



**SÄÄTÖTEKNIIKAN LABORATORIO**

**Sulikutangon asennon ja valunopeuden  
käyttö jatketiilen tukkeentumisen  
ennustamisessa**

Jouni Ikäheimonen, Kauko Leiviskä ja Jari Ruuska

Raportti B No 33, Maaliskuu 2001

**Oulun yliopisto**  
**Säätötekniikan laboratorio**  
**Raportti B No 33, Maaliskuu 2001**

## **Sulkutangon asennon ja valunopeuden käyttö jatketiilen tukkeentumisen ennustamisessa**

Jouni Ikäheimonen, Kauko Leiviskä ja Jari Ruuska

**Tiivistelmä:** Tämän raportti on osa Oulun yliopiston ja teknillisen korkeakoulun sulautettua vikadiagnostiikkaa käsittelevän tutkimusprojektin raportointia. Oulun yliopiston osuudessa teollisena yhteistyökumppanina on toiminut Rautaruukki Oyj, jonka prosessiin tutkimus on keskittynyt. Tutkittavana vikana on ollut jatketiilen tukkeutuminen teräksen jatkuvavalussa.

Tässä raportissa on esitetty, miten sulkutangon asento käyttäytyy valettaessa tukkeentuneita ja ehjiä valusarjoja. Sulkutangon asentoa on tutkittu kolmella eri tavalla: pelkkä asento, sen derivaatta ja integraali. Vertailussa on keskitytty pumpattua edeltäviin sulatuksiin tukkeentuneissa sarjoissa ja viimeistä edellisiin sulatuksiin ehjissä sarjoissa. Paras erottelu saavutettiin pelkällä asentotiedolla. Valukoneella 6 kahdessakymmenessä prosentissa tapauksista voidaan sanoa, että tukkeumariski seuraavassa valussa on yli 50%. Tukkeumariski oli keskimäärin 15% kaikissa niissä valusarjoissa, joissa sulkutangon asentoa tutkittiin.

Raportissa on myös esitetty tuloksia valunopeusminimin vaikutuksesta tukkeentumiseen. Lisäksi on esitetty kokemuksia SOM-karttojen käytöstä datan analysoinnissa. Raportin lopussa on kuvattu sulkutangon asentotietoon perustuva päättelyketju, jonka mukaan jatketiilen tukkeentumista pystytään tällä hetkellä arvioimaan parhaiten. Suurilla vikariskeillä voidaan käyttää aiemmin tehtyjä neuroverkkoja ja laskea niiden avulla tukkeumatonnit. Pienillä vikariskeillä valua voidaan jatkaa ainakin yhden sulatuksen verran.

**Hakusanat:** jatkuva valu, jatketiili, mallintaminen, SOM

ISBN 951-42-5946-7  
ISSN 1238-9404  
ISBN 951-42-7538-1 (PDF)

**Oulun yliopisto**  
**Säätötekniikan laboratorio**  
**PL 4300**

## SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO		1
2	SULKUTANGON ASENNON KÄYTTÖMAHDOLLISUUDET		3
2.1	Prosessikuvaus	3	
2.2	Mittaustiedot		3
2.3	Tulokset		4
2.3.1	Pelkkä asento		4
2.3.2	Integraali		5
2.3.3	Derivaatta		8
3	VALUNOPEUDEN VAIKUTUS TUKKEUMIIN		10
3.1	Prosessikuvaus	10	
3.1.1	Mittaustiedot		12
3.2	Pienimmän valunopeuden vaikutus		13
3.3	Tulosten arviointi		14
4	KOKEMUKSIA SOM:N KÄYTÖSTÄ TUKKEUMIEN MALLINTAMISESSA		15
5	JATKETIILEN TUKKEENTUMISEN ENNUSTAMINEN		18
6	YHTEENVETO		21

## MERKINTÖJEN SELITYKSET

Ana-	Valukoneen analyysi, aineen pitoisuus
Etu-	Konvertterianalyysi, aineen pitoisuus
Huuht- tai hu- Hu_AL_las	Huuhteluaseman analyysi, aineen pitoisuus Alumiinilangan laskettu määrä huuhteluun
Hu_Al_tot tai huAltot HU_3M_TOT tai hu3m HUJ_TOT tai hujalt Hukasaik	Alumiinilangan toteutunut määrä huuhtelussa Sulan lämpötila huuhteluasemalla 3 min huuhtelun kuluttua Sulan lämpötila huuhtelun päättyessä Huuhteluaika
HuRO_LAS	Huuhteluromun laskettu määrä
HuRO_TOT	Jäähdytysromun toteutunut määrä huuhtelussa
Koklev	Kokillin leveys
Ohje- HUJALK	Ohjelämpötila huuhtelun jälkeen
Ohje- HU3M	Ohjelämpötila huuhtelussa 3 min kuluttua
Ohje- LIKVI	Likviduslämpötila
Ohje- PUHJA	Ohjelämpötila puhalluksen jälkeen
Ohje- SOLID	Soliduslämpötila
Ohje- VSENK	Välisenkan ohjelämpötila
SAPSOL-data	Sapsol-järjestelmästä kerätty data valukoneelta 6, näyteväli 10 sekuntia
SULATUS-data	Neuvo-järjestelmästä kerätty data, käsittää sulatustietoja konverttereilta (1, 2, 3), huuhteluasemilta (1, 2, 3) ja valukoneilta (4, 5, 6)
Valunop tai vnop	Valunopeus, [ m/min ]

Vjno	Valun järjestysnumero
Vk	Valukone
Vnopero*	Valunopeusero ohjeen ja toteutuneen välillä
Vnopm*	Valunopeus kerrottuna kokillin leveydellä, valunop • koklev
Vserohka*	Välisenkan erolämpötila ohjeen ja keskiarvon välillä
Vserohs1*	Välisenkan erolämpötila ohjeen ja sarjan 1. lämpötilan välillä
Vserolika*	Välisenkan erolämpötila likviduksen ja keskiarvon välillä
Vskalt	Välisenkan keskiarvolämpötila
Vs1lt	Välisenkan lämpötila, ensimmäinen mittaus
$\mu$	Keskiarvo
$\sigma$	Keskihajonta
* Laskennallinen lisämuuttuja	

# 1 JOHDANTO

Tämä raportti on osa tutkimusta, jossa on selvitetty jatkeitiilen tukkeentumiseen vaikuttavia tekijöitä Rautaruukki Oyj:n Raahen terässulatolla. Hankkeen rahoittajina ovat olleet Tekes ja Rautaruukki Oyj.

Jatkeitiili tukkeentuu siten, että terässulan kuona-aineita ja likaa kertyy tiilimateriaalin sisäpinnalle. Alhainen terässulan lämpötila tai alhainen valunopeus voivat kiihdyttää tukkeentumisilmiötä. Myös valunopeusmuutoksilla oletetaan olevan vaikutusta tukkeentumiseen. Jatkeitiilen tukkeentuminen teräksen jatkuvavalussa useimmiten keskeyttää tekeillä olevan valusarjan ja hidastaa tuotantoa. Tukkeentunut jatkeitiili on vaihdettava uuteen ennen kuin valua voidaan jatkaa. Lisäksi kuona-aineet voivat kulkeutua jatkeitiilen kautta valettavaan teräsaihioon aiheuttaen erilaisia laatuviikoja aihion pintaan ja sisäosiin. Jos laatuviat ovat vakavia, niin ko. aihiot joudutaan romuttamaan ja hylkäämään. Jatkeitiilen pikainen tukkeentuminen on usein myös merkki terässulan suuresta kuona-ainepitoisuudesta.

Aikaisemmissa tutkimuksissa on data-analyysin keinoin etsitty tekijöitä, jotka vaikuttavat jatkeitiilen tukkeentumiseen. Samalla on tutkittu, voidaanko mallipohjaisesti määrittää ja ennustaa valetut tonnit tukkeumahetkellä tai ainakin ennakoida, kuinka monta sulatusta voidaan valaa ilman jatkeitiilen vaihtoa. Valumiehistö voi päättää mallin avulla, valetaan-ko tekeillä oleva valusarja loppuun asti vai vaihdetaanko jatkeitiili ennen kuin mallin antamat tonnit täytyvät. Aikaisemmin mallintamiseen käytettiin myötäkytkettyjä neuroverkkoja, jotka opetettiin backpropagation-menetelmällä. Tulokset osoittivat, että käytännön sovelluksessa neuroverkot vaativat tuekseen myös muuta informaatiota.

Tässä raportissa on esitetty, miten sulkutangon asento käyttäytyy valettaessa tukkeentuneita ja ehjiä valusarjoja. Sulkutangon asentotutkimusta on tehty valukoneella 6. Tavoitteena on ollut löytää paras tapa erotella sulkutangon asennon avulla tukkeentuneet ja ehjät valusarjat. Sulkutangon asentoa on tutkittu kolmella eri tavalla: pelkkä asento, sen derivaatta ja integraali. Vertailussa on keskitytty pumpattua edeltäviin sulatuksiin tukkeentuneissa sarjoissa ja viimeistä edellisiin sulatuksiin ehjissä sarjoissa. Derivaatan ja integraalin käyttäytymistä tutkittiin myös sarjojen viimeisistä sulatuksista. Paras erottelu saavutettiin pelkällä asentotiedolla. Valukoneella 6 kahdessakymmenessä prosentissa tapauksista voidaan sanoa, että tukkeumariski seuraavassa valussa on yli 50%. Tukkeumariski oli keskimäärin 15% kaikissa niissä valusarjoissa, joissa sulkutangon asentoa tutkittiin.

