



Valimon energiatase

Opinnäytetyö

Lauri Saastamoinen

Opinnäytetyö, AMK

Huhtikuu 2022

Tekniikan ala

Insinööri (AMK), Energia- ja ympäristötekniikka

Saastamoinen Lauri

Valimon energiatase

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. **Huhtikuu 2022**, 40 sivua.

Tekniikan ala. Energia- ja ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

Tiivistelmä

Sinkkitehtaan valimossa sulatetaan vuodessa satoja miljoonia kiloja sinkkiä. Sinkin sulattaminen ja valaminen vaativat paljon energiaa. Määrittämällä energiavirrat valimon sisällä, voidaan löytää potentiaalisia kehitys- ja säästökohteita. Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää valimon energiatase ja antaa kuva valimon lävitse kulkevista ja valimon sisäisistä energiavirroista, sekä saada kuvaa siitä mistä energian häviöitä syntyy eniten.

Opinnäytetyön teoriaosuudessa käydään läpi energian esiintymismuodot, sekä valimoon liittyviä fysiikan ja termodynamiikan perusasioita. Opinnäytetyön tiedonhankinta on toteutettu pääasiassa haastatteluin ja yrityksen itse tuottamaa materiaalia käyttäen. Työssä tutustuttiin myös pääpiirteittäin koko tehtaan toimintaan antaakseen lukijalle yleisen kuvan valimon raaka-aineen eli sinkin valmistamisesta.

Avainsanat (asiasanat)

Energiatase, valimot, sinkki, lämpö

Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)

Saastamoinen Lauri

Foundry's energy balance

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, **April 2022**, 40 pages.

Engineering and technology. Degree Programme in Energy and Environmental Technology. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

Abstract

Millions of kilos of zinc are being smelted a year in the zinc factory's foundry. Smelting and molding zinc requires a lot of energy. By determining energy flows inside the foundry, potential saves and development points may be found. Objective of thesis was to determine foundry's energy balance and to point where energy is being used the most.

In theory part of thesis energy's occurrence formats, necessary physics and thermodynamics' basics regarding the foundry are clarified. Data acquisition has been done with interviewing professional person and by using mandators' material. Also, the very basics of creating zinc is covered in the theoretical part.

Keywords/tags (subjects)

Energy balance, foundries, zinc, heat

Miscellaneous (Confidential information)

Sisältö

1	Johdanto	3
1.1	Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus	3
1.2	Tutkimusasetelma	4
2	Boliden	4
2.1	Boliden-konserni	4
2.2	Boliden Kokkola Oy	5
3	Sinkin tuotantoprosessi	5
3.1	Pasutus	6
3.2	Liuotus ja liuospuhdistus	7
3.3	Elektrolyysi	8
3.4	Valuprosessi	9
4	Energian muodot	9
4.1	Lämpöenergia.....	10
4.2	Sähköenergia	10
4.3	Sisäenergia	11
5	Energiatase	11
5.1	Termodynamiikan 1. pääsääntö ja energiatase	12
5.2	Lämpötase	12
5.3	Suljettu järjestelmä	13
5.4	Massatase.....	14
6	Valimon energiataseen määrittäminen	14
6.1	Valimon energiataseen tekijät	15
6.2	Valimon energiatase.....	22
6.3	Valimon sähköenergian käyttö	23
6.4	Valimon lämpöenergian käyttö.....	23
6.5	Valimon sisäenergian käyttö	24
6.6	Valimon kevytpolttoöljyn käyttö.....	24
6.7	Valimon kaukolämmön käyttö	24
7	Valimon osaprosessit	25
7.1	Syöttökuljettimet	25
7.2	Sulatusuunit	25
7.3	Seosuunit.....	26
7.3.1	Seosuuni 1.....	28

7.3.2	Seosuuni 2.....	28
7.3.3	Seosuuni 3.....	28
7.4	Jatkuvan valun kone (JVK).....	29
7.5	Seosvalurata (SVR).....	30
7.6	Harkkovalukone.....	30
7.7	Rakeistus.....	32
7.8	Tuhkanjauhatus.....	32
7.9	Ilmastointi.....	32
7.10	Jäähdytysvesikierto.....	33
7.11	Trukit.....	33
8	Työn kulku.....	34
9	Johtopäätökset ja tulokset.....	34
	Lähteet.....	36

Kuviot

Kuvio 1.	Rikasteen kulku tehtaan lävitse.....	6
Kuvio 2.	Pasutuksen prosessikaavio.....	7
Kuvio 3.	Liuotuksen prosessikaavio.....	8
Kuvio 4.	Elektrolyysin prosessikaavio.....	8
Kuvio 5.	Valimon prosessikaavio.....	9
Kuvio 6.	Valimon energiavirrat.....	16
Kuvio 7.	Syötön periaatekuva.....	25
Kuvio 8.	Sulatusuunien energiavirrat.....	26
Kuvio 9.	Seosuunien energiavirrat.....	27
Kuvio 10.	JVK:n energiavirrat.....	29
Kuvio 11.	SVR:n energiavirrat.....	30
Kuvio 12.	Harkkovalukoneen energiavirrat.....	31

Taulukot

Taulukko 1.	Seosuunien tehonkäyttö.....	27
Taulukko 2.	Valukoneiden jäähdytysvesimäärät.....	33

1 Johdanto

Sinkkitehtaalle saapuva raaka-aine eli malmi kulkee tehtaan eri osastojen ja osaprosessien lävitse. Puhtaan sinkin erottaminen ja lopulta myytäväksi tuotteiksi valaminen on kokonaisuutena paljon energiaa kuluttavaa. Valimo on viimeinen osasto ja tuotantovaihe ennen myytävien lopputuotteiden toimitusta. Tämän opinnäytetyön tavoite on määrittää valimon energiatase ja antaa kuva valimon lävitse kulkevista ja valimon sisäisistä energiavirroista, sekä saada kuvaa siitä mistä energian häviöitä syntyy eniten. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Boliden Kokkola Oy.

Opinnäytetyön aiheen valintaan vaikutti Boliden Kokkolan pyrkimys kohti mahdollisimman energiatehokasta tuotantoprosessia. Boliden Kokkola on mukana valtakunnallisessa energiatehokkuussopimuksessa ja tälläkin hetkellä Boliden Kokkola on yksi maailman energiatehokkaimmista sinkkitehtaista. Kartoittamalla energiankulutusta päästään lähemmäs ilmastotavoitteita. Lisäksi aihe soveltuu hyvin energia- ja ympäristötekniikan opiskelijalle.

Valimon energiataseessa tunnistetaan valimon sisäisten osaprosessien energiataseeseen vaikuttavat tekijät. Visualisoidaan prosessikaavioin ja laskennallisesti saatavilla olevan mittausdatan puitteissa se, missä muodossa energia valimolle toimitetaan, kuinka se muuttuu valimon sisällä muodosta toiseen ja mihin energia päättyy. Energialle ominaisesti se muuttaa muotoaan, mutta mihinkään sitä ei häviä. Valimolle tyypillisesti energiaa kuitenkin menetetään hukkalämpönä tai-vaalle, sillä suurten sinkkimassojen sulattaminen vaatii paljon lämpöenergiaa.

1.1 Opinnäytetyön eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyön laskuissa käytettiin yrityksen itsensä mittaustietoja ja määrittämiä arvioita kulutuksista. Prosessikaavioiden laatimisessa pohjana toimivat haastattelut ja opinnäytetyöntekijän käyttäjäkokemus. Prosessikaavioiden arvioitiin vastaavan todellisia energiavirtoja. Luotettavuutta arviointiin työn aikana ja sen lopuksi.

Salassapitovelvoitetta opinnäytetyölle ei asetettu. Myöskään tutkimuslupaa ei tarvittu. Työ suoritettiin pyrkien todenmukaisiin kaavioihin ja laskujen tuloksiin. Pyrittiin noudattamaan Jyväskylän ammattikorkeakoulun eettisiä periaatteita ja raportointiohjetta.

1.2 Tutkimusasetelma

Opinnäytetyön tutkimusmenetelmäksi valikoitui kehittämistutkimus. Tutkimuskysymyksien takana oli tavoitteena kehittää jo olemassa olevaa prosessia ja luoda lisää dataa. Opinnäytetyössä käytettiin sekä kvalitatiivista, että kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Kvantitatiivisessa tutkimusmenetelmässä kohdetta kuvataan tilastojen ja numeroiden avulla. (Kvantitatiivinen tutkimus.) Tässä opinnäytetyössä määrällinen eli kvantitatiivinen menetelmä ilmeni energiavirtojen määrittämisen muodossa. Kvalitatiivisessa tutkimusmenetelmässä pyritään ymmärtämään kohteen laatua, merkitystä ja kokonaisvaltaisuutta. (Kvalitatiivinen tutkimus.) Opinnäytetyön lähtökohtana oli kokonaisuuden ja energiavirtojen suhteiden hahmottaminen, ja laadullisuus näkyi jo tutkimuskysymysten asettelussa.

Tutkimuskysymyksiä olivat:

1. Missä häviöitä syntyy eniten?
2. Millaisia energiavirtoja valimolla esiintyy?
3. Mitkä ovat energiavirtojen suhteet?

Ensimmäinen tutkimuskysymys toimi pohjana kysymyksille kaksi ja kolme. Pyrkimyksenä oli siis löytää energiavirrat ja kartoittaa niiden suhdetta toisiinsa. Tätä kautta voidaan päästä käsiksi todellisiin potentiaalisiin kehittämis- ja energiansäästökohteisiin.

2 Boliden

2.1 Boliden-konserni

Boliden AB on ruotsalainen metallialan yritys, jonka pääkonttori sijaitsee Tukholmassa. Bolidenin erikoisalaa ovat malminetsintä, kaivostuotanto, sulatot, sekä metallien uusiokäyttö. Yhtiön tuotantolaitokset sijaitsevat Suomessa, Ruotsissa, Norjassa ja Irlannissa. Suomessa Bolidenilla on kaivoksia Kylylahdella ja Kevitsassa, sekä sulattoja Harjavallassa ja Kokkolassa. Yritys työllistää noin 5800

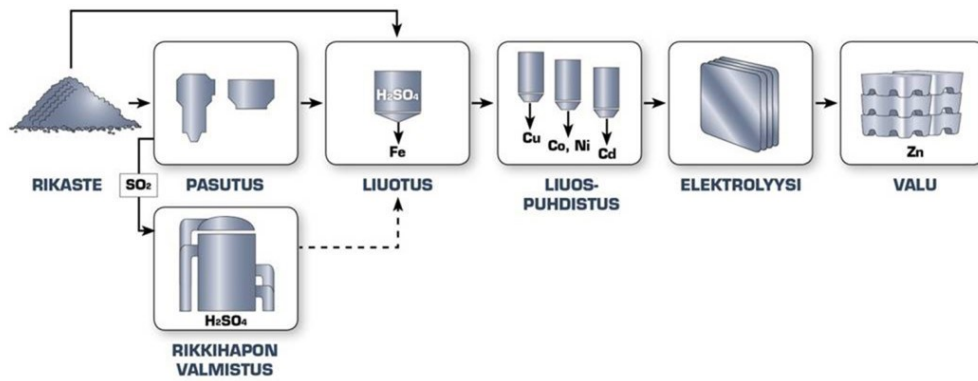
henkilöä maailmanlaajuisesti, joista noin 1500 henkilöä Suomessa. (Boliden Kokkola 2021 Perustietoja).

