



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu  
Satakunta University of Applied Sciences

VILHO HAKALA

# **VAIHTOEHTOISEN SIDEAINEEN KOEAJON DOKUMENTOINTI NIK- KELIBRIKETOINNISSA**

ENERGIA- JA YMPÄRISTÖTEKNIIKAN  
KOULUTUSOHJELMA  
2021

Tekijä(t) Hakala, Vilho	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä helmikuu 2021
	Sivumäärä 20	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi <b>Vaihtoehdoisen sideaineen koeajon dokumentointi nikkelibriketoinnissa</b>		
Tutkinto-ohjelma Energia- ja ympäristötekniikka		
Tiivistelmä  <p>Työn tarkoituksena oli Nornickel Harjavalta Oy:ssä suoritettujen briketoinnin koeajon dokumentointi. Koeajossa tutkittiin toisen valmistajan sideaineen käyttökelpoisuutta briketoinnissa. Käyttökelpoisuutta tutkittiin vertaamalla brikettien ominaisuuksia tällä hetkellä käytössä olevan sideaineen vastaaviin tuloksiin.</p> <p>Nikkelibrikettiä valmistetaan briketikoneella puristamalla nikkelpulveriseosta suurella paineella. Nikkelpulveriseos saadaan ruuvisekoittimessa, jossa nikkelpulveri ja briketoinnissa sideaineena käytettävä polyakryylihappoliuos sekoitetaan. Ruuvisekoittimelta nikkelpulveriseos syötetään briketikoneen valseille syöttöruuvien avulla.</p> <p>Koeajossa vertailtiin sideaineita tuotannossa briketin puristamisessa kolmella eri tuotantopeudella. Sideaineen määrä sovitettiin raakabrikettien silmämääräisen laadun perusteella. Näytteitä otettiin nikkelpulverista, raakabriketeistä ja sintratuista briketeistä. Näytteistä tutkittiin rummutuslujuutta, hiilipitoisuutta ja rikkiäpitoisuutta.</p> <p>Koeajosta saatujen tulosten perusteella todettiin, että koeajossa tutkittujen sideaineiden tulokset laadun suhteen olivat yhtä hyvät, eikä tuloksissa ollut suuria poikkeamia. Tulos oli odotettu perustuen aiempaan tehdaskokeeseen ja siihen, että molemmat sideaineet olivat yhtä väkevää polyakryylihappoa ja samalla tavalla käsiteltyjä. Tehdyn koeajon aikana ei löydetty sideaineesta brikettien laatuun vaikuttavia tekijöitä. Työn lopputuloksena oli, että toisen valmistajan polyakryylihappoa voidaan käyttää Nornickel Harjavalta Oy:ssä sideaineena briketoinnissa.</p>		

Author(s) Hakala, Vilho	Type of Publication Bachelor's thesis	Date February 2021
	Number of pages 20	Language of publication: Finnish
Title of publication <b>Documentation of Test-drive of Alternative Nickel Briquettes Binder</b>		
Degree program Energy and Environmental Technology		
Abstract  <p>The purpose of this thesis was to documentate a test-drive in nickel briquetting at Nor-nickel Harjavalta production plant. Usability of alternative nickel briquettes binder in nickel briquetting was studied. Usability was studied with comparing properties of briquettes to the equivalent results of conventional binder.</p> <p>Nickel briquettes are made with briquetting machine pressing nickel powder mixture with high pressure. Nickel powder mixture is made in screw mixer, where nickel powder and polyacrylic-acid are mixed.</p> <p>Binder was studied in test-drive with different production rates and with different binder feed rates. Fed of binder was fit by visual quality of raw briquettes. Samples were taken from nickel powder, raw briquettes and sintered briquettes. Barreling strength, as well as carbon and sulphur residual contents were measured from the samples.</p> <p>According to the test results of studied binders quality parameters were equal and there were no significant differences. The result was expected based on earlier test-drive and to the fact that both binders are polyacrylic acid. Alternative polyacrylic acid can be used in nickel briquetting at Nornickel Harjavalta. According to the trial run results quality of briquettes was not affected by any factor.</p>		

# SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	6
2 NORNICKEL HARJAVALTA OY .....	7
2.1 Yleistä .....	7
2.2 Prosessin kuvaus .....	7
2.3 Pelkistämä .....	9
3 BRIKETOINTI .....	10
3.1 Briketin valmistus .....	10
3.2 Sideaine .....	11
4 KOEAJO .....	12
4.1 Koeajon tavoite ja taustaa .....	12
4.2 Koeajon toteutus.....	12
4.3 Koeajon tulokset.....	14
4.3.1 Pulverin seula-analyysi .....	14
4.3.2 Hiili- ja rikki- pitoisuudet .....	15
4.3.3 Briketin rummutuslujuus .....	17
4.3.4 Sideaineen syöttö .....	19
5 YHTEENVETO .....	20
LÄHTEET	

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

NNH	Nornickel Harjavalta Oy
BK217	Briketointikone 217
SI217	Nikkelipulverisiilo 217
SU217	Sintrausuuni 217

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli Nornickel Harjavalta Oy:ssä suoritettujen briketoinnin koeajon dokumentointi. Koeajossa tutkittiin toisen valmistajan sideaineen käyttökelpoisuutta briketoinnissa. Käyttökelpoisuutta tutkittiin vertaamalla brikettien ominaisuuksia, kuten rummutuslujuutta, hiilipitoisuutta ja silmämääräisesti laatua. Tuloksia verrattiin tällä hetkellä käytössä olevan sideaineen vastaaviin tuloksiin.

Työn taustalla on NNH:n halu varmistua tutkitun sideaineen kelpoisuudesta pelkistetyn nikkelpulverin briketoinnissa. Näin ollen NNH:lla olisi mahdollisuus käyttää tutkittavaa sideainetta vaihtoehtoisena sideaineena prosessissa sekä kilpailuttaa raaka-aineen ostohinta. Koeajossa käytetty sideaine on kemialliselta koostumukselta polyakryylihappoliuosta ja on samanlaista kuin nyt käytössä oleva Kemwet 250-sideaine. Nyt tutkitulle sideaineelle on tehty vuonna 2019 lyhyt tehdaskoe, josta saatujen hyvien tulosten perusteella päätettiin suorittaa pidempi koeajo tulosten vahvistamiseksi ja mahdollisten poikkeamien havaitsemiseksi.