Raportissa on myös esitetty tuloksia valunopeusminimin vaikutuksesta tukkeentumiseen. Valunopeutta tutkittiin 200 sekunnin liukuvan keskiarvon avulla kussakin valussa ja sulatuksessa. Keskiarvoista pienin valittiin valukohtaiseksi valunopeusminimiksi ja näitä useampia verrattiin keskenään ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Valunopeusminimillä ei voitu osoittaa suoraa yhteyttä tukkeentumiseen. Valunopeutta tutkittiin valukoneella 6.

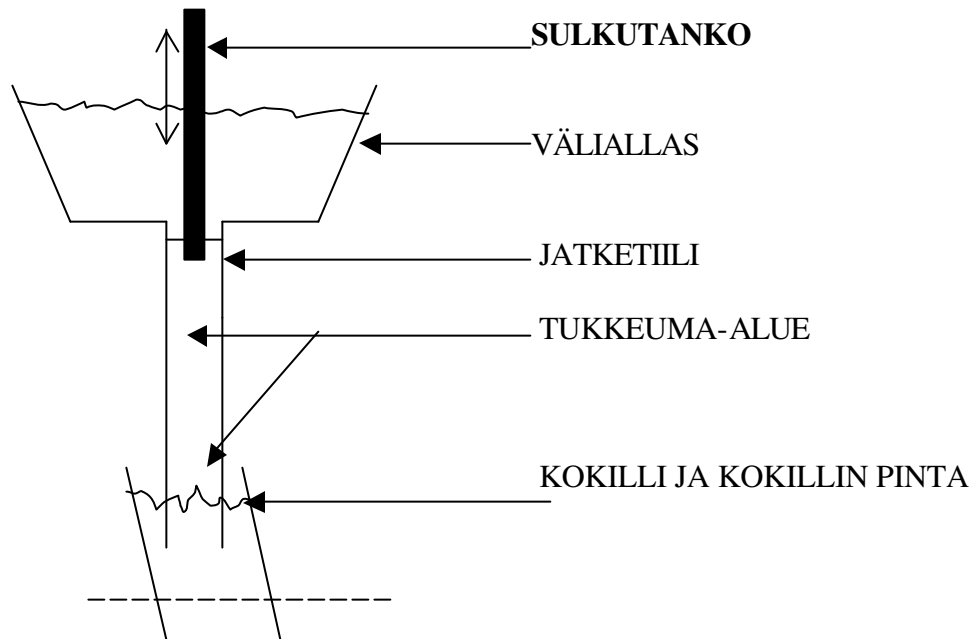
Raportissa on esitetty lisäksi kokemuksia SOM-karttojen käytöstä datan analysoinnissa. SOM-analyysin mukaan data on samanlaista sekä ehjissä, että tukkeentuneissa valusarjoissa. SOM-analyysi tehtiin ns. SULATUS-datalle valukoneella 6.

Raportin lopussa on kuvattu sulkutangon asentotietoon perustuva päättelyketju, jonka mukaan jatkeiilen tukkeentumista pystytään tällä hetkellä arvioimaan parhaiten. Suurilla vikariskeillä voidaan käyttää aiemmin tehtyjä neuroverkkoja ja laskea niiden avulla tukkeumatonnit. Pienillä vikariskeillä valua voidaan jatkaa ainakin yhden sulatuksen verran. Toisaalta tähänkin päättelyyn liittyy epävarmuutta eli vika ja tukkeentuminen voi tapahtua pienillä vikariskeillä ja suurilla vikariskeillä tukkeentumista ei tapahdukaan. Sulkutangon asentotieto toi kuitenkin lisäinformaatiota vikojen erotteluun valukoneella 6.

## 2 SULKUTANGON ASENNON KÄYTTÖ- MAHDOLLISUUDET

### 2.1 Prosessikuvaus

Sulkutangon avulla säädetään sulan virtaus välialttaan ja kokillin välillä siten, että kokillin pinta saadaan halutuksi. Tukkeumatilanteissa sulkutangon asento käyttäytyy eri tavalla kuin normaalitilanteissa. Tukkeuman muodostuminen jatketiilen sisäpinnalle pienentää sulavirtausta jatketiilen läpi. Tästä syystä sulkutankoa joudutaan avaamaan enemmän tukkeuman muodostuessa jatketiilen sisään. Kuva 1 esittää sulkutangon toimintaa.



**Kuva 1.** Sulkutangon toiminta. Sulkutangon avulla säädetään kokillin pintaa.

Sulkutanko on osa säätöpiiriä, jossa valunopeus määrittää kokillin pinnan asetusarvon. Jos kokillin pinta laskee alle asetuksen, niin sulkutankoa avataan. Kun jatketiessä on paljon tukkeumaa, niin lopulta sulkutangon avaaminen ei riitä pitämään kokillin pintaa haluttuna. Tällöin valumiehistö suorittaa usein pumppaavan liikkeen sulkutangolla, jotta tukkeuma poistuisi ja valua voitaisiin jatkaa normaalisti. Tavallisesti pumppaaminen auttaa asiaa sen verran, että valusarja saadaan päätökseen. Voimakkaan pumppaamisen yhteydessä sulkutanko käy kokonaan kiinni ja sulan virtaus kokilliin estyy. Tämä johtaa samalla siihen, että valunopeutta on pudotettava ainakin hetkeksi. Toisin sanoen tukkeutuminen myös heikentää tuotantokapasiteettia.

### 2.2 Mittaustiedot

Sulkutangon asentotiedot kerättiin SAPSOL-tietokannasta, jossa näyteväli oli 10 sekuntia. Kerääminen aloitettiin valukoneelta 6. Samalla kerättiin myös seuraavia tietoja: sulatusnumero, valun järjestysnumero, aiholaatu, kokillin leveys, valunopeus ja kokillin pin-



nankorkeus. SAPSOL-mittauksia saatiin lyhyen näytevälin ansiosta 200–300 yhtä sulatusta ja sulatusnumeroa kohti. Sulkutangon asento liitettiin SULATUS-tietoihin sulatusnumeron perusteella käsittelyn helpottamiseksi. SULATUS-tiedoista saattoi nähdä nopeasti, mitkä sarjat olivat ehjiä ja mitkä tukkeentuneita.

Sulkutangon asennon tutkimuksessa käytettiin noin 200 valusarjaa valukoneelta 6, jotka käsittivät ahiolaatuja 1, 2, 3 ja 4. Näistä 200:sta valusarjasta 60 valusarjaa oli tukkeentuneita sarjoja. Taulukossa 1 on esitetty suuntaa antavasti 10 kpl tarkkuudella, paljonko valusarjoja oli ahiolaatukohtaisesti.

**Taulukko 1.** Sulkutangon asentotiedot ahiolaaduittain valukoneella 6.

Ahiolaatu	Kaikki sarjat	Ehjät sarjat	Tukkeentuneet sarjat
1	80	50	30
2	40	30	10
3	40	30	10
4	40	30	10
Yht.	200	140	60

Erikoistapauksissa sulatuksia jätettiin tarkastelun ulkopuolelle eri määriä laskettaessa derivaattoja ja integraaleja. Muuten laskenta ei olisi toiminut oikealla tavalla. Ahiolaadulle 1 valusarjoja oli käytössä eniten. Ahiolaaduilla 2, 3 ja 4 tukkeentuneiden sarjojen määrät jäivät pieniksi ja näillä laaduilla on kyseenalaista, onko analyysi luotettava. Jatkossa on kuitenkin mahdollista tarkentaa analyysiä lisämittauksilla.

## 2.3 Tulokset

Seuraavassa kerrotaan, miten sulkutangon pelkkä asento, asennon integraali ja asennon derivaatta käyttäytyivät ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Kullekin suurelle laskettiin ehjien ja tukkeentuneiden jakaumien keskiarvot ja keskipoikkeamat Excelissä funktioilla Average() ja Stdev().

### 2.3.1 Pelkkä asento

Sulkutangon pelkkää asentoa tutkittiin pumpattuja sulatuksia edeltävistä sulatuksista ja ehjien sarjojen viimeistä edellisistä sulatuksista. SAPSOL-tiedoista kerättiin sulatusten viimeiset asennot SULATUS-tietoihin. Ehjiä valusarjoja oli mukana 265 kpl ja tukkeentuneita 47 kpl. Ahiolaadut 1, 2, 3 ja 4 olivat kaikki yhtäaikaan käsittelyssä. Taulukossa 2 on esitetty sulkutangon pelkän asennon keskiarvot ja hajonnat ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa.

