto-ohjelmien luomisen ensimmäinen asia on pesuparien luominen. Jotta nosto-ohjelman kokonaisaika olisi mahdollisimman lyhyt, on pesuparien luominen kaikkien huomioon otettavien asioiden mukaan yksi tärkeä osa toimivaa nosto-ohjelmaa.

4.1 Pohjatiedot pesuparien luonnille

Pesuparien luontia koskien tärkein määrittävä tekijä on nostojen yhteispituus, jota voidaan arvioida karkeasti allasmäärällä. Tavoitteena päivittäisessä allasmäärässä on luoda tilanne, jossa jokaisen nosto-ohjelman päivän anodinvaihtojen allasmäärät ovat mahdollisimman tasaisia. Ryhmän altaat on kuitenkin tehtävä aina yhteen putkeen, joten ei ole mahdollista tehdä vain osaa ryhmästä absoluuttisen tasaisen nosto-ohjelman saavuttamiseksi.

Pelkän allasmäärän pohjalta ei kuitenkaan voida luoda vielä ajallisesti tasaista nosto-ohjelmaa. Vaikka esimerkiksi ryhmissä 32 ja 14 on sama määrä altaita, on ryhmän 32 etäisyys anodipäästä noin kaksi kertaa suurempi kuin ryhmän 14. Tästä syystä ryhmä 14 voidaan pariuttaa kahden pesunoston päivinä suuremman allasmäärän ryhmään.

Pesupareissa yksi määrittävä tekijä on, että kahden pesun päivänä toinen pesunosto on aina lähempänä anodipäätä. Tähän syynä on se, että jälkimmäisen pesunoston ollessa irrotuskoneen pohjoispuolella (R1–R14), voidaan pesunoston jälkeen katodeita ajava nosturi irrottaa suoraan eteläpään katodinvaihtoon ilman, että nosturit ajavat kertaakaan toistensa työalueille. Yleensäkin nosto-ohjelmia luodessa tärkeänä asiana on välttää mahdollisimman pitkään nosturien ristiinajoa.

Lähellä anodipäätä oleva pesunosto luo myös mahdollisuuden ottaa häiriötilanteissa menetettyä aikaa kiinni ajamalla ryhmä katodinosturilla tyhjäksi mahdollisimman nopeasti pesunoston aikana. Pesuryhmän nopea tyhjentäminen kuitenkin laskee päivän aikahyötysuhdetta, sillä pesunoston virtoihin kytkeminen viivästyy merkittävästi.

Myös liuoskierrot on otettava huomioon pesunostojen järjestystä suunnitellessa. Yleisenä sääntönä on, ettei kahden pesunoston päivänä anodiliejuja ja elektrolyyttiä päästetä pohjatulppien kautta samaan liuoskierron kaivoon. Jos kaikki pesut menevät samaan kaivoon, saattaa anodiliejun määrä tukkia kaivot ja tuottaa häiriötä pesunoston ajoaikaan, kun elektrolyyttipinnat eivät laske altaista riittävän nopeasti.

Elektrolyysissä lähes kaikissa allasryhmissä on pikatäyttöventtiilit liuospinnan nostamiseksi. Pikatäyttöventtiilit allasryhmissä luovat pesunostoihin tasaisuutta, sillä ne poistavat elektrolyytin lappoamisen tarpeen altaasta toiseen pesunoston aikana. Sifoniletkuilla lappoaminen helposti venyttää pesunoston pituutta, sillä nosturi saattaa joutua odottamaan allasryhmän vieressä pintojen nostamista ja sifoniletkujen siirtoa. Tästä syystä pesupareja valittaessa suositaan ryhmien 29-32 yhdistämistä toisen pesun kanssa ryhmien 21–28 ylitse, sillä näissä jälkeempään mainituissa ryhmissä ei vielä pikatäyttöjä ole.

Viimeinen vaikututus päivän ajoikaan tulee nosturikuljettajien vaihdoista. Elektrolyysin siltanostureita on kolme kappaletta ja niitä ajetaan nosturin hytistä. Vaihdoissa nosturi joudutaan pysäyttämään, ja laskemaan tikkaat alas, jonka jälkeen kuljettajien vaihto voidaan suorittaa. Tähän vaihtoprosessiin on budjetoitu 5 minuuttia aikahäviötä vaihtoa kohti. Erillisiä nosturikuljettajien vaihtoja on 21 kappaletta täysimittaisena päivänä, ja tämä tuottaa aikahäviötä 105 minuuttia. Nosturikuljettajien vaihtoajat on esitelty liitteessä K, ja nosturikuljettajien vaihdon vaikutusaika nosto-ohjelmiin on laskettu mukaan vasta nosto-ohjelman lopullisessa laskennassa päivän pituuden mukaan. AHS-laskentaan nosturikuljettajien vaihdot joudutaan arvioimaan ryhmän ajoajan mukaan.

4.2 21-päiväisen nosto-ohjelman pesuparit

Tällä hetkellä elektrolyysissä on käytössä 21 päiväinen nosto-ohjelma. Tämä järjestely tuottaa sen, että kaikki pikatäyttömät ryhmät ovat tehtävissä yhden pesunoston päivinä. 21-jakoisesta nosto-ohjelmasta seuraa myös se, että pesunostot tehdään aina samana viikonpäivänä vuoden läpi, jolloin VR:n junalogistiikan yhdistäminen nosto-ohjelmaan on helpompaa. Tätä anodilogistiikan osa-aluetta ei kuitenkaan käsitellä tässä työssä, sillä teoreettiset nosto-ohjelmat eivät ota kantaa minä viikonpäivänä ryhmät tehdään.

Pesupareja valittaessa täytyy ensin päättää, mitkä ryhmät tehdään yhden pesunoston päivinä. 21-päiväisen nosto-ohjelman suunnittelussa on helppo valita suoraan pikatäyttömät ryhmät. Tämän jälkeen mietitään pisimmän etäisyyden ryhmät läpi ja teoreettisessa nosto-ohjelmassa ryhmät 29–32 paritettiin laskennoissa nopeimpiin ryhmiin R5–R6 alueelta.

Ryhmät 15 ja 16 ovat ongelmallisia ryhmiä sijoittaa nosto-ohjelmaan, sillä ne ovat suhteellisen nopeita, mutta kuitenkin yhteydessä 3. liuoskiertoon ja sijaitsevat irrotuskoneen eteläpuolella (R15–R32). Tästä syystä nämä ryhmät ovat mielellään

kahden pesunoston päivinä ensimmäisenä pesunostona. Ryhmä 16 pariutettiin lyhyempänä (24 allasta) ryhmään 14 (27 allasta) ja ryhmä 15 (26 allasta) pariutettiin ryhmään 8 (24 allasta), jotta päivien allasmäärä pysyy mahdollisimman tasaisena.

Tämän jälkeen sijoitettavaksi jää pitkistä pesunostoista enää 17–20, jotka yhdistetään mahdollisimman tasaisiin pesunostoihin. Koska ryhmät 1–4 ovat nopeita, mutta erittäin häiriöalttiita lyhyen anodipään etäisyyden takia, koitettiin ryhmien 17–20 yhdistämistä niihin välttää 21-päiväisessä nosto-ohjelmassa. Kuitenkin ryhmän 18 pariuttaminen tasaisimpaan mahdolliseen alkupään ryhmään oli pakollista.

Lopuksi pariutettiin jäljelle jääneet pidemmät ryhmät 11–13 jäljelle jääneiden alkupään ryhmien kanssa. 21-päiväisen nosto-ohjelman pesuparit ja niihin liittyvät ajalliset laskelmat on esitelty liittessä D.

4.3 19- ja 20-päiväisen nosto-ohjelman pesuparit

19- ja 20-päiväisen nosto-ohjelman pesuparien luonti suoritettiin hyvin samalla kaavalla, kuin 21-päiväisen ohjelman pesuparit luotiin. 20-päiväisessä ohjelmassa on kuitenkin jo pakko yhdistää kaksi pikatäytötöntä ryhmää kahden pesunoston päiviin ja 19-päiväisellä ohjelmalla näitä oli jo yhdistettävä neljä kappaletta. Yhden pesunoston päivät valittiin pisimmän etäisyyden mukaan pikatäytöttömistä ryhmistä.

Vaikka ryhmät 29–32 voidaan sijoittaa samalla kaavalla jokasen nosto-ohjelman pesupareiksi, tuottaa jo 20-päiväinen nosto-ohjelma tilanteen, että kaksi anodipään viereistä ryhmää on pakko pariuttaa 30-altaisen ryhmän kanssa. 19-päiväisessä kaikki pikatäytölliset ryhmät 17–20 oli yhdistettävä ryhmiin 1–4.

Ryhmät 16 ja 15 yhdistettiin kummassakin nosto-ohjelmassa ryhmiin 13 ja 14 jotta pesunostojen elektrolyytit eivät mene samaan kaivoon, ja nopeista eteläpuolen ryhmistä saadaan kaikki mahdollinen hyöty irti. Ryhmät 12 ja 11 on mahdollista yhdistää 20-päiväisessä ohjelmassa suoraan anodipään lähellä oleviin ryhmiin.

19-päiväisessä ohjelmassa ainoana mahdollisuutena oli yhdistää pesupariksi 12 ja 10, joka on myös ollut oikeasti käytössä elektrolyysissä yhdistettynä pitkänä pesupäivänä. Ryhmä 11 oli pakon edessä yhdistettävä jo pikatäytöttömään ryhmään, joka yhdistelmänä on hyvinkin kyseenalainen realistisen suoritusaikansa puolesta. Ryhmään 11 pariutettu ryhmä 21 voitaisiin myös yhdistää anodipään vieressä oleviin ryhmiin, mutta silloin päivässä on jo niin monta AHS-haastetta luovaa elementtiä, ettei yhdistelmä ole

kannattava. Myöskin pesupäivänä ryhmän 21 jälkeen ryhmä 11 on erittäin nopea häiriöiden sattuessa tyhjentää katodeista irrotuskoneelle, jolloin katodinvaihtoon on helpompi päästä nopeasti. 19- ja 20-päiväisen nosto-ohjelman pesuparit ja niihin liittyvät ajalliset laskelmat on esitelty liitteissä E ja F.

5. NOSTO-OHJELMIEN LUONTI JA VERTAILU

Nosto-ohjelmaa luotaessa on ensin määritettävä katodijaksojen pituudet. Elektrolyysissä katodijaksojen pituudet ovat tärkeässä osassa lopputuotteiden toimituksien kannalta.