## 2 NORNICHEL HARJAVALTA OY

### 2.1 Yleistä

NNH on osa venäläistä Nornickel-konsernia, joka on maailman suurin nikkelin ja palladiumin tuottaja. Konsernin tuottaman nikkelin osuus koko maailman tuotannosta on yli 14% ja palladiumista se tuottaa noin puolet. Muita konsernin tuottamia metalleja ovat kupari ja platina. Lisäksi kobolttia, kultaa, hopeaa ja rhodiumia syntyy sivutuotteina. Yhtiön liikevaihto oli 13.6 miljardia vuonna 2019 Yhdysvaltain dollaria, josta NNH:n osuus oli miljardi euroa. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Nornickel, 2021; Kauppalehti, 2021)

Konsernilla on toimipisteitä Venäjällä Kuolan niemimaalla sekä Norilskissa ja sen pääkonttori sijaitsee Moskovassa. Muualla maailmassa toimipisteitä on Etelä-Afrikassa ja Suomessa. Suomen toimipiste sijaitsee Harjavallan suurteollisuuspuistossa ja se työllistää noin 300 henkeä. (Nornickel, 2021; Kauppalehti, 2021)

Harjavallassa Nornickelin nikkelijalostamon tuotteita ovat nikkelikatodit (Ni), nikkelibriketit, nikkelpulveri, nikkelisulfaatti ( $\text{NiSO}_4$ ), nikkelihydroksidi ( $\text{Ni(OH)}_2$ ) ja nikkelihydroksidikarbonaatti sekä kobolttisulfaatti ( $\text{CoSO}_4$ ) ja ammoniumsulfaatti ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Harjavallassa tuotetaan nykyään vuosittain noin 60 000 tonnia nikkeliä. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021)

### 2.2 Prosessin kuvaus

Harjavallan suurteollisuuspuistossa Nornickel koostuu neljästä osastosta, jotka ovat liuottamo, pelkistämö, elektrolyysi ja kemikaalitehdas. Tuotantoprosessissa ensimmäisenä osastona on liuottamo, jonne nikkeliä, kobolttia ja kuparia sisältävät pyrometallurgiset ja saostusprosesseista syntyvät raaka-aineet saapuvat ympäri maailmaa, pääasiassa Venäjältä. Aluksi raaka-aineet jauhetaan kuulamylyissä, jonka jälkeen hienokiviaines liuotetaan atmosfäärisessä reaktoriliuotuksessa sekä autoklaaveissa tapahuvassa paineliuotuksessa. Liuottamalla raaka-aineet liuotetaan vesiliuokseen rikkihapon ja hapen avulla. Prosessin tuloksena saadaan nikkeli- ja kobolttisulfaattien seosta, josta on saatu

erotettua epäpuhtaudet, kuten rauta ja kupari, saostamalla. Nikkeliraakaliuos pumpataan uuttoihin. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Poikkimäki, 2015, s. 8; Jokela, 2017, s. 10)

Uutossa nikkelifraakaliuos puhdistetaan jäljelle jääneistä epäpuhtauksista. Osa nikkelifraakaliuksesta johdetaan kalsiumuuttoon, jossa siitä uutetaan kalsiumia, rautaa, sinkkiä, kuparia ja mangaania. Kalsiumuutosta liuos siirtyy kobolttiuuttoon, jonka läpi kaikki nikkelifraakaliuos kulkee. Kobolttiuutossa uutetaan kobolttia, rautaa, sinkkiä, kuparia ja mangaania. Molemmat uutot toimivat samalla tavalla: uutto tapahtuu uuttokennoissa, joissa nikkelifraakaliuos kulkee vastavirtaan uuttoliuokseen nähden. Uutoissa syntynyt nikkelifraakaliuos pumpataan elektrolyysiin tai pelkistämöön jatkokäsiteltäväksi. Nikkelifraakaliuksesta erotetusta kobolttista valmistetaan kobolttiraakaliuosta, joka pumpataan kemikaalitehtaalle jatkokäsittelyyn. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Poikkimäki, 2015, s. 8-9; Jokela, 2017, s. 10)

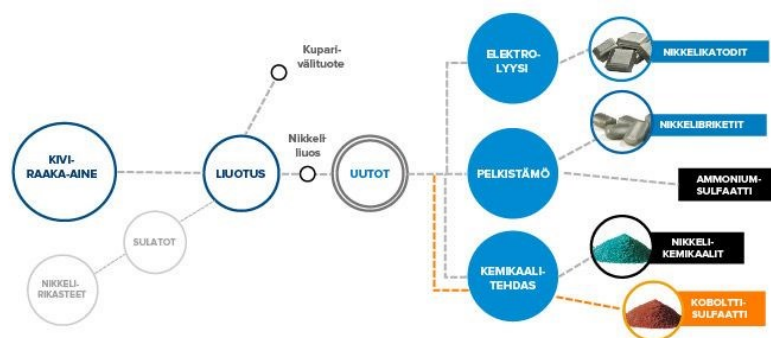
Pelkistämön päätuote on nikkelibriketti. Nikkelibrikettien valmistus aloitetaan pelkistämällä puhdistettua nikkelifraakaliuosta autoklaaveissa vedyllä, jolloin liuoksesta saadaan erotettua nikkelifraakaliuonpulveri. Nikkelifraakaliuonpulveri kuivataan, jonka jälkeen se joko pakataan asiakkaalle tai briketoidaan. Briketointi tapahtuu briketointikoneella, jonka jälkeen syntyneiden brikettien lujuutta parannetaan typpisitrauksen avulla. Typpisitraattubriketit ovat valmiita asiakkaille toimitettavaksi. Pelkistysprosessin sivutuotteena syntyvä ammoniumsulfatiliuos kiteytetään ja myydään eteenpäin lannoitteeksi. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Poikkimäki, 2015, s. 9; Jokela, 2017, s. 11)

