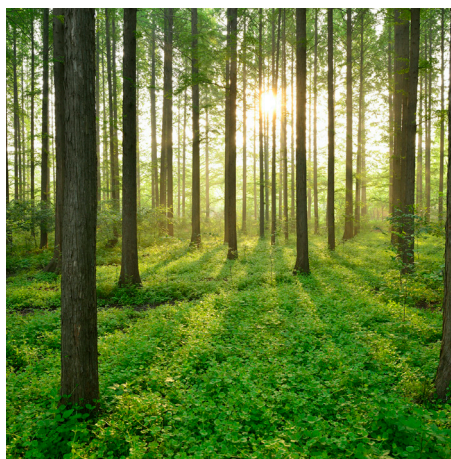


# OPTIMERAD VITLUTSPRODUKTION

RAPPORT 2024:1008



SKOGSINDUSTRIELLA  
PROGRAMMET



# Optimerad vitlutsproduktion

LARS WALLBÄCKS, WEDOMETRICS

ISBN 978-91-89919-08-2 | © Energiforsk april 2024

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se



## Förord

Målet med här projektet har varit att identifiera möjligheter och metoder för att bättre kunna reglera processerna för produktion av vitlut. Lars Wallbäcks har analyserat fabriks- och processdata för en period på cirka 6 månader från bruken Billerud Karlsborg och Holmen Iggesund. Data omfattade process och mätdata från smältalösare, släckare och kausticering ingick också.

En metod baserad på en kombination av densitet och Karbonat eller TTA implementerades i fabrik och testades för reglering av grönlut från smältalösare. En period med reglering mot jämn karbonathalt och en period med reglering mot jämn TTA. Reglering av jämn karbonathalt i grönlut till släckare simulerades i beräkningar med fabriksdata.

I rapporten beskrivs varför det uppstår variationer i grön och vitlut och vilka metoder som kan användas för att styra grönlutskvalité och kausticering för att få en så hög och jämn vitlutskvalité som möjligt, med reducerad risk för överkalkning.

Den här rapporten kan vara till stor hjälp i arbetet ute på bruken bland annat för att minska risken för överkalkning.

Stockholm i april 2024

Marie Kofod-Hansen  
Ansvarig för Skogsindustriella programmet

## Sammanfattning

Analys av fabriksdata visar att den kemiska sammansättningen på smältan och grönluten påverkas starkt av reduktionsgraden från sodapannan. Vid reglering mot konstant TTA, orsakar reduktionsgradsvariationer en ojämn karbonathalt. Vilket resulterar i ett varierande behov av kalk för att upprätthålla en jämn kausticering. Beräkningar med karbonatomsättning visar hur mängden karbonat som behöver omsättas till en önskad kausticeringsgrad, kan predikteras baserat på karbonathaltsmätningar av grönluten. Analysen visar också hur kalkregleringen förenklas om karbonathalten till släckaren hålls konstant. En jämn karbonathalt betyder mindre variation i jonstyrkan, vilket resulterar i en stabilare jämviktskonstant för kausticeringsreaktionen. En jämnare jämviktskonstant reducerar risken för överkalkning.

En generell reglerlösning för hur högfrekventa densitetsmätningar kan kombineras med lågfrekventa analyser av kemisk sammansättning för att nå en jämnare grönlutskvalité presenteras. Fabriksförsök med kombinationen av densitetsmätning och TTA, respektive densitetsmätningar och karbonathalt, visar att den föreslagna reglerlösningen resulterar i mindre variationer för grönlut från smältalösaren. Analys av fabriksdata visar att den kombinerade regleringen även kan användas för att minska variationer i TTA eller karbonathalt för grönluten till släckaren. Reglerlösningen är beskriven på ett sätt som gör en fabriksimplementering enkel.

Reglering mot jämn karbonathalt för grönluten till släckaren baserat på regleringen med en kombination av densitetsmätningar och karbonathalt, visar en möjlighet till minskade variationer i vitlutens kausticeringsgrad.