**Taulukko 2.** Sulikutangon pelkkä asento ehjissä ja tukkeentuneissa valusarjoissa.

	Ehjä sarja	Tukkeentunut sarja
$\mu$ = keskiarvo	67.86	74.79
$\sigma$ = keskihajonta	6.29	8.61
$\mu - \sigma$	61.57	66.18
$\mu + \sigma$	74.14	83.40
$\mu - 2\sigma$	55.28	57.57
$\mu + 2\sigma$	80.43	92.02

Taulukosta 2 voi havaita, että keskiarvot poikkeavat toisistaan ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Samoin hajonta on suurempi tukkeentuneissa sarjoissa. Taulukossa 3 on esitetty, montako ehjää ja tukkeentunutta sarjaa asettuu erilaisille sulikutangon asennon alueille sekä paljonko niiden suhteelliset osuudet ovat kullakin alueella.

**Taulukko 3.** Sulikutangon asento lukumääräisesti sekä prosentuaalisesti ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa.

Asento %	Ehjä sarja	Tuk. sarja	Tapaukset %	Ehjiä %	Tukkeutuneita %
$\geq 80$	8	13	7	38	62
$\geq 74$	43	26	22	54	46
$< 74$	222	21	78	91	9
$\leq 68$	129	12	45	91	9
$\leq 62$	43	2	14	96	4

Taulukosta 3 nähdään, että sulikutangon asennon ollessa suurempi tai yhtäsuuri kuin 74% tukkeentuneiden sarjojen prosentuaalinen osuus on 46%. Kun asento on suurempi tai yhtäsuuri kuin 80%, niin tukkeentuneiden sarjojen osuus on 62% ja ehjien 38%. Sulikutangon asennon ollessa yhtäsuuri tai alle 62% voidaan puolestaan sanoa, että vikariski on pienentynyt 4%:iin. Keskimääräisellä asennon alueella 68%–74% vikariski on 9%.

Koko aineistossa oli sulatuksia yhteensä 312, joista 47 oli tukkeentuneita. Aineistossa oli keskimäärin vikoja noin 15%. Suurilla ja pienillä sulikutangon asennoilla vikojen erottelu onnistuu hyvin, mutta ongelmana on niiden pienehkö osuus kaikista tapauksista. Suurempia tai yhtäsuuria kuin 80% sulikutangon asentoja on 7% kaikista tapauksista ja pienempiä tai yhtäsuuria kuin 62% oli 14% kaikista tapauksista. Laskemalla nämä yhteen voidaan sanoa, että asentotieto on erittäin hyödyllinen 20% tapauksista. Asentotieto antaa myös jonkun verran lisää erottelua asennon välialueella 68 %–74 %, jossa voidaan sanoa vikariskin pienentyneen keskimääräisestä 15%:sta 9%:iin.

### 2.3.2 Integraali

Integraali määriteltiin siten, että sulikutangon asennon ollessa 60% auki, tuli integraalin arvoksi nolla. Sulikutangon ollessa auki enemmän kuin 60%, integraalin arvo oli positiivinen ja vastaavasti asennon ollessa vähemmän kuin 60% integraalin arvo oli negatiivinen.

nen. Laskennassa summattiin integraalin arvoja sarjan yhden sulatuksen ajalta. Samoin integraaleja laskettiin yhteen sarjan 1. valusta alkaen ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Integraalianalyysin luotettavuus jäi kyseenalaiseksi 2, 3 ja 4 aihioilla, koska tukkeumata-pauksia on näissä vain muutamia.

Jotta tukkeentuminen voitaisiin ennustaa riittävän nopeasti ennen sen tapahtumista, on tutkimuksissa keskitytty tukkeentuneiden valusarjojen tukkeumaa edeltäviin sulatuksiin sekä ehjien sarjojen viimeistä edellisiin sulatuksiin. Taulukossa 4 on esitetty ehjien sarjojen viimeistä edeltävien ja tukkeentuneiden sarjojen tukkeumia edeltävien sulatusten integraalien arvoja.

**Taulukko 4.** Sulikutangon asennon integraali ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Ehjien sarjojen viimeistä edelliset ja tukkeentuneiden sarjojen tukkeumaa edeltävät sulatukset.

Aih.laatu	Ehjät sarjat			Tukkeentuneet sarjat		
	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm
1,2,3,4	7.89	6.96	109	11.05	7.94	51
1	5.71	5.55	31	11.21	8.36	26
2	8.43	7.75	31	11.62	8.69	8
3	7.99	6.67	29	11.18	8.65	11
4	7.89	7.24	31	7.78	4.34	6

Tukkeentuneilla sarjoilla arvot ovat selvästi suurempia kuin onnistuneilla sarjoilla. Ainoastaan 4-laadulla ero on niukasti päinvastainen, minkä selittää todennäköisesti datan vähyys. Hajonnat integraalien arvoissa ovat suuria ja tämä aiheuttaa vaikeuksia päätelmien teossa. Aihioalauduilla 2, 3 ja 4 ongelmana on myös tukkeentuneiden sarjojen vähyys datassa. Esimerkiksi 4-laadulla on vain kuusi tukkeentunutta sarjaa (taulukko 4). Päätelyn tekee vielä epävarmemmaksi se, ettei kaikkia ehjiä sarjoja ole laskennassa mukana. Jos ne olisivat mukana, niin tukkeentuneiden sarjojen suhteellinen osuus pienenis taulukkoon 4 verrattuna. Ehjien sarjojen lisääminen ei kuitenkaan muuttaisi merkittävästi taulukossa 4 esitettyjä keskiarvoja tai hajontoja.

Integraalin arvoja laskettiin myös tukkeentuneille sulatuksille sekä ehjien sarjojen viimeisille sulatuksille. Taulukossa 5 on esitetty ehjien sarjojen viimeisten ja tukkeentuneiden sarjojen tukkeentuneen sulatuksen integraalin keskiarvoja ja hajontoja aihioalauduittain. Useimmiten tukkeentunut sulatus oli samalla sarjan viimeinen sulatus.

Jokaisella laadulla ero onnistuneen ja tukkeentuneen sulatuksen integraalin arvon välillä on selvä. Tukkeentuneissa sulatuksissa integraalin keskiarvo on huomattavasti suurempi kuin onnistuneiden sarjojen sulatuksissa. Esimerkiksi tarkasteltaessa kaikkia laatuja (1, 2, 3 ja 4) yhdessä on onnistuneiden sarjojen integraalin keskiarvo 11.13, kun tukkeentuneiden sarjojen vastaava arvo on 28.71. Tosin tukkeentuneiden sarjojen integraalien hajonta on suuri (64.59). Tämän vuoksi näistä arvoista on vaikeaa päätellä mitään riittävällä varmuudella. Laaduittain tarkasteltuna tulokset ovat samankaltaisia kuin kaikilla laaduilla yhdessä (taulukko 5).

**Taulukko 5.** Sulkutangon asennon integraali ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Ehjien sarjojen viimeiset sulatukset ja tukkeentuneiden sarjojen tukkeentuneet sulatukset.

Aih.laatu	Ehjät sarjat		Tukkeentuneet sarjat	
	Keskiarvo	Keskihajonta	Keskiarvo	Keskihajonta
1, 2, 3, 4	11.13	9.94	28.71	64.59
1, 2, 3	8.32	13.87	30.72	68.50
1	6.13	15.67	30.55	79.77
2	10.34	10.09	22.94	11.01
3	7.69	15.26	34.25	66.39
4	12.51	8.87	16.51	4.49

Sulkutangon asennon vaikutusta tukkeentumiseen tutkittiin vielä siten, että summattiin sulatusten integraalien arvoja yhteen sarjan 1., 2., 3. valussa. Integraaleja summattiin 3. ja 4. valuuun saakka lukuunottamatta sarjan viimeistä valua (3. tai 4.). Eri pituisia sarjoja käsiteltiin erillisinä tapauksina, eli niitä ei yhdistetty yhdeksi tulokseksi. 3 ja 4 valun sarjat olivat erillisiä sarjoja. Taulukossa 6 on esitetty tulokset integraalin arvon yhteenlasketusta summasta valusarjan 1., 2. ja 3. sulatuksista lukuunottamatta viimeistä sulatusta kolmen ja neljän sulatuksen pituisille sarjoille.

**Taulukko 6.** Sulkutangon asennon integraali ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Integraalien summat sarjojen alusta 3 ja 4 valun mittaisissa sarjoissa.

Aih.laatu	Valut	Sarjan pituus	Ehjät sarjat			Tukkeentuneet sarjat		
			Keski-arvo	Keskihajonta	lkm	Keski-arvo	Keskihajonta	lkm
1, 2, 3, 4	1, 2	3	8.83	10.21	57	16.79	11.54	22
	1, 2, 3	4	16.33	16.49	109	22.83	24.25	19
1	1, 2	3	7.00	11.10	30	19.74	12.16	13
	1, 2, 3	4	12.18	14.92	56	20.07	32.39	8
2	1, 2	3	9.20	7.84	12	20.71	6.96	3
	1, 2, 3	4	23.28	16.01	18	21.66	20.87	3
3	1, 2	3	11.30	10.44	8	2.72	4.54	3
	1, 2, 3	4	15.55	16.40	17	34.04	11.50	6
4	1, 2	3	13.24	9.50	7	14.06	7.32	3
	1, 2, 3	4	23.02	18.50	18	2.03	4.94	2

Tarkasteltaessa tuloksia kaikilla laaduilla tulos on vastaava kuin edellä esitettyissä tuloksissa, eli tukkeentuneiden sarjojen arvot ovat huomattavasti onnistuneiden sarjojen arvoja suurempia. 2-, 3- ja 4-laaduilla tulokset ovat hieman erilaisia johtuen todennäköisesti datan vähydestä ja erityisesti tukkeentuneiden sarjojen vähydestä datassa (taulukko 6).