5.1 Katodijaksojen pituus

Nosto-ohjelmia luodessa pesuparien pohjalta on ensimmäisenä valittava nosto-ohjelmien jaotus eli katodinvaihtojen päivät. Tällä hetkellä elektrolyysissä on käytössä 6–7–7 jakoinen nosto-ohjelma. Ideana jaotuksessa on, että ensimmäinen numero ilmaisee pesunoston jälkeisen ensimmäisen jakson pituuden, toinen toisen ja kolmas viimeisen jakson pituuden ennen suoritettavaa pesunostoa. Jaotus lasketaan kokonaisina päivinä, ja tästä syystä esimerkiksi yllä mainittu jakso on katodinvaihtojen ajankohdasta johtuen keskiarvoisesti 6,5–7–7,5.

Katodijaksojen pituuden yhtenä tärkeänä määrittävänä tekijänä on lopputuotteiden toimitukset. Elektrolyysin erikoistoimitukset vaativat hyvää pinnanlaatua ja tiettyä painon alarajaa katodilta. Anodijaksoa lyhennettäessä katodi on vähemmän aikaa allasryhmässä kasvamassa. Tästä syystä etenkin lyhyemmissä nosto-ohjelmissä on häiriötilanteissa tärkeää saada ohjelma nopealla aikataululla takaisin kiinni, jotta mikään katodijakso ei jää liian lyhyeksi toimituksien painorajoituksia ajatellen.

Ensimmäinen katodijakso koitetaan elektrolyysissä pitää niin lyhyenä, kuin katodin paksuuden kannalta on mahdollista ensimmäisen jakson heikomman kasvun seurauksena. Yksinkertaistettuna ensimmäisellä katodijaksolla anodin ja katodin välinen etäisyys (spacing) on pienimmillään ja tästä syystä katodi kasvaa helposti oikosulkuun anodin kanssa epäpuhtauksien vaikutuksesta.

Kuitenkin 5-päiväinen katodi ensimmäiseltä jaksolta alkaa etenkin kemiallisen prosessihäiriön aikaan olemaan niin kapeaa, ettei sitä saada irrotuskoneella helposti irti. Lehtisen (2021) mukaan 5-päiväinen ensimmäinen katodijakso vaatii yli 90% virtahyötysuhteen, jotta katodi on toimituskelpoista painon puolesta myös erikoistoimituksiin (J. Lehtinen, henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2021). Myös edellisenä päivänä otettavien katodinäytteiden otto muuttuu mahdottomaksi lyhyemmillä katodijaksoilla. Tästä syystä kaikkien nosto-ohjelmien ensimmäisen jakson pituudeksi valittiin 6 päivää.

Toinen katodijakso on elektrolyysille erikoistilauksien kannalta tärkein katodijakso. Katodijakso koitetaan pitää mahdollisimman pitkänä, mutta sillekin on raja-arvonsa. Mitä pidempi jakso on, sitä enemmän jaksolta saadaan katoditonnetta nostettua. Kuitenkin lyhyemmällä katodijaksolla saadaan pinnanlaatu pidettyä parempana erikoistilauksia varten. Myöskin yli 7-päiväinen katodijakso alkaa tuottamaan niin painavaa katodia, ettei se ole irrotuskoneen toiminnan kannalta enää optimaalista.

Kolmas katodijakso on kemiallisesti ja pinnanlaadullisesti heikompaa, kuin ensimmäinen ja toinen jakso, sillä anodit liukenevat tällä jaksolla lähes loppuun. Kuitenkin anodin ja katodin välisen etäisyyden ollessa korkeimmillaan voi yksinkertaistettuna viimeisen jakson ryhmä kasvaa paljon menemättä oikosuluille. Tästä syystä viimeiseltä jaksolta saadaan hyvät katoditonnimäärät ylös, vaikka pinnanlaadussa voikin olla suurta vaihtelua. Tästä syystä jakso on hyvä yleistoimituksiin. Myös riittävän pitkä viimeinen jakso antaa pelivaraa häiriötilanteiden varalta, jolloin toisen jakson katodinvaihtoja siirretään päivällä eteenpäin.

Yllä mainituista syistä nosto-ohjelmien jaotukset on valittu seuraavasti:

- 21-päiväinen: 6–7–7
- 20-päiväinen: 6–7–6
- 19-päiväinen: 6–6–6

5.2 Nosto-ohjelmien luonti ja vertailu

Nosto-ohjelmia luotaessa tasaisuus on tärkeässä roolissa. Kun katodijaksojen pituus on määritelty, voidaan nosto-ohjelmaan alkaa sijoittaa tehtäviä allasryhmiä. Yksinkertaistettuna nosto-ohjelmaa luodessa samankaltaiset anodinvaihtopäivät hajautetaan mahdollisimman tasaisin väliajoin. Tasaisten ajoaikojen lisäksi tämä poistaa myös tilanteen, jossa monta päivää peräkkäin kuormitetaan pelkästään samaa liuoskiertoa.

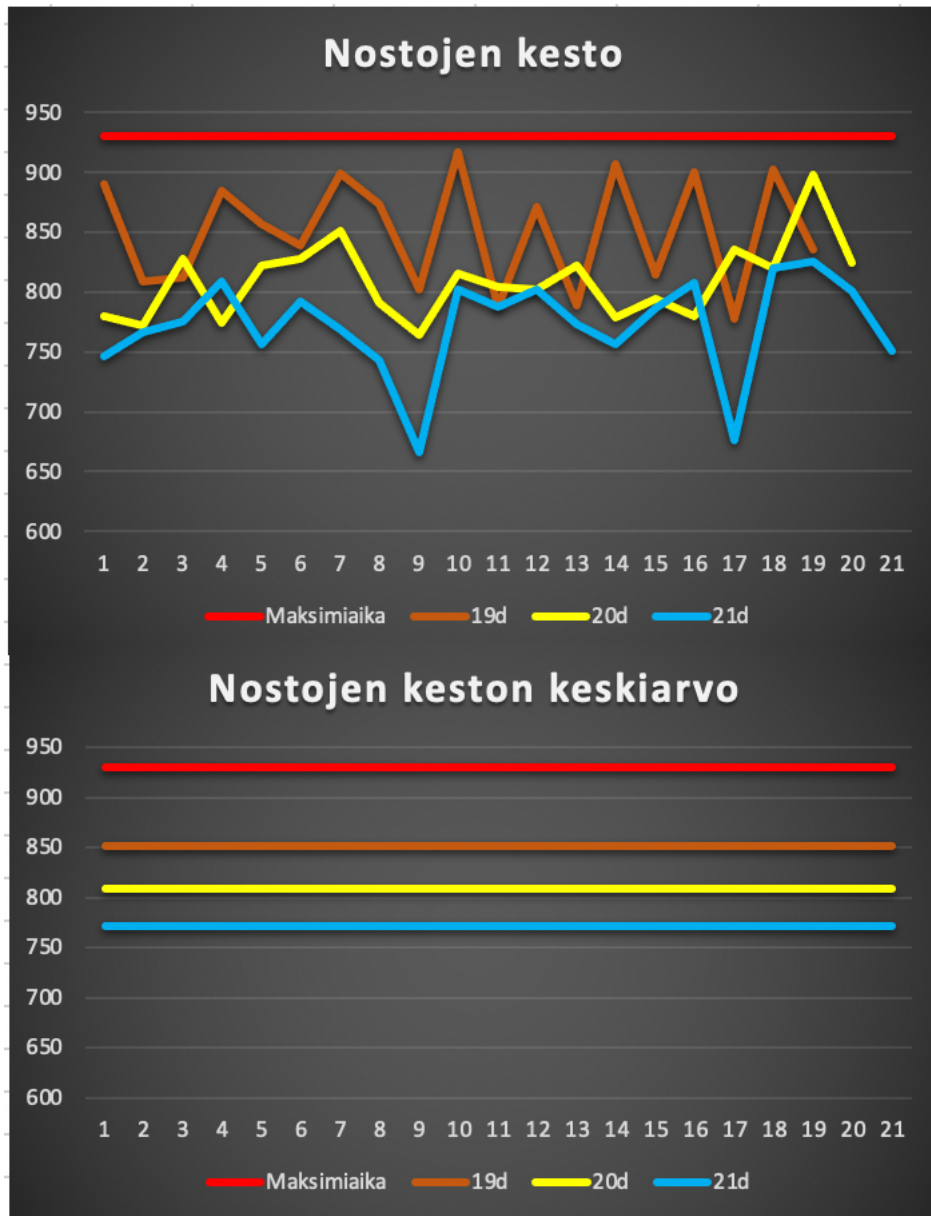
Nosto-ohjelmia luotaessa voidaan päivien ajoaikojen tasoittamiseen käyttää toisen katodijakson pidentämistä tai lyhentämistä yhdellä päivällä. Jaksojen pidentäminen on merkitty nosto-ohjelmiin oranssilla ja lyhentäminen harmaalla. Etenkin lyhyemmällä nosto-ohjelmilla anodinvaihdot sijoittaessa välttämättä tulee päiviä joiden pituus on jo teoriassa laskettuna yli päivän maksimipituuden eli 930 minuuttia, joten toisten jaksojen siirtäminen on tarpeellista.

Nosto-ohjelmiin sijoittaessa on kannattavaa sijoittaa ensin kaikki kahden pesunoston päivät ja jättää tasaisesti yhden pesunoston päiviä näiden väliin, jotta häiriötilanteissa voidaan katodinvaihtoja siirtää seuraaville päiville. Lyhyet päivät ovat tärkeitä huoltojen ja nosto-ohjelman kiinni ajamisen kannalta.

Yleiskaavana nosto-ohjelmien pesuparit on jaettu neljän samankaltaisen nostopäivän osioihin, ja sijoitettu tasaisin väliajoin ohjelmaan. Ensimmäisten sijoitusten jälkeen seuraavat neljä on sijoitettu jättämällä yksi päivä välistä edellisiin sijoituksiin, ja seuraavat neljä samalla kaavalla. Jäljelle jääneet kahden pesunoston päivät ovat tämän jälkeen sijoitettu tarkastelemalla päivien pituuksia, jonka jälkeen yhden pesunoston päivät on sijoitettu tyhjiin väleihin.

Tämän jälkeen on tarkasteltu nosto-ohjelmien suurimpia ongelmakohtia päivien pituuden ja allasmäärien suhteen. Siitä syystä muutamia ryhmiä on vaihdettu keskenään, jotta ohjelmaan jää mahdollisuuksia siirtää toisen jakson katodinvaihtoja ohjelman tasoittamiseksi. Valmiit nosto-ohjelmat on esitelty liitteissä D, E ja F.