Elektrolyysissä valmistetaan nikkelikatodia elektrolyytisesti. Valmistus tapahtuu syöttämällä tasavirtaa lyijyanodin kautta elektrolyyttiin ja edelleen nikkelikatodille. Uutosta tullut nikkelifraakaliuos syötetään diafragmaussin sisään, jossa nikkelikatodi on. Nikkelifraakalioksen nikkeli-ionit pelkistyvät nikkelikatodiin sähkövirran avulla. Tätä kutsutaan electrowinning-menetelmäksi. Katodien kiertoaika elektrolyysialtaissa on noin seitsemän vuorokautta. Saadun nikkelin määrä riippuu virrasta, virtahyötysuhteesta sekä virtapiirissä olevien altaiden lukumäärästä. Leikkaamalla nikkelikatodit leikataan oikeisiin mittoihin. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Poikkimäki, 2015, s. 9; Jokela, 2017, s. 11)

Kemikaalitehtaalla valmistetaan epäorgaanisia suoloja uutosta tulevasta nikkelifraakaliuoksesta. Osastolla on omat tuotantolinjansa nikkelifraakaliuonpulverille, nikkelifraakaliuonpulverille ja nikkelifraakaliuonpulverille. Lisäksi uutosta tulevasta kobolttisulfatiliuoksesta.



tiliuksesta kiteytetään kobolttisulfaattia. Sulfaattilinjalla liuosta kiteytetään jatkuva-toimisessa kiteytysprosessissa haihduttamalla. Hydroksidikarbonaattilinjalla liuosta saostetaan soodalla. Hydroksidilinjalla hydroksidia saostetaan lipeällä. Kemikaalitehdas pakkaa valmiit tuotteensa toimitettavaksi asiakkaille. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Poikkimäki, 2015, s. 9; Jokela, 2017, s. 11)



Kuva 1. Nikkelin jalostusketju. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021)

### 2.3 Pelkistämö

Pelkistämölle uutosta tuleva nikkelisulfaattiliuos syötetään syöttöliuosreaktoriin, jossa siihen sekoitetaan ammoniumsulfaattiliuosta ja ammoniakkia. Saatu syöttöliuos pumpataan autoklaaveihin, joissa nikkeli pelkistetään liuksesta vedyllä. Ammoniakki toimii pelkistyksessä neutraloijana syntyvälle rikkihapolle, jolloin pelkistyksestä syntyy loppuliuksena ammoniumsulfaattiliuosta. Liuoksesta pelkistetty nikkelpulveri erotetaan liuksesta, pestään ja kuivataan, jonka jälkeen se joko briketoidaan tai pakataan asiakkaalle. Briketit tehdään briketikoneella nikkelpulverin ja sideaineen sekoituksesta, jonka jälkeen ne kulkevat typpisitrausuunin läpi, joissa briketeistä tulee sintrauksella kestävämpiä ja niistä poistetaan hiiliepäpuhtaudet. Typpisintratut briketit pakataan ja toimitetaan asiakkaalle.

Pelkistyksestä syntynyt ammoniumsulfaattiliuos johdetaan saostamolle, jossa siitä puhdistetaan pelkistymätön nikkeli. Haihduttamalla puhdistettua ammoniumsulfaattiliuosta väkevoitetään haihduttamalla siitä ylimääräinen vesi. Riittävän tiheä ammoniumsulfaattiliuos kiteytetään kiteyttämöllä ja ammoniumsulfaattikiteet joko kuivataan sekä jäähdytetään valmiiksi prosessin sivutuotteeksi tai ne palaavat pelkistykseen syöttöliuoksessa. (Nornickel Harjavalta Oy, 2021; Lähde, 2015, s. 10; Rintamaa, 2014, s. 12)

## 3 BRIKETOINTI

### 3.1 Briketin valmistus

Harjavallassa on tehty nikkelibrikettejä pelkistämöllä vuodesta 1995. Brikettiä käytetään teollisuudessa raaka-aineena esimerkiksi ruostumattoman teräksen valmistuksessa. Briketin ominaisuuksia ovat hyvä mekaaninen kestävyys ja helppo käytettävyys jatkokäsittelyssä. Yksi nikkelibriketti on pituudeltaan noin 42,5 millimetriä, leveydeltään 32,5 millimetriä ja korkeudeltaan 11,5 millimetriä. Yksi briketti painaa noin 100 grammaa ja nikkeliipitoisuus on yli 99,5%.

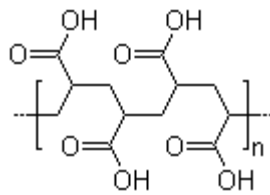


Kuva 2. Sintrattuja nikkelibrikettejä. (Siironen, 2020)

Nikkelibrikettiä valmistetaan brikettikoneella puristamalla nikkeliipulveriseosta suurella paineella. Nikkeliipulveriseos saadaan ruuvisekoittimessa, jossa nikkeliipulveri ja briketoinnissa sideaineena käytettävä polyakryylihappoliuos sekoitetaan. Ruuvisekoittimelta nikkeliipulveriseos syötetään brikettikoneen valsseille syöttöruuvin avulla. Brikettikoneessa olevissa valsseissa on briketin kokoiset kupit. Brikettikoneesta tulevien brikettien, niin sanottujen raakabrikettien, lujuutta parannetaan sintrausuunissa tapahtuvalla typpisintrauksella. Sintraus voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: hiilenpoistoon, sintraukseen ja jäähdytykseen. Hiilenpoistossa orgaaninen sideaine poistuu briketeistä noin 550 °C:ssa. Sintrausvaiheessa typpi-atmosfäärissä briketit kuumennetaan noin 900 °C:een, jolloin jauhepartikkelit sitoutuvat diffuusion avulla metallisidoksilla toisiinsa. (Toivonen, 2003, s. 3-5; Rintamaa, 2014, s. 12)