### 2.3.3 Derivaatta

Sulkutangon asennon derivaatan avulla pyrittiin löytämään yhteys tukkeuman muodostumiseen. Yleensä ennen tukkeuman muodostumista sulkutanko on ollut auki lähes kokonaan ja sulkutangon asennon kuvaaja on nouseva. Tämän perusteella myös sulkutangon asennon derivaatan arvo olisi suuri ennen tukkeuman tapahtumista. Derivaatan arvoja laskettiin SAPSOL-datasta 30:n mittauksen eli 5 minuutin välein. Näistä laskettiin lopuksi sulatuskohtainen keskiarvo, johon analyysi perustui. Derivaatan arvoja laskettiin sarjojen viimeisille ja viimeistä edellisille sulatuksille ehjien ja tukkeentuneiden sarjojen tapauksissa. Taulukossa 7 on esitetty tulokset lasketuista derivaatan arvoista ehjien sarjojen toiseksi viimeisille sulatuksille sekä tukkeentuneiden sarjojen tukkeumaa edeltäneille sulatuksille. Derivaatan arvot on kerrottu taulukkoon 1000:lla. Derivaatta-analyysin luotettavuus jäi kyseenalaiseksi 2-, 3- ja 4-laaduilla, koska tukkeumatapauksia on näissä vain muutamia,

**Taulukko 7.** Sulkutangon asennon derivaattojen keskiarvo ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Ehjien sarjojen viimeistä edelliset ja tukkeentuneiden sarjojen tukkeumaa edeltävät sulatukset.

Aih.laatu	Ehjät sarjat			Tukkeentuneet sarjat		
	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm
1, 2, 3, 4	9.29	37.70	135	19.11	31.65	52
1	5.14	39.53	52	19.72	29.41	25
2	7.25	53.66	30	35.52	23.19	9
3	14.26	23.31	28	9.18	45.05	11
4	13.67	20.90	26	15.77	14.42	6

Tulosten perusteella derivaatan korkea arvo näyttäisi johtavan tukkeumaan oletuksen mukaisesti. Ongelmana on se, että tukkeumia tapahtuu myös matalilla derivaatan arvoilla, koska tuloksen hajonta on erittäin suuri. 3-laadulla tulos poikkeaa muista laaduista, sillä derivaatan arvo on suurempi onnistuneessa sarjassa (taulukko 7).

Taulukossa 8 on esitetty tulokset lasketuista derivaatan arvoista onnistuneiden ja tukkeentuneiden sarjojen viimeisille sulatuksille. Derivaatan arvon laskutapa poikkeaa taulukon 7 arvoista siten, että tukkeentuneiden sarjojen kohdalla laskenta lopetetaan ensimmäisen sulkutangon pumppauksen jälkeen, eli silloin, kun tukkeuma muodostuu. Arvot on kerrottu taulukkoon 1000:lla.

Taulukoita 7 ja 8 vertaamalla voi huomata, että derivaatan keskiarvojen merkki on enimmäkseen miinus taulukossa 8. Tähän voi olla yhtenä syynä se, että valunopeutta pudotetaan sarjan loppua kohti. Poikkeus näyttäisi olevan ehjissä sarjoissa 3-laadut, joissa derivaattojen keskiarvo on positiivinen. Kuitenkin hajoista puolestaan voi päätellä, että kaikilla aihioilla on sekä miinus- että plus-merkkisiä derivaattoja. Tulosten hajonnat ovat niin suuria, ettei derivaatta ole tällä tavalla 5 min askelin tarkasteltuna sopiva erotella ehjiä ja tukkeentuneita sarjoja toisistaan.

**Taulukko 8.** Sulikutangon asennon derivaattojen keskiarvo ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Ehjien sarjojen viimeiset sulatukset ja tukkeentuneiden sarjojen tukkeentuneet sulatukset.

Aih.laatu	Ehjät sarjat			Tukkeentuneet sarjat		
	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm
1, 2, 3, 4	-33.23	175.72	176	2.43	251.71	51
1	-67.35	217.70	90	-7.91	300.56	25
2	-21.53	82.95	36	83.36	122.04	9
3	40.82	158.64	27	-61.75	274.25	11
4	-4.41	23.94	26	41.73	49.79	6

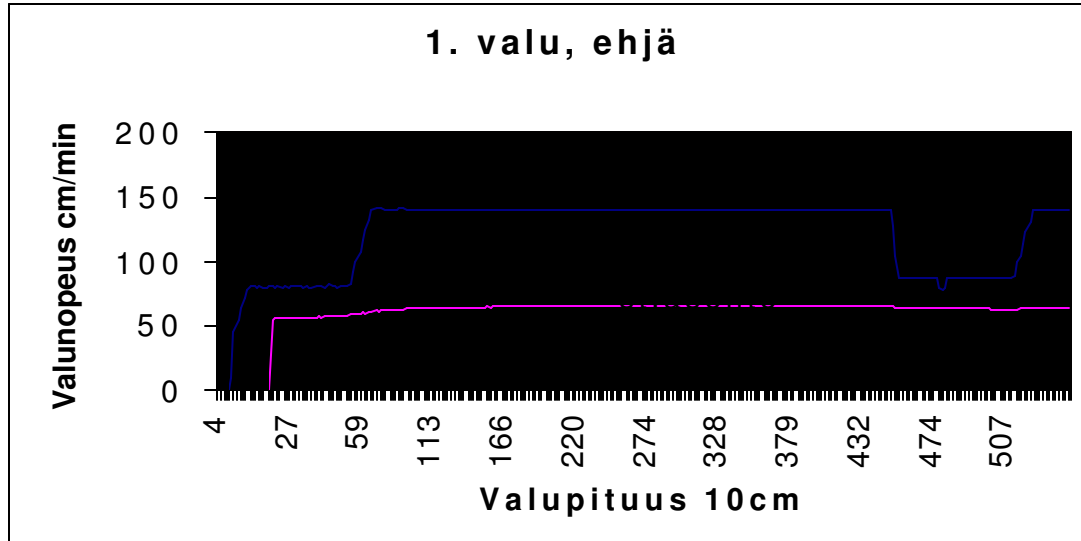
### 3 VALUNOPEUDEN VAIKUTUS TUKKEUMIIN

#### 3.1 Prosessikuvaus

Jatkuvavalu tapahtuu useimmiten 3–4 valun valusarjoina. Poikkeustapauksissa valusarjat voivat olla tätä lyhyempiä tai pidempiä. Kukin valu käsittää yhden sulatuksen, joka on kooltaan 120 t. Neljän valun valusarjassa saman jatkeitielen läpi kulkee 480 t terässulaa. Osaltaan jatkeitielen tukkeentuminen rajoittaa valusarjojen pituuden neljään valuun. Jos valua jatkettaisiin ilman jatkeitienvaihtoa tätä pidempään, olisi tukkeentuminen ja valun vaikeutuminen lähes varmaa. Joskus jatkeitieli tukkeutuu nopeasti ennenkuin neljä valua on valettu. Tällöin valuprosessi hidastuu ja aihoiden laatu heikkenee.

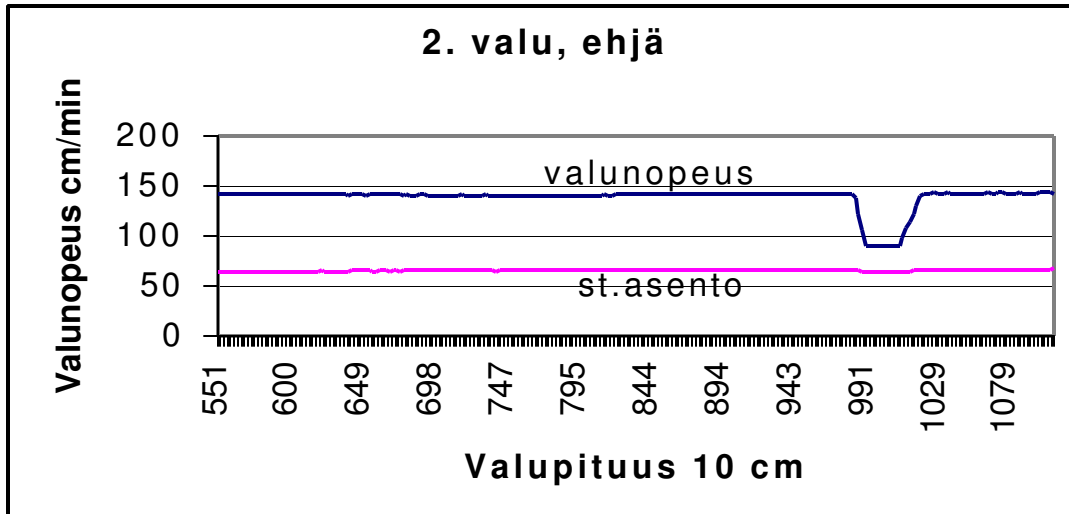
Seuraavassa on esitetty piirroksin, kuinka valunopeus käyttäytyy valusarjan aikana, kunnes neljännessä valussa tukkeentuminen estää valun täydellä nopeudella. Samoissa kuvissa on myös esitetty sulkutangon asento, jonka avulla voi havaita tukkeuman kehittymisen jatkeiteillä ( kuvat 2, 3, 4 ja 5 ).