## Nyckelord

*Kausticering, Grönlut, TTA, Karbonatomsättning, Kausticeringsgrad, Smältalösare, Släckare, Kausticeringsstyrning, Vitlut, Vitlutsproduktion, Karbonat, kemikalieåtervinning, Reduktionsgrad, vitlutsberedning, EA.*

## Summary

Analysis of mill data identifies that the chemical composition of the smelt and green liquor is strongly affected by the reduction degree from the recovery boiler. When regulating towards constant TTA, uneven reduction degree causes variations in carbonate content, results in a corresponding variation in the need for lime to reach an even causticization. Calculations with carbonate conversion estimates the amount of carbonate that needs to be causticized to a desired degree of causticization. Which can be predicted based on carbonate content measurements of the green liquor. The analysis also shows how the methodology is simplified if the carbonate content of the green liquor to the slaker is kept constant. A constant carbonate content also means less variation in ionic strength, resulting in less variation in the equilibrium constant for the causticization reaction. A more stable equilibrium constant reduces the risk of overliming.

A general control solution for how high frequency density measurements can be combined with low frequency analyzes of chemical composition, to achieve a more uniform green liquor quality is presented. Mill tests with the combination of density measurement and TTA, respectively density measurements and carbonate content, show that the proposed control solution results in smaller variations for green liquor from the smelt dissolving tank. Analysis of mill data shows that the combined control also can be a way to reduce TTA or carbonate content variations of the green liquor to the slaker.

The process control solution is described in a way, that makes mill implementation simple.

The described control towards a uniform carbonate content for the green liquor to the slaker shows a possibility for reduced variations in the degree of causticization of the white liquor.

The control based on density and carbonate measurements, towards a uniform carbonate content for the green liquor to the slaker, opens a possibility for reduced variations in the causticization degree of the white liquor, due to more accurate lime addition.

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Introduktion</b>	<b>8</b>
1.1	Bakgrund	8
1.2	Mål	9
<b>2</b>	<b>Bakgrund</b>	<b>10</b>
2.1	Vitlutsproduktion	10
2.1.1	Smältalösaren	10
2.1.2	Effekt av utspädning	11
2.1.3	Processtyrning grönlut	12
2.1.4	Kausticeringen	12
2.1.5	Utfällning av salt (pirssonit)	12
<b>3</b>	<b>Genomförande</b>	<b>14</b>
3.1	Datainsamling	14
3.2	Dataanalys	14
3.3	Fabriksförsök	14
<b>4</b>	<b>Resultat</b>	<b>15</b>
4.1	Grönlut	15
4.1.1	TTA och Karbonat	15
4.1.2	Reduktionsgrad och karbonat	16
4.1.3	Reduktionsgrad och densitet	17
4.1.4	Densitet och karbonat	19
4.1.5	Densitetsmätning smältalösare	20
4.2	Grönlutsreglering	21
4.2.1	Fabriksförsök med ny reglering	23
4.2.2	Trimreglering grönlut till släckare	25
4.2.3	TTA karbonat eller densitet	27
4.3	Kausticeringen	27
4.3.1	Effektivt alkali och kausticeringsgrad i vitlut	27
4.3.2	Hydroxid i grönlut	29
4.3.3	Kausticeringen	29
4.3.4	Mängd karbonat att omsätta till önskad karbonatomsättning	31
4.3.5	Jämn karbonathalt till släckaren	34
4.4	Reglering av Kaldosering	36
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>37</b>
<b>6</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>38</b>
6.1	Reglering av smältalösare	38
6.2	Reglering av grönlut till släckare	38
6.3	Dosering av kalk i släckaren	38
<b>7</b>	<b>Fortsatt arbete och rekommendationer</b>	<b>39</b>

**8 Referenslista**

**40**



# 1 Introduktion

## 1.1 BAKGRUND

För att kunna producera vitlut av hög och jämn kvalitet och undvika överkalkning krävs en stabil process. Det är annars svårt att veta om observerade variationer beror på avsiktliga förändringar eller andra orsaker. De två flödena till kausticeringen är grönluten och den brända kalken. Grönluten skall ha en jämn kvalitet för att underlätta rätt dosering av bränd kalk. Den brända kalken doseras normalt med en skruvtransportör, där hastigheten styrs beroende på tillförd mängd grönlut och temperaturökning i släckare. Den vanliga metoden för att undvika överkalkning är att identifiera ett börvärde för kausticeringsgraden, CE, baserat på en generisk jämviktskurva samt en säkerhetsmarginal på ca 1-2 procentenheter. Detta börvärde brukar dock inte uppdateras med varierande grönlutskvalité. Den vanligtvis använda parametern för lutstyrkan TTA tar inte hänsyn till alla joner, varför totalhalten joner kan variera även vid ett jämnt TTA. Totalhalten joner (jonstyrkan) påverkar jämviktskonstanten för kausticeringsreaktionen och därmed CE gränsen för överkalkning. TTA är summan av hydroxid, sulfid och karbonat, vilket innebär att även vid jämt TTA lämnas möjligheter för karbonathalten att variera om sulfidhalten eller hydroxidhalten varierar. Karbonat är den enda del av innehållet i grönluten som reagerar med kalken i kausticeringen. En jämn karbonathalt förväntas därför underlätta till att skapa en stabil kausticeringsprocess. Att styra smältlösaren mot en jämn karbonathalt undersöktes tidigt i fabriksförsök, där slutsatsen var att smältlösaren bäst styrs mot en jämn karbonathalt, men att den då tillgängliga on-line mättekniken för karbonathalt var för långsam för direkt styrning, Theliander (1989). Mättekniken för karakterisering av grön och vitlut har utvecklats, och numera har de flesta massabruk tillgång till, förutom densitetsmätningar, också kemisk karakterisering av grön och vitlut baserat på on-line kopplade autotitreringsutrustning eller on-linekopplade spektroskopiska lutmätare.