### 3.2 Sideaine

Briketoinnissa käytetään sideaineena ammoniakkivedellä neutraloitua 25 % polyakryylihappoliuosta. Sideaineen tehtävänä on pitää briketti koossa, kun se puristetaan brikettikoneella ja sitten sintrataan. Polyakryylihappo neutraloidaan ammoniakkivedellä ennen ruuvisekoittimelle syöttöä, jolloin se toimii sideaineena paremmin. Polyakryylihappo on synteettinen polymeeri ja sen kemiallinen kaava on:  $(\text{CH}_2\text{CHCOOH})_n$  (Chemscr, 2021)



Kuva 3. Polyakryylihapon kemiallinen rakenne (Chemscr, 2021)

## 4 KOEAJO

### 4.1 Koeajon tavoite ja taustaa

Koeajon tavoitteena oli varmistua vaihtoehtoisen polyakryylihapon toimivuudesta briketoinnissa. Koeajossa vertailtiin sideaineita tuotannossa briketin puristamisessa kolmella eri tuotantonopeudella. Sideaineen määrä sovitettiin raakabrikettien silmämääräisen laadun perusteella. Sideaine neutraloitiin ammoniakkivedellä käyttökelpoiseksi. Koeajossa otettiin näytteitä nikkelipulverista, raakabriketistä sekä sintratusta briketistä. Sintratuiden brikettien näyte otettiin tunti nikkelipulverin ja raakabrikettien näytteen oton jälkeen, jotta saatiin suunnilleen samaan aikaan tehtyjä brikettejä. Pulverista analysoitiin hiili- ja rikki-pitoisuudet sekä tehtiin seula-analyysi. Brikettinäytteille tehtiin rummutustestit, joissa briketin rummutuslujuutta mitattiin niistä irtoavan hienoaineksen perusteella. Briketeistä analysoitiin myös hiili- ja rikki-pitoisuudet.

Työn taustalla on NNH:n tarve varmistua tutkitun sideaineen kelpoisuudesta. Näin ollen NNH:lla olisi mahdollisuus käyttää tutkittavaa sideainetta vaihtoehtoisena sideaineena prosessissa sekä mahdollisuus kilpailuttaa raaka-aineen myyntihinta. Koeajossa käytetty sideaine on kemialliselta koostumukselta polyakryylihappoliuosta ja on samanlaista kuin nyt käytössä oleva Kemwet 250-sideaine. Nyt tutkitulle sideaineelle on tehty vuonna 2019 lyhyt tehdaskoe, josta saatujen hyvien tulosten perusteella päätettiin suorittaa pidempi koeajo tulosten vahvistamiseksi.

### 4.2 Koeajon toteutus

Koeajossa sideainetta tutkittiin eri tuotantonopeuksilla ja eri sideaineen syöttömäärillä. Tutkitut tuotantonopeudet olivat 1,6 t/h, 1,8 t/h sekä 2,0 t/h. Sideaineen määrä sovitettiin raakabrikettien silmämääräisen laadun perusteella. Polyakryylihappo tuotiin kuution konteissa paikalle ja niissä kaikissa oli 750 litraa polyakryylihappoliuosta. Polyakryylihappo neutraloitiin käyttökelpoiseksi sideaineeksi 187 litralla ammoniakkivettä ennen syöttöä ruuvisekoittimelle. Koelaitteistona käytettiin briketointikonetta 217 (BK 217).

Koeajo jaettiin kolmeen osaan, jossa ennen ja jälkeen varsinaista koeajoa oli niin sanottu nollakoe nykyisellä Kemwet 250:llä. Kumpikin nollakoe kesti kolme vuorokautta siten, että yhdellä tuotantonopeudella ajettiin aina yksi vuorokausi. Nollakokeet olivat koeajon osat A ja C. Varsinainen koeajo vaihtoehtoisella sideaineella oli koeajon osa B. Varsinaisessa koeajossa otettiin näytteitä 12:na vuorokautena, neljä vuorokautta yhtä tuotantonopeutta kohden.

Näytteitä otettiin nikkelpulverista, raakabriketeistä ja sintratuista briketeistä. Lisäksi KS 115 sideaineen virtaus ruuvisekoittajalle mitattiin käsin jokaisella tuotantonopeudella. Nikkelpulverin näyte otettiin siilo SI 217:stä, josta nikkelpulveri menee ruuvisekoittimelle ja siitä briketoitavaksi. Nikkelpulverille tehtiin seula-analyysi, jolla määritettiin pulverin raekokojakauma. Lisäksi nikkelpulverista analysoitiin hiili- ja rikki-pitoisuudet sekä irtotiheys. Raakabrikettien näyte otettiin briketointikone BK 217:n jälkeen ennen sintrausunia. Raakabriketeistä tutkittiin rummutuslujuutta neljän ja 28 minuutin rummutustestillä mittaamalla niistä irtoavan hienoaines rummutuksessa. Raakabriketeistä analysoitiin myös hiili- ja rikki-pitoisuudet. Sintrauiden brikettien näyte otettiin sintrausuuni SU 217:n jälkeen. Sintratuille briketeille tehtiin samat analyysit kuin raakabriketeille, eli rummutustestit rummutuslujuuden mittaamiseksi, sekä hiili- ja rikki-pitoisuuden analysointi.