2.2 Boliden Kokkola Oy

Boliden Kokkola Oy on Euroopan toiseksi suurin sinkkitehdas. Tehtaan päätuotteita ovat puhdas sinkki ja sinkin seokset. Kokkolan tehtaalla tuotetaan noin 40 erilaista sinkkituotetta asiakastarpeen mukaan. Tuotanto Kokkolassa alkoi vuonna 1969. Vuonna 2004 tehdas siirtyi osaksi Bolidenia. Tehdas työllistää noin 550 henkilöä, ollen Kokkolan suurin teollinen työnantaja. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 315 000 tonnia puhdasta sinkkiä ja sinkin seoksia vuodessa. Sinkin lisäksi prosessissa syntyy merkittäviä määriä rikkihappoa. Vuonna 2020 tehdas tuotti sinkkiä 297 000 tonnia ja rikkihappoa 328 000 tonnia. Noin 85 % valmiista tuotteista menee vientiin. (Boliden Kokkola 2021 Perustietoja).

3 Sinkin tuotantoprosessi

Sinkin tuotanto alkaa kaivoksilta saapuvan rikasteen pasutuksella ja liuotuksella. Rikasteesta poistetaan epäoleelliset komponentit ja prosessiliuokseen jäänyt sinkki erotetaan elektrolyysissä sinkkilevyiksi, jotka irrotetaan elektrolyysin irrotuskoneilla valimon raaka-aineeksi. (Ks. kuvio 1.) Sinkin tuotantoprosessin yhteydessä syntyy merkittävät määrät rikkihappoa. (Boliden Kokkola 2021 Tuotantoprosessi, 2).

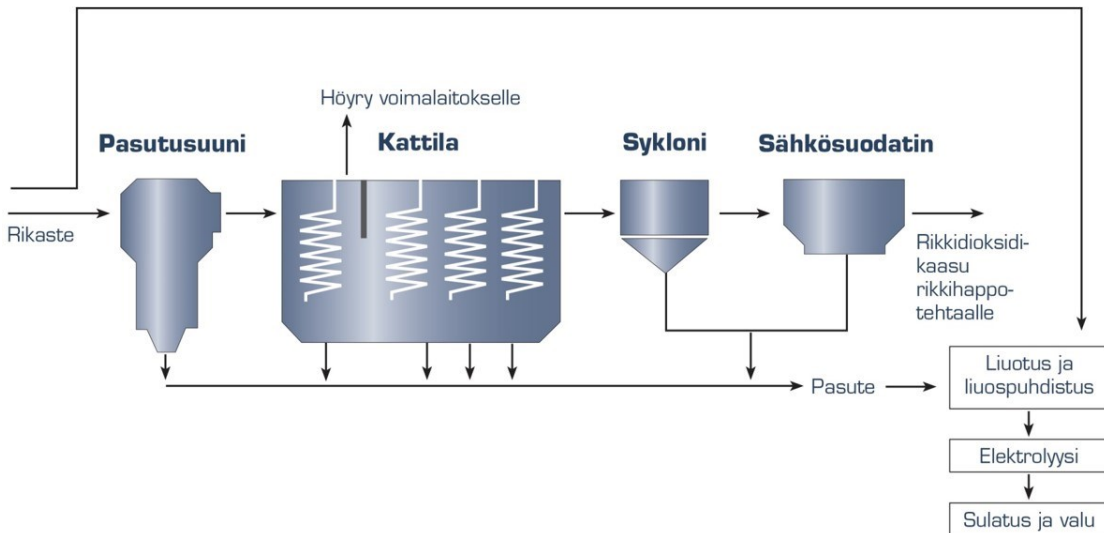


Kuvio 1. Rikasteen kulku tehtaan lävitse (Tuotantoprosessin esittely, 2)

Tässä opinnäytetyössä käsitellään sinkin tuotantoprosessin viimeistä vaihetta. (Ks. Kuvio 5.) Valuprosessissa pätee sisäinen massankierto eli elektrolyysiltä valimolle toimitetut sinkkilevyt päätyvät lopulta valuprosessin kautta myytäväksi, vaikka sinkkiä olisi jouduttukin aiempiin prosessivaiheisiin palauttamaan. (Boliden Kokkola 2021 Tuotantoprosessi, 2). Liuotukseen sinkkiä palaa valuprosessin yhteydessä syntyneen kamin muodossa. Kamilla tarkoitetaan sinkkisulan pintaan muodostuvaa jähmettynyttä sinkkiä. Valimolla valmistetaan myös sinkkirakeita, jotka ovat edellytys puhdistamon toiminnalle. Lisäksi valimon sisäisesti voidaan mahdolliset vialliset lopputuotteet sulattaa ja valaa uudelleen.

3.1 Pasutus

Kaivoksilta saatua rikastetta tuodaan Kokkolan tehtaalle ulkomailta laivoilla, sekä Suomesta rautateitse. Rikaste saatetaan prosessiin sopivaksi syöttöseokseksi pasutusuunissa. (Boliden Kokkola 2021 Tuotantoprosessi, 3). Osa rikasteesta ajetaan suoraan liuotukseen pasutteen kanssa. (Ks. kuvio 3).

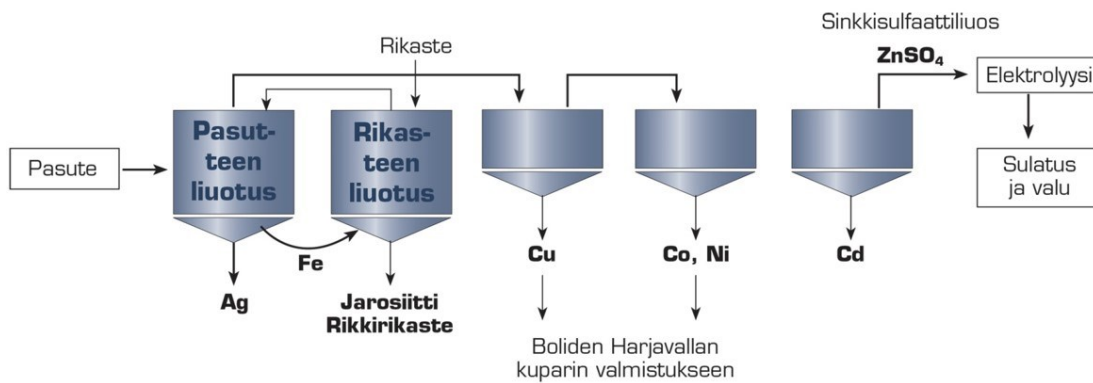


Kuvio 2. Pasutuksen prosessikaavio (Tuotantoprosessin esittely, 3)

Pasutetta valmistettaessa rikasteesta oleva rikki palaa rikkidioksidi-kaasuksi, jota käytetään tehtaansivutuotteena syntyvän rikkihapon valmistukseen.

3.2 Liutus ja liuospuhdistus

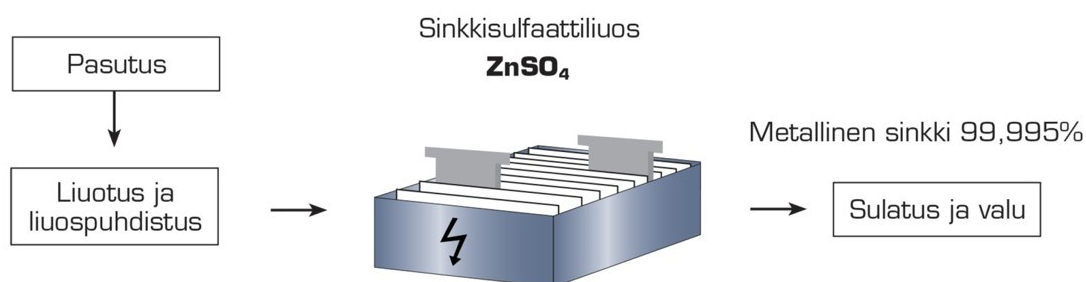
Pasute ja osa sinkkirikasteesta liuotetaan rikkihappoliuokseen. Liuotuksessa syntynyt raakaliuos ajetaan liuospuhdistukseen, jossa epäpuhtaudet saostetaan raakaliuoksesta pois valimolla valmistetun sinkkipulverin avulla. (Boliden Kokkola 2021 Tuotantoprosessi, 5). (Ks. Kuvio 3.)



Kuvio 3. Liuotuksen prosessikaavio (Tuotantoprosessin esittely, 5)

3.3 Elektrolyysi

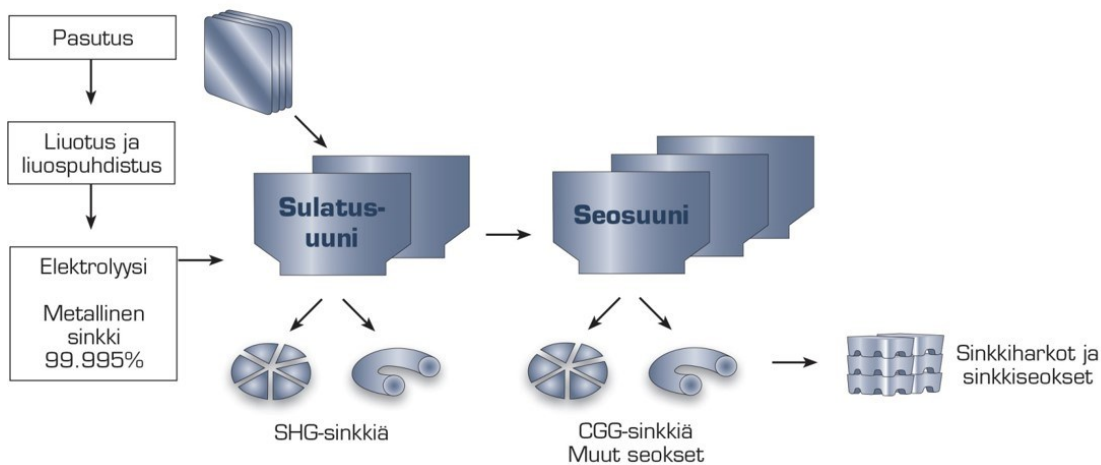
Elektrolyysissä sinkki erotetaan sinkkisulfaattiliuoksesta sähkövirran avulla alumiinilevyn pinnalle. Liuoksesta erotetut sinkkikatodit ovat puhtausasteeltaan jopa 99,995%. Sinkkilevyn kasvu-aika on noin 36 tuntia. Valmiit sinkkilevyt irrotetaan alumiinilevyistä elektrolyysin irrotuskoneilla. (Boliden Kokkola 2021 Tuotantoprosessi, 6). Elektrolyysissä irrotetut sinkkilevyt ovat valimon raaka-ainetta. (Ks. Kuvio 4).



Kuvio 4. Elektrolyysin prosessikaavio (Tuotantoprosessin esittely, 6)

3.4 Valuprosessi

Valimolla sinkkilevyt sulatetaan induktiouuneissa ja niistä valetaan myytäviä tuotteita. Tuotteet ovat puhdasta sinkkiä ja sinkin seoksia asiakastarpeen mukaan. (Boliden Kokkola 2021 Tuotantoprosessi, 7). Valmiit valut ovat kokoluokaltaan 25–4000 kg. Valimolta tuotteet siirretään tuotetoimistolle, josta ne lähtevät toimitukseen asiakkaille. (Ks. Kuvio 5.)