Tillgången till precisa lutanalysdata och snabba densitetsmätningar öppnar möjligheter till reglerlösningar baserat på en kombination av flera mätsignaler. Användningen av kombinationer av snabba on-linemätningar och analysresultat från on-line lutanalyser är presenterade i tidigare studier. Kombinationen densitet och TTA för kontroll av grönlut från smältlösare, Wallbäcks (2017). Kombinationen densitet och karbonathalt för kontroll av grönlut från smältlösaren, Wallbäcks (2014). Kombinationen densitet och TTA för kontroll av

grönlut till släckare, Tolonen (1999). Kombinationen konduktivitet och kausticeringsgrad för kontroll av vitlut, Allison (2011). On-line analyser på grönlut för styrning av kalkdosering är studerat tidigare, med positiva resultat i fabriksförsök, Allison (2011). Resultat som motiverar fortsatta försök att utveckla bättre användning av kombinationer av befintlig mätteknik, i kombination med förbättrade reglerlösningar, för att söka nå en mer optimal vitlutsproduktion.

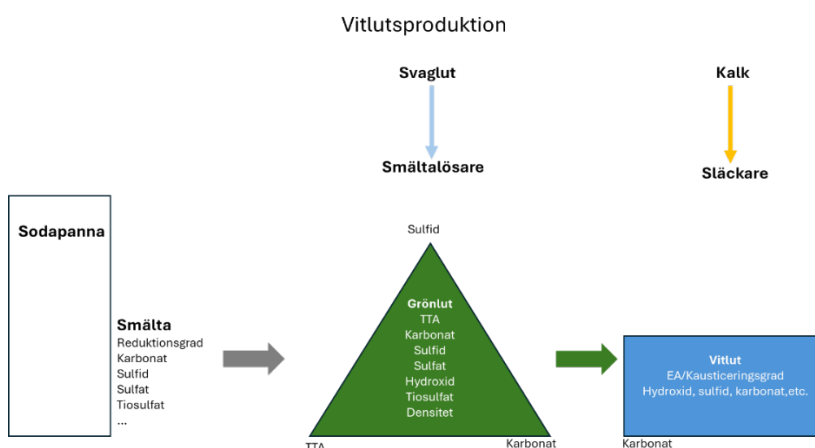
## 1.2 MÅL

Målet med projektet är att identifiera möjligheter och metoder att bättre reglera processerna för produktion av vitlut. Baserat på analys av fabriksdata, identifiera, analysera och förstå nuvarande variationer i grön och vitlut. Identifiera möjligheter att skapa effektivare reglersignaler baserat på kombinationer av befintliga onlinemätningar. Beskriva nya reglermetoder baserat på kombinerade mätsignaler. Identifiera metoder att kunna styra grönlutskvalité och kausticering för att producera en hög och jämn vitlutskvalité, med reducerad risk för överkalkning. Söka metoder, att baserat på mätdata kunna förutsäga risken för över respektive underkalkning. Utvärdera föreslagna nya regleringar med fabriksförsök eller via simulering med insamlade fabriksdata. Utredda hur nya och förbättrade kontrollstrategier kan implementeras i ett befintligt produktionssystem.