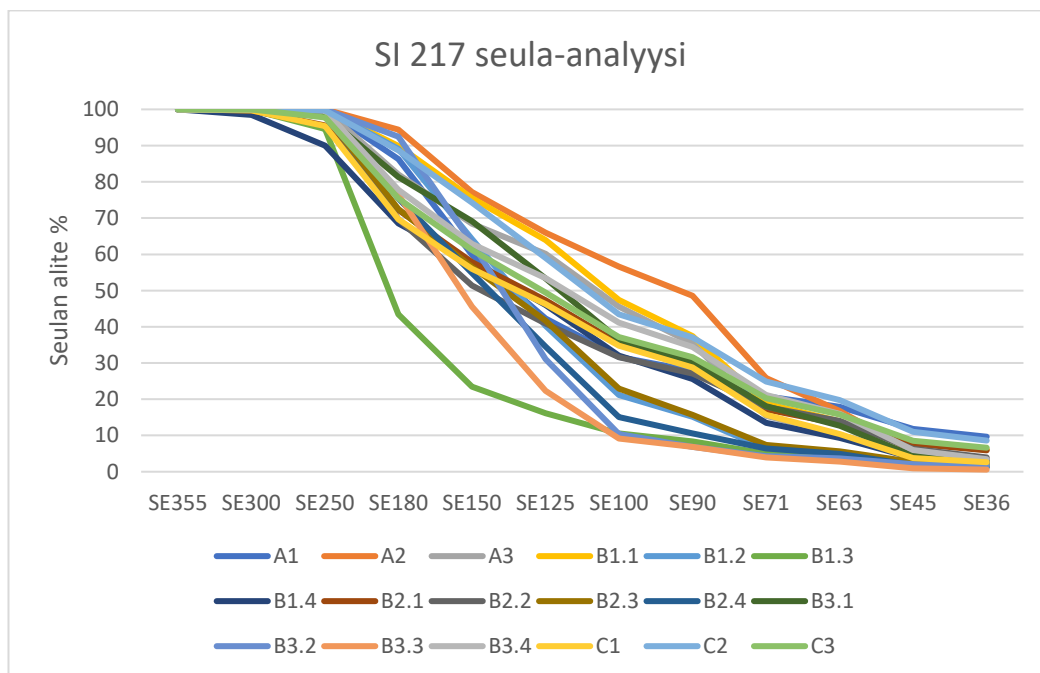
Koeajo toteutettiin marras- joulukuussa 2020. Koeajo sujui pääosin hyvin. Tarvittavat näytteet saatiin otettua ja briketin laatu oli pääosin hyvää. Kuitenkin varsinaisen koeajon alussa 1,6 t/h tuotantonopeudella brikettien laatu oli huono. Tämä ei kokeneiden prosessinhoitajien mielestä kuitenkaan johtunut tutkitusta sideaineesta, vaan kuluneista osista koelaitteistossa. Lisäksi yksi koelaitteiston käsiventtiili päästi koeajon alkuvaiheessa sideainetta väärään säiliöön. Tästä ei kuitenkaan aiheutunut ongelmia itse koeajossa. Koeajoa myöhästytti aikataulusta ainoastaan sideainepumpun hajoaminen. Pumpun vaihdossa kesti vuorokausi, jonka jälkeen sideaineen virtauksen säädössä oli ongelmia, koska hajonneen pumpun kumiosia oli päässyt putkistoon. Kumiosat saatiin putkistosta puulaamalla sitä vedellä. Virtauksen säädön korjaaminen ei viivästyttänyt näytteenottoa, vaan se saatiin kuntoon nopeasti. (Pöntinen, 2021)

### 4.3 Koeajon tulokset

#### 4.3.1 Pulverin seula-analyysi

Seula-analyysissä nikkelipulveri kaadetaan eri kokoisten seulojen läpi. Karkein seula oli SE355, jossa suurin läpäisevä hiukkaskoko 355 mikrometriä ja pienimmässä seulassa SE36 36 mikrometriä. Sen jälkeen lasketaan, kuinka monta prosenttia nikkelipulverista läpäisi seulan. Näin saadaan tutkittua nikkelipulverin raekokojakauma. Nikkelipulverin irtotiheys saadaan laskettua mittalasin ja vaa'an avulla. Saaduilla tiedoilla voidaan varmistua nikkelipulverin tasalaatuisuudesta koko koeajon ajalta.

Seula-analyysissä ei havaittu mitään poikkeavaa. Raekokojakauma sekä tiheys olivat normaalilla tasolla. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta nikkelipulverin olleen tasalaatuista koko koeajon ja näin ollen nikkelipulverin vaikutus on mitätön mahdollisiin eroihin koeajossa. Nikkelipulverin seula-analyysi ja irtotiheys on esitetty alla olevassa kuvassa 4 ja taulukossa 1.