Kuvio 5. Valimon prosessikaavio (Tuotantoprosessin esittely, 7)

4 Energian muodot

Yleisesti energiaa esiintyy useissa eri muodoissa. Energian ilmenemismuotoja ovat mm. liike- ja potentiaalienergia, sisäenergia, sähköenergia, pyörimisenergia, säteilyenergia, lämpöenergia, virtausenergia, sähkömagneettinen energia ja ydinenergia. (Kotimäki V. 2020 ja Ylinen J. 2021).

Valimon energiataseen kannalta oleellisia energian ilmenemismuotoja ovat lämpöenergia, sähköenergia ja sisäenergia. Kokonaisenergialla tarkoitetaan kaikkien edellä mainittujen energioiden summaa. Kokonaisenergian tunnus on E. (Kotimäki V. 2020, 9).

Energia on työn edellytys. Ylinen kuvaakin työn olevan energian muuntumista haluttuun muotoon ja sen siirtymistä halutulle kappaleelle. (Ylinen J. 2021.) Ylinen ja Kotimäki korostavat, ettei energiaa häviä mihinkään. Energia ainoastaan muuttaa muotoaan ja siirtyy kappaleelta toiselle. (Kotimäki V. 2020, 18). (Ylinen J. 2021).

4.1 Lämpöenergia

Lämpöenergia on kappaleen molekyylien värähtelyliikettä. Lämpöenergia on riippuvainen kappaleen lämpötilan muutoksesta ja kappaleen lämpökapasiteetista. (Ylinen J. 2021).

Tässä opinnäytetyössä siirtyneen lämpöenergian määrää kuvataan symbolilla $Q_{\text{LÄMPÖ}}$. Sen yksikkö on Joule, J. Siirtyneen lämpöenergian määrä voidaan laskea seuraavasti: (Kotimäki V. 2020, 18).

$$Q = mc_v \Delta T$$

m = massa [kg]

c_v = ominaislämpökapasiteetti vakiotilavuudessa [J/kg*K]

ΔT = lämpötilan muutos [K]

4.2 Sähköenergia

Sähköenergia on energiaa helposti siirrettävässä muodossa. Sähkölaitteet ja sähköä hyödyntävät prosessit muuntavat sähköenergiaa toiseen muotoon. Sähköteho kertoo kuinka paljon sähköenergiaa laite muuntaa toiseen muotoon aikayksikköä kohden. Kaikkea energiaa ei kuitenkaan saada käytettyä hyödyksi, sillä osa siitä menee aina hukkaan. Sähköenergialle onkin luontaista muuttua lämpöenergiaksi. (Ylinen J. 2021.)

Tässä opinnäytetyössä siirtyneen sähköenergian määrää kuvataan symbolilla $Q_{\text{SÄHKÖ}}$. Sen yksikkö on Joule, J. Yleisesti sähköenergian yksikkönä käytetään myös kilowattituntia, kWh.

4.3 Sisäenergia

Sisäenergialla tarkoitetaan molekyyli-tason energioiden summaa. Sisäenergian tunnus on U . Sisäenergian alle kuuluvat molekyylien liike-energia, latentti energia, kemiallinen energia ja ydinenergia. (Kotimäki V. 2020, 9–10).

Molekyylien liike-energialla tarkoitetaan molekyylien liikkumista, pyörimistä ja värähtelyä. Korkeammassa lämpötilassa nämä liikkeet tapahtuvat nopeammin. Latentti energia on molekyylien välistä sidosenergiaa. Se on siis olomuotoon liittyvää staattista energiaa, kun energia ei enää siirry systeemistä toiseen. Kemiallinen energia vallitsee molekyylien atomien välillä ja ydinenergia on taas atomien ytimien sidoksissa vallitseva energia. (Kotimäki V. 2020, 10)

5 Energiatase

Tilastokeskuksen määritelmän mukaisesti energiataaseella kuvataan prosessiin siirtyvän energian muuntumista loppukäyttöön. Energiataaseessa tunnistetaan prosessiin siirtyvät energiavirrat, energian muodonmuutokset prosessin sisällä, sekä prosessista poistuvat energiavirrat (Tilastokeskus, 2021).

Tässä opinnäytetyössä valimon energiataase eli kokonaisenergiataase on jaettu osaprosesseihin. Määrittämällä ja laskemalla osaprosessien energiataaseet saadaan selville valimon kokonaisenergiataase. Tasetta voitaisiin toki tarkastella koko valimon mittakaavassa, mutta tällöin valimon sisäisten prosessien osuudet kokonaistaseessa eivät selviä.

Valimon tapauksessa osaprosessiin syötetty sisäenergia, (Ks. Luku 4.3) sähköenergia (Ks. Luku 4.2) ja osaprosessin sisällä tapahtuneet energian muodonmuutokset, sekä lämpöenergian häviöt eli järjestelmästä poistuva energia muodostavat osaprosessin taseen. Valimon energiataase muodostuu siis osaprosessien taseista.

5.1 Termodynamiikan 1. pääsääntö ja energiatase

Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaisesti energian kokonaismäärä ei muutu prosessissa. Energia ainoastaan muuttaa muotoaan. Energiatase voidaan kirjoittaa em. termodynamiikan 1. pääsäännön perusteella seuraavasti:

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta E_{\text{system}}$$

E_{in} = järjestelmään syötetty energia [J]

E_{out} = järjestelmästä poistuva energia [J]

ΔE_{system} = järjestelmän kokonaisenergian muutos [J]

Järjestelmään syötetyn ja sieltä poistuvan energian erotus on siis järjestelmän kokonaisenergian muutos.

5.2 Lämpötase

Lämmönsiirrossa voidaan yleisesti käsitellä kemiallisen-, mekaanisen-, sähköisen- ja ydinenergian muuntumista lämmönsyntymisenä eli lämpötaseen avulla. (Kotimäki V. 2020, 19). Energiatase voidaan tässä tapauksessa kirjoittaa muotoon:

$$Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}} + E_{\text{gen}} = \Delta E_{\text{thermal,system}}$$

$\Delta E_{\text{thermal, system}}$ = järjestelmän kokonaisenergian muutos

Q_{in} = järjestelmään tuotu lämpömäärä

Q_{out} = järjestelmästä poistuva lämpömäärä

E_{gen} = järjestelmässä syntynyt lämpöenergia

5.3 Suljettu järjestelmä

Suljetussa järjestelmässä eli massan pysyessä vakiona, energiatase voidaan kirjoittaa seuraavassa muodossa (Ehtona on jättää potentiaali- ja liike-energia huomioimatta ja tilavuus oletetaan vakioiksi.): (Kotimäki V. 2020, 20).

$$E_{\text{in}} - E_{\text{out}} = \Delta U = mc_v \Delta T$$

ΔU = järjestelmän sisäenergian muutos [J]

m = massa [kg]

c_v = ominaislämpökapasiteetti vakiotilavuudessa [J/kg*K]

ΔT = lämpötilan muutos [K]

E_{in} = järjestelmään syötetty energia [J]

E_{out} = järjestelmästä poistuva energia [J]

Tällä perusteella sisäenergian muutos järjestelmässä vastaa järjestelmään tuodun ja sieltä poistuvan energian summaa. Tässä opinnäytetyössä valimoa käsitellään suljettuna järjestelmänä eli massan hävikki ajatellaan häviävän pieneksi (Ks. Luku 5.4).

Todellisuudessa ainakin pieniä massan eli sisäenergian ja lämpöenergian häviöitä syntyy valimon sivuvirtojen yhteydessä, vaikkakin poistuvien virtojen voidaan ajatella palaavan valimolle. Tuotetun sinkin volyymin verrattuna em. tuntemattomien häviöiden suuruus oletetaan tässä opinnäytetyössä kuitenkin mitättömän pieneksi valimon kokonaisenergiataseen kannalta.

5.4 Massatase

Kuten useille tekniikan sovelluksille on ominaista, massaa virtaa prosessiin ja siitä pois. Valimon lävitse virtaava massa muodostuu elektrolyysin irrottamista sinkkilevyistä ja seosvalujen seosaineista. Valimon saanti on 97,5 % (Lassi A. 2021). Tässä opinnäytetyössä kuitenkin käsitellään valimoa häviöttömänä osastona massan suhteen. Lopputuotteiden lisäksi valimolta poistuvan massan hävikin arvioiminen on haastavaa tuntematta muiden osastojen prosessia. Massaa todellisuudessa siis hieman menetetään prosessissa.

Vialliset puhtaat tuotteet ja kamit voidaan sulattaa uudelleen valimon sulatusuuneissa ja valaa lopputuotteiksi. Myös vialliset seostuotteet ja seosvalujen aikana syntyneet kamit voidaan sulattaa uudelleen seosuuneissa. Näin ollen massan hävikkiä ei valmiiden valettujen tuotteiden osalta pääse syntymään. Mainittakoon ylimääräistä energiaa kuitenkin kuluvan uudelleen sulattamisen yhteydessä.

Valuprosessien aikana sulaa sinkkiä pumpataan rännejä pitkin valukoneille. Sinkkisulan virratessa ränneissä muodostuu sen pintaan kamia. Kamilla tarkoitetaan kovaa kiinteää kerrosta, joka syntyy sinkin jäähtyessä ja reagoidessa ilman kanssa. Kamia syntyy myös valukoneilla robottien ja skimmarin, sekä käsivalussa käsin poistetun kuonan yhteydessä. Kami toimitetaan tehtaalla aiemmin prosessissa sijaitsevaan liuotusvaiheeseen. (Ks. Luku 3.2). Tätä kautta kyseinen hävikkimassa palautuu merkityksellisiltä osin takaisin valimolle. Oletetaan tämän valimon sivuvirran massan hävikki siis merkityksettömän pieneksi.

Toinen valimon sivuvirta on rakeistus (Ks. Luku 7.7). Rakeistuksessa massaa poistuu valimon tuottamien sinkkirakeiden muodossa aiemmin tehtaalla toimivan puhdistamon tarpeisiin. Oletetaan tämäkin sivuvirta merkityksellisiltä osin palaavan takaisin valimolle. Massan hävikki tässäkin sivuvirrassa on siis häviävän pieni.

6 Valimon energiataseen määrittäminen

Valimon energiatase muodostuu valimolle tulevista ja sieltä poistuvista energiavirroista. Valimon prosessien sisällä energia muuttuu muotoaan. Valimolle saapuvia energiavirtoja ovat sähkö, kaukolämpö ja dieseltrukkien käyttämä kevytpolttoöljy, sekä sinkin ja seosaineiden sisäenergia.

Sähköenergian osuus on merkityksellinen, sillä se muunnetaan valimon sulatus- ja seosuuneissa lämpöenergiaksi. Muunnetun lämpöenergian avulla sinkki sulatetaan ja valuprosessin aikana ja jälkeen lämpöenergiasta tulee hukkaenergiaa. Lämpöenergia siirtyy valukoneiden jäähdytysvesiin ja halli-ilmaan. Ilmastoinnissa tai jäähdytysvesikierrossa ei lämmöntalteenottoja ole. Sähköenergiasta muunnetun lämpöenergian rooli onkin välillinen ja se mahdollistaa valuprosessin.