Nosto-ohjelmien perään on laskettu päivän läpiviennin kannalta tärkeimmät lukemat suoritusajan ja AHS:n suhteen, jotta ohjelmat ovat vertailtavissa keskenään. Kuvassa 8 on esitelty nosto-ohjelmien päiväkohtaisten teoreettisten ajoajat jokaisesta nosto-ohjelmasta ja alapuolella myös tehty yksinkertaistettu kuvaaja nosto-ohjelmien keskiarvoisesta ajoajasta.



Kuva 8: 19-, 20- ja 21 päiväisten nosto-ohjelmien kesto, ja keston keskiarvo (liite G)

Kuvaajista huomataan, että 21-päiväisessä nosto-ohjelmassa olevat huoltoihin ja nosto-ohjelman kiinni ajamiseen suunnitellut lyhyemmät päivät katoavat kokonaan jo 20-päiväisessä nosto-ohjelmassa. 19-päiväisessä nosto-ohjelmassa ajaudutaan jo vääjäämättä tilanteeseen, missä ohjelman tasoitusyrityksistä huolimatta on lopputuloksena joka tapauksessa päiviä, joiden teoreettinen ajoaika on hyvin lähellä maksimaalista päivän pituutta. Tämä luo reaalitylanteessa varmasti nosto-ohjelman perään jäämistä, sillä Lehtisen (2021) mukaan onnistuneet 150-altaiset normaalin päivämitan puitteissa tehdyt päivät ovat erittäin harvinaisia jopa uusilla hybridinostureilla (J. Lehtinen, henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2021).

Nosto-ohjelman realistista suoritushallittavuutta on helppo havainnollistaa kuvan 8 keskiarvoilla. Päiväkohtaisen häiriöajan on mahdollista ohjelman keskiarvon ja maksimimitan väliin. Nosto-ohjelman lyhentäminen pienentää tätä aluetta. 19-päiväisen nosto-ohjelman pituuden keskiarvon ollessa 851 minuuttia, erotus päivän maksimimitaan on 79 minuuttia.

79 minuutin häiriömarginaali päivässä voi kuulostaa suurelta, mutta todellisuudessa se on todella vähän. Elektrolyysissä on ihmisiä töissä, eikä etenkin pesunostoissa jokainen sykliäika ole optimaalinen. Nosturi voi joutua odottamaan altaalla, jos altaassa on jotain perustyötä suurempaa puhdistettavaa, tai elektrolyyttipinta ei liiku putkistoissa toivotulla tavalla.

Myöskin optimaaliset syklijat pesunostossa vaativat jokaisen hallin laitteen moitteetonta toimintaa ja suureksi osaksi kaiken tarvitsee toimia myös kokoajan päin kapasiteettia. Tähän yhdistettynä lyhyempien nosto-ohjelmien huoltoaikojen kiristyminen tuottaa pitkällä aikavälillä isoja aikahyötysuhteellisia menetyksiä laitteistorikkojen ja toimintahäiriöiden myötä, joihin lyhyemmissä nosto-ohjelmissä ei ole varaa.

Ilman laitteistohäiriöitä jo minuutin häviäminen laskennallisesta pesunoston allasyklistä ei ole mitenkään poikkeuksellista. Minuutin aikahäviöllä allasta kohti saadaan 19-päiväisen nosto-ohjelman mahdolliseksi häiriöajaksi 57 altaan pesupäivänä 22 minuuttia, jolloin jo pieninkin laitteistohäiriö tai nosturikuljettajien vaihdon viivästyminen tekee päivästä mahdottoman, vaikka koko iltavuoro ajettaisiin täysin optimaalisesti.

Elektrolyysin ryhmien ajoaikaan vaikuttavien kirjattujen logistiikka- ja laitteistohäiriöiden keskiarvo päivää kohti oli tämän vuoden lokakuussa noin 80 minuuttia. Häiriökirjauksia ei tehdä alle 15 minuutin häiriöistä, joten realistinen häiriöaika tältä aikaväliltä on suurempi. Pelkästään häiriökirjaukset huomioon ottaen 19-päiväisen nosto-ohjelman keskiarvopituus olisi jo yli päivän maksimipituudesta, ja 20-päiväisen nosto-ohjelmaan jäisi noin 40 minuuttia aikaa päivää kohti, jos kaikki ajot häiriöiden ulkopuolella ajettaisiin optimaalisesti.

Kuitenkin reaalityöntekseen skaalattuna jopa 21-päiväinen nosto-ohjelma jäi perään 6 tuntia, joka ajettiin kiinni työajan ulkopuolella ylitöinä, vaikka 21-päiväisessä ohjelmassa oli häiriökirjauksen laskemisen jälkeen on varaa vielä lähes 80 minuuttia päivää kohti, jos ajot olisivat optimaalisia. Karkeasti arvioiden siis 20-päiväisellä ohjelmalla oltaisiin jääty 6 tunnin lisäksi perään 21-päiväisen ohjelman ja 20-päiväisen ohjelman erotuksen verran eli noin 40 minuuttia ja 19-päiväisellä noin 80 minuuttia päivää kohti. 6 tunnin yövuoroina tämä olisi tarkoittanut lokakuussa 20-päiväisellä ohjelmalla noin 4,5 ylitöinä tehtyä yövuoroa ja 19-päiväisellä noin kahdeksaa yövuoroa.

5.3 Laskennallisen nosto-ohjelman vertailu käytössä olevaan

Jotta käytössä olevaa nosto-ohjelmaa voidaan arvioida, on se sijoitettava vastaavaan laskupohjaan, kuin luodut nosto-ohjelmat. Käytössä olevan 21-päiväisen nosto-ohjelman laskenta esiteltä liitteessä J. Taulukossa 4 on yhdistettynä käytössä oleva ja laskennallinen 21-päiväinen nosto-ohjelma.

Taulukko 4: Käytössä olevan ja laskennallisen nosto-ohjelman vertailu (liite H)

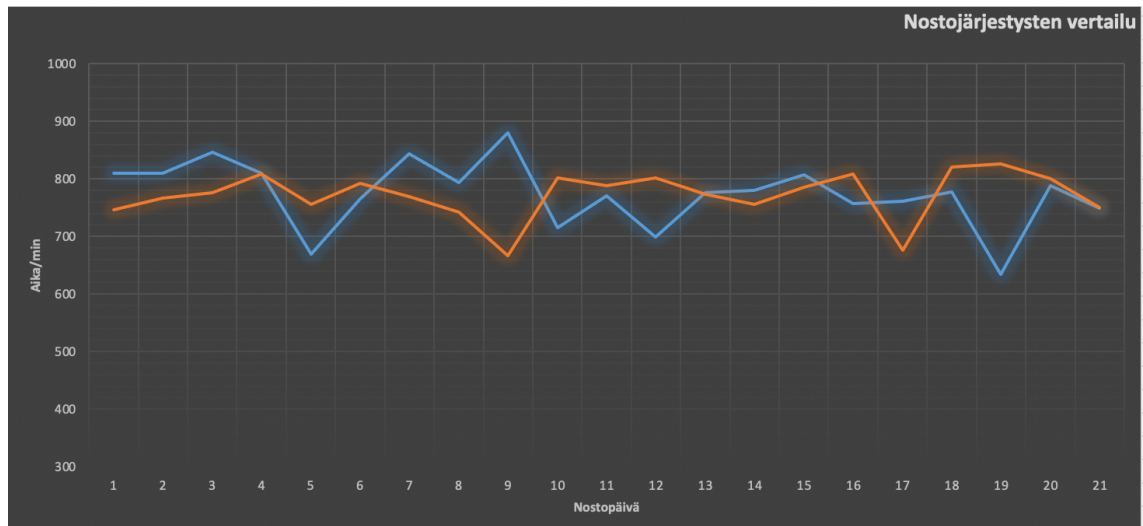
Tämänhetkinen nosto-ohjelma										
Allasmäärä A					Allasmäärä K					t/min
34	27		15	3	31	6k	127	127	809	
57	18	14	9	5s	22		131	131	810	
47	29	2	25		17	13	134	134	847	
34	28		16	8	32	5k	129	129	810	
50	19	6s	26		23		110	110	669	
30	21		11	7	12	10	132	132	765	
47	30	4	27		24	3 (-1)	131	131	844	
50	20	1	18	14	15		133	133	794	
47	31	6k	29	2	9	5s	138	138	880	
30	22		28		25	8 (-1)	118	118	715	
57	17	13	19	6s	16		131	131	770	
47	32	5k	21		26		107	107	698	
30	23		30	4	11	7	128	128	775	
51	12	10	20	1	27		135	135	780	
30	24		31	6k	18	14	134	134	807	
46	15	3	22		29	2	123	123	757	
44	9	5s	17	13	28		135	135	761	
30	25		32	5k	19	6s	127	127	778	
48	16	8	23		21		108	108	634	
30	26		12	10	30	4	128	128	788	
51	11	7	24		20	1	131	131	748	
773										

Allasminuutit 100%	26913600
AHS	98,24%

Laskennallinen ohjelma										
Allasmäärä A					Allasmäärä K					t/min
47	11	1	31	6s	24		124	124	746	
30	21		22	14	16	3 (-1)	131	131	767	
47	29	5s	32	6k	13		121	121	776	
34	27		28		25	18 (-1)	128	128	809	
54	17	7	20	10		4	128	128	756	
47	30	5k	15	8	26		127	127	792	
30	23		11	1	19	9	191	191	769	
47	12	2	21		31	6s	124	124	743	
30	24		29	5s	22		107	107	666	
51	16	14	27		32	6k	132	132	802	
47	13	3	17	7	28		135	135	788	
30	25		30	5k	20	10	131	131	802	
50	18	4	23		15	8	130	130	773	
30	26		12	2	11	1	124	124	756	
54	19	9	24		21	5s (-1)	134	134	786	
47	31	6s	16	14	29		125	125	808	
30	22		13	3	27		111	111	676	
47	32	6k	25		17	7	131	131	820	
34	28		18	4	30	5k	131	131	826	
54	20	10	26		23	2 (-1)	134	134	801	
50	15	8	19	9	12		131	131	751	
772										

Allasminuutit 100%	26913600
AHS	98,24%

Taulukosta 4 huomataan, että aikahyötysuhde on kummassakin ohjelmassa sama kahden desimaalin tarkkuudella. Kuitenkin nosto-ohjelmien ollessa samanmittaisessa pohjassa, hyvin lähellä optimoitua olevissa ohjelmissa ei voi suurta eroa aikahyötysuhteessa olla. Nosto-ohjelmien muita eroavaisuuksia voidaan havainnollistaa päiväkohtaista ajoaikaa ilmoittavalla kuvaajalla (kuva 9), jossa molemmat ohjelmat on sijoitettu samaan kuvaajaan.