Kuva 4. Nikkelipulverin seula-analyysi

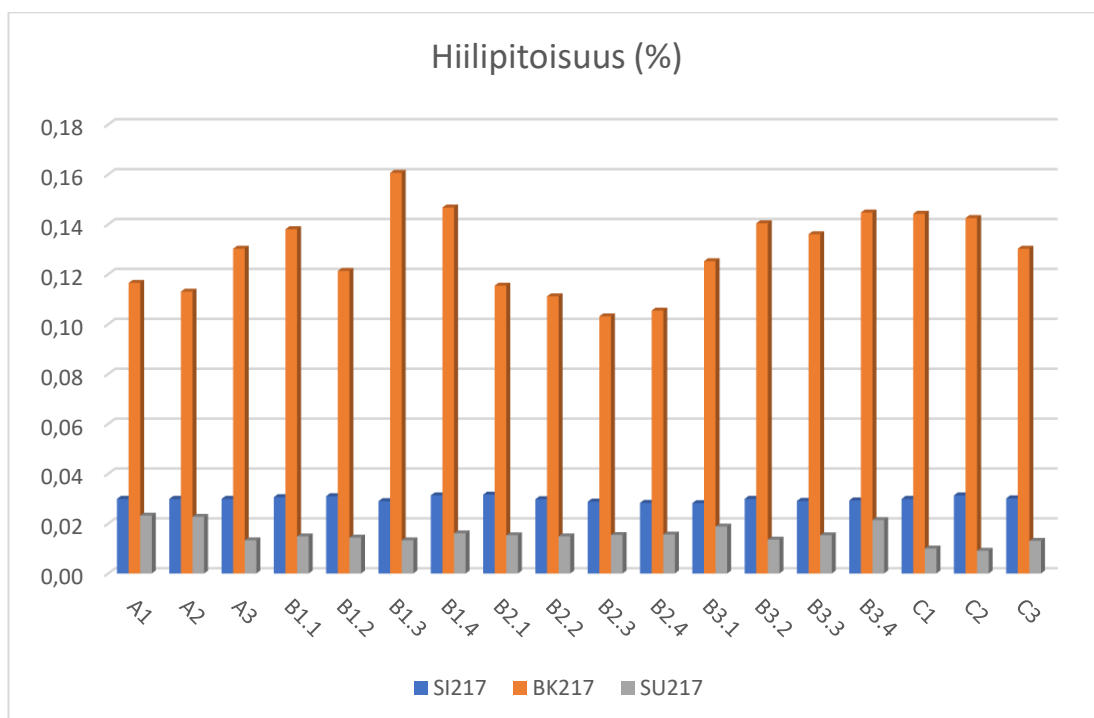
Taulukko 1. Nikkelipulverin irtotiheys

Näyte	Irtotiheys (kg/dm <sup>3</sup> )
A1	4,71
A2	4,00
A3	4,19
B1.1	4,22
B1.2	4,323
B1.3	4,61
B1.4	4,51
B2.1	4,50
B2.2	4,70
B2.3	4,61
B2.4	4,41
B3.1	4,36
B3.2	4,40
B3.3	4,45
B3.4	4,55
C1	4,33
C2	4,24
C3	4,39

#### 4.3.2 Hiili- ja rikki- ja rikkipitoisuudet

Hiili- ja rikkipitoisuus mitattiin kaikista näytteistä. Hiili- ja rikkipitoisuus määritettiin hehkuttamalla näytteitä, jolloin niistä vapautui hiilidioksidia ja rikkidioksidia. Vapautuneiden kaasujen määrät analysoitiin FTIR-spektroskopiolla ja tuloksena saadut massat suhteutettiin näytteen massaan, jolloin saatiin hiili- ja rikkipitoisuus laskettua. Hiili- ja rikkipitoisuutta mitattiin, jotta pystyttiin osoittamaan prosessin tasainen laatu.

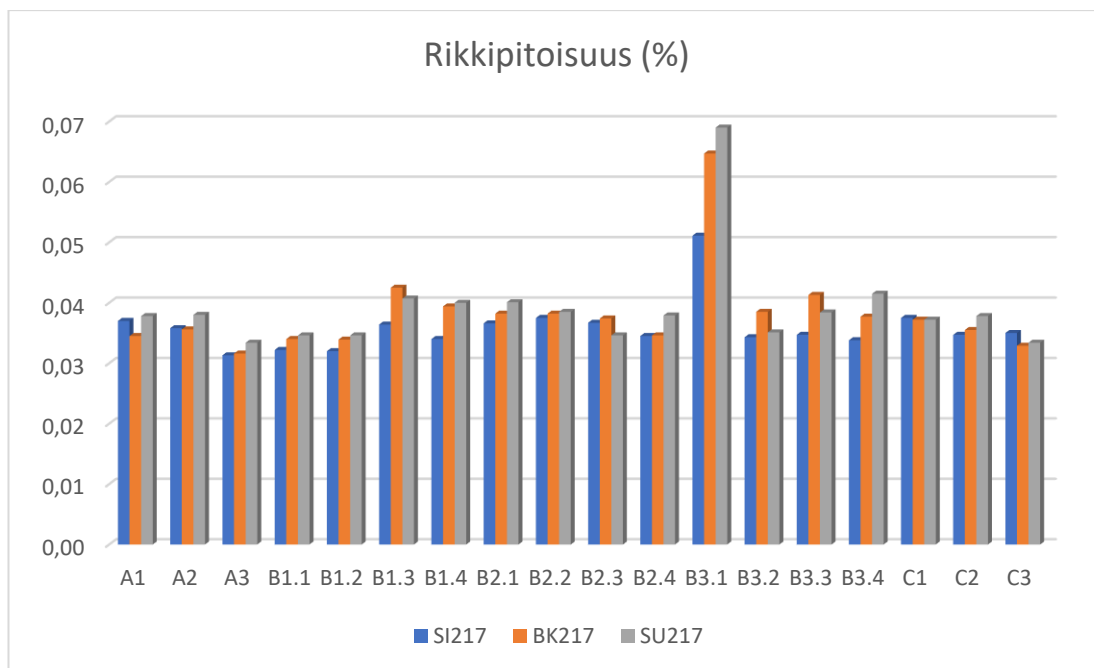
Nikkelipulverin hiilipitoisuus oli tasaisesti joka näytteessä 0,03% ja näin myös normaalilla tasolla. Hiilipitoisuus kasvaa raakabriketeissä, kun sideaine sekoitetaan nikkelipulveriin. Raakabrikettien hiilipitoisuudessa oli pientä vaihtelua, mutta se ei kuitenkaan näkynyt enää sintratuissa briketeissä, koska sideaineen mukana prosessiin tullut hiili poistuu sintrausuunissa briketeistä. Sideaineiden väliltä ei löydetty eroja. Sintrattujen brikettien hiilipitoisuudet olivat korkeimmillaan 0,02 % ja jokainen näyte oli normaalilla tasolla. Tulokset on esitetty alla olevassa kuvassa 5.



Kuva 5. Nikkelipulverin, raakabrikettien ja sintrattujen brikettien hiilipitoisuus.

Rikkipitoisuuden on tarkoitus pysyä suurin piirtein saman suuruisena jokaisessa näytteessä, eli se ei lisääny tai poistu tässä vaiheessa prosessia. Tämä näkyi myös tuloksissa. Rikkipitoisuus oli tasainen yhtä näytettä lukuun ottamatta. Näytteessä B3.1 rikkipitoisuudet ovat tavallista korkeammalla, joka ei kuitenkaan johtunut tutkittavasta sideaineesta, vaan aiemmista prosessiolosuhteista. Tulokset rikkipitoisuudesta on esitetty alla olevassa kuvassa 6.