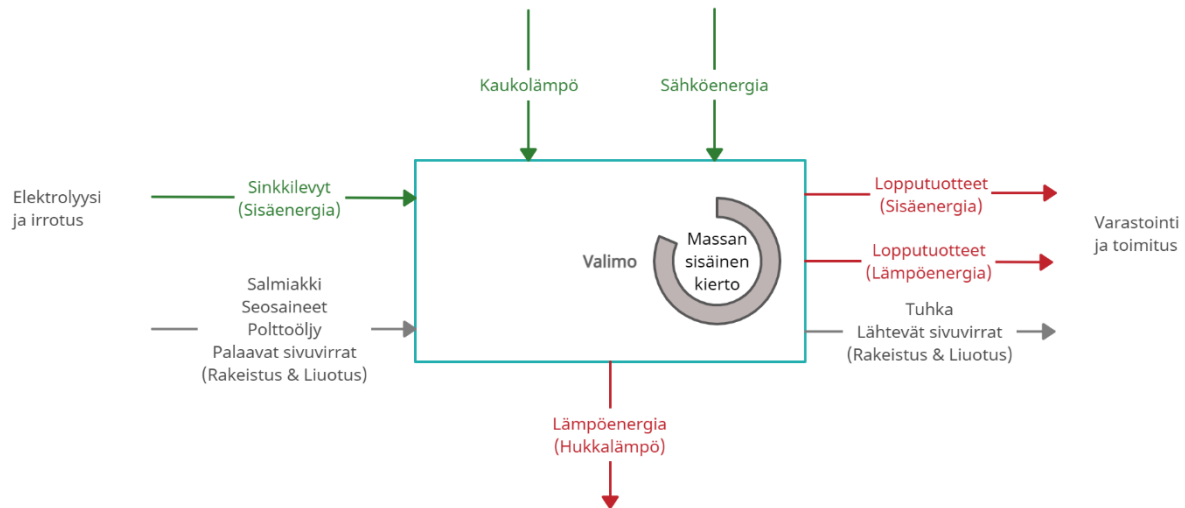
Valimon dieseltrukkien käyttämä kevytpolttoöljy sisältää kemiallista energiaa. Kemiallinen energia käytetään trukkien liike-energiaksi ja osa siitä muuttuu lämmöksi, joka yhä edelleen siirtyy halli-ilmaan.

Valimolta poistuvia energiavirtoja ovat hukkalämmöksi menevä lämpöenergia ja lopputuotteeseen sitoutunut sisäenergia. Massavirta valimon lävitse oletetaan vakioksi. Aiempiin tehtaan prosessivaiheisiin poistuvat sivuvirrat voidaan ajatella kiertävän takaisin valimolle ja näin ollen massan hävikkiä ei merkityksellisiltä osin synny. (Ks. Luku 5.4).

Määritetään valimon energiatase jakamalla valimon prosessi osaprosesseihin. Laaditaan osaprosesseille prosessikaaviot ja määritetään osaprosesseihin tulevat ja poistuvat energiavirrat. Prosessikaavioista ilmenevät myös energian muodonmuutokset. Lopuksi lasketaan saatavilla olevan mitausdatan puitteissa energiavirtojen suuruudet. Pyritään myös selvittämään opinnäytetyön tavoitteiden mukaisesti mihin energiaa kaikkein eniten häviää.

6.1 Valimon energiataseen tekijät

Valimo energiatase muodostuu osaprosessien taseista. Tarkastellaan valimoa ensin kokonaisuutena ja sen jälkeen osaprosesseittain.



Kuvio 6. Valimon energiavirrat

E_{VALU}

Valimon sulatuksen ja seosuunien, sekä valulinjojen yhdistetty energiankulutus on n. 135 [kWh/tuotettu tonni] (Lassi A. 2021). Käytetään em. kulutuksien summana symbolia E_{VALU}.

E_{VALU} muodostuu osaprosessien energiankulutuksista: E_{SYÖTTÖ, S} + E_{SU1, S} + E_{SU2, S} + E_{SEOS1, S} + E_{SEOS2, S} + E_{SEOS3, S} + E_{JVK, S} + E_{SVR, S} + E_{HARKKO, S} + E_{RAKEISTUS, S} + E_{TUHKANJAUHATUS, S} + E_{ILMASTOINTI, S} + E_{JÄÄHDYTYSVESI, S}. Toisin sanoen kyseessä on sulatuksen, seosuunien ja valulinjojen yhdistetty sähköenergiankulutus.

Vuonna 2020 sinkkiä tuotettiin 297 000 tonnia (Ks. Luku 2.2). Valimon valuprosessin energiankulutus (E_{VALU}) vuonna 2020 voidaan siis laskea olevan:

$$E_{VALU} = 297\,000 \text{ [t]} * 135 \text{ [kWh/t]} = 40\,095\,000 \text{ [kWh]}$$

E_{SÄHKÖ}

$E_{\text{SÄHKÖ}}$ on valimon käyttämän sähköenergian kokonaiskulutus. Kokonaiskulutus muodostuu valimon osaprosessien kuluttamien sähköenergioiden summasta. Tässä työssä tarkastelu on rajattu tuotantotiloihin, joten sulatuksen ja seosuunien, sekä valulinjojen yhdistetty kulutus vastaa sähköenergian kokonaiskulutusta.

Valimon sähköenergian kulutuksen lauseke on seuraava:

$$E_{\text{SÄHKÖ}} = E_{\text{SYÖTTÖ, S}} + E_{\text{SU1, S}} + E_{\text{SU2, S}} + E_{\text{SEOS1, S}} + E_{\text{SEOS2, S}} + E_{\text{SEOS3, S}} + E_{\text{JVK, S}} + E_{\text{SVR, S}} + E_{\text{HARKKO, S}} + E_{\text{RAKEISTUS, S}} + E_{\text{TUHKANJAUHATUS, S}} + E_{\text{ILMASTOINTI, S}} + E_{\text{JÄÄHDYTYSVESI, S}} = E_{\text{VALU}}$$

$$E_{\text{SÄHKÖ}} = 40\,095\,000 \text{ [kWh]} = E_{\text{VALU}}$$

Seosuunit, valulinjat yms. osaprosessit käyttävät n. 25 [kWh / tuotettu tonni] (Lassi A. 2021).

297 000 tonnin tuotantomäärällä seosuunien ja valulinjojen yhteenlaskettu osuus valimon sähkökulutuksesta on seuraava:

$$E_{\text{SEOS1, S}} + E_{\text{SEOS2, S}} + E_{\text{SEOS3, S}} + E_{\text{JVK, S}} + E_{\text{SVR, S}} + E_{\text{HARKKO, S}} + E_{\text{RAKEISTUS, S}} + E_{\text{TUHKANJAUHATUS, S}} + E_{\text{ILMASTOINTI, S}} + E_{\text{JÄÄHDYTYSVESI, S}} = 297\,000 \text{ [t]} * 25 \text{ [kWh/t]} = 7\,425\,000 \text{ [kWh]}$$

Sulatusuunit kuluttavat n. 110 [kWh / tuotettu tonni] (Ks. Luku 7.2). Vuoden 2020 tuotantomäärällä sulatusuunien ($E_{\text{SU1, S}} + E_{\text{SU2, S}}$) osuudeksi vuosikulutuksesta saadaan:

$$E_{\text{SU1, S}} + E_{\text{SU2, S}} = 297\,000 \text{ [t]} * 110 \text{ [kWh/t]} = 32\,670\,000 \text{ [kWh]}$$

E_{PA}

E_{PA} on valimolla toimivien dieseltrukkien kuluttaman kevytpolttoöljyn energiasisältö. Polttoöljyn sisältämä kemiallinen energia muuntuu trukkien liike-energiaksi ja lämmöksi.

Vuonna 2020 Valimon käyttämän kevytpolttoöljyn sisältämä energiamäärä oli: (Ks. Luku 6.6)

$$E_{PA} = 515\,820 \text{ [kWh]}$$

$$E_{KL}$$

E_{KL} on valimon lämmittämiseen käytetyn kaukolämmön määrä vuonna 2020.

$$E_{KL} = 5,7 \text{ [MWh]} = 5700 \text{ [kWh]} \text{ (Ks. Luku 6.7).}$$

$$E_{KOK}$$

Valimon kokonaisenergiankulutukseen (Ks. Luku 4) tulee huomioida yhdistetyn kulutuksen (E_{VALU}) eli sähköenergiankulutuksen lisäksi käytetyn polttoöljyn energiasisältö (E_{PA}) ja valimolle toimitettu kaukolämpö (E_{KL}). Valimolle toimitettu nestekaasu ja seosaineet, sekä salmiakki sovittiin jätettävän tarkastelun ulkopuolelle.

Valimon kokonaisenergiankulutuksen lauseke on seuraava:

$$E_{KOK} = E_{VALU} + E_{PA} + E_{KL}$$

$$E_{KOK} = E_{SYÖTTÖ, S} + E_{SU1, S} + E_{SU2, S} + E_{SEOS1, S} + E_{SEOS2, S} + E_{SEOS3, S} + E_{JVK, S} + E_{SVR, S} + E_{HARKKO, S} + E_{RAKEISTUS, S} + E_{TUHKANJAUHATUS, S} + E_{ILMASTOINTI, S} + E_{JÄÄHDYTYSVESI, S} + E_{PA} + E_{KL}$$

Valimon kokonaisenergiankulutukseksi saadaan:

$$E_{KOK} = 40\,095\,000 \text{ [kWh]} + 515\,820 \text{ [kWh]} + 5700 \text{ [kWh]}$$

$$E_{KOK} = 40\,616\,520 \text{ [kWh]}$$

$$E_{SEOS, N}$$

Seosuunit, valulinjat yms. osaprosessit käyttävät n. 25 [kWh / tuotettu tonni] (Lassi A. 2021).

Vuonna 2020 tehdas tuotti 297 000 tonnia sinkkiä. Seosuunien tehonkäytöt ja arviot niiden lävitse vuodessa ajettavista tonnimääristä tunnetaan (Ks. Taulukko 1). Käytetään kuitenkin 25 [kWh/t] arviota laskemiseen, sillä seosuunien ajotuntimääriä vuodessa on vaikea arvioida. Tunnettaessa ajotunnit pystytään laskemaan seosuunien osuudet osaprosessien yhteenlasketusta energiankulutuksesta seuraavan esimerkin omaisesti:

Esim. Seosuuni 1:n osuuden laskeminen

Seosuuni 1:n kautta ajetaan arviolta 90 000 tonnia massaa vuodessa. Tehonkäyttö on valujen aikaan n. 130-170kW ja valujen ollessa pois päältä n. 70kW. Käytetään valujen aikaisen tehon laskemiseen tehon keskiarvoa 150kW. Käytetään tässä esimerkissä ajotunteina 1250 h. Tässä tapauksessa seosuuni 1:n energiankulutuksen osuus laskettaisiin seuraavasti:

$$E_{SEOS1, S} = ((8760 [h] - 1250 [h]) * 70 [kW]) + (1250 [h] * 150 [kW])$$

Yllä olevan esimerkin mukaisesti seosuunien energiankulutuksien osuuksille voidaan kirjoittaa yleisesti seuraava lauseke:

$$E_{SEOSn, S} = (\text{valut pois päältä [h]} * \text{tehonkäyttö valujen ollessa pois päältä [kW]}) + (\text{valut päällä [h]} * \text{tehonkäyttö valujen ollessa päällä [kW]})$$

E_{RAKEISTUS}

Rakeistuksen osuus sähkönkulutuksesta on seuraava: (Ks. Luku 7.7).

$$E_{RAKEISTUS, S} = 780\ 000 [kWh]$$

E_{LÄMPÖ}

$E_{LÄMPÖ}$ on valimon uuneissa sähköenergiasta lämpöenergiaksi muuntuneen energian määrä. Lämpöenergiaa käytetään välillisesti sulattamaan kiinteä sinkki. Lämpöenergia johtuu halli-ilmaan ja jäähdytysvesiin. Lämmöntalteenottoja ei ole, joten muunnettu lämpöenergia lämmittää lopulta ulkoilmaa.