Kuva 9: Käytössä olevan ja laskennallisen nosto-ohjelman päivän kesto (liite H)

Kuvaajista voidaan huomata, että laskennallinen ohjelma (oranssi) on hieman päivätasolla tasaisempi ajoaikojen suhteen, eikä ohjelmassa ole yhtään pitkää päivää. Kuitenkin tämä on otettu huomioon myös käytössä olevassa nosto-ohjelmassa (sininen), ja lähes 900 minuuttisen päivän jälkeen on lyhyt päivä, jolloin ohjelma voidaan tasoittaa, jos ohjelmasta jäädään perään.

Kuvasta 9 nähdään, että kummassakin ohjelmassa on kaksi selvää huoltopäivää. Käytössä olevan ohjelman keskivaiheilla on myös kaksi lyhyempää päivää vielä huoltopäivien lisäksi, joita laskennallisessa ohjelmassa ajoaikojen tasaisuuden takia ei ole.

Yleisellä tasolla tarkasteltuna voidaan huomata, että käytössä oleva ohjelma on kutakuinkin yhtä lähellä optimaalista, kuin työtä varten laskettu nosto-ohjelma. Kuitenkin työssä laskettu 21-päiväinen nosto-ohjelma on myös käyttökelpoinen, jos Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysi näkee tarpeelliseksi tasoittaa ohjelmaa entisestään.

6. TULOKSET JA YHTEENVETO

Työssä tutkittiin Boliden Harjavalta Oy:n sisäistä logistiikkaa laskemalla teoreettiset päivien ryhmäajojen pituudet 19-, 20- ja 21-päiväisen nosto-ohjelman suhteen. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää sisälogistiikan ja työntekijöiden työajan tuomiin rajoitteisiin sopiva nosto-ohjelman pituus Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysille, ja tarkastella uusien hybridinosturien luomaa mahdollisuutta lyhentää käytössä olevaa nosto-ohjelmaa.

6.1 Tutkimuksen tulokset

Laskennan tuloksista voidaan huomata, että nosto-ohjelmien pituuden lyhentäminen vaatii pohjalle luotettavan laitteiston ja tasaiset suoritusajat etenkin anodinvaihtoihin. Katodinvaihdot ovat suoritusajoiltaan paljon tasaisempia, sillä työhön vaikuttaa ainoastaan yksi nosturi ja irrotuskone. Kuitenkin etenkin irrotuskoneen pysähtyessä katodinvaihto tuottaa välittömästi häiriöaikaa ja aikahyötysuhteen laskua, sillä vaihtoehtoista menetelmää katodien irrottamiselle ei ole.

Vaikka virtahyötysuhdetta saataisiin parannettua nosto-ohjelmaa lyhentämällä, kumoutuu hyöty osittain jo aikahyötysuhteen heikkenemisellä. Lyhyempi nosto-ohjelma saattaa väliaikaisesti tasoittaa työntekijöiden työaikaa lähemmäs optimaalista tuntimäärää, kun ajettavat ryhmät eivät lopu kesken iltavuorossa, mutta häiriötilanteissa henkilöstöresurssien kustannukset nousevat välittömästi ylitöinä suoritettujen töiden muodossa. Etenkin 19-päiväisessä nosto-ohjelmassa joudutaan kuormittamaan työntekijöitä ylimääräisillä vuoroilla aina, koska ohjelmassa ei ole juurikaan päiviä, jossa ohjelma voitaisiin helposti ajaa takaisin kiinni edes teoreettiselta pohjalta tarkasteltuna.

Tällä hetkellä elektrolyysin yhtenä ongelmana on etenkin ensimmäisen jakson virtahyötysuhteen vaihteleva suorituskyky, jonka heittelyvälin kokoluokka on voi olla jopa 40% ryhmien välillä (J. Lehtinen, henkilökohtainen tiedonanto 20.10.2021), jolloin kaikki pienempi optimointi katoaa virtahyötysuhteen tuomiin tuotantotappioihin. Näinollen prosessin kemiallisen puolen tasaisuus on tarpeellista saavuttaa ennen nosto-ohjelmien muutostöitä, jotta hyöty voidaan havaita, eikä ajauduta jaksoja lyhentäessä tilanteeseen, missä ryhmistä nouseva katodi on niin kevyttä, ettei sitä voida irrottaa ja myydä eteenpäin.

Laskennan pohjalta voidaan silti todeta, että Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysihallissa on potentiaalia ajaa ryhmiä nopeasti, kun katodin pinnanlaatu ja paino on kunnossa, ja laitteisto toimii. Tästä syystä laitteiston varmatoimiseksi saamisen ohella pikatäyttöjen toimintakuntoon saaminen koko halliin ja viimeistään tämän jälkeen nosturien anodiajon automaattisekvenssien luonnilla on mahdollista saada elektrolyysin ajalliseen suorituskykyyn vaadittua tasaisuutta, jolloin esimerkiksi 20-päiväinen anodijakso voi olla parempi vaihtoehto elektrolyysin toiminnalle. 19-päiväinen anodijakso vaatii jo saumattomasti toimivan laitteiston, nosturilogistiikan ja vähintään katodikoneen tai anodipään kapasiteetin noston, jotta päivät loppuvat nosto-ohjelman tiukasta aikataulusta huolimatta normaalin työajan puiteissa.

Mikään työssä laskettu nosto-ohjelma ei ole teoreettisesti tarkastellen mahdoton toteutettavaksi, vaikkakin 19-päiväinen on jo tämänhetkisellä laitteistolla teoreettinen minimi anodijakson pituudeksi, ja vaatii lähes päivittäin laitteiston kapasiteettia vastaavaa ajoa koko nosto-ohjelman ajalta. Kuitenkin tällä hetkellä tulosten valossa voidaan todeta, että ennen suoritettuja toimia ja vaaditun prosessin tasaisuuden saavuttamista 21-päiväinen nosto-ohjelma on riskienhallinnallisesti ja henkilöstökustannusten kannalta turvallisin vaihtoehto elektrolyysin toiminnalle.

6.2 Tulosten arviointi

Tutkimusongelman ydinkysymyksenä työssä pohdittiin, minkä pituinen anodijakso on Bolidenin elektrolyysin toiminnan kannalta toimivin. Tulokset vastasivat asetettuun ydinkysymykseen kattavasti. Logistisen laskennan todenpitävyyttä on tarkasteltu koko työn tekemisen ajan elektrolyysin Wedge-järjestelmästä, ja laskennan tulokset näyttävät olevan myös linjassa todellisen elektrolyysihallin toiminnan kanssa.

Työn ollessa toimenanto suoraan toiminnassa olevalta yritykseltä, on tärkeää, että työ vastaa myös riittävän kattavasti yrityksen vaatimiin asioihin. Empiirisen osion laskenta on yrityksen kevyempiin vastaaviin laskentojen tuloksiin verrattuna hyvin samalla linjalla, joten voidaan olettaa tulosten olevan hyvin lähellä todellisuutta ja käyttökelpoisia myös tulevaisuutta ajatellen yrityksen toiminnassa. Myös työstä tuloksena saatuja nosto-ohjelman osia voidaan soveltaa yrityksen nosto-ohjelmia suunnitellessa tai käyttää sellaisenaan kokonaisuutena nosto-ohjelmaksi. Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysin päällikkö ja prosessi-insinööri olivat tyytyväisiä sisäisen logistiikan toimintaperiaatteiden ja nosto-ohjelmiin vaikuttavien tekijöiden dokumentoinnin laatuun, ja pitivät laskennasta saatuja tuloksia käyttökelpoisina yrityksen toiminnalle.

6.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Työn laskentaa voidaan käyttää hyödyksi tulevaisuudessa siltanosturien anodijosekvenssien automatisoinnissa ja uusien nosto-ohjelmien suunnittelussa. Työtä varten tehdyllä Excel-pohjalla voidaan arvioida suoraan suunniteltujen nosto-ohjelmien teoreettista kestoja, joka on tarpeellista aina uusien nosto-ohjelmien luodessa.

Työn laskenta luo pohjan myös laajemmalle elektrolyysin tuotannon mittarien tutkimukselle, sillä työn laskenta sisältää pohjan aikahyötysuhteen arvioimiselle. Yhtenä jatkotutkimusmahdollisuutena on jatkaa tutkimusta myös elektrolyysin virtahyötysuhteen puolelle, joka rajattiin työstä ulos, jotta työ pystyttiin pitämään kandidaatin työksi soveltuvan laajuisena.

6.4 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin Boliden Harjavalta Oy:n elektrolyysin logistiikan laskentaa ja mahdollisia nosto-ohjelmia teoreettisen logistiikkalaskennan pohjalta, jonka tuottamat 19-, 20- ja 21-päiväiset nosto-ohjelmat on esitetty liitteissä D, E ja F. Lopputuloksena työstä saatiin, että ennen elektrolyysin logistiikkaan vaikuttavia muutostöitä ja prosessin tasalaatuisuuden saavuttamista 21-päiväinen nosto-ohjelma on turvallisin vaihtoehto nostojen aikataulussa pysymisen kannalta. Nosto-ohjelman lyhentämisestä saadut virtahyötysuhteen mahdolliset nousut kumoutuvat osittain aikahyötysuhteen pudotessa, ja lyhyemmät nosto-ohjelmat ovat alttiita aikasuhteeseen vaikuttaviin logistisiin häiriöihin.

20-päiväinen nosto-ohjelma on käyttökelpoinen, kun yritys saa tasaisuutta prosessiin, koneiden toimintaan ja kun yrityksen sisälogistiikkaa suorittavien siltanosturien anodijosekvenssit saadaan automatisoitua. 20-päiväisessä nosto-ohjelmassa on vielä tilaa häiriöille, mutta isoissa häiriötilanteissa ajaututaan aina tekemään työt normaalin työajan ulkopuolella.

19-päiväinen nosto-ohjelma on tämän hetken laitteistolla teoreettinen minimi nosto-ohjelman pituudeksi ja 19-päiväiseen nosto-ohjelmaan siirryttäessä on elektrolyysin logistiikan oltava jo siinä pisteessä, että rajoittavana tekijänä ajoissa on lähes koko työajan kaikkien laitteiden kapasiteetti. Nosto-ohjelmassa ei ole varaa ajaa isoja häiriöitä kiinni, vaan häiriötilanteiden luoma ohjelmassa jälkeen jääminen on aina ajettava kiinni normaalin työajan ulkopuolella. Myös ennen 19-päiväiseen nosto-ohjelmaan siirtymistä

on irrotuskoneen tai anodipään kapasiteetin ja nosturien siltanopeuden nostaminen tarpeellista.