## 2 Bakgrund

### 2.1 VITLUTSPRODUKTION

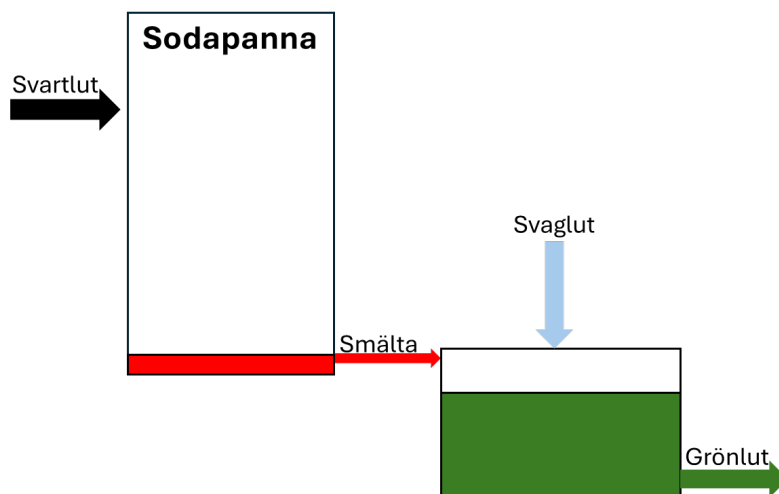
Vitlutsproduktionen är schematiskt sett en enkel process, figur 1 och figur 2. Svartlut förbränns i sodapannan. Smältan som blir kvar rinner genom löprännor ned i en smältalösare och bildar grönlut. Saltkoncentrationen i smältalösarens grönlut kontrolleras genom ett reglerat inflöde av svaglut. Utflödet av grönlut från smältalösaren blir lika som tillflödet av svaglut när fyllnadsnivån i smältalösaren hålls konstant. Efter smältalösaren passerar grönluten utjämningsstankar, klarnare och filter innan den pumpas in till släckaren. I släckaren tillsätts en anpassad/styrd mängd kalk. Karbonaten i grönluten omvandlar kalken till hydroxid. Grönluten byter då namn till vitlut. Vitluten passerar sedan flera kausticeringskärl innan den via klarnare eller filter blir färdig vitlut.



Figur 1 Schematiskt beskrivning av vitlutsberedningen från sodapannan till färdig vitlut

#### 2.1.1 Smältalösaren

Figur 2 visar en schematisk bild av hur svartlut tillförs sodapannan, smältan rinner ut till smältalösaren, svagluten tillförs smältalösaren och grönluten pumpas ut från smältalösaren. Smältaflödet till släckaren varierar och kan inte kontrolleras. Men på en utjämnad tidsskala blir inflödet av svartlut och utflödet av smälta väl korrelerad, på grund av massbalans. På en kortare tidsaxel varierar flödet av smälta från sodapannan mycket, även om löprännor regelbundet rensas/spettas för att försöka hålla smältaflödet jämnt.



Figur 2 Schematisk bild av flödet av svartlut till sodapannan, smälta till smältlösaren och grönlut från smältlösaren

Totalsvavelmängden i smältan varierar (variationer under dagar till månader), och regleras med makeup tillsats av svavel.

I smältan, grönluten och vitluten återfinns svavel som olika svavelsalter. Fram för allt som natriumsulfid och natriumsulfat. Men även som natriumsulfit, natriumtiosulfat och några andra svavelsalter. Mängden sulfid i förhållande till andra svavelsalter visar hur väl man lyckats reducera svavel till sulfid i smältan från sodapannan. Mängden Sulfid / totala mängden svavelsalter är den egentliga reduktionsgraden. På grund av svårigheter att enkelt mäta andra svaveljoner än sulfid och sulfat används i praktiken ofta natriumsulfid / (natriumsulfid + natriumsulfat) som mått på reduktionsgraden.

Med moderna on-line lutanalyser baserat på spektroskopi, mäts förutom sulfid och sulfat även tiosulfat vilket ger möjligheten att beräkna reduktionsgraden som sulfid/(sulfid+sulfat+tiosulfat). Vilket ger en lägre uppmätt reduktionsgrad då mängden tiosulfat kan vara betydande, upp till liknande halt som sulfat (Kassberg 1993). Laboratoriebestämd reduktionsgrad kan ibland vara bestämd med totalsvavelhalten vilket resulterar i lägre reduktionsgradsvärden jämfört med onlinemätningar där bara några svaveljoner inkluderas. Även provhanteringen kan påverka laboratorievärdena för reduktionsgraden, då sulfiden i uttagna prover kan oxideras vid kontakt med syre.

Den uppmätta reduktionsgraden ligger ofta inom 85-95 %.