Kuvassa 2 on esitetty valusarjan 1. valun valunopeus ja sulkutangon asento. Valusarja aloitetaan noin 80 cm/min valunopeudella ja kun noin 6 m on valettu, niin voidaan valaa täydellä nopeudella. Valun lopussa valunopeutta pudotetaan hetkeksi alle 100 cm/min, koska seuraavaa terässenkkaa vaihdetaan välialtaan päälle. Toinen syy valunopeuden pienentämiselle on, että esiaihio poistetaan 1. valun aikana.



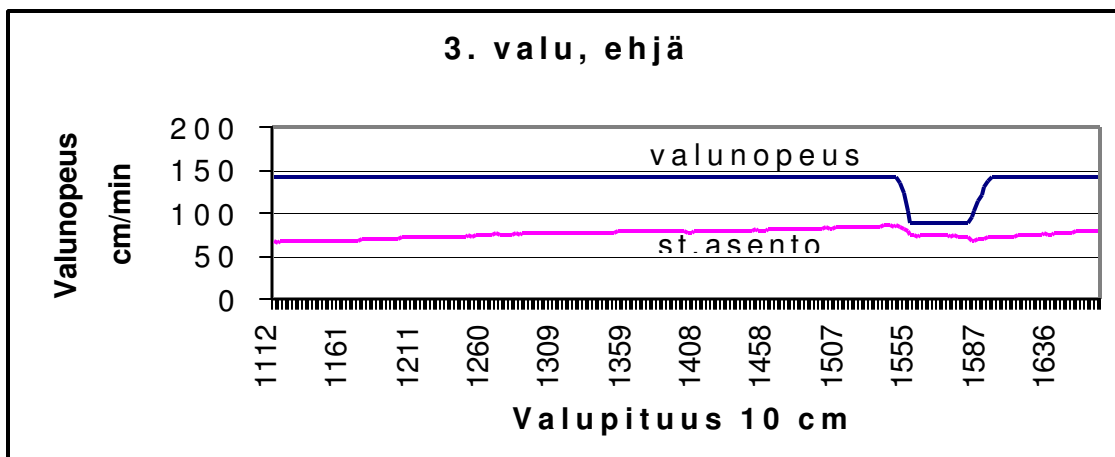
**Kuva 2.** Valusarjan 1. valun valunopeus ja sulkutangon asento (%). Ehjä valu.

Kuvassa 3 on esitetty sarjan 2. valun valunopeus sekä sulkutangon asento. 2.valu voidaan valaa normaalisti täydellä nopeudella. Valun lopussa valunopeutta pudotetaan hetkeksi alle 100 cm/min, koska seuraavaa terässenkkaa vaihdetaan välialtaan päälle.



**Kuva 3.** Valusarjan 2. valun valunopeus ja sulkutangon asento (%). Ehjä valu.

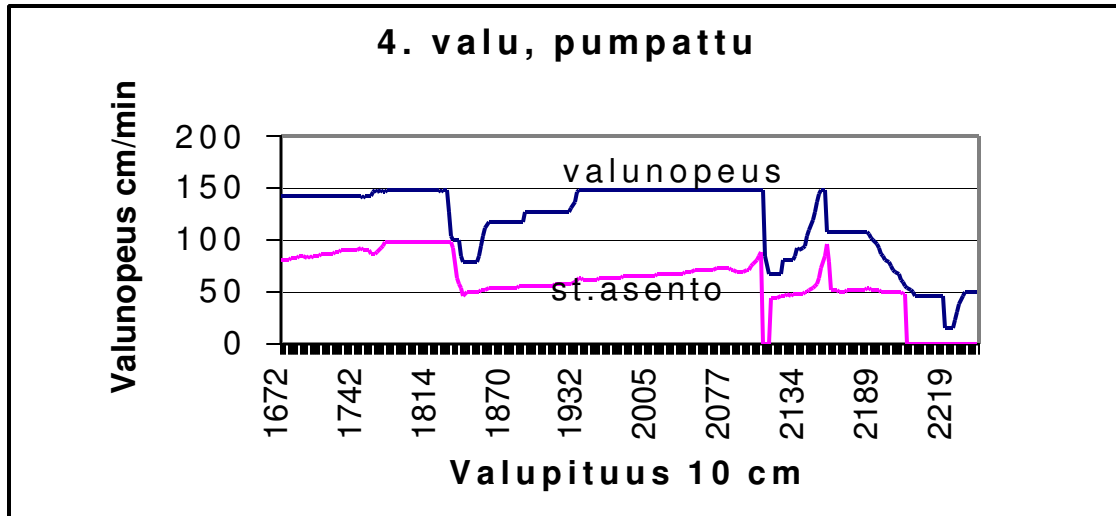
Kuvassa 4 on esitetty valusarjan 3. valun valunopeus ja sulkutangon asento. 3. valu voidaan valaa täydellä nopeudella, vaikka pientä tukkeentumista jatketiilessä onkin havaittavissa. Valun lopussa valunopeutta pudotetaan hetkeksi alle 100 cm/min, koska seuraavaa teräsenkkaa vaihdetaan välialtaan päälle.



**Kuva 4.** Valusarjan 3. valun valunopeus ja sulkutangon asento (%). Ehjä valu.

Kuvassa 5 on esitetty valusarjan 4. valun valunopeus ja sulkutangon asento. Sulkutanko avautuu 100% auki, koska tukkeuma estää sulan virtauksen. Valunopeutta joudutaan pienentämään ja sulkutankoa suljetaan. Hetken päästä valetaan täyttä nopeutta, mutta jatke- tiili tukkeutuu uudelleen. Tällä kertaa sulkutanko suljetaan kokonaan. Samalla valunopeutta pudotetaan. Lopulta valua voidaan jatkaa, kunnes sarjan päättäminen suoritetaan pienentämällä valunopeutta asteittain.





**Kuva 5.** Valusarjan 4. valun valunopeus ja sulkutangon asento (%). Pumpattu valu.

Kuvista 2, 3, 4 ja 5 voi nähdä, että jatketiili tukkeentuu 3. valusta eteenpäin, kunnes 4. valun alussa tukkeuma estää valun normaalinopeudella. Tukkeuman vuoksi valunopeutta on alennettava ja sulkutankoa suljettava. Tämä auttaa sen verran, että valua voidaan jatkaa. Jatketiili tukkeutuu vielä toistamiseen ja sulkutanko suljetaan hetkeksi kokonaan tukkeuman poistamiseksi. Tukkeumista huolimatta valusarja saadaan valetuksi kokonaan.

### 3.1.1 Mittaustiedot

Valunopeudesta on kerätty segmenttidataa valukoneilta 5 ja 6. Segmentillä ymmärretään 10–20 cm jaksoa valunauhaa. Data on kerätty 10 cm välein valukoneelta 5 ja 20 cm välein valukoneelta 6. Valukoneen 5 segmenttidatassa on noin 400 riviä yhtä sulatusta kohti ja valukoneen 6 segmenttidatassa on noin 200 riviä yhtä sulatusta kohti. Yksittäisiä segmenttidatarivejä on kerätty noin 1 miljoona valukoneelta 5 ja noin 1,5 miljoonaa valukoneelta 6.

Kerätty segmenttidata käsittää valukonetunnuksen, sulatusnumeron, valupituuden ja valunopeuden. Sapsol-data sisältää näiden lisäksi valun järjestysnumeron, aiholaadun, kokillin leveyden, sulkutangon asennon ja kokillin pinnan korkeuden. Valukoneiden 5 ja 6 segmenttimittaukset käsittävät suureksi osaksi onnistuneita valusarjoja. Valukoneen 5 segmenttidata käsittää noin 500 valusarjaa sulatusnumeroalueelta 26132–32768, joista noin 40 sarjaa on vikasarjoja.

Valukoneen 6 segmenttidata käsittää 5 645 sulatuksen tiedot sulatuksista 20803–38721. Valukoneen 6 segmenttidatassa on valusarjoja kaikkiaan noin 1500, joista ainakin 50 on vikasarjoja.

Osa segmenttidatasta sisältää aihiolaatuja, joita ei tässä yhteydessä tutkita. Kun tutkittavat aihiolaadut 1, 2, 3 ja 4 on erotettu omaksi kokonaisuudekseen, voidaan sanoa 1-laatua olevan noin 40% ja muita laatuja 2, 3 ja 4 kutakin likimain 20%.