LÄHTEET

Boliden Harjavalta (2020). Yritysesite, Haettu 24.10.2021 osoitteesta:
<https://indd.adobe.com/view/978b9e46-3492-45e2-9ad7-ae1c844ab22b>

Davenport, W., Biswas, A. (2002). Extractive metallurgy of copper: chapter 1, 4th edition, Danvers, Oxford, s. 10

Seristö, H. (2002). Kansainvälinen liiketoiminta, WSOY, Helsinki, s. 204

Skjøtt-Larsen, T., Schary, P., Mikkola, J. & Kotzab, H. (2007). Managing the Global Supply Chain, 3rd edition, Copenhagen Business School Press, s. 24

Tapaninen, U. (2018). Logistiikka ja liikennejärjestelmät, Otatieto, Helsinki, s. 21–22

Villarroel, D (1999). Process for refining copper in solid state. Oxford: Elsevier Ltd; Minerals engineering, 1999, julkaisu 12, s. 405

Wincewicz-Bosy, M., Dymyt, M., Wasowska, K. (2021). The Supply Chain of the Mining industry: The Case of Copper Mining. Anixis; European Research Studies, julkaisu 24. s. 204

LIITTEET

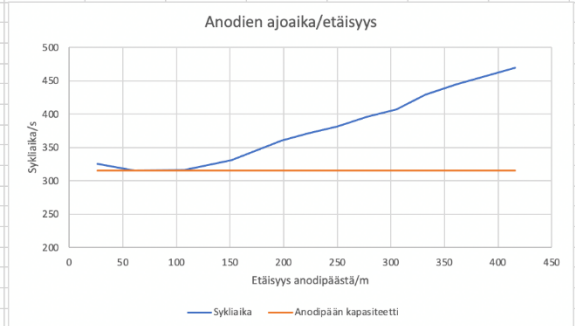
Liite A

Anodiainkalkulaatio

Ryhmä	Allasmäärä	Keskiarvoan syklijat anodiaink/s					Romukoneen ja prepin kapasiteetti 400/h	AVG/s		Noston kesto avg/min	t/h:min		Ryhmä
		23.9.2020->	14.10.2020->	10.1.2021->	30.1.2021->	25.10.2021->		Korjattu/pyöristetty	t/h:min		t/h:min		
R1	20	320	345	340		325	332,50	333,00	111,00	1	51	R1	
R2	20	325	330	320		325	325,00	325,00	108,33	1	48	R2	
R3	20	335	320	335		320	327,50	328,00	109,33	1	49	R3	
R4	20	325	300	320		300	311,25	315,00	105,00	1	45	R4	
R5	20	315	300	300		300	303,75	315,00	105,00	1	45	R5	
R5k	20	310	305	300		300	303,75	315,00	105,00	1	45	R5k	
R6	20	310	300	325		315	312,50	315,00	105,00	1	45	R6	
R6k	20	315	300	315		310	310,00	315,00	105,00	1	45	R6k	
R7	24	315	310	315		325	316,25	317,00	126,80	2	7	R7	
R8	24	315	315	305		310	311,25	315,00	126,00	2	6	R8	
R9	24	315	320	315		315	316,25	317,00	126,80	2	7	R9	
R10	24	315	315	325		310	316,25	317,00	126,80	2	7	R10	
R11	27	325	340	345		330	335,00	335,00	150,75	2	31	R11	
R12	27	315	340	340		330	331,25	332,00	149,40	2	29	R12	
R13	27	320	335	330		335	330,00	330,00	148,50	2	29	R13	
R14	27	320	340	320		325	326,25	327,00	147,15	2	27	R14	
R15	26	360	345	360		360	356,25	357,00	154,70	2	35	R15	
R16	24	365	360	365		360	362,50	363,00	145,20	2	25	R16	
R17	30				365	370	368,33	369,00	184,50	3	5	R17	
R18	30			375	370	375	373,33	374,00	187,00	3	7	R18	
R19	30			385	380	390	385,00	385,00	192,50	3	13	R19	
R20	30			375	370	385	376,67	377,00	188,50	3	9	R20	
R21	30	390	395	395		410	397,50	398,00	199,00	3	19	R21	
R22	30	380	385	395		420	395,00	395,00	197,50	3	18	R22	
R23	30	390	405	410		400	401,25	402,00	201,00	3	21	R23	
R24	30	435	410	405		400	412,50	413,00	206,50	3	27	R24	
R25	30	420	435	445		420	430,00	430,00	215,00	3	35	R25	
R26	30	425	425	425		435	427,50	428,00	214,00	3	34	R26	
R27	34	440	450	450		445	446,25	447,00	253,30	4	13	R27	
R28	34	450	440	430		450	442,50	443,00	251,03	4	11	R28	
R29	27	460	460	460		465	461,25	462,00	207,90	3	28	R29	
R30	27	455	465	460		470	462,50	463,00	208,35	3	28	R30	
R31	27	510	455	470		480	478,75	479,00	215,55	3	36	R31	
R32	27	490	460	460		480	472,50	473,00	212,85	3	33	R32	

Punainen merkintä: Anodit ajettavissa pään anodipään kapasiteettiä

anodisettii/tunti max	11,43	Anodisettii/s	0,0031746	syklijat/s	315
Ryhmäajat	h/min	Ryhmä	Etäisyys/m	Syklijat	Kapasiteetti
R1-R4: Aika	108,4166667	R1-R4	26	325,25	315
1	48	R5k-R6k	61	315	315
R5k-R6k: Aika	105	R7-R10	107	316,5	315
1	45	R11-R14	151	331	315
R7-R10: Aika	126,6	R15-R16	198	360	315
2	7	R17-R18	223	371,5	315
R11-R14: Aika	148,95	R19-R20	250	381	315
2	29	R21-R22	278	396,5	315
R15: Aika	154,7	R23-R24	305	407,5	315
2	35	R25-R26	332	429	315
R16: Aika	145,2	R27-R28	361	445	315
2	25	R29-R32	416	469,25	315
R17-R18: Aika	185,75				
3	6				
R19-R20: Aika	190,5				
3	11				
R21-R22: Aika	198,25				
3	18				
R23-R24: Aika	203,75				
3	24				
R25-R26: Aika	214,5				
3	35				
R27-R28: Aika	252,1666667				
4	12				
R29-R32: Aika	211,1625				
3	31				



Liite B

Katodiaikojen laskenta

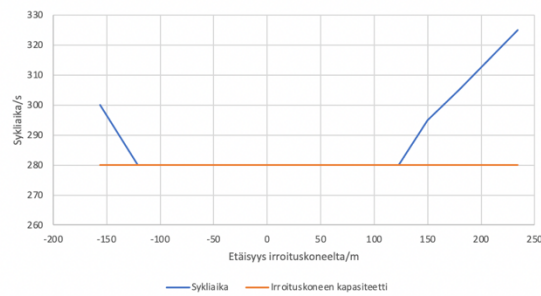
Keskiältaan syklijat katodiajo/s				(Tarkkuus 5s)	Irrituskoneen kapasiteetti 440/h			
Ryhmä	Allasmäärä	11.3.2021->	25.10.2021->	Min	Noston kesto avg/min	t/h:min		
R1	20	305	310	300	100,00	1	40	R1
R2	20	315	315	300	100,00	1	40	R2
R3	20	310	300	300	100,00	1	40	R3
R4	20	315	315	300	100,00	1	40	R4
R5s	20			280	93,33	1	33	R5s
R5k	20			280	93,33	1	33	R5k
R6k	20			280	93,33	1	33	R6k
R6s	20	280	280	280	93,33	1	33	R6s
R7	24			280	112,00	1	52	R7
R8	24			280	112,00	1	52	R8
R9	24			280	112,00	1	52	R9
R10	24			280	112,00	1	52	R10
R11	27			280	126,00	2	6	R11
R12	27			280	126,00	2	6	R12
R13	27			280	126,00	2	6	R13
R14	27			280	126,00	2	6	R14
R15	26			280	121,33	2	1	R15
R16	24			280	112,00	1	52	R16
R17	30			280	140,00	2	20	R17
R18	30			280	140,00	2	20	R18
R19	30			280	140,00	2	20	R19
R20	30			280	140,00	2	20	R20
R21	30			280	140,00	2	20	R21
R22	30			280	140,00	2	20	R22
R23	30			280	140,00	2	20	R23
R24	30	265	270	280	140,00	2	20	R24
R25	30	295	300	295	147,50	2	28	R25
R26	30		295	295	147,50	2	28	R26
R27	34	310	305	305	172,83	2	53	R27
R28	34	305		305	172,83	2	53	R28
R29	27			325	146,25	2	26	R29
R30	27			325	146,25	2	26	R30
R31	27	325	325	325	146,25	2	26	R31
R32	27		325	325	146,25	2	26	R32

Punainen merkintä: Katodit ajettavissa päin irroituskoneen kapasiteettia

Katodisettiä/tunti max	12,94117647	Katodisettiä/s	0,003594771	sykli aika/s	278,18
------------------------	-------------	----------------	-------------	--------------	--------

Ryhmäajat	h/min	Ryhmä	Etäisyys/m	Sykli aika	Kapasiteetti
R1-R4: Aika	100	R1-R4	-156	300	280
1	40	R5k-R6k	-121	280	280
R5k-R6k: Aika	93,33333333	R7-R10	-75	280	280
1	33	R11-R14	-31	280	280
R7-R10: Aika	112	R15-R16	16	280	280
1	52	R17-R18	41	280	280
R11-R14: Aika	126	R19-R20	68	280	280
2	6	R21-R22	96	280	280
R15: Aika	121,3333333	R23-R24	123	280	280
2	1	R25-R26	150	295	280
R16: Aika	112	R27-R28	179	305	280
1	52	R29-R32	234	325	280
R17-R18: Aika	140				
2	20				
R19-R20: Aika	140				
2	20				
R21-R22: Aika	140				
2	20				
R23-R24: Aika	140				
2	20				
R25-R26: Aika	147,5				
2	28				
R27-R28: Aika	172,8333333				
2	53				
R29-R32: Aika	146,25				
2	26				