### 2.1.2 Effekt av utspädning

Smältlösaren har en stor vätskevolym med det krävs ändå en reglering av svaglutsflödet för att reducera effekten av variationer i smältflödet. Alla grönlutmätningar (densitet, TTA, karbonathalt, refraktionsindex, etc.) reagerar på salthaltsvariationer. Men för att hantera snabba variationer i smältaflödet krävs mätningar med hög mätfrekvens, t.ex. densitetsmätning, för reglering av svaglutsflödet till smältlösaren.

Variationer i kemiska sammansättning, orsakad av reduktionsgradsvariationer, utjämnas till stor del i smältalösaren och ytterligare då grönluten nedströms passerar stora kärl (utjämningskärl, klarnare och grönlutstank) på väg till släckaren. Därför observeras i huvudsak relativt långsamma variationer i kemisk sammansättning.

### 2.1.3 Processtyrning grönlut

För att hantera korttidsvariationerna i smältaflödet används oftast densitetsmätningar för utspädningsregleringen. Till den snabba densitetsregleringen tillförs ofta en överordnad, manuell eller automatisk, styrning mot ett jämnt TTA. TTA är summan av hydroxid, sulfid och karbonat i grönluten.

Reduktionsgraden varierar med andelen sulfid i smältan medan andelen karbonat i smältan är relativt konstant. En styrning av spädningen mot ett jämnt TTA medför att både sulfidhalten och karbonatandelen kommer att variera med reduktionsgraden. När sulfidhalten sjunker på grund av låg reduktionsgrad, så minskar spädningen för att kunna hålla ett jämnt TTA. Mindre spädning resulterar i ökad karbonathalt, totalkoncentrationen av salt i grönluten, densitet och jonstyrka.

### 2.1.4 Kausticeringen

Kausticeringsreaktionen är en jämviktsreaktion där släckt kalk,  $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s})$  reagerar med karbonat,  $\text{CO}_3^{2-}$ , och bildar hydroxid,  $\text{OH}^-$ , och kalciumkarbonat,  $\text{CaCO}_3(\text{s})$ .



Reaktionens jämviktskonstant varierar med lutens jonstyrka (saltmängd/liter).

$$K = [\text{OH}^-]^2 / [\text{CO}_3] \quad (K \text{ är jämviktskonstant för kausticeringsreaktionen})$$

Förändring av jämviktskonstanten medför att mindre andel av karbonaten kommer att kunna reagera och bilda hydroxid vid högre jonstyrka (Lindberg 1981).

Hydroxid i grönluten före kausticeringen reducerar mängden karbonat som kommer att kunna omsättas till hydroxid. Hydroxid i grönluten kommer med svagluten och bildas också när  $\text{Na}_2\text{S}$  i smältan hydrolyseras i smältalösaren till  $\text{SH}^-$  och  $\text{OH}^-$ .

### 2.1.5 Utfällning av salt (pirssonit)

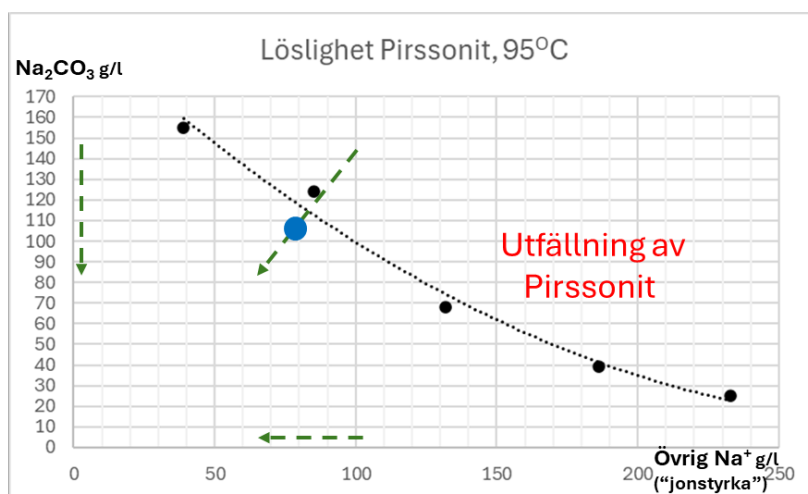
I grönluten försöker man hålla saltkoncentrationen hög, utan att samtidigt få processproblem. Ett vanligt processproblem är saltutfällningar i smältalösaren och i ledningar, vanligtvis pirssonit eller karbonat. Risken för utfällningen av pirssonit är beroende av totaljonkoncentrationen och koncentrationer av olika salter i

grönluten (Frederick 1990). Figur 3, som är från litteratordata (Frederick 1990), visar hur risken för pirssonitutfällning beror av jonstyrkan och karbonatkonzentrationen. Om jonstyrkan eller karbonathalten ökar kan gränsen för lösligheten av pirssonit överskridas. I figuren finns en grön pil som visar hur förändringar i reduktionsgraden påverkar jonstyrkan och karbonathalten, vid en jämn TTA på grönluten. Pilen visar att när reduktionsgraden minskar ökar både karbonathalten och jonstyrkan och man närmar sig löslighetsgränsen för pirssonit.