### 3.2 Pienimmän valunopeuden vaikutus

Alhaisen valunopeuden vaikutusta tutkittiin valukoneella 6 Sapsol-datasta. Valunopeuden oletettiin olevan tavallista matalampi ennen tukkeuman muodostumista ja tätä oletusta tutkittiin seuraavassa esitetyllä tavalla. Laskennassa tarkasteltiin 21 mittauksen eli 200 sekunnin liukuvaa keskiarvoa sulatuksittain. Kussakin sulatuksessa oli noin 200 mittaus-ta. Lasketuista keskiarvoista pienin valittiin kyseisen sulatuksen valunopeuden minimin arvoksi. Tutkimuksessa keskityttiin tukkeumaa edeltäviin sulatuksiin tukkeentuneissa sarjoissa sekä viimeistä edellisiin ehjissä sarjoissa. Valunopeutena käytettiin valunopeut-ta, jonka yksikkö on cm/min.

Taulukossa 9 on esitetty valunopeuden minimin keskiarvot ja hajonnat ehjän sarjan viimeistä edelliselle ja tukkeentuneen sarjan tukkeumaa edeltäneelle sulatukselle. Laskennassa käytettiin Excel-funktioita Average() ja Stdev(). Kaikilla laaduilla (1, 2, 3, 4) yhdessä tulos on oletuksen mukainen, eli ehjällä sarjalla valunopeuden minimin arvo on suurempi (114,43) kuin tukkeentuneilla sarjoilla (109,03). Ero on kuitenkin suhteellisen pieni.

**Taulukko 9.** Valunopeuden minimi 200 s aikana ehjän sarjan viimeistä edelliselle ja tukkeentuneen sarjan tukkeumaa edeltäneelle sulatukselle.

Aih.laatu	Ehjät sarjat			Tukkeentuneet sarjat		
	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm
1,2,3,4	114.43	24.09	139	109.03	26.80	51
1	115.76	26.04	53	117.00	28.05	25
2	113.88	26.74	31	118.19	29.71	13
3	113.16	20.75	28	88.95	16.60	11
4	113.77	21.13	27	119.60	23.76	6

Taulukosta 9 nähdään, että myös 3-laadulla minimivalunopeus on oletuksen mukainen eli tukkeentuneissa sarjoissa matalampi (88,95) kuin ehjissä (113,16). Ero on melko selvä, mutta toisaalta pieni tukkeentuneiden sarjojen määrä (11) tekee päättelyn epävarmaksi.

Valunopeusminimiä tutkittiin vielä sarjojen viimeisistä sulatuksista ehjissä sarjoissa ja ensimmäiseen tukkeumaan saakka tukkeentuneissa sarjoissa. Usein tukkeentunut sulatus oli samalla sarjan viimeinen sulatus. Taulukossa 10 on esitetty kyseiset valunopeuden minimin arvot.

**Taulukko 10.** Valunopeuden minimi 200 s aikana sarjojen viimeisille sulatuksille.

Aih.laatu	Ehjät sarjat			Tukkeentuneet sarjat		
	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm	Keskiarvo	Keskihajonta	lkm
1,2,3,4	99.121	22.806	182	120.116	33.843	50
1	100.215	23.179	93	118.873	45.527	24
2	102.669	22.014	36	129.748	20.571	9
3	96.058	24.67	37	110.021	21.132	11
4	94.983	16.915	26	129.13	19.198	7

Näissä tapauksissa suuremmat lukuarvot ovatkin tukkeentuneissa sarjoissa, mikä on ristiriidassa taulukkoon 9 verrattuna. Osittain tämä ristiriita saattaa selittyä laskentatavalla, jossa sarjan loppuosa on mukana ehjissä sarjoissa ja joka on harvemmin mukana tukkeentuneessa sarjassa. Sarjan lopussa valunoputta pienennetään asteittain, mikä näkyy todennäköisesti taulukon 10 tuloksissa.

### 3.3 Tulosten arviointi

Toistaiseksi ei ole löydetty selvää sääntöä valunopeudelle, jonka avulla tukkeentumista voi arvioida suoraan. SAPSOL-datan sulatuskohtainen valunopeusminimi 200 s aikana ei ole hyvä indikaattori tukkeuman ennustamisessa (taulukot 9 ja 10). Toisaalta pelkkä minimi ei kerro, montako kertaa valunopeutta on pudotettu tietyn rajan alapuolelle. Lisäksi valunopeusminimin analyysin luotettavuus jäi kyseenalaiseksi 2, 3 ja 4 aihioilla, joissa tukkeumatapauksia oli vain muutamia.

Kuvien 2, 3, 4 ja 5 valusarjan tapauksessa näyttää, ettei valunopeus juurikaan heittele tarpeettomasti ennen tukkeumaa 4. valussa. Aivan varmaa ei ole, löydetäänkö valunopeuden pudotuksia tutkimalla selvää sääntöä tukkeumille. Valunopeuden pudotukset saattavat selittää tukkeumista osan, mutta eivät kaikkia.

Kuvista 2, 3, 4 ja 5 on vaikea havaita, vaikuttaako valunopeuden suuruusluokka tukkeentumiseen. Korrelaatioanalyysillä on löydetty 0.2–0.3 korrelaatiokertoimia sulatuksen keskimääräisen valunopeuden ja tukkeumatonnien välille, kun analyysi suoritettiin valukone- ja aihioalaatukohtaisesti. Valunopeus kertaa kokillin leveys korreloi tukkeumatonneihin paremmin kuin pelkkä valunopeus (m/min). SULATUS-datassa olevat sulatuskohtaiset keskimääräiset valunopeudet eivät sovellu tukkeumien ennustamiseen yksinään. Niiden korrelaatiot riittävät kuitenkin tukkeumien neuroverkkomallitukseen usean muun muuttujan kanssa. Tukkeumien neuroverkkomalleissa on käytetty valunopeuden lisäksi välisenkälämpötiloja sekä esim. huuhteluaseman AO- ja N- analyysijä.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ikäheimonen, J., Leiviskä, K. ja Ruuska, J.: Jatketiilen tukkeentumisen mallintaminen neuroverkoilla. Oulun yliopisto, Sääätötekniikan laboratorio, Raportti B No 32, Helmikuu 2001.

## 4 KOKEMUKSIA SOM:N KÄYTÖSTÄ TUKKEUMIEN MALLINTAMISESSA

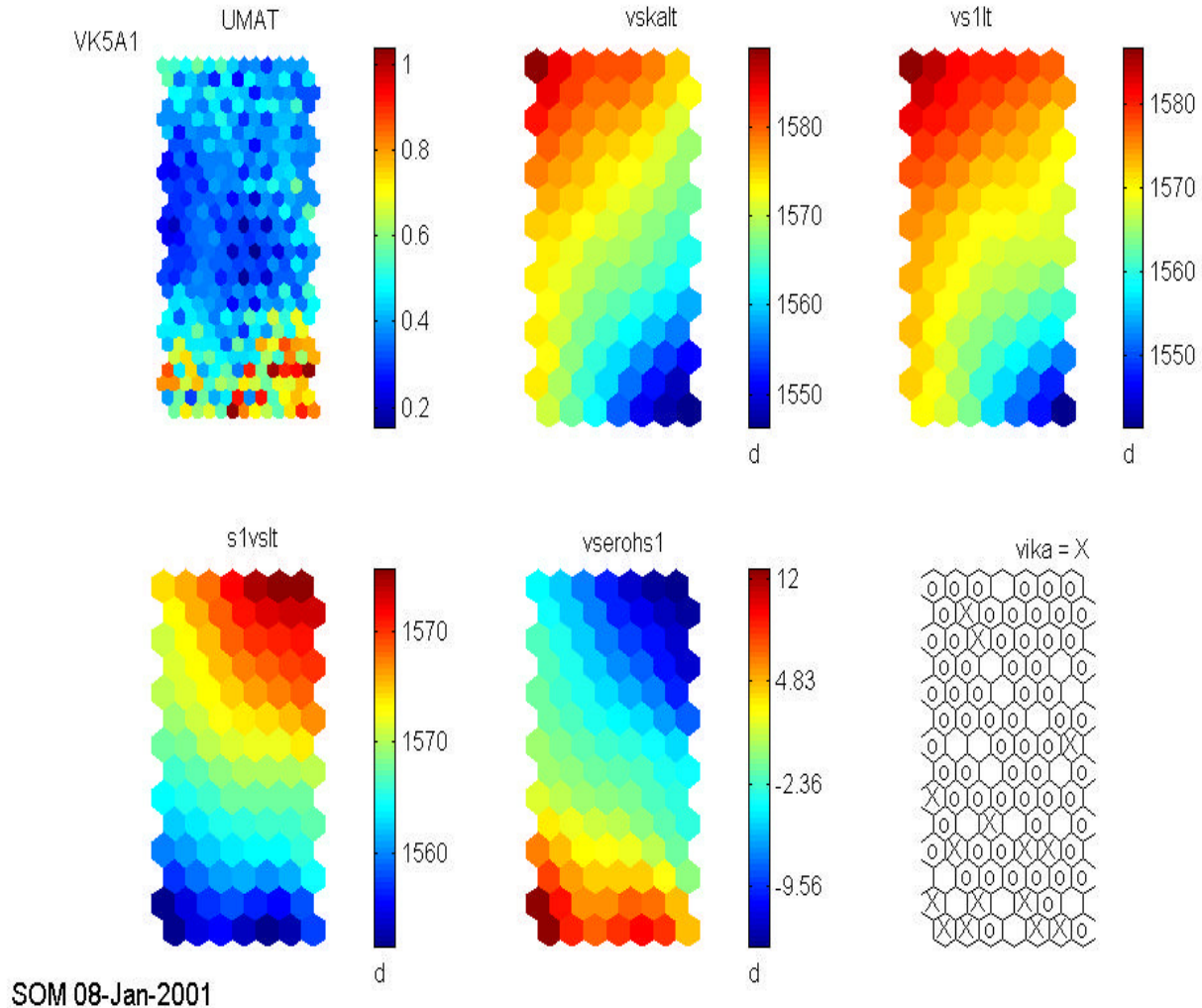
SOM (Self-Organizing Map) on itseorganisoituva neuroverkko, jolla voidaan esim. luokitella dataa. SOM:a käytettiin valukoneiden 5 ja 6 SULATUS-datojen analysointiin. Tavoitteena oli löytää muuttujat, ja niiden suuruusluokat, jotka selittävät tukkeumat parhaiten. Karttoja tehtiin useampia molemmille valukoneille, koska muuttujamäärä oli suuri. Karttoihin valittiin kerrallaan 4–8 muuttujaa, joiden vaikutusta tukkeumavikoihin tutkittiin. Taulukossa 11 on esitetty muuttujat, joita SOM:lla analysoitiin.