$E_{LÄMPÖ}$ muodostuu siis sulatusuunien ja seosuunien induktoreissa sähköenergiasta lämpöenergiaksi muuntuneiden energioiden summasta. Muuntunut lämpöenergia vastaa siis seostuksen ja sulatukseen sähköenergiankulutusta.

Sähköenergiasta ja lämpöenergiaksi muuntuneen energian lauseke on seuraava:

$$E_{LÄMPÖ} = E_{SU1, L} + E_{SU2, L} + E_{SEOS1, L} + E_{SEOS2, L} + E_{SEOS3, L}$$

Sulatukseen kuluva ($E_{SU1, L} + E_{SU2, L}$) sähköenergiasta lämpöenergiaksi muuntuneen energian määrä tunnetaan. Seosuunien osuus on kuitenkin laskettu yhdistettynä kulutuksena muiden osaprosessien kanssa. Mikäli seosuunien ajotuntien määrä tunnetaan, voidaan niiden osuus yhdistetystä kulutuksesta laskea (Ks. Luku 7.3).

Lämpöenergian lauseke saadaan siis laskemalla yhteen sulatukseen kuluva energia ja muiden osaprosessien yhdistetty energiankulutus, josta vähennetään muiden osaprosessien, paitsi seosuunien kulutukset:

$$E_{LÄMPÖ} = 32\,670\,000 \text{ [kWh]} + (7\,425\,000 \text{ [kWh]} - (E_{JVK, S} + E_{SVR, S} + E_{HARKKO, S} + E_{RAKEISTUS, S} + E_{TUHKANJAUHATUS, S} + E_{ILMASTOINTI, S} + E_{JÄÄHDYTYSVESI, S}))$$

E_{TUNTEMATON}

Saadun mittausdatan perusteella pystyttiin määrittämään valimon kokonaisenergiankulutus, johon kuuluivat tuotantotilojen sähkönkulutuksen lisäksi polttoaineen kulutus ja kaukolämpö. Tästä edelleen sulatuksen osuus pystyttiin erittelemään sähkönkulutuksesta. Seosuunien osuudet pystytään laskemaan ajotunnit tunnettaessa. Rakeistuksen osuus pystyttiin määrittämään osaprosessien kulutuksista.

Osaprosesseista edelleen tuntemattomiksi kulutuksen osalta jäivät syöttö, JVK, SVR, harkkovalukone, tuhkanjauhatus, ilmastointi ja jäähdytysvesikierto.

Muodostetaan suuruudeltaan tuntemattomiksi jääneille osaprosesseille lauseke:

$$E_{\text{TUNTEMATON}} = E_{\text{SYÖTTÖ, S}} + E_{\text{SEOS1, S}} + E_{\text{SEOS2, S}} + E_{\text{SEOS3, S}} + E_{\text{JVK, S}} + E_{\text{SVR, S}} + E_{\text{HARKKO, S}} + E_{\text{TUHKANJAUHATUS, S}} + E_{\text{ILMASTOINTI, S}} + E_{\text{JÄÄHDYTYSVESI, S}}$$

Muodostetaan tunnetuille energiavirroille lauseke:

$$E_{\text{TUNNETTU}} = (E_{\text{SU1, S}} + E_{\text{SU2, S}}) + E_{\text{RAKEISTUS, S}} + E_{\text{PA}} + E_{\text{KL}}$$

$$E_{\text{TUNNETTU}} = 32\,670\,000 \text{ [kWh]} + 780\,000 \text{ [kWh]} + 515\,820 \text{ [kWh]} + 5700 \text{ [kWh]}$$

$$E_{\text{TUNNETTU}} = 33\,971\,520 \text{ [kWh]}$$

Vähentämällä tunnetut energiavirrat kokonaiskulutuksesta saadaan tuntemattomien osuus:

$$E_{\text{KOK}} - E_{\text{TUNNETTU}} = E_{\text{TUNTEMATON}}$$

$$40\,616\,520 \text{ [kWh]} - 33\,971\,520 \text{ [kWh]} = 6\,645\,000 \text{ [kWh]}$$

$$E_{\text{TUNTEMATON}} = 6\,645\,000 \text{ [kWh]}$$

Sisäenergia

Sisäenergia on valimolle tuodun sinkin ja seosaineiden, sekä valimolta toimitukseen lähtevien lopputuotteiden sisältämä molekyyllitason ja pysyvien sidosten energia. Tässä opinnäytetyössä ei tutkita sisäenergian muutoksia ja jätetään se laskuista pois (Ks. Luku 6.5). Jätetään myös lauseke muodostamatta, sillä seosaineetkin jätettiin tässä työssä tarkastelun ulkopuolelle.

Mainittakoon molekyyllitasolla sitoutuneen energian määrän kuitenkin oletettavasti muuttuvan matkalla raaka-aineista lopputuotteeksi.

6.2 Valimon energiatase

Vuonna 2020 valimolle tuotiin 40 616 520 kWh edestä energiaa. Tuodun sähköenergian osuus oli merkittävä 40 095 000 kWh, ollen 98,7 % valimolle tuodusta energiasta. Valimoa lämmitettiin 5700 kWh:n edestä kaukolämmöllä. Lisäksi valimolla käytettiin 515 820 kWh:n edestä polttoöljyä. Polttoöljyn energiasisällöksi saatu 515 820 kWh käytettiin valujen siirtelyyn ja valujen oheistoimiin dieselkäyttöisiä trukkeja hyödyntäen. Osa tästä energiasta muuntui lämmöksi.

Sulatuksen, seosuunien ja valulinjojen yhdistetty energiankulutus oli 135 kWh/tuotettu tonni. Seosuunit, valulinjat ja muut osaprosessit käyttivät arviolta 25 kWh/tuotettu tonni.

Sinkkilevyjä valimolla sulatettiin noin 297 000 tonnia eli 297 000 000 kg. Lisäksi valimolla käytettiin nestekaasua, seosaineita ja salmiakkia. Tässä työssä ne kuitenkin rajattiin tarkastelun ulkopuolelle. Sinkin sulattamiseen käytettiin energiaa 32 670 000 kWh. Sulatuksen vaatiman energian perustana toimii vuotuinen tuotanto eli massavirta. Lukema jättää huomiotta viallisten tuotteiden uudelleen-sulatuksen vaatiman energian.

Seosuunien ja valulinjojen osuus kokonaiskulutuksesta oli 7 425 000 kWh. Seosuunien ja valulinjojen kulutukseen laskettiin syöttö, seosuuni 1, seosuuni 2, seosuuni 3, JVK, SVR, harkkovalukone,

rakeistus, tuhkanjauhatus, ilmastointi ja jäähdytysvesikierto. Rakeistuksen osuus seos- ja valulinjojen kulutuksesta oli 780 000 kWh.

Valimon lämmitykseen kului kaukolämpönä tuotu 5700 kWh. Lisäksi sulatuksessa sähköenergiasta lämpöenergiaksi muunnetusta energiasta tuntematon määrä lämmitti halli-ilmaa. Tämän hukkalämmön osuus oli pois valimon lämmityksentarpeesta.

Kokonaiskulutuksesta tunnettujen energiavirtojen osuudeksi saatiin 33 971 520 kWh. Tuntemattomaksi osuudeksi jäi näin ollen 6 645 000 kWh. Tuntemattomaksi energiavirtojen suuruudet jäivät syötön, seosuunien 1-3, JVK:n, SVR:n, harkkovalukoneen, tuhkanjauhatuksen, ilmastoinnin ja jäähdytysvesikierron osalta.

6.3 Valimon sähköenergian käyttö

Valimon sähköenergian käyttö muodostuu osaprosessien sähkönkulutuksien summasta. Lisäksi valimon valaiseminen, sekä toimistojen yms. tilojen laitteet kuluttavat sähköenergiaa. Valimon energiataseen kannalta oleellista on kuitenkin hallin sulatus- ja seosuunien induktorien käyttämä sähköenergian määrä.

6.4 Valimon lämpöenergian käyttö

Valimon lämpöenergia muodostuu sulatus- ja seosuunien käämien käyttämän sähköenergian muuntumisesta lämpöenergiaksi. Osa lämpöenergiasta johtuu JVK:n ja SVR:n jäähdytysvesiin. Harkkovalukoneella taas lämpöä poistetaan höyrystämällä vettä suoraan valujen pinnalta. Lisäksi trukit muuttavat polttoöljyn kemiallista energiaa työksi ja lämpöenergiaksi.

Sinkkisulan virratessa lämpöenergiaa siirtyy konvektion vaikutuksesta halli-ilmaan hukkalämmöksi. Varastoidut, valimolta poistuvat lopputuotteet luovuttavat edelleen lämpöenergiaa halli-ilmaan ja ulkoilmaan tuotteita ajettaessa satamaan. Hukkalämmön osuus on merkittävä valimon energiataseen kannalta.

6.5 Valimon sisäenergian käyttö

Valimolle tulevissa sinkkilevyissä on sidoksissa sisäenergiaa eli kemiallista energiaa. Sähköenergiasta tehdään lämpöenergiaa, jolla sinkkilevyt muutetaan juoksevaksi sulaksi mahdollistaen valu-prosessin. Valimolta poistuvat lopputuotteet ovat jälleen kiinteässä olomuodossa. Ajatellaan valimon lävitse virtaavan massan ja sisäenergian pysyvän vakiona. Lisäksi seosvaluissa käytetyt seosaineet tuovat oman sisäenergiansa lopputuotteisiin.

6.6 Valimon kevytpolttoöljyn käyttö

Valimon dieseltrukit käyttävät kevytpolttoöljyä. Trukit muuntavat kevytpolttoöljyn kemiallista energiaa liike-energiakseen ja lämmöksi. (Ks. Luku 7.11).