I figuren finns också en blå prick som indikerar att om man reglerar mot en jämn karbonathalt så kommer förändringar i reduktionsgrad inte att överföras till variationer i karbonathalt eller jonstyrka.

(Karbonatandelen av den totala saltmängden är relativt konstant, vilket visas av att densiteten samvarierar med karbonathalten, figur 12).

En reglering mot en jämn karbonathalt innebär därför en minskad risk för pirssonitutfällningar vid reduktionsgradsvariationer.



Figur 3 Diagram med beräknad gräns för lösligheten av pirssonit beroende av karbonathalten och totalhalt övrig natrium

## 3 Genomförande

### 3.1 DATAINSAMLING

Fabriks och processdata för en period om cirka 6 månader, sammanställdes för de två bruken Billerud Karlsborg och Holmen Iggesund. Data omfattade process och mätdata från smältalösare, släckare och kausticering.

### 3.2 DATAANALYS

Data har analyserats med avseende på att identifiera, förstå och förklara variationer, i syfte att kunna föreslå nya processregleringar baserat på användning av befintliga mätsignaler. Data användes också till simuleringsberäkningar för att utvärdera möjligheter och effekter av nya alternativa regleringar.

### 3.3 FABRIKSFÖRSÖK

En metod baserad på en kombination av densitet och Karbonat eller TTA implementerades i fabrik och testades för reglering av grönlut från smältalösare. En period med reglering mot jämn karbonathalt och en period med reglering mot jämn TTA.

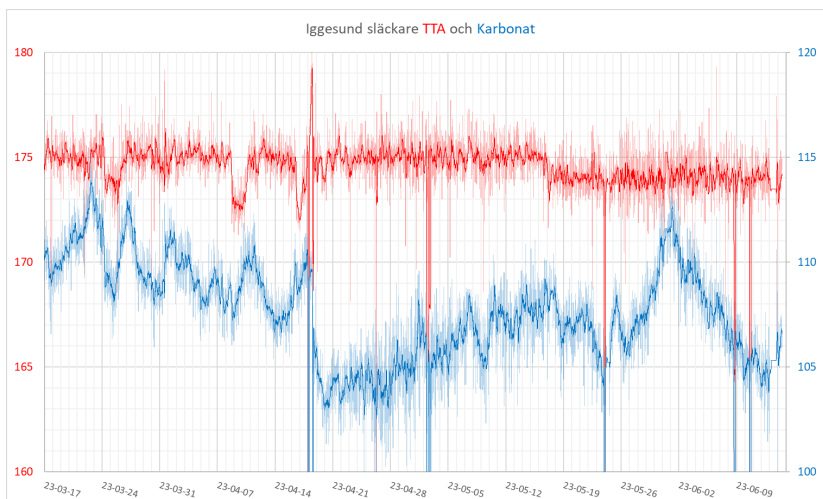
Reglering av jämn karbonathalt i grönlut till släckare simulerades i beräkningar med fabriksdata.