**Taulukko 11.** SOM-analyysissä käytetyt muuttujat. Laskennallinen lisämuuttuja on merkitty \*:llä.

Ohje-LIKVI	ana-2-B	huuht-N
Ohje-PUHJA	ana-2-C	anaN-huN*
Ohje-SOLID	ana-2-N	huuht-AI
Ohje-VSEnk	ana-2-P	huuht-AM
Ohje-HU3M	ana-2-S	huuht-AO
Ohje-HUJALK	ana-2-V	anaAO-huAO*
HU_3M_TOT	ana-2-AI	vskalt
HUJ_TOT	ana-2-AM	vs1lt
Hukasaik	ana-2-AO	s1vs1t*
HuRO_LAS	ana-2-Ca	vserohs1*
HuRO_TOT	ana-2-Mn	valunop
Hu_AL_las	ana-2-SI	vnopm*
Hu_Al_tot	ana-2-Ti	vnopero*
	etu-C	vjno
	etu-P	koklev
	etu-V	

Data järjestettiin ennen SOM-analyysiä siten, että tukkeentuneissa sarjoissa tukkeentuminen tapahtui ennenkuin 360 t oli valettu. Ehjistä sarjoista analyysiin otettiin ne sarjat, joissa oli valettu vähintään 480 t. Näin tehtiin, jotta data olisi riittävän erilaista ehjissä ja tukkeentuneissa sarjoissa. Lopullinen analyysi suoritettiin vertaamalla valusarjojen 1., 2. ja 3. valuja keskenään tukkeentuneissa ja ehjissä sarjoissa. Analyysi käsitti aihioaadut 1, 2, 3 ja 4.

Esimerkiksi kuvassa 6 on esitetty valukoneen 5 välisenkalämpötilojen SOM-kartat ehjille ja tukkeentuneille sarjoille 1-aihiolle. Suuret lukuarvot sijaitsevat karttojen yläosassa lukuunottamatta vserohs1-muuttujaa, jonka suuret arvot ovat kartan alaosassa.



**Kuva 6.** Valukoneen 5 välisenkkälämpötilojen SOM-analyysi 1-aihoilla. Tukkeentuneita sarjoja on merkitty X:llä ja ehjiä sarjoja O:lla.

Kuvan 6 tapaus näytti kaikista selvimmän riippuvuutta muuttujien ja tukkeumien välillä. Muuttuja vserohs1 eli erolämpötila välisenkassa ohjeen ja sarjan 1. lämpötilan välillä näyttää ryhmittyvän X-merkkien kanssa samalla tavalla kartan alaosassa. Myös muuttuja s1vslt eli sarjan 1. välisenkkälämpötila käyttäytyy samalla tavalla. Tämä selittyy sillä, että s1vslt-muuttuja sisältyy vserohs1-muuttujaan. Muuttujat vskalt ja vs1lt ovat myös samankaltaisia keskenään. Vskalt on välisenkan keskiarvolämpötila ja vs1lt on välisenkkälämpötila 1. mittaukseen perustuen.

Muuttujan vserohs1 4°C käyrän voi nähdä rajaavan X-merkit kartan alaosassa. Tämä tarkoittaa, että jos sarjan 1. sulatuksen välisenkkälämpötila on enemmän kuin 4°C ohje-

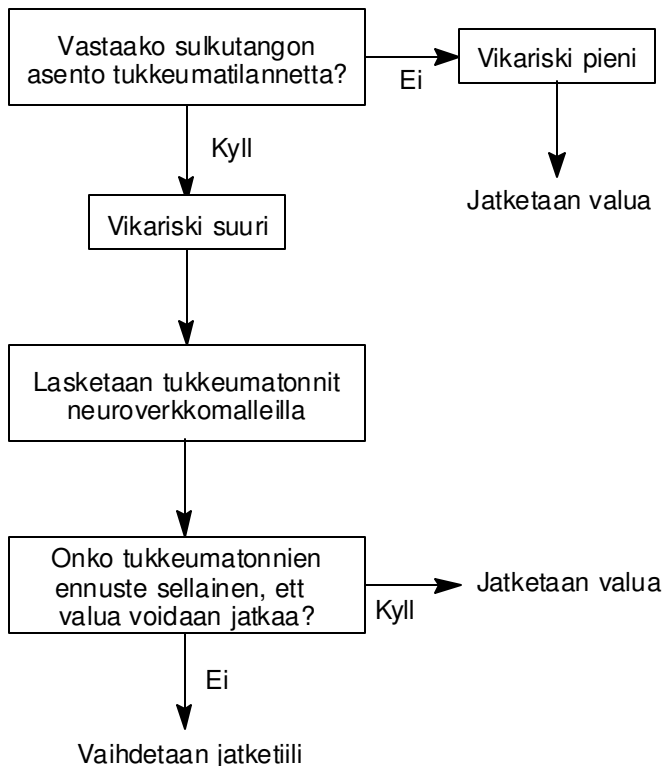
lämpötilaa alhaisempi, on tukkeentuminen todennäköistä. SOM-datasssa oli 25 ehjää ja 11 tukkeentunutta sarjaa eli tukkeentuneiden sarjojen osuus oli noin 45% 4°C-rajan alapuolella kartalla. Tätä tietoa testattiin datalla, jota SOM-analyysissä ei ollut käytetty. Testidatana käytettiin sulatusnumeroaluetta 33911–38505. Testidatassa oli 31 ehjää sarjaa ja 14 tukkeentunutta sarjaa. Tukkeentuneiden sarjojen osuus oli noin 35% testidatassa 4°C-rajan alapuolella. Kuitenkin tukkeentuneiden sarjojen keskimääräinen osuus oli noin 30% sekä SOM-, että testidatassa. Tästä syystä voi todeta, ettei 4°C-sääntö tuo merkittävästi lisää tietoa tukkeumariskin arviointiin.

Edellä esitetyllä SOM-analyysillä ei löydetty mainittavia tekijöitä tai muuttujia, jotka selittäisivät jatkeitielen tukkeentumista valusarjan 1., 2. ja 3. valujen perusteella valukoneilla 5 tai 6. SOM-analyysi suoritettiin taulukossa 11 esitetyille muuttujille aiheolaaduilla 1, 2, 3 ja 4. Sen mukaan data on hyvin samanlaista sekä ehjissä että tukkeentuneissa valusarjoissa.

## 5 JATKETIILEN TUKKEENTUMISEN ENNUSTAMINEN

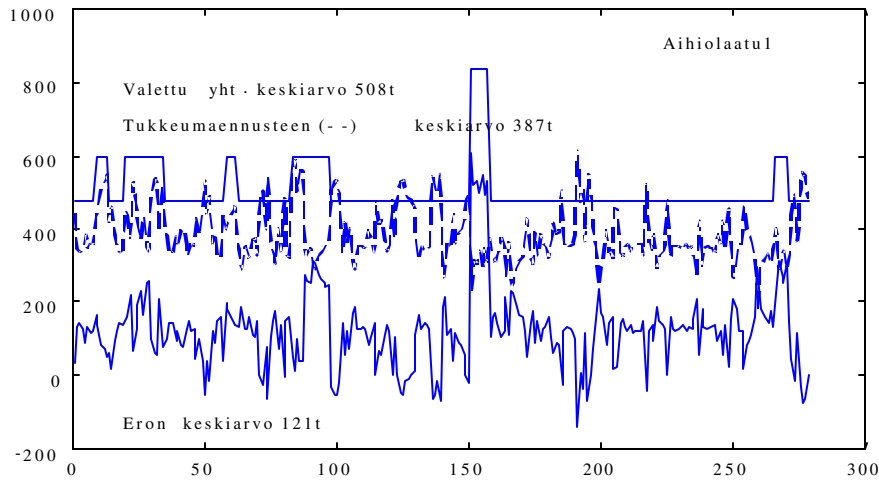
Tukkeuman ennustamisen 1. vaihe perustuu sulkutangon asennon mittaukseen. Erityisesti kunkin sulatuksen viimeinen asentotaso on oleellinen arvioitaessa, voidaanko seuraava sulatus valaa ilman tukkeentumista vai onko tukkeumariski erityisen suuri. Kohdassa 2 edellä esitettiin tilastoja, kuinka sulkutangon asento vaikuttaa tukkeentumiseen. Suurella yli 80% asennolla voitiin päätellä, että tukkeumariski on yli 60% seuraavassa sulatuksessa. Pienellä alle 62% asennoilla voidaan puolestaan päätellä, että tukkeumariski on alle 4% seuraavassa sulatuksessa. Koko aineistossa keskimäärin tukkeumariski oli 15%.