Vuonna 2020 valimon polttoöljyn kulutus oli 52 200 litraa (Lassi A. 2021). Tilastokeskuksen mukaan kevytpolttoöljyn tiheys (ρ) on 837 kg/m^3 (Tilastokeskus, 2015). Bioenergianeuvojan mukaan kevytpolttoöljyn lämpöarvo tonnia kohden on $11,806 \text{ MWh}$ (Bioenergianeuvoja, 2021). Valimon käyttämän polttoöljyn energiasisältö voidaan laskea seuraavasti:

$$52\,200 \text{ [l]} / 1000 = 52,2 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$m = \rho * V = 837 \text{ [kg/m}^3\text{]} * 52,2 \text{ [m}^3\text{]} = 43\,691,4 \text{ [kg]}$$

$$43\,691,4 / 1000 = 43,6914 \text{ [t]}$$

$$43,6914 \text{ [t]} * 11,806 \text{ [MWh/t]} = 515,82 \text{ [MWh]} = 515\,820 \text{ [kWh]}$$

6.7 Valimon kaukolämmön käyttö

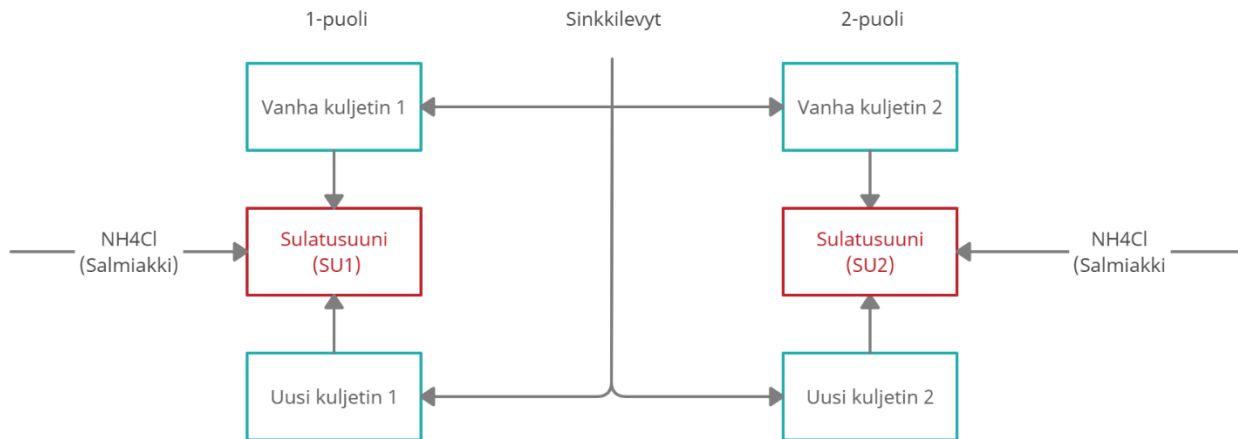
Huolimatta valimon hallitilaan karkaavasta lämpöenergiasta, valimon tiloja ja käyttöväettä täytyy lämmittää. Valimon lämmittäminen tapahtuu kaukolämmöllä. Valimolla muodostuvan lämpöenergian johdosta voidaan kuitenkin ajatella sen olevan valimon kaukolämmön tarpeesta pois.

Vuonna 2020 Valimolle tuotiin $5,7 \text{ MWh}$:n edestä energiaa kaukolämpönä. (Lassi A. 2021).

7 Valimon osaprosessit

7.1 Syöttökuljettimet

Syöttökuljettimet ovat automaattikuljettimia, joiden tehtävänä on syöttää elektrolyysin irrotusko-
neiden irrottamat sinkkilevyt valimon sulatusuuneihin. (Ks. Kuvio 7).

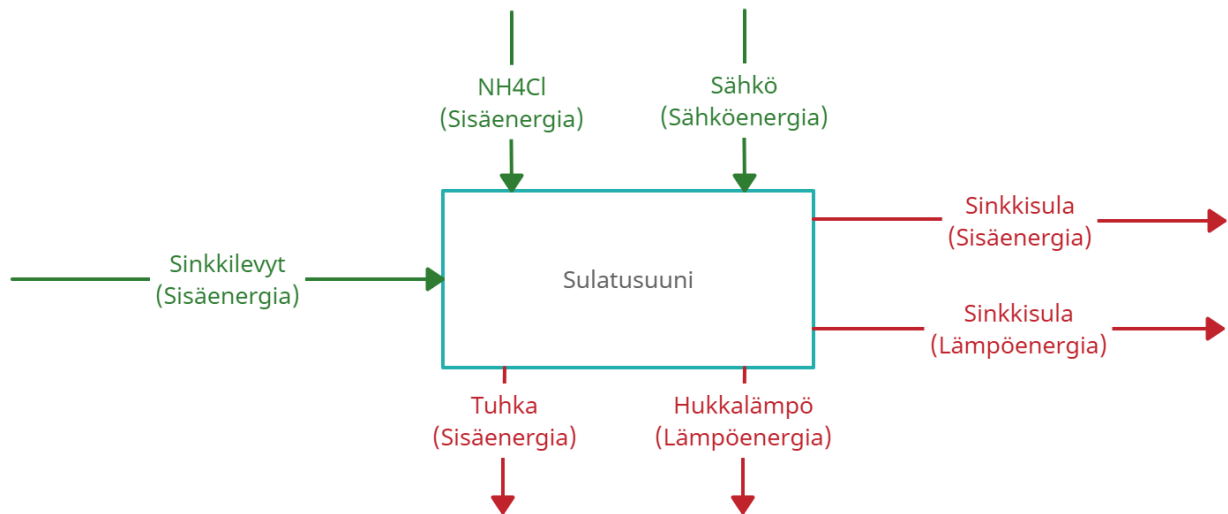


Kuvio 7. Syötön periaatekuva

Syöttökuljettimet käyttävät sähköenergiaa. Katodilevyjen sisältämä sisäenergia ja niiden massa jat-
kavat seuraavaan prosessivaiheeseen. Sulatusuuneihin syötetään myös salmiakkia eli ammonium-
kloridia erillisillä syöttimillä.

7.2 Sulatusuunit

Sulatusuunien käämit muuttavat sähköenergiaa lämpöenergiaksi. Lämpöenergian avulla sinkkile-
vyt sulatetaan ja saatetaan valettavaan muotoon. Uuneihin syötetään myös salmiakkia luomaan
tuhkapeti sinkkisulan pinnalle lämmöneristeeksi. Uuneista lämpöenergiaa johtuu jatkuvasti halli-
ilmaan uunin rakenteiden, sekä avoimen pumpputilan kautta. Tuhkapeti kuitenkin eristää myös
pumpputilaa.



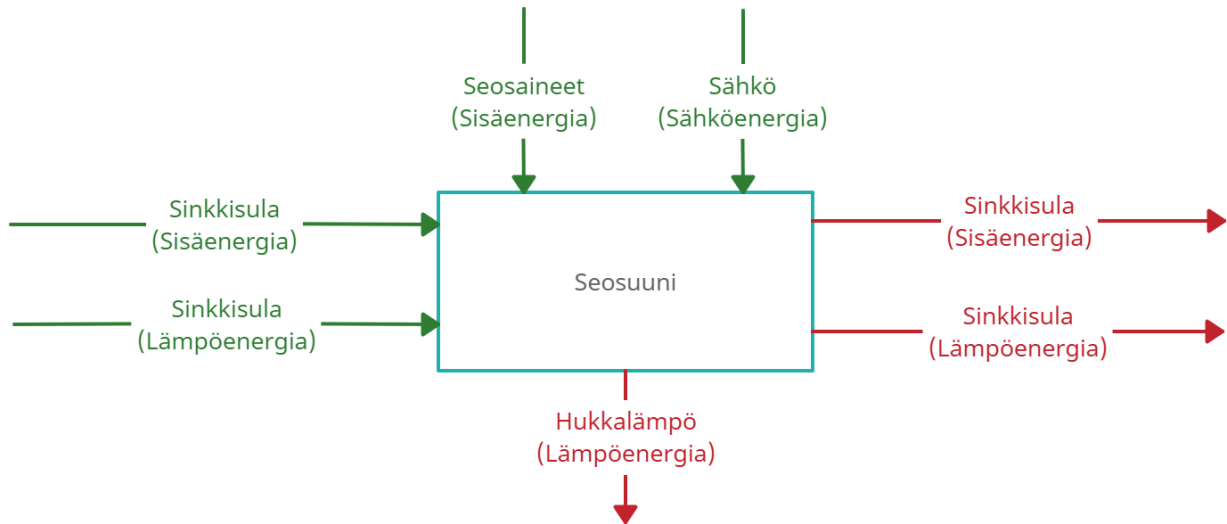
Kuvio 8. Sulatusuunien energiavirrat

Uuneista vedetään tuhkaa ja sen massa poistuu prosessista. Uuneista vedetyssä tuhkassa on myös sinkkiä seassa, mutta tuhka ja sinkkijakeet erotellaan kuulamylyissä. Sinkkijakeet syötetään takaisin sulatusuuniin. Näin ollen sulatusuuneihin syötettyjen sinkkilevyjen massa säilyy ja jatkaa seuraavaan vaiheeseen. Sinkkisulan mukana siirtyy myös valtaosa uunin sähköstä lämmöksi muuttamasta energiasta seuraavaan vaiheeseen.

Valimon sinkin sulatukseen käyttämä energiamäärä on 110 kWh / tonni. (Lassi A. 2021)

7.3 Seosuunit

Seosuunit ovat pitkälti sulatusuuneja vastaavia. (Ks. Kuvio 9). Sulatusuuneissa sulatettu sinkki seostetaan seosuuneissa, mikäli valetaan seoksia. Puhdasta sinkkiä valettaessa voidaan sinkkisula pumpata suoraan valukoneille. Seosuuneihin pumpattu sinkkisula on hieman luovuttanut lämpöenergiaa konvektion ja johtumisen vaikutuksesta matkallaan avonaisessa rännissä.



Kuvio 9. Seosuunien energiavirrat

Seosuuneista sinkkisula ja siihen lisätyt seosaineet, sekä lämpöenergia jatkavat prosessissa kohti valukoneita. Myös seosuunit muuttavat sähköenergiaa lämpöenergiaksi. Lämpöenergiaa edelleen siirtyy halli-ilmaan.

Seosuunissa sinkkisulaan syötetään ja sekoitetaan homogeeniseksi seokseksi valettavan laadun mukaisia seosaineita. Seosaineiden syötetty massa on laadusta riippuvainen, mutta enimmilläänkin vain alle prosentin luokkaa seostetusta massasta.

Seosuuneja valimolla on yhteensä kolme. Seosuunien tehonkäyttö vaihtelee, sillä valettavien laatujuen seosaineiden määrät eivät vastaa toisiaan. Erityisesti tämä näkyy 1-puolen seosuuni 1:n tehonkäytön vaihtelussa. Uunit ovat pitovirroilla myös silloin, kun niiden kautta ei valeta. (Ks. Taulukko 1).

Taulukko 1. Seosuunien tehonkäyttö

	Valujen määrä vuodessa [t]	Tehonkäyttö valussa [kW]	Tehonkäyttö pidossa [kW]
Seosuuni 1	90 000	130–170	70
Seosuuni 2	10 000	140	135
Seosuuni 3	35 000	90	80
	*5000	*110	

* Uudelleensulatus tilanteessa

7.3.1 Seosuuni 1

Seosuuni 1:n induktorien teho on valettaessa noin 130kW-170kW laadusta riippuen. Valujen ollessa pois päältä teho on noin 70kW. Seosuuni 1:n kautta valetaan vuodessa noin 90 000 tonnia sinkkiä. (Lassi A. 2021).