Katodien ajoaika/etäisyys



Liite C

AHS-laskenta

Ryhmä	Allasmäärä	Anodiaika/allas (s)	Katodiaika/allas (s)	Lisäykset (s)	1. pesu (s)	2. pesu (s)	Ryhmän täyttö (s)	AHS lisäykset (s)
R1	20	333,00	300	900	8559	6561	1800	900
R2	20	325,00	300	900	8375	6425	1800	900
R3	20	328,00	300	900	8444	6476	1800	900
R4	20	315,00	300	900	8145	6255	1800	900
R5s	20	315,00	280	0	7245	5355	840	900
R5k	20	315,00	280	0	7245	5355	840	900
R6k	20	315,00	280	0	7245	5355	840	900
R6s	20	315,00	280	0	7245	5355	840	900
R7	24	317,00	280	0	8559	6657	840	900
R8	24	315,00	280	0	8505	6615	840	900
R9	24	317,00	280	0	8559	6657	840	900
R10	24	317,00	280	0	8559	6657	840	900
R11	27	335,00	280	0	10050	8040	840	900
R12	27	332,00	280	0	9960	7968	840	900
R13	27	330,00	280	0	9900	7920	840	900
R14	27	327,00	280	0	9810	7848	840	900
R15	26	357,00	280	0	10353	8211	840	900
R16	24	363,00	280	0	9801	7623	840	900
R17	30	369,00	280	0	12177	9963	840	900
R18	30	374,00	280	0	12342	10098	840	900
R19	30	385,00	280	0	12705	10395	840	900
R20	30	377,00	280	0	12441	10179	840	900
R21	30	398,00	280	0	13134	10746	840	3600
R22	30	395,00	280	0	13035	10665	840	3600
R23	30	402,00	280	0	13266	10854	840	3600
R24	30	413,00	280	0	13629	11151	840	3600
R25	30	430,00	295	0	14190	11610	885	3600
R26	30	428,00	295	0	14124	11556	885	3600
R27	34	447,00	305	0	16539	13857	915	3600
R28	34	443,00	305	0	16391	13733	915	3600
R29	27	462,00	325	0	13860	11088	975	900
R30	27	463,00	325	0	13890	11112	975	900
R31	27	479,00	325	0	14370	11496	975	900
R32	27	473,00	325	0	14190	11352	975	900

Liuoskierto	Ryhmä	Yhden pesun päivä/min		Kahden pesun päivä/min				AHS ryhmälisä	Katodinvaihto/min		Allasminuutit
		1. pesu aika	AHS	1. pesu aika	AHS	2. pesu aika	AHS		Aika	AHS	
LK1	1	126	171	143	188	109	154	17	100	110	2200
LK1	2	123	168	140	185	107	152	16	100	110	2200
LK1	3	124	169	141	186	108	153	16	100	110	2200
LK1	4	120	165	136	181	104	149	16	100	110	2200
LK1	5s	105	134	121	150	89	118	16	93	103	2060
LK1	5k	105	134	121	150	89	118	16	93	103	2060
LK1	6k	105	134	121	150	89	118	16	93	103	2060
LK1	6s	105	134	121	150	89	118	16	93	103	2060
LK2	7	127	156	143	172	111	140	16	112	122	2920
LK2	8	126	155	142	171	110	139	16	112	122	2920
LK2	9	127	156	143	172	111	140	16	112	122	2920
LK2	10	127	156	143	172	111	140	16	112	122	2920
LK3	11	151	180	168	197	134	163	17	126	141	3798
LK3	12	149	178	166	195	133	162	17	126	141	3798
LK2	13	149	178	165	194	132	161	17	126	141	3798
LK2	14	147	176	164	193	131	160	16	126	141	3798
LK3	15	155	184	173	202	137	166	18	121	136	3536
LK3	16	145	174	163	192	127	156	18	112	127	3040
LK4	17	185	214	203	232	166	195	18	140	155	4640
LK4	18	187	216	206	235	168	197	19	140	155	4640
LK4	19	193	222	212	241	173	202	19	140	155	4640
LK4	20	189	218	207	236	170	199	19	140	155	4640
LK5	21	199	273	219	293	179	253	20	140	155	4640
LK5	22	198	272	217	291	178	252	20	140	155	4640
LK5	23	201	275	221	295	181	255	20	140	155	4640
LK5	24	207	281	227	301	186	260	21	140	155	4640
LK5	25	215	290	237	311	194	268	22	148	162	4873
LK5	26	214	289	235	310	193	267	21	148	162	4873
LK6	27	253	329	276	351	231	306	22	173	188	6389
LK6	28	251	326	273	348	229	304	22	173	188	6389
LK7	29	208	239	231	262	185	216	23	146	162	4365
LK7	30	208	240	232	263	185	216	23	146	162	4365
LK7	31	216	247	240	271	192	223	24	146	162	4365
LK7	32	213	244	237	268	189	220	24	146	162	4365

Liite D

21d pesuparit ja 21d ohjelma

Päivä	Allasmäärä	Kuskienvaihdot (AHS)						Pesunostojen AHS			sum
		1. Pesu	2. Pesu	Liuoskierto	Liuoskierto	1. pesu	2. pesu	Aika	Allasminuutit 1	Allasminuutit 2	
1	47	11	1	LK3	LK1	5	4	277	5981	3822	9803
2	47	12	2	LK3	LK1	5	4	273	5940	3374	9314
3	47	13	3	LK2	LK1	5	4	273	5913	3389	9302
4	50	18	4	LK4	LK1	6	4	310	7941	3359	11300
5	47	29	5s	LK7	LK1	7	4	320	8026	2827	10853
6	47	30	5k	LK7	LK1	7	4	321	8039	2828	10867
7	47	31	6s	LK7	LK1	7	4	329	8255	2844	11099
8	47	32	6k	LK7	LK1	7	4	326	8174	2838	11012
9	54	17	7	LK4	LK2	6	4	314	7859	3802	11660
10	51	16	14	LK3	LK2	5	5	294	5216	4805	10021
11	54	19	9	LK4	LK2	6	4	323	8123	3821	11943
12	54	20	10	LK4	LK2	6	4	318	7991	3811	11802
13	50	15	8	LK3	LK2	5	4	283	5890	3770	9661
14	30	21		LK5		6		199	8940		8940
15	30	22		LK5		6		198	8895		8895
16	30	23		LK5		6		201	9000		9000
17	30	24		LK5		6		207	9315		9315
18	30	25		LK5		6		215	9743		9743
19	30	26		LK5		6		214	9713		9713
20	34	27		LK6		7		253	12361		12361
21	34	28		LK6		7		251	12284		12284
Allasminuutit 100%				26913600							
Pesunostojen AHS				99,19 %							

Pesupari	Allasmäärä A								Allasmäärä
1	47	11	1	31	6s	24			124
14	30	21		22	14	16	3		131
5	47	29	5s	32	6k	13			121
20	34	27		28		25	18		128
9	54	17	7	20	10		4		128
6	47	30	5k	15	8	26			127
16	30	23		11	1	19	9		131
2	47	12	2	21		31	6s		124
17	30	24		29	5s	22			107
10	51	16	14	27		32	6k		132
3	47	13	3	17	7	28			135
18	30	25		30	5k	20	10		131
4	50	18	4	23		15	8		130
19	30	26		12	2	11	1		124
11	54	19	9	24		21	5s		134
7	47	31	6s	16	14	29			125
15	30	22		13	3	27			111
8	47	32	6k	25		17	7		131
21	34	28		18	4	30	5k		131
12	54	20	10	26		23	2		134
13	50	15	8	19	9	12			131
Allasminuutit 100%				26913600					
AHS				98,24 %					
Allasmäärä KA/d				127					

Pesupari	aika anodit	allasmin anodit	kv1 aika	kv2 aika	kv3 aika	kv4 aika	kv1 allasmäärä	kv2 allasmäärä	kv3 allasmäärä	kv4 allasmäärä	kv1 allasmin	kv2 allasmin	kv3 allasmin	kv4 allasmin	aika	summa	Teoreettinen kesto
1	277	9803	146	93	140	0	27	20	30	0	4365	2060	4640	0	656	18	746
14	199	8940	140	126	112	100	30	27	24	20	4640	3798	3040	2200	677	18	767
5	320	10853	146	93	126	0	27	20	27	0	4365	2060	3798	0	686	18	776
20	253	12361	173	0	148	140	34	0	30	30	6389	0	4873	4640	714	19	809
9	314	11660	140	112	0	100	30	24	0	20	4640	2920	0	2200	666	18	756
6	321	10867	121	112	148	0	26	24	30	0	3536	2920	4873	0	702	18	792
16	201	9000	126	100	140	112	27	20	30	24	3798	2200	4640	2920	679	18	769
2	273	9314	140	0	146	93	30	0	27	20	4640	0	4365	2060	653	18	743
17	207	9315	146	93	140	0	27	20	30	0	4365	2060	4640	0	586	16	666
10	294	10021	173	0	146	93	34	0	27	20	6389	0	4365	2060	707	19	802
3	273	9302	140	112	173	0	30	24	34	0	4640	2920	6389	0	698	18	788
18	215	9743	146	93	140	112	27	20	30	24	4365	2060	4640	2920	707	19	802
4	310	11300	140	0	121	112	30	0	26	24	4640	0	3536	2920	683	18	773
19	214	9713	126	100	126	100	27	20	27	20	3798	2200	3798	2200	666	18	756
11	323	11943	140	0	140	93	30	0	30	20	4640	0	4640	2060	696	18	786
7	329	11099	112	126	146	0	24	27	27	0	3040	3798	4365	0	713	19	808
15	198	8895	126	100	173	0	27	20	34	0	3798	2200	6389	0	596	16	676
8	326	11012	148	0	140	112	30	0	30	24	4873	0	4640	2920	725	19	820
21	251	12284	140	100	146	93	30	20	27	20	4640	2200	4365	2060	731	19	826
12	318	11802	148	0	140	100	30	0	30	20	4873	0	4640	2200	706	19	801
13	283	9661	140	112	126	0	30	24	27	0	4640	2920	3798	0	661	18	751