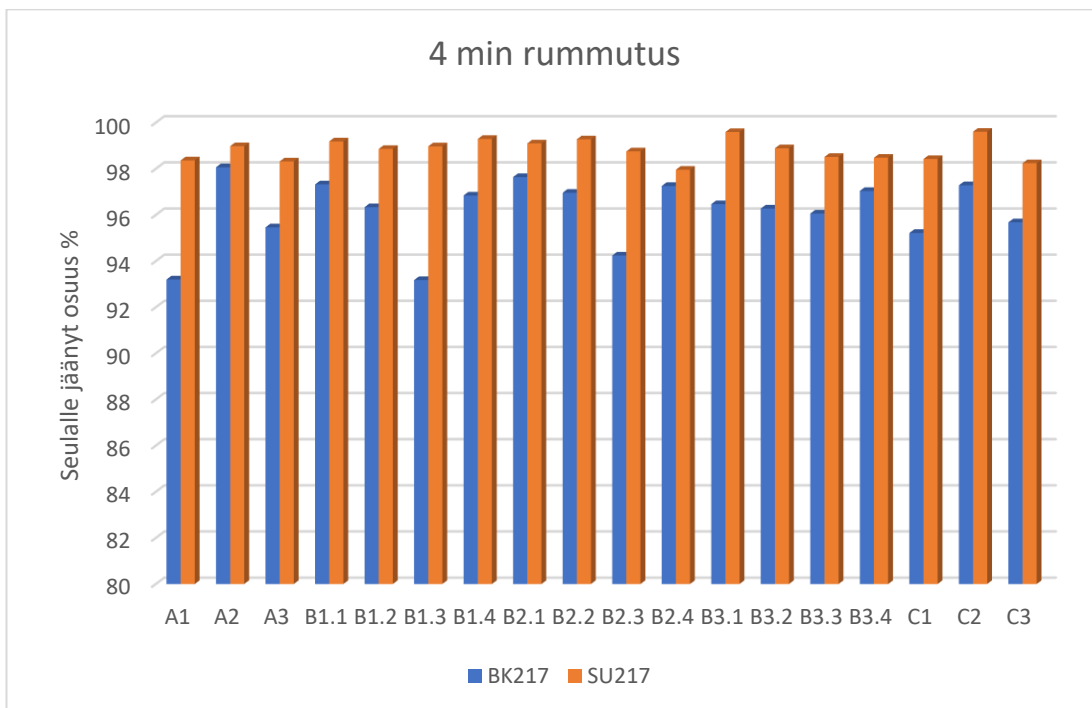


Kuva 6. Nikkelipulverin, raakabrikettien ja sintrattujen brikettien rikkiipitoisuus.

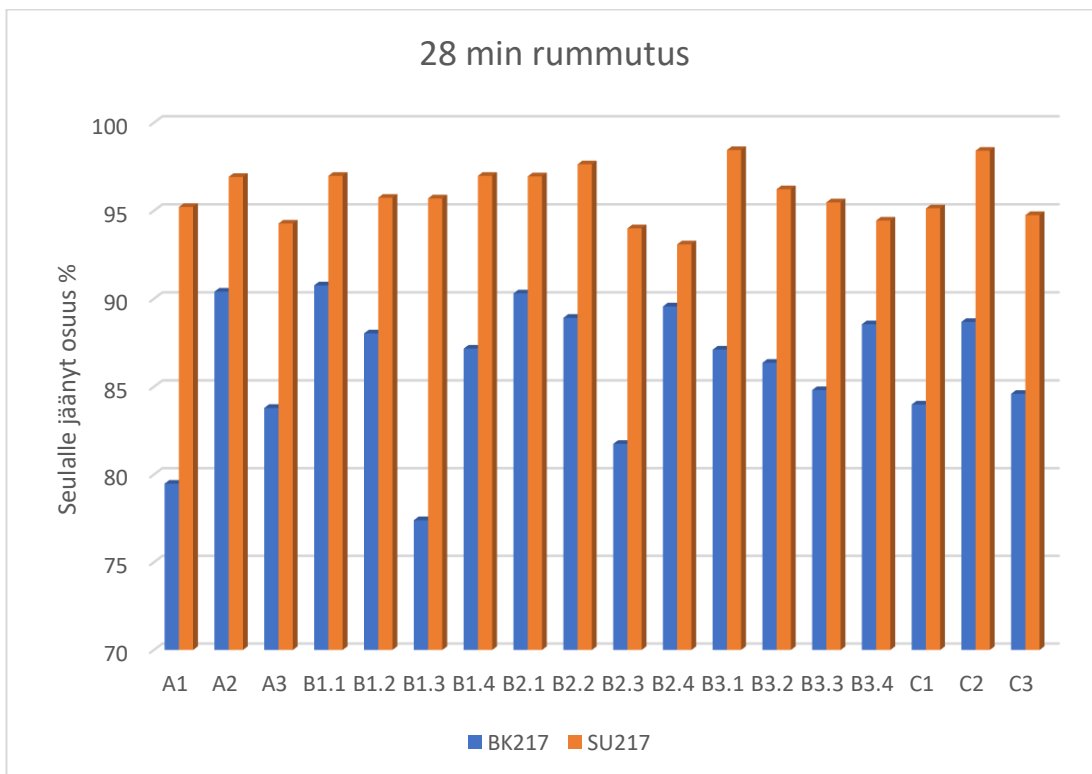
#### 4.3.3 Briketin rummutuslujuus

Briketin rummutuslujuus on koeajon tärkein parametri, sillä briketin tärkein ominaisuus on sen lujuus, koska silloin ne soveltuvat kuljetettavaksi käyttötarkoituksiinsa, ja lisäksi raakabriketit pysyvät koossa sintrausuuniin asti. Rummutustesti tehtiin sekä raakabriketeille, että sintratuille briketeille. Rummutustestissä briketit punnitaan ennen rummutustestiä. Sitten 10 brikettiä laitetaan rumpuun, jossa niitä rummutetaan ensiksi neljä minuuttia, jonka jälkeen rummun sisältö kaadetaan 1,0 mm seulan läpi ja punnitaan irronnut aines. Koetta jatketaan rummuttamalla brikettejä vielä 28 minuuttia, jonka jälkeen mitataan uudestaan irronnut aines. Rummutuslujuus ilmoitetaan prosentteina briketeissä säilynyt massa suhteessa alussa punnittuun massaan.