7.3.2 Seosuuni 2

Seosuuni 2:n induktorien teho on valettaessa noin 140kW. Valujen ollessa pois päältä teho on noin 135kW. Seosuuni 2:n kautta valetaan vuodessa noin 10 000 tonnia sinkkiä. (Lassi A. 2021)

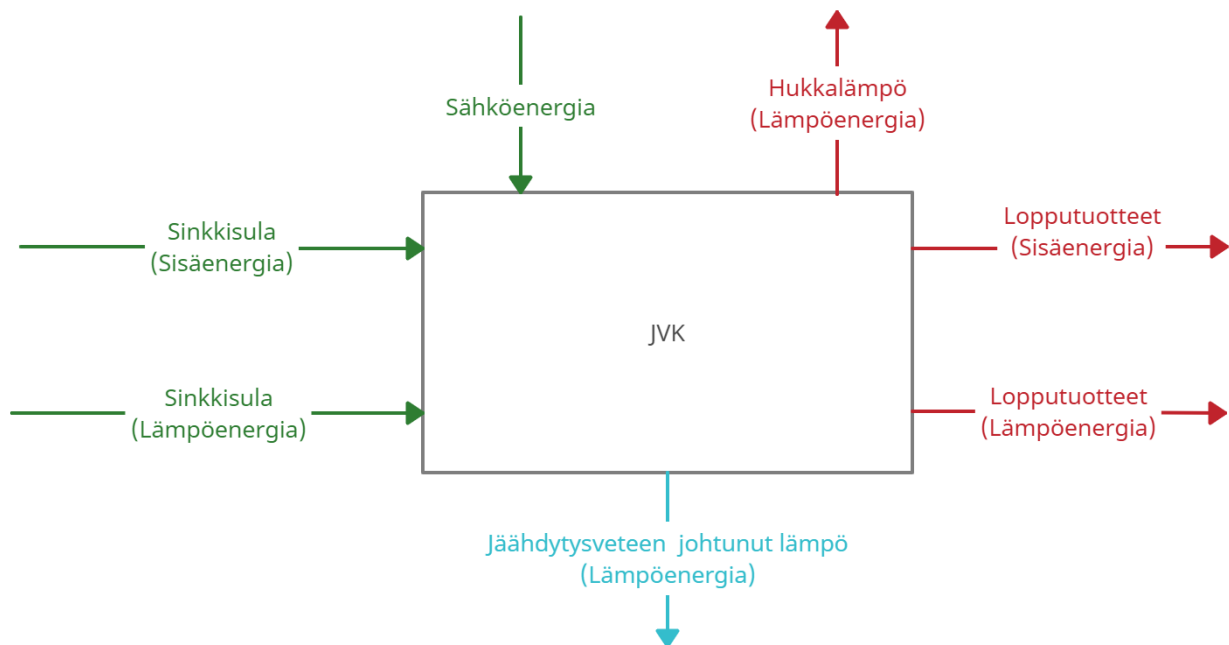
7.3.3 Seosuuni 3

Seosuuni 3:ssa induktorien teho on valettaessa noin 90kW. Valujen ollessa pois päältä teho on noin 80kW. Seosuuni 3:n kautta valetaan vuodessa noin 35 000 tonnia sinkkiä. (Lassi A. 2021)

Lisäksi seosuuni 3:ssa uudelleen sulatetaan vuodessa kameja arviolta 5000 tonnia. Uudelleen sulatettaessa teho on noin 110kW. (Lassi A. 2021)

7.4 Jatkuvan valun kone (JVK)

JVK:lle pumpataan puhdasta tai SU1:ssä seostettua massaa. Massa eli sinkkisula on matkalla luovuttanut hieman lämpöenergiaa hukkalämmöksi. Valtaosa uunien induktorien sähköstä muuntamasta lämmöstä on kuitenkin edelleen sinkkisulassa. Jumbojen ollessa jäähdytysaltaissa lämpöä johtuu kokilleista jäähdytysveteen. Jäähdytysvedestä ei oteta lämpöä talteen. JVK käyttää sähköenergiaa sinkin käsittelyyn. JVK:lla sinkkisula luovuttaa lämpöä merkittävästi jäähdytysveteen ja sinkkisula muuttuukin kiinteään olomuotoon. JVK:lla valetut lopputuotteet varastoidaan trukkien avulla odottamaan tuotetoimistolle siirtoa. Lopputuotteet ovat kiinteitä jumboja, jotka ovat edelleen huomattavan lämpimiä ja ne luovuttavatkin lämpöenergiaansa vielä pitkään, kunnes saavuttavat ympäristön lämpötilan.

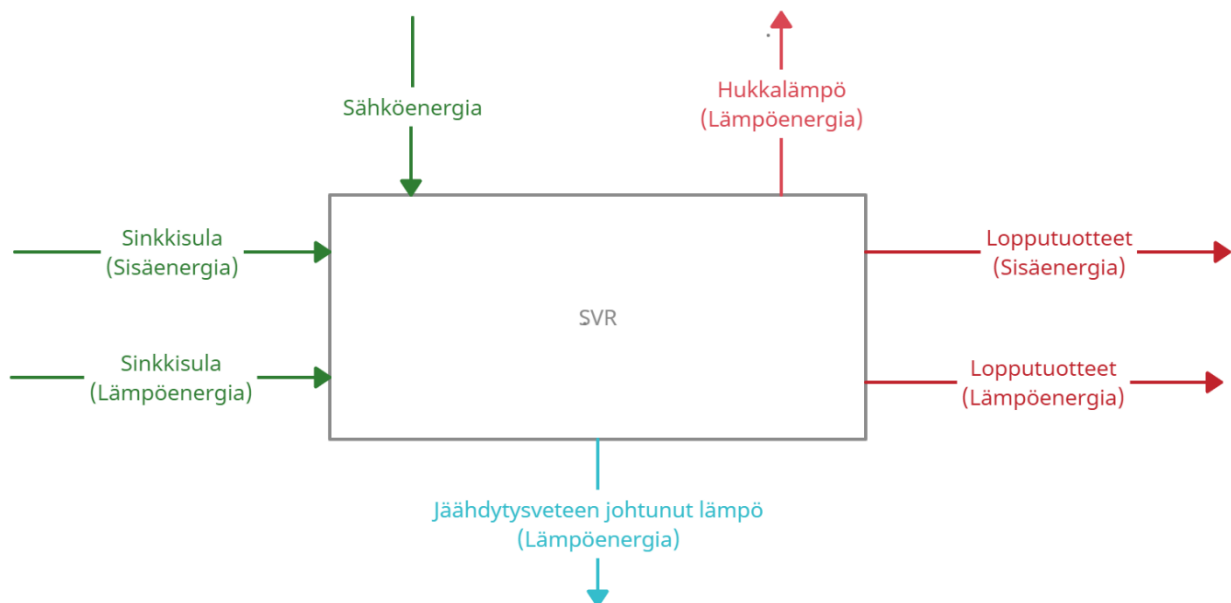


Kuvio 10. JVK:n energiavirrat

Valupadan ja valupöydän skimmauksissa massaa poistuu kamin muodossa muutaman kilon verran per valettu jumbo. Kamista muodostuneet jumbot palautetaan sulatusuuniin tai seosuuniin, joten massa palautuu takaisin prosessiin.

7.5 Seosvalurata (SVR)

SVR:lle pumpataan puhdasta tai 2-puolen seosuuneissa seostettua massaa. Massasta on hieman siirtynyt lämpöä halli-ilmaan hukkalämmöksi SVR:lle pumpaamisen yhteydessä. SVR:llä lämpöenergiaa edelleen siirtyy halli-ilmaan, sekä suuremmissa määrin jäähdytysveteen, jossa kokillit ovat koko valuprosessin ajan. Jäähdytysvedestä ei oteta lämpöä talteen. Massaa poistuu valupadan kuonauksen ja jumbojen käsin skimmauksen yhteydessä. Massa palautuu takaisin valimon sisäisen massankierron mukaisesti. SVR:llä sinkkisula jäähtyy ja lopputuotteet ovat kiinteitä sinkkivaluja. Lopputuotteet ovat kiinteitä jumboja, jotka ovat edelleen huomattavan lämpimiä ja ne luovuttavatkin lämpöenergiaansa vielä pitkään, kunnes saavuttavat ympäristön lämpötilan. SVR käyttää sähköenergiaa sinkin käsittelyyn.

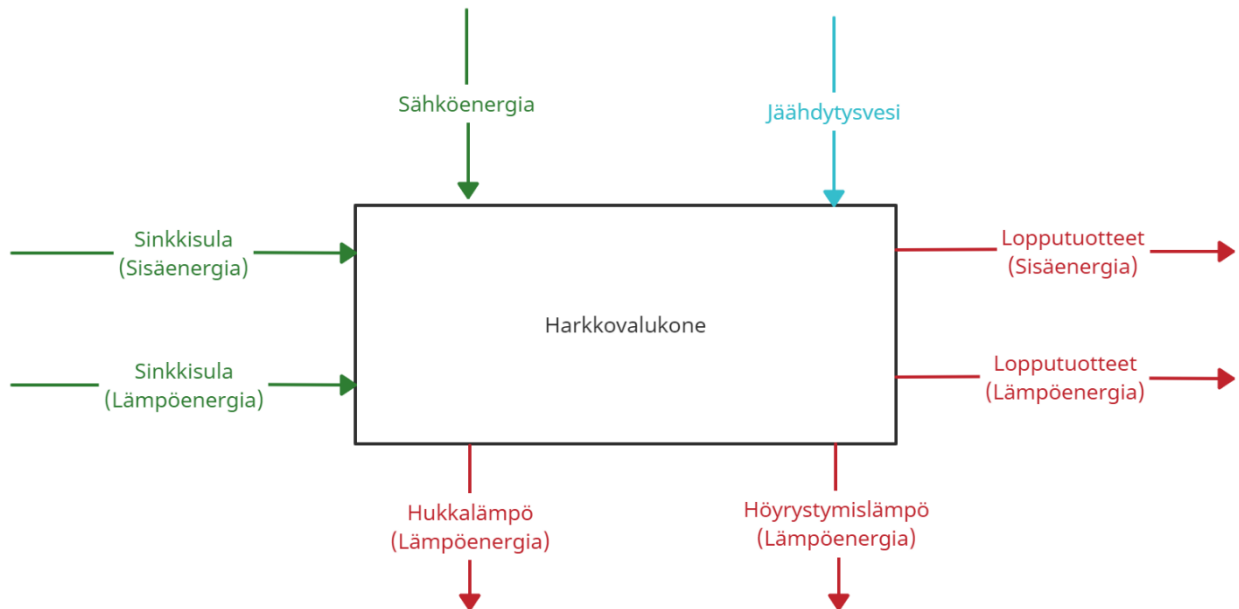


Kuvio 11. SVR:n energiavirrat

7.6 Harkkovalukone

Harkkovalukoneelle pumpataan puhdasta tai 2-puolella seostettua massaa. Hieman lämpöä on siirtynyt hukkalämmöksi pumpattaessa sinkkisulaa harkkovalukoneelle. Massaa poistuu koneelta skimmauksen yhteydessä ja valutaukojen yhteydessä peräkokilliin kasvaneen jumbon mukana.

Myös harkkovalukoneelta poistunut massa palautuu prosessiin valimon sisäisen kierron mukaisesti.



Kuvio 12. Harkkovalukoneen energiavirrat

Lämpöenergiaa johtuu ja siirtyy konvektion vaikutuksesta halli-ilmaan hukkalämmöksi. Poiketen muiden valukoneiden jäähdytyksestä, harkkokoneella jäähdytys tapahtuu vettä ja paineilmaa syöttäen suoraan valettujen harkkojen pintaan. Jäähdytysvesi sitoo itseensä lämpöä ja höyrystyy. Harkkokoneella jäähdytys onkin paineilmalla tehostetun konvektion ansiosta nopeaa. Harkkojen massa on myös huomattavasti muita valuja pienempi, eikä jäähdytysallasta muista valukoneista poiketen ole. Lopputuotteet ovat kiinteitä harkkoja, jotka ovat edelleen huomattavan lämpimiä ja ne luovuttavatkin lämpöenergiaansa vielä pitkään, kunnes saavuttavat ympäristön lämpötilan. Harkkovalukone käyttää sähköenergiaa sinkin käsittelyyn.