Liite E

20d pesuparit ja 20d ohjelma

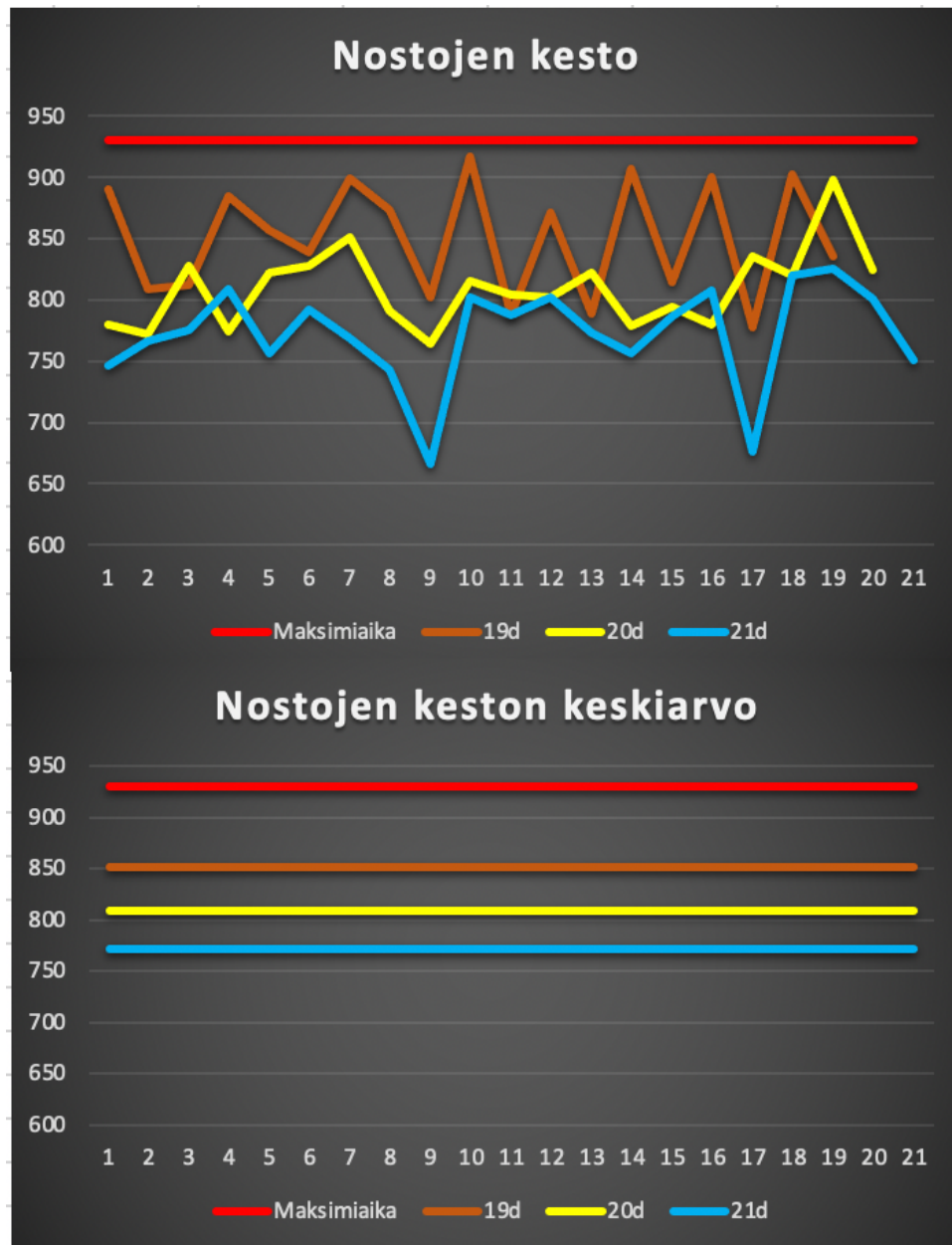
Päivä	Allasmäärä	Pesu		Liuoskierto		Kuskienvaihdot (AHS)			Pesunostojen AHS			sum
		1. Pesu	2. Pesu	Liuoskierto	Liuoskierto	1. pesu	2. pesu	Aika	Allasminuutit 1	Allasminuutit 2		
1	47	11	1	LK3	LK1	5	4	277	5981	3822	9803	
2	47	12	2	LK3	LK1	5	4	273	5940	3774	9714	
3	50	17	3	LK4	LK1	6	4	311	7859	3828	11686	
4	50	18	4	LK4	LK1	6	4	310	7941	3759	11700	
5	47	29	5s	LK7	LK1	7	4	320	8026	3227	11253	
6	47	30	5k	LK7	LK1	7	4	321	8039	3228	11267	
7	47	31	6s	LK7	LK1	7	4	329	8255	3244	11499	
8	47	32	6k	LK7	LK1	7	4	326	8174	3238	11412	
9	53	15	13	LK3	LK2	5	5	305	5890	5504	11394	
10	51	16	14	LK3	LK2	5	5	294	5216	5480	10696	
11	54	19	9	LK4	LK2	6	4	323	8123	4301	12423	
12	54	20	10	LK4	LK2	6	4	318	7991	4291	12282	
13	54	21	7	LK5	LK2	6	4	330	9687	4316	14003	
14	54	22	8	LK5	LK2	6	4	328	9638	4296	13934	
15	30	23		LK5		6		201	9150		9150	
16	30	24		LK5		6		207	9315		9315	
17	30	25		LK5		6		215	9593		9593	
18	30	26		LK5		6		214	9563		9563	
19	34	27		LK6		7		253	12361		12361	
20	34	28		LK6		7		251	12284		12284	
Allasmin 100%				25632000								
Pesunostojen AHS				99,12 %								

Pesupari	Allasmäärä A						Allasmäärä		
1	47	11	1	26	23	14	134		
13	54	21	7	18	4	16	128		
5	47	29	5s	27	24	3	131		
9	53	15	13	32	6k	17	130		
14	54	22	8	20	10	25	138		
6	47	30	5k	28	31	6s	128		
2	47	12	2	11	1	19	148		
15	30	23		21	7	26	134		
10	51	16	14	29	5s	18	128		
16	30	24		15	13	27	137		
3	50	17	3	22	8	32	131		
17	30	25		30	5k	20	131		
7	47	31	6s	12	2	28	128		
11	54	19	9	23		11	131		
18	30	26		16	14	21	135		
4	50	18	4	24		29	127		
19	34	27		17	3	15	137		
8	47	32	6k	25		22	131		
12	54	20	10	31	6s	30	148		
20	34	28		19	9	12	135		
Allasminuutit 100%				25632000					
AHS				98,13 %					
Allasmäärä KA/d				134					

Pesupari	aika anodit	allasmin anodit	kv1 aika	kv2 aika	kv3 aika	kv4 aika	kv1 allasmäärä	kv2 allasmäärä	kv3 allasmäärä	kv4 allasmäärä	kv1 allasmin	kv2 allasmin	kv3 allasmin	kv4 allasmin	aika	Kuskit	summa	Teoreettinen kesto	
1	277	9803	148	0	140	126	30	0	30	27	4873	0	4640	3798	690	18	780	13	0
13	330	14003	140	100	112	0	30	20	24	0	4640	2200	3040	0	682	18	772	12	52
5	320	11253	173	0	140	100	34	0	30	20	6389	0	4640	2200	733	19	828	13	48
9	305	11394	146	93	140	0	27	20	30	0	4365	2060	4640	0	684	18	774	12	54
14	328	13934	140	112	148	0	30	24	30	0	4640	2920	4873	0	727	19	822	13	42
6	321	11267	173	0	146	93	34	0	27	20	6389	0	4365	2060	733	19	828	13	48
2	273	9714	126	100	140	112	27	20	30	24	3798	2200	4640	2920	751	19	846	14	6
15	201	9150	140	112	148	100	30	24	30	20	4640	2920	4873	2200	701	18	791	13	11
10	294	10696	146	93	140	0	27	20	30	0	4365	2060	4640	0	674	18	764	12	44
16	207	9315	121	126	173	93	26	27	34	20	3536	3798	6389	2060	720	19	815	13	35
3	311	11686	140	112	146	0	30	24	27	0	4640	2920	4365	0	709	19	804	13	24
17	215	9593	146	93	140	112	27	20	30	24	4365	2060	4640	2920	707	19	802	13	22
7	329	11499	126	100	173	0	27	20	34	0	3798	2200	6389	0	728	19	823	13	43
11	323	12423	140	0	126	100	30	0	27	20	4640	0	3798	2200	689	18	779	12	59
18	214	9563	112	126	140	112	24	27	30	24	3040	3798	4640	2920	704	18	794	13	14
4	310	11700	140	0	146	93	30	0	27	20	4640	0	4365	2060	690	18	780	12	60
19	253	12361	140	100	121	126	30	20	26	27	4640	2200	3536	3798	741	19	836	13	56
8	326	11412	148	0	140	112	30	0	30	24	4873	0	4640	2920	725	19	820	13	40
12	318	12282	146	93	146	93	27	20	27	20	4365	2060	4365	2060	797	20	897	14	57
20	251	12284	140	112	126	100	30	24	27	20	4640	2920	3798	2200	729	19	824	13	44

Liite G

19d, 20d ja 21d ohjelmien vertailu

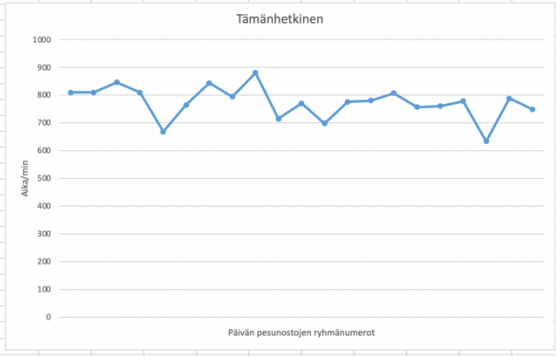


Liite H

Käytössä olevan ja laskennallisen ohjelman vertailu ja yhdistetty kuvaaja

Tämänhetkinen nosto-ohjelma

Allasmäärä A						Allasmäärä K		t/min
34	27		15	3	31	6k	127	809
57	18	14	9	5s	22		131	810
47	29	2	25		17	13	134	847
34	28		16	8	32	5k	129	810
50	19	6s	26		23		110	669
30	21		11	7	12	10	132	765
47	30	4	27		24	3 (-1)	131	844
50	20	1	18	14	15		133	794
47	31	6k	29	2	9	5s	138	880
30	22		28		25	8 (-1)	118	715
57	17	13	19	6s	16		131	770
47	32	5k	21		26		107	698
30	23		30	4	11	7	128	775
51	12	10	20	1	27		135	780
30	24		31	6k	18	14	134	807
46	15	3	22		29	2	123	757
44	9	5s	17	13	28		135	761
30	25		32	5k	19	6s	127	778
48	16	8	23		21		108	634
30	26		12	10	30	4	128	788
51	11	7	24		20	1	131	748
								773