Kuvassa 7 on esitetty kaavio, kuinka sulkutangon asentotietoa voidaan käyttää. Jos sulkutangon asennon mukaan vikariski on suuri, niin tehdyillä neuroverkkomalleilla voidaan laskea tukkeumatonnit. Neuroverkkomallit toimivat tarkasti juuri tukkeumatilanteissa. Jos puolestaan vikariski on pieni, niin valua voidaan toistaiseksi jatkaa.



**Kuva 7.** Sulkutangon asentotiedon hyväksikäyttö tukkeuman ennustamisessa.

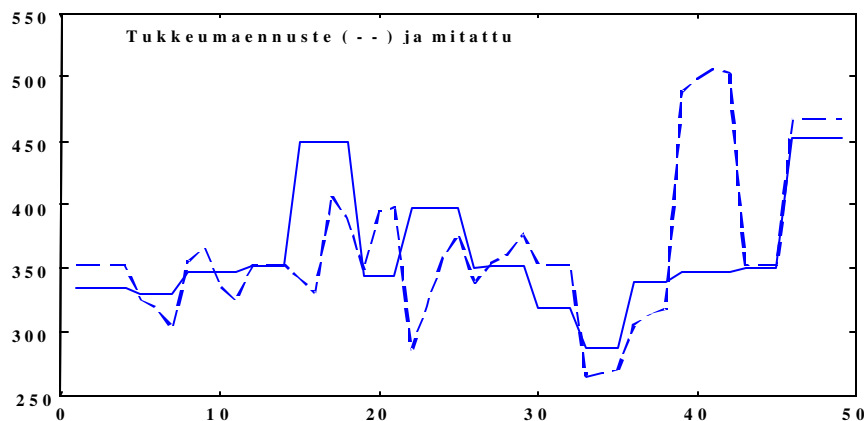
Neuroverkoilla tehdyt tukkeumatonnimallit eivät ennusta koskaan liikaa tonneja ehjissä sarjoissa. Ennustettu tonnimäärä voidaan yleensä valaa ilman tukkeumia. Testatuissa ehjissä sarjoissa on valettu keskimäärin yksi sulatus eli 120 t enemmän kuin mikä tukkeumaennusteen tonnimäärä on ollut. Kuvassa 8 on esitetty tukkeumamallin toiminta ehjissä sarjoissa valukoneen 6 1-aihoilla.



**Kuva 8.** Neuroverkon antaman tukkeumaennusteen toiminta ehjissä sarjoissa valukoneella 6. Valettu yhteensä keskimäärin 508 t, ero ennusteeseen keskimäärin 121 t. Pystyakseli kuvaa valutonneja.

Kuvan 8 neuroverkkoennuste ei näytä soveltuvan tukkeuman ennustamiseen suoraan. Neuroverkkoennuste voi kuitenkin toimia tarkentavana päättelynä suurilla vikariskeillä.

Kuvassa 9 on esitetty neuroverkon toiminta tukkeentuneissa sarjoissa. Kuvan 9 esimerkki on valukoneen 6 1-aihoilta. Neuroverkkoennuste toimii tyydyttävästi tukkeumatilanteissa.



**Kuva 9.** Neuroverkkoennusteen toiminta tukkeentuneissa sarjoissa. 84% ennusteesta pysyy +/- 60 t päässä mitatusta tukkeuman tonnimäärästä. Valukoneen 6 1-aihiot.

Kuvan 9 neuroverkkomallin sisäämenosuureet ovat: etunäytteen fosfori, sarjan 1. huuhtelunäytteen typpi, välisenkan lämpötilaero ohjeen ja sarjan 1. lämpötilan välillä, kokillin



leveys ja valun järjestysnumero. Neuroverkossa on käytetty 4 kpl  $y = \tanh(x)$ -funktioita ja 1 kpl lineaarista funktioita  $y = x$ . Verkossa on 29 parametria. Mallinnusvaiheessa ja opeteuksessa verkon lähtösuurena käytettiin tukkeumahetkellä valettua tonnimäärää. Kuvan 9 testivaiheessa verkon tehtävänä on laskea sisäämenosuureiden avulla tukkeumatonnit itsenäisesti.

Neuroverkko toimii parhaiten stabiileissa prosessiolosuhteissa. Prosessimuutosten jälkeen neuroverkko ei ole enää luotettava, ellei sitä opeteta uudelleen. Kuvan 9 tapuksessa ei voida varmuudella sanoa, onko prosessissa tapahtunut merkittäviä tukkeutumiseen vaikuttavia muutoksia. Testipisteen 40 paikkeilla ennuste poikkeaa mitatusta tukkeuman tonnimäärästä merkittävästi, mutta ennuste saavuttaa tarkkuutensa jälleen 45 testipisteestä eteenpäin.

## 6 YHTEENVETO

Sulkutangon pelkän asennon avulla voidaan erotella tukkentuneita ja ehjiä valusarjoja. Yli 80% asentotasoilla seuraava valu menee todennäköisemmin tukkoon kuin että ei mene. Alle 62% asentotasoilla tukkeumariski on alle 4% seuraavassa valussa. Erityisen suuri tai pieni vikariski voitiin osoittaa noin 20% tapauksista. Tässä tutkimuksessa keskityttiin tukkeumaa edeltävien sulatusten ja ehjien sarjojen viimeistä edellisen sulatuksen sulkutangon asentoihin. Nämä sulatukset olivat usein joko 3. tai 4. valuja. Käytännössä sulkutangon asennot 2., 3. ja 4. valun lopussa ovat tukkeuman ennustamisessa oleellisia. Jatketiili tukkeentuu useimmiten 3., 4. tai 5. valussa.

Sulkutangon asennon integraalille tai derivaatalle ei toistaiseksi löydetty laajaa käyttöä tukkeuman ennustamisessa. Integraalin ja derivaatan osalta aihioalaatukohtaisten tukkeumatapausten määrä oli analyysissä pieni. Jatkossa tukkeumatapauksia voidaan tarvittaessa tutkia lisää, jotta analyysin luotettavuus paranee.

Valunopeusminimin ei havaittu vaikuttavan suoraan tukkeentumiseen. Valunopeusminimin laskennassa käytettiin keskiarvovalunopeutta 200 sekunnin aikana. Keskiarvoista pienin valittiin valunopeusminimiksi. Valunopeusminimin analyysi jäi toisaalta kyseenalaiseksi aihioalaaduilla 2, 3 ja 4, joilla tukkeumia oli vähäinen määrä mukana.

SOM-karttojen mukaan tukkeentuneiden ja ehjien sarjojen data on samanlaista SULA-TUS-datassa. SOM-analyysi käsitti alle 360 t tukkeentuneet sarjat sekä yli 480 t valetut ehjät sarjat. Vain sarjan 1., 2., ja 3. valut olivat mukana vertailussa. SOM-analyysi tehtiin valukoneille 5 ja 6 kaikille aihioalaaduille 1, 2, 3 ja 4. SOM-analyysin mukaan SULA-TUS-datasta ei yksittäisten muuttujien suuruusluokkien avulla voi päätellä tukkeentumista suoraviivaisesti.

Jatketiilen tukkeuman ennustaminen näyttää tapahtuvan parhaiten sulkutangon asentoa mittaamalla ja tekemällä sen avulla johtopäätöksiä vikariskistä. Neuroverkoilla toimivat tukkeumaennusteet ovat käyttökelpoisia suurilla vikariskeillä, koska ennusteet ovat suhteellisen tarkkoja vikatapauksissa. Tukkeumatapauksissa neuroverkot antavat tukkeumaennusteen +/- 60t tarkkuudella vähintään 60% varmuudella valukoneelle 5 ja vähintään 70% varmuudella valukoneelle 6.

Sulkutangon asentotiedon avulla voidaan päätellä tukkeentumista 120 t haarukalla eteenpäin. Neuroverkolla tätä ennustetta voidaan tämän jälkeen tarkentaa, jos tukkeumariski osoittautuu suureksi. Pienillä vikariskeillä ennusteen tonnimäärän voi valaa täyteen, koska se ei ole yleensä liian optimistinen ehjissä sarjoissa. Kuitenkin neuroverkkomalleista kannattaa tässä yhteydessä todeta, että ne ovat herkkiä prosessimuutoksille. Jos prosessin ajotapa, arkkitehtuuriratkaisut sulatolla, viiveet, ym. muuttuvat, niin neuroverkkomallit ovat sen jälkeen virheellisiä, ellei niitä päivitetä. Yksin sulkutangon asentotiedon virittäminen tukkeumariskin mukaiseksi on perusteltua, jos prosessimuutoksia on odotettavissa lähiaikoina.