## 4 Resultat

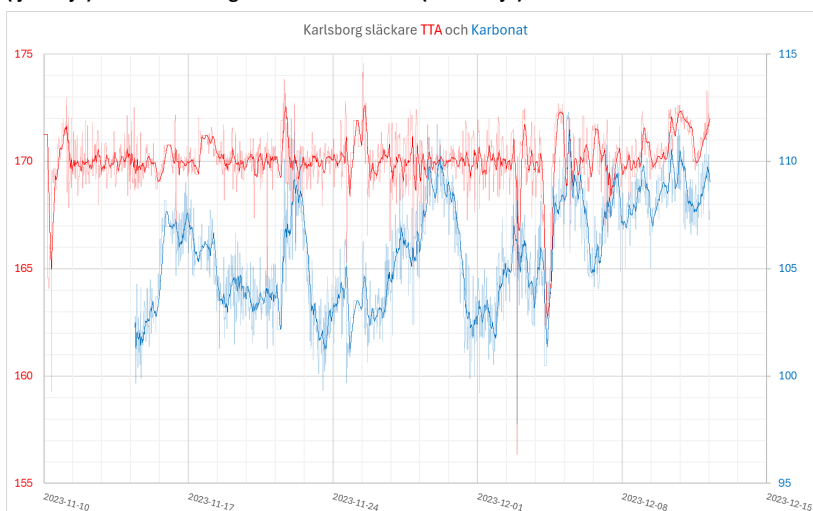
### 4.1 GRÖNLUT

#### 4.1.1 TTA och Karbonat

Båda fabriker strävar efter att späda med svaglut till en jämn TTA halt. För grönluten till släckaren visar data från båda fabriker en relativt liten TTA variation, röda linjer i figur 4 och figur 5. I figurerna (4 och 5) redovisas också variationen i karbonathalten, blå linjer. För båda fabriker är variationerna i karbonathalt stora. Långtidsvariationerna i karbonathalt är närmare 10 %, när TTA hålls välkontrollerad. Vilket visar en variation i kemisk sammansättningen av grönluten, orsakad av variationer i smältan från sodapannan. Låg reduktionsgrad ger en hög karbonathalt vid reglering mot konstant TTA. Hög reduktionsgrad medför en lägre karbonathalt vid reglering mot konstant TTA.



**Figur 4** Variationen i TTA (vänster y-axel) och karbonathalt (höger y-axel) i Iggesundfabriken. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje)

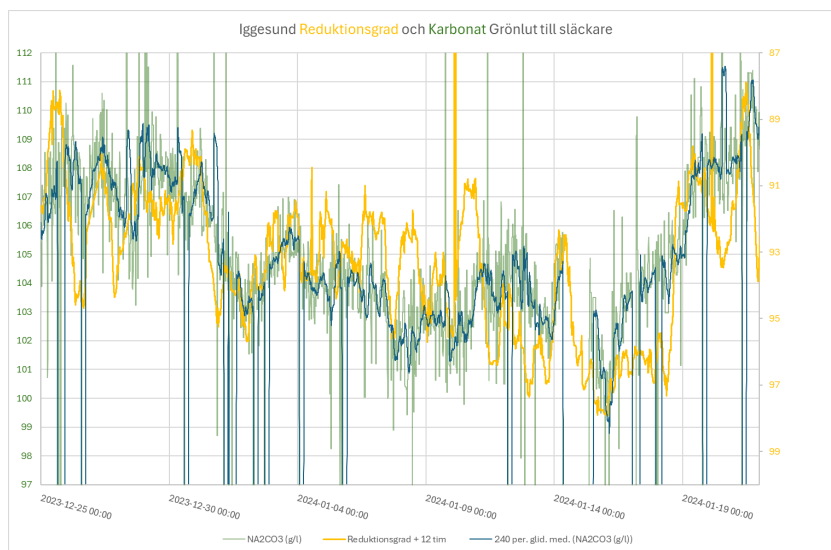


**Figur 5** Variationen i TTA (vänster y-axel) och karbonathalt (höger y-axel) i Karlsborgfabriken. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje)

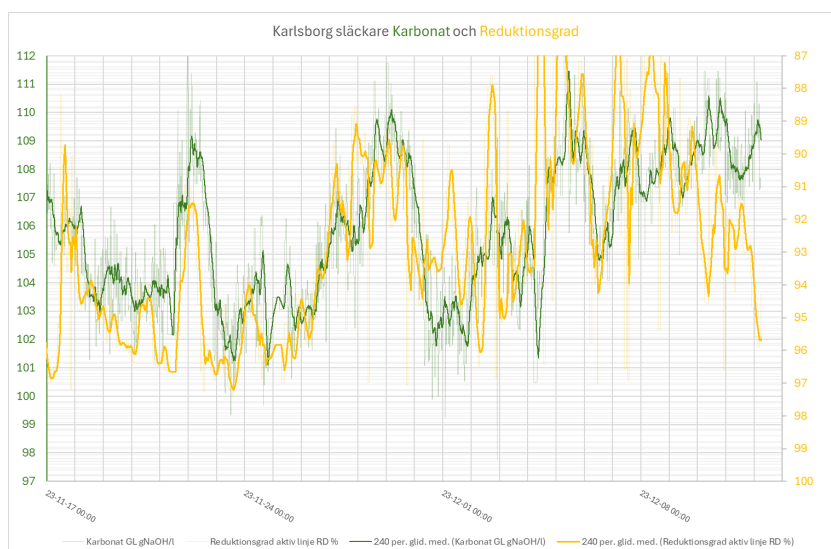


#### 4.1.2 Reduktionsgrad och karbonat

Figur 6 och figur 7 visar reduktionsgraden (med 12 timmars förskjutning) och karbonathalten till släckaren för en månadslång period från respektive fabrik. Reduktionsgraden varierar från ca 87 % till 97%. Karbonathalten varierar med ca 10% (10 g/l). Samvariationen mellan reduktionsgrad och karbonathalt visar att, med den befintliga TTA regleringen, överförs variationer i reduktionsgrad till karbonathaltsvariationer.