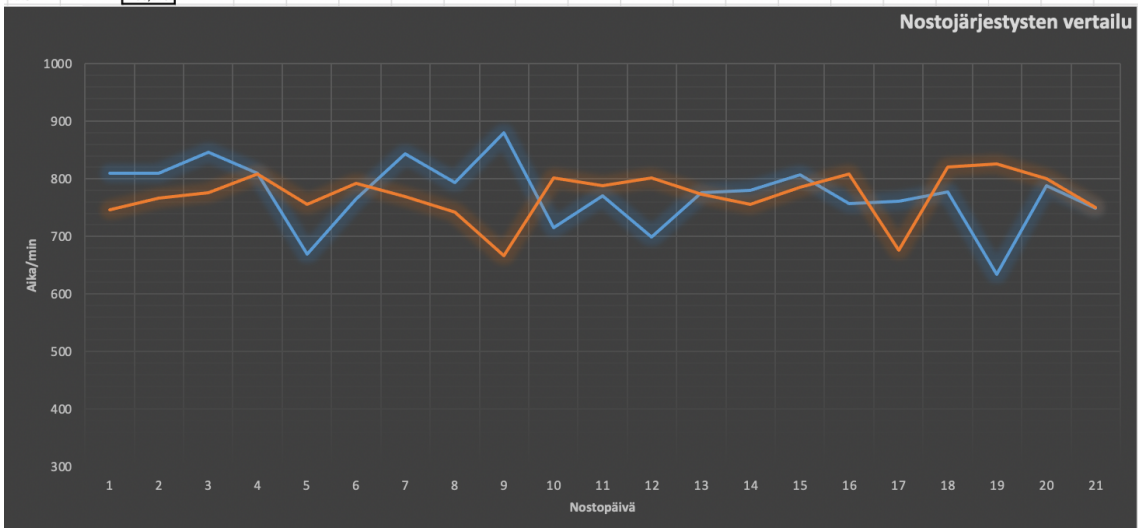
Allasminuutit 100% 26913600
 AHS 98,24 %

Laskennallinen ohjelma

Allasmäärä A						Allasmäärä K		t/min
47	11	1	31	6s	24		124	746
30	21		22	14	16	3 (-1)	131	767
47	29	5s	32	6k	13		121	776
34	27		28		25	18 (-1)	128	809
54	17	7	20	10		4	128	756
47	30	5k	15	8	26		127	792
30	23		11	1	19	9	131	769
47	12	2	21		31	6s	124	743
30	24		29	5s	22		107	666
51	16	14	27		32	6k	132	802
47	13	3	17	7	28		135	788
30	25		30	5k	20	10	131	802
50	18	4	23		15	8	130	773
30	26		12	2	11	1	124	756
54	19	9	24		21	5s (-1)	134	786
47	31	6s	16	14	29		125	808
30	22		13	3	27		111	676
47	32	6k	25		17	7	131	820
34	28		18	4	30	5k	131	826
54	20	10	26		23	2 (-1)	134	801
50	15	8	19	9	12		131	751
								772



Allasminuutit 100% 26913600
 AHS 98,24 %



Liite I

Mallina käytetty teoreettinen nosto-ohjelma

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Ma	47	5s		29		6s	32	22			124
Ti	51	7		11		10	14	26			132
Ke	50	1		17		28		6k	31		131
To	30	21				4	20	9	13		131
Pe	30	25				15	16	3	19		130
La	47	5k		30		24		23		vesien vaihto	107
Su	51	8		12		5s	29	27			132
Ma	50	2		18		7	11	6s	32		148
Ti	30	22				1	17	10	14		131
Ke	30	26				21		28		konehallin siivous	94
To	47	6k		31		25		4	20		127
Pe	51	9		13		5k	30	15	16		148
La	50	3		19		8	12	24			131
Su	30	23				2	18	5s	29		127
Ma	34	27				22		7	11		115
Ti	47	6s		32		26		1	17		127
Ke	51	10		14		6k	31	21			128
To	34	28				9	13	25			115
Pe	50	4		20		3	19	5k	30		147
La	50	15		16		23		8	12		131
Su	30	24				27		2	18		114

Liite J

Elektrolyysissä käytössä olevan ohjelman pesuparit ja nosto-ohjelma

Päivä	Allasmäärä	Pesu		Liuoskierto		Kuskienvaihdot (AHS)			Pesunostojen AHS			sum
		1. Pesu	2. Pesu	Liuoskierto	Liuoskierto	1. pesu	2. pesu	Aika	Allasminuutit 1	Allasminuutit 2		
1	47	9	5s	LK2	LK1	5	4	232	4720	3082	7802	
2	47	11	7	LK3	LK2	5	4	278	5981	3761	9741	
3	47	12	10	LK3	LK2	5	4	277	5940	3757	9697	
4	50	15	3	LK3	LK1	5	4	280	5890	3416	9306	
5	47	16	8	LK3	LK2	5	4	274	5216	3778	8994	
6	47	17	13	LK4	LK2	6	5	335	7859	4845	12704	
7	47	18	14	LK4	LK2	6	5	337	7941	4820	12761	
8	47	19	6s	LK4	LK1	6	4	301	8123	2750	10873	
9	54	20	1	LK4	LK1	6	4	317	7991	3464	11455	
10	51	29	2	LK7	LK1	7	4	338	8026	3504	11529	
11	54	30	4	LK7	LK1	7	4	336	8039	3448	11487	
12	54	31	6k	LK7	LK1	7	4	329	8255	2844	11099	
13	50	32	5k	LK7	LK1	7	4	326	8174	2838	11012	
14	30	21		LK5		6		199	8940		8940	
15	30	22		LK5		6		198	8895		8895	
16	30	23		LK5		6		201	9000		9000	
17	30	24		LK5		6		207	9165		9165	
18	30	25		LK5		6		215	9443		9443	
19	30	26		LK5		6		214	9563		9563	
20	34	27		LK6		7		253	12191		12191	
21	34	28		LK6		7		251	12114		12114	
Allasminuutit 100%				26913600								
Pesunostojen AHS				99,19 %								

Pesupari	Allasmäärä A				Allasmäärä				
20	34	27		15	3	31	6k	127	
7	47	18	14	9	14	22		128	
10	51	29	2	25		17	13	138	
21	34	28		16	8	32	5k	129	
8	47	19	6s	26		23		107	
14	30	21		11	7	12	10	132	
11	54	30	4	27		24	3	138	
9	54	20	1	18	14	15		137	
12	54	31	6k	29	2	9	5s	145	
15	30	22		28		25	8	118	
6	47	17	13	19	6s	16		121	
13	50	32	5k	21		26		110	
16	30	23		30	4	11	7	128	
3	47	12	10	20	1	27		131	
17	30	24		31	6k	18	14	134	
4	50	15	3	22		29	2	127	
1	47	9	5s	17	13	28		138	
18	30	25		32	5k	19	6s	127	
5	47	16	8	23		21		107	
19	30	26		12	10	30	4	128	
2	47	11	7	24		20	1	127	
Allasminuutit 100%				26913600					
AHS				98,24 %					
Allasmäärä KA/d				127					

Pesupari	aika anodit	allasmin anodit	kv1 aika	kv2 aika	kv3 aika	kv4 aika	kv1 allasmäärä	kv2 allasmäärä	kv3 allasmäärä	kv4 allasmäärä	kv1 allasmin	kv2 allasmin	kv3 allasmin	kv4 allasmin	aika	Kuskit	summa	Teoreettinen kesto	
20	253	12191	121	100	146	93	26	20	27	20	3536	2200	4365	2060	714	19	809	13	29
7	337	12761	112	126	140	0	24	27	30	0	2920	3798	4640	0	715	19	810	13	30
10	338	11529	148	0	140	126	30	0	30	27	4873	0	4640	3798	752	19	847	14	7
21	251	12114	112	112	146	93	24	24	27	20	3040	2920	4365	2060	715	19	810	13	30
8	301	10873	148	0	140	0	30	0	30	0	4873	0	4640	0	589	16	669	11	9
14	199	8940	126	112	126	112	27	24	27	24	3798	2920	3798	2920	675	18	765	12	45
11	336	11487	173	0	140	100	34	0	30	20	6389	0	4640	2200	749	19	844	14	4
9	317	11455	140	126	121	0	30	27	26	0	4640	3798	3536	0	704	18	794	13	14
12	329	11099	146	100	112	93	27	20	24	20	4365	2200	2920	2060	780	20	880	14	40
15	198	8895	173	0	148	112	34	0	30	24	6389	0	4873	2920	630	17	715	11	55
6	335	12704	140	93	112	0	30	20	24	0	4640	2060	3040	0	680	18	770	12	50
13	326	11012	140	0	148	0	30	0	30	0	4640	0	4873	0	613	17	698	11	38
16	201	9000	146	100	126	112	27	20	27	24	4365	2200	3798	2920	685	18	775	12	55
3	277	9697	140	100	173	0	30	20	34	0	4640	2200	6389	0	690	18	780	12	60
17	207	9165	146	93	140	126	27	20	30	27	4365	2060	4640	3798	712	19	807	13	27
4	280	9306	140	0	146	100	30	0	27	20	4640	0	4365	2200	667	18	757	12	37
1	232	7802	140	126	173	0	30	27	34	0	4640	3798	6389	0	671	18	761	12	41
18	215	9443	146	93	140	93	27	20	30	20	4365	2060	4640	2060	688	18	778	12	58
5	274	8994	140	0	140	0	30	0	30	0	4640	0	4640	0	554	16	634	10	34
19	214	9563	126	112	146	100	27	24	27	20	3798	2920	4365	2200	698	18	788	13	8
2	278	9741	140	0	140	100	30	0	30	20	4640	0	4640	2200	658	18	748	12	28

Liite K

Nosturikuljettajien vaihtojen aikataulut

Nosturikuskien aikataulut					
Tuuraus	3	2	1	aika/min	
1. kierros	6:40	7:15	7:50	35	
2. kierros	9:00	9:40	10:20	40	
3. kierros	11:45	12:15	12:45	30	
4. kierros	13:45			30	
Aamuvuoro					
1 nosturi tauot			Vaihto	Aika 06->/min	häviö/min
1	2	3	1	40	5
7:50-8:25	10:20-11:00	12:45-13:15	2	75	5
			3	110	5
2 nosturi tauot			4	145	5
1	2	3	5	180	5
7:15-7:50	9:40-10:20	12:15-12:45	6	220	5
			7	260	5
3 nosturi tauot			8	300	5
1	2	3	9	345	5
6:40-7:15	9:00-9:40	11:45-12:15	10	375	5
			11	405	5
4 nosturi tauot			12	435	5
1	2	3	13	465	5
8:25-9:00	11:00-11:45	13:15-13:45			65
Kuskinro	Työaika/min		Iltavuoro:		
1	360		vaihto	Vaihto	Aika 06->/min
2	375	14:15	1	14	495
3	375	15:15	2	15	555
4	345	16:15	3	16	615
		17:15	4	17	675
		18:15	5	18	735
		19:15	6	19	795
		20:15	7	20	855
Päivän maksimi-		21:15	8	21	915
aikatappio/min					
105					40