Raakabrikettien rummutuslujuudet neljän minuutin rummutuksessa vaihtelivat 92% ja 96% välillä. Sintrattujen brikettien rummutuslujuudet olivat neljän minuutin rummutuksessa tasaisesti 98% luokkaa. 28 minuutin rummutuksessa raakabrikettien rummutuslujuudet vaihtelivat 77% ja 90% välillä. Sintrattujen brikettien rummutuslujuudet olivat 93% ja 98% välillä. Tulokset olivat normaaleja. Eroja näytteiden välillä on nähtävissä, mutta niitä on vaikea selittää yksiselitteisesti. Tuloksissa tärkeintä oli, että vaihtelu näytteiden välillä tapahtuu molemmilla sideaineilla suurin piirtein samalla hajonnalla.



Kuva 7. Neljän minuutin rummutus



Kuva 8. Rummutusaika 28 minuuttia.

#### 4.3.4 Sideaineen syöttö

Sideaineen virtausta säädettiin silmämääräisesti raakabrikettien laadun perusteella. Sideaineen virtaus mitattiin käsimittauksella kerran jokaisesta tuotantonopeudesta, jotta nähtiin prosessiautomaatiojärjestelmän näyttämän sideaineen virtauksen paikkansa pitävyys. Käsimittaus tehtiin ottamalla sideainetta näyteastiaan 30 sekuntia ruuvisekoittimen päältä ja sen jälkeen laskemalla sideaineen virtausnopeus. Prosessiautomaatiojärjestelmä näytti sideaineen virtauksen litraa per tunti tarkkuudella ja käsin tehdyt mittaukset osoittivat niiden olevan riittävän tarkkoja. Sideaineen virtaukset on esitetty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Sideaineen virtaus kunkin näytteen ja tuotantonopeuden aikana

Näyte	Suhteutettu tuotantonopeus	Sideaineen syöttö l/h (DNA)	Sideaine syöttö l/h (käsimittaus)
A1	1,125	16	
A2	1,25	16	
A3	1	16	
B1.1	1	18	
B1.2	1	17	
B1.3	1	16	
B1.4	1	16	16,8
B2.1	1,125	16	
B2.2	1,125	16	
B2.3	1,125	16	15,3
B2.4	1,125	16	
B3.1	1,25	18	18
B3.2	1,25	18	
B3.3	1,25	17	
B3.4	1,25	17	
C1	1,25	19	
C2	1,125	19	
C3	1	19	

## 5 YHTEENVETO

Koeajon tulosten yhteenvedona voidaan todeta, että koeajossa tutkittujen sideaineiden tulokset ovat vertailukelpoisia keskenään. Koeajossa käytetty nikkelpulveri oli koko koeajon ajan tasalaatuista perustuen seula-analyysin sekä hiili- ja rikki- ja rikkipitoisuuden tuloksiin.

Rummutuslujuuden tulokset olivat koeajossa nykyisellä sideaineella ja tutkitulla sideaineella yhtä hyvät, sillä sintrattujen brikettien tulokset olivat jokaisessa kokeessa yli 90%. Tulos oli odotettu perustuen aiempaan tehdaskokeeseen ja siihen, että molemmat sideaineet olivat yhtä väkevää polyakryylihappoa ja samalla tavalla käsiteltyjä.

Voidaan todeta, että vaihtoehtoinen polyakryylihappoliuos toimii sideaineena yhtä hyvin kuin nyt käytössä oleva Kemwet 250. Lisäksi todetaan, että briketin laatu riippuu monesta tekijästä, kuten nikkelpulverin ominaisuuksista, mutta tehdyn koeajon aikana ei löydetty sideaineesta johtuvia tekijöitä. Vaihtoehtoista polyakryylihappoa voidaan täten käyttää Nornickel Harjavalta Oy:ssä sideaineena briketoinnissa.

## LÄHTEET

ChemSrc. (2021). Polyacrylic acid. Haettu 3.2.2021 osoitteesta [https://www.chemsrc.com/en/cas/9003-01-4\\_453957.html](https://www.chemsrc.com/en/cas/9003-01-4_453957.html)

Jokela, N. (2017). Nikkeliemission vähentäminen apuaineilla nikkeli elektrolyysissä. [AMK-opinnäytetyö, Turun ammattikorkeakoulu]. Theseus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201705046333>

Kauppalehti. (2021). Norilsk Nickel Harjavalta Oy. Haettu 3.2.2021 osoitteesta <https://www.kauppalehti.fi/yritykset/yritys/norilsk+nickel+harjavalta+oy/1591728-4>

Lähde, J. (2015). Ydintämisen vaikutus sulfidisaostuksessa. [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2015112718123>

Nornickel. (2021). Company profile. Haettu 3.2.2021 osoitteesta <https://www.nornickel.com/company/profile/>

Nornickel Harjavalta Oy. (2021a). Nikkelijalostuksen maailmanluokan asiantuntija. Haettu 3.2.2021 osoitteesta <https://www.nornickel.fi/nornickel-harjavalta>

Nornickel Harjavalta Oy. (2021b). Tuotantoprosessi. Haettu 3.2.2021 osoitteesta <https://www.nornickel.fi/tuotteemme/tuotantoprosessi>

Poikkimäki, A. (2015). Kobolttirikasteen liuotus. [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201502272629>

Pöntinen, S. (26.11.2020). Henkilökohtainen keskustelu prosessinhoitaja Sami Pöntisen kanssa.

Rintamaa, J. (2014). Sintrausuunien ennakkohooltojen työsuunnitelmien kehitys ja luominen. [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu]. Theseus. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201405269920>

Siironen, K. (1.12.2020). Kuva nikkelibriketeistä [valokuva].

Toivonen, R. (2003). Briketointikoneen automatisointi. [AMK-opinnäytetyö, Satakunnan ammattikorkeakoulu].