**Figur 6** Variationen i Reduktionsgrad (förskjuten + 12 timmar) (höger y-axel) och karbonathalt till släckare (vänster y-axel) i Iggesundfabriken. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje)

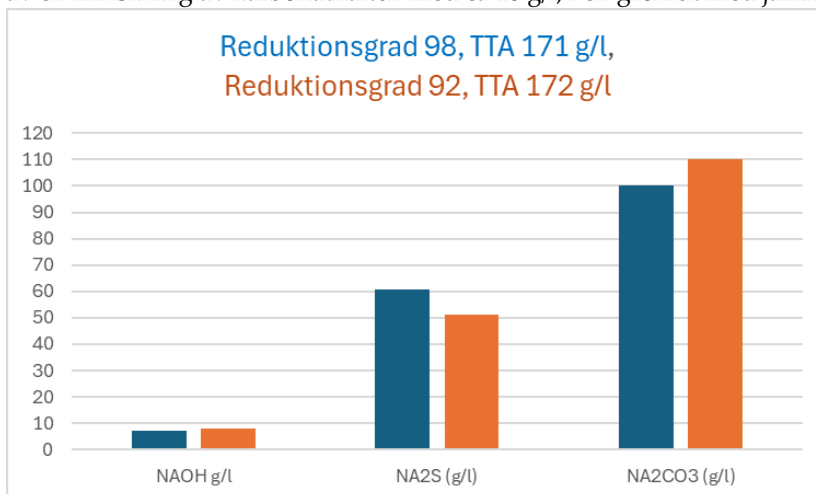


**Figur 7** Variationen i Reduktionsgrad (förskjuten + 12 timmar) (höger y-axel) och karbonathalt till släckare (vänster y-axel) i Iggesundfabriken. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje)

En TTA reglerad grönlutsproduktion innebär att när reduktionsgraden och sulfidhalten i smältan blir hög krävs det mer spädning för att hålla ett jämnt TTA. En hög spädning ger en lägre karbonathalt.

Om sulfidhalten i smältan sjunker blir spädningen lägre för att hålla en jämn TTA. En låg spädning ger en högre karbonathalt.

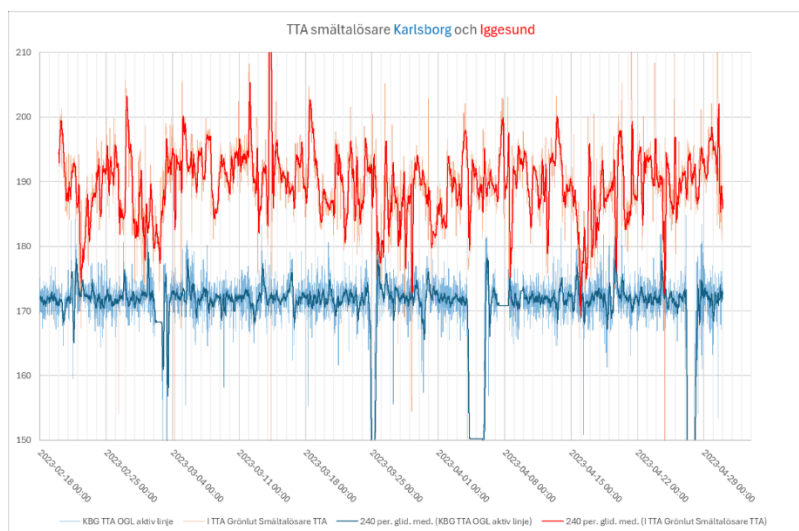
Fabriksdata i figur 8 illustrerar hur en ökning av sulfidhalten med ca 10 g/l motsvaras av en minskning av karbonathalten med ca 10 g/l, i en grönlut med jämnt TTA.



Figur 8 Halter av hydroxid, sulfid och karbonat för två grönlutsprover med liknande TTA halt