7.7 Rakeistus

Rakeistukseen pumpataan valimon 1-puolen sulatusuunissa sulatettua sinkkiä. Rakeistuspata eli 100 [kW]:n sähkövastusuuni pitää sinkin sulana. (Lassi A. 2021) Paineilman avulla sinkistä valmistetaan sinkkirakeita. Rakeistus on valimon sivuvirta, jossa massaa poistuu tehtaan puhdistamolle. Massa kuitenkin pitkässä kierrossa palaa valimolle, eikä massan hävikkiä ajatella syntyvän.

Rakeistuksessa paineilmaa tuotetaan 100[kW]:n teholla noin 75 tuntia viikossa (Lassi A. 2021). Vastaavilla rakeistuspadan käyttötunneilla rakeistuksen sähköenergian viikkokulutukseksi saadaan:

$$100[\text{kW}] * 75[\text{h}] + 100[\text{kW}] * 75[\text{h}] = 15\ 000 [\text{kWh}]$$

Tästä saadaan edelleen vuosikulutus:

$$52 * 15\ 000 [\text{kWh}] = 780\ 000 \text{ kWh}$$

7.8 Tuhkanjauhatus

Sulatusuuneissa tuhkaksi palanut salmiakki erotellaan sinkkijakeista tuhkanjauhatuksessa. Sinkkijakeet palautetaan prosessiin valimon sisäisen massankierron mukaisesti. Pientä häviötä sinkin osalta todellisuudessa syntyy, mutta se arvioidaan merkityksettömäksi.

Uuneista tuhkaa vedetään trukkien avulla kuupiin. Kuupan jäähtyttyä se viedään tuhkanjauhatukseen kuljettimelle ja kippaukseen. Karkeimmat jakeet seulotaan pois ennen tuhkan ja sinkin kuulamylllyn menemistä. Tuhka poistuu tuhkavaunuun ja sinkkijakeet jäävät myllyyn. Sinkkijakeet syötetään takaisin valimon sulatusuuneihin.

7.9 Ilmastointi

Ilmastoinnin tehtävänä on vaihtaa, jäähdyttää ja puhdistaa halli-, valvomo-, sekä toimistotilojen ilmaa. Lämmöntalteenottoa ilmastoinnissa ei ole.

7.10 Jäähdytysvesikierto

Valuprosessissa muuntunut ja halli-ilmaan siirtynyt hukkalämpö johtuu ja siirtyy konvektion vaikutuksesta halli-ilman lisäksi JVK:n ja SVR:n, sekä harkkovalukoneen jäähdytysvesiin. Lämmöntalteenottoa jäähdytysvesistä ei ole. Jäähdytysvettä kierrätetään jäähdytyskaivon kautta valukoneille.

Taulukko 2. Valukoneiden jäähdytysvesimäärät

	Jäähdytysveden virtaama [m ³ /h]
JVK	90
SVR	150
Harkkovalukone	30

JVK:lla jäähdytysvettä kierrätetään noin 90m³ tunnissa valujen aikaan. Paluuvesi JVK:lla on keskimäärin 40 asteista. SVR:llä jäähdytysvettä kierrätetään noin 150m³ tunnissa. Harkkovalukoneella jäähdytysvettä kierrätetään 30m³. Lisäksi harkkokoneelle ajetaan tuntia kohden 4m³ vettä, josta 2m³ päätyy mereen (Lassi A. 2021). Jäljelle jäävät 2m³ höyrystyvät. Jäähdytystornin kautta suurin osa höyrystymiseen käytetystä lämmöstä ajetaan taivaalle. Osa höyrystä karkaa myös valulinjalta halliin ja on myös hukkalämpöä.

7.11 Trukit

Trukkeja käytetään valimolla valmiiden valujen nostamiseen ja siirtämiseen. Myös valujen oheistoimet, kuten kamikuupien ja kokillien tyhjennykset suoritetaan trukkien avulla.

Valimon dieseltrukit käyttävät kevytpolttoöljyä. Polttoöljyn kemiallinen energia muuttuu trukkien liike-energiaksi ja lämpöenergiaksi. Valimolla on myös käytössä yksi sähkötrukki.

8 Työn kulku

Työ aloitettiin määrittelemällä energiatase ja hankkimalla teoriapohjaa valimon kannalta oleellisista fysiikan ja termodynamiikan ilmiöistä, sekä energian muodoista. Teoriapohjan hankkiminen tapahtui internetiä ja opetusmateriaaleja, sekä yrityksen omia materiaaleja hyödyntäen. Lisäksi tietoa hankittiin haastattelun keinoin.

Valimo jaettiin osaprosesseihin ja kartoitettiin osaprosessien sisäiset energiavirrat ja energian muodonmuutokset osaprosesseissa. Osaprosesseista laadittiin periaatekuvat, joista energioiden liikkeet käyvät ilmi. Myös koko tehtaan mittakaavan prosessia käytiin pääpiirteittäin lävitse, jotta saavutetaan ymmärrys valimon raaka-aineen eli sinkkilevyjen alkuperästä. Lopuksi laskettiin ja havainnollistettiin kuvaajin valimon energiavirrat ja niiden suuruudet saatavissa olleen mittausdatan puitteissa.

9 Johtopäätökset ja tulokset

Opinnäytetyön tavoitteena oli määrittää valimon energiatase ja antaa kuva valimon lävitse kulkevista ja valimon sisäisistä energiavirroista. Tavoiteltiin myös tietoa siitä, missä energian häviöitä syntyy eniten.

Opinnäytetyössä määritettiin valimolle saapuvat ja sieltä poistuvat energiavirrat, sekä valimon sisällä osaprosessikohtaiset energiavirrat ja niiden muutokset. Laskettiin myös saatujen mittaustietojen puitteissa energiavirtojen suuruuksia. Kuitenkin valtaosa valimon osaprosesseista laskettiin yhdistetyn kulutuksen avulla yksityiskohtaisempien mittaustietojen puuttuessa.

Opinnäytetyön tavoite toteutui hyvin energiavirtojen määrittämisen näkökulmasta. Laskennallisesti uutta tietoa energiavirtojen suuruuksista tuli niukasti. Sulatuksen osuus on kuitenkin merkittävä energian kokonaiskulutuksesta. Halli-ilmaan ja jäähdytysvesiin siirtyneen lämpöenergian suhde jäi kuitenkin epäselväksi. Mikäli sinkkivalujen lämpötilat ennen ja jälkeen jäähdytyksen tunnetaan, voitaisiin laskea karkea arvio jäähdytysvesiin siirtyneen lämpöenergian määrästä. Tältä pohjalta voitaisiin edelleen kartoittaa jäähdytysvesien ja halli-ilman lämmöntalteenottojen järkevyyttä.

Sulatuksen, seosuunien ja valulinjojen yhdistetty kulutus tunnettiin. Tunnettiin myös tuotettua sinkkitonnia kohti käytetty energia. Tuotantomäärän avulla saatiin laskettua sulatuksen osuus. Konaiskulutuksen määrittämiseksi tuli huomioida sulatuksen, seosuunien ja valulinjojen yhdistetyn kulutuksen lisäksi kaukolämmön ja polttoöljyn kulutus. Polttoöljyn energiasisällön laskemiseen käytettiin tunnetun polttoöljyn kulutuksen lisäksi Bioenergianeuvojan kevytpolttoöljyn lämpöarvoa. Kaukolämmön kulutus oli tiedossa.

Sulatus- ja seosuunien lisäksi valulinjoilta pystyttiin laskemaan rakeistuksen osuus. Seosuunien kohdalla laskennan periaate määritettiin, mutta tarkemmat ajotunnit tunnettaessa voitaisiin myös niiden keskinäiset osuudet määrittää. Nyt tunnettiin siis kunkin seosuunin keskimääräinen kulutus ajossa ja pidossa. Myöskään uudelleensulatuksen energiamäärää ei pystytty määrittämään.

Käytännössä kaikki sinkin sulatukseen käytetty sähkö muuttuu lämmöksi ja lopulta hukkalämmöksi. Halli-ilmaan siirtynyt lämpö on kuitenkin pois lämmityksentarpeesta. Lämmöntalteenottoja voisi olla ilmastoinnissa tai jäähdytysvesikierrossa, mutta talteenottojen rakentamiseen liittyvät kustannukset ja hyödyt jäivät tässä opinnäytetyössä määrittämättä.

Tarkempien energiavirtojen suuruuksien kartoittamiseksi tarvittaisiin tarkempia osaprosessikohtaisia mittauksia. On kuitenkin mielestäni selvää, että energiankäytön parannuskohteita haettaessa tulee keskittyä nimenomaan sulatukseen ja siitä halli-ilmaan, sekä jäähdytysvesiin siirtyneeseen energiaan. Valimolla on paljon lämpöenergiaa, jota voitaisiin ottaa talteen. Näin ollen valimon kaukolämmöntarve voitaisiin korvata lämmöntalteenotoilla.

Lähteet

Biopolttoaineiden muuntokertoimia. 2021. Tyypillisiä polttoaineiden lämpöarvoja ja tiheyksiä Bioenergianeuvojan sivustolla. Viitattu 18.11.2021 <https://www.bioenergianeuvoja.fi/faktaa/biopolttoaineiden-muuntokertoimia/>

Boliden Kokkola. 2021. Sinkin tuotantoprosessi Kokkolassa. Video. YouTube-videopalvelu. Viitattu 15.9.2021. https://www.youtube.com/watch?v=0fp80BLGC8Q&ab_channel=BolidenKokkola

Kotimäki, V. 2020. Opetusmateriaali. LAVI-2020S. PDF-tiedosto. Viitattu 8.11.2021

Kvalitatiivinen tutkimus. Tutkimusstrategiat. Jyväskylän yliopisto. Verkkojulkaisu. Viitattu 11.4.2022. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/laadullinen-tutkimus>

Kvantitatiivinen tutkimus. Tutkimusstrategiat. Jyväskylän yliopisto. Verkkojulkaisu. Viitattu 11.4.2022. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat/maarallinen-tutkimus>

Lassi, A. 2021. Valimon Johtaja. Boliden Kokkola Oy. Haastattelu Marraskuu 2021.

Perustietoja. 2021. Boliden Kokkola Oy. Viitattu 5.11.2021
<https://www.boliden.com/fi/operations/smelters/boliden-kokkola>

Tuotantoprosessin esittely. 2021. PDF-tiedosto, 2–7. Boliden Kokkola Oy. Viitattu Syyskuu 2021.

Tilastokeskus. 2015. Polttoaineluokitus. Keskiraskaat öljyt. PDF-tiedosto. Viitattu 18.11.2021
https://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_polttoaineluokitus_maaritelmat_2015.pdf

Tilastokeskus. 2021. Käsitteet. Energiatase. Stat.fi. Viitattu 8.11.2021

<https://www.stat.fi/meta/kas/energiatase.html>

Ylinen, J. 2021. Opetusmateriaali. Lämpöoppi. Lämpöopin pääsäännöt. Peda.net. Viitattu

8.11.2021 <https://peda.net/p/janne.ylinen/opetus/fysiikka/fys-2/l%C3%A4mp%C3%B6oppi2/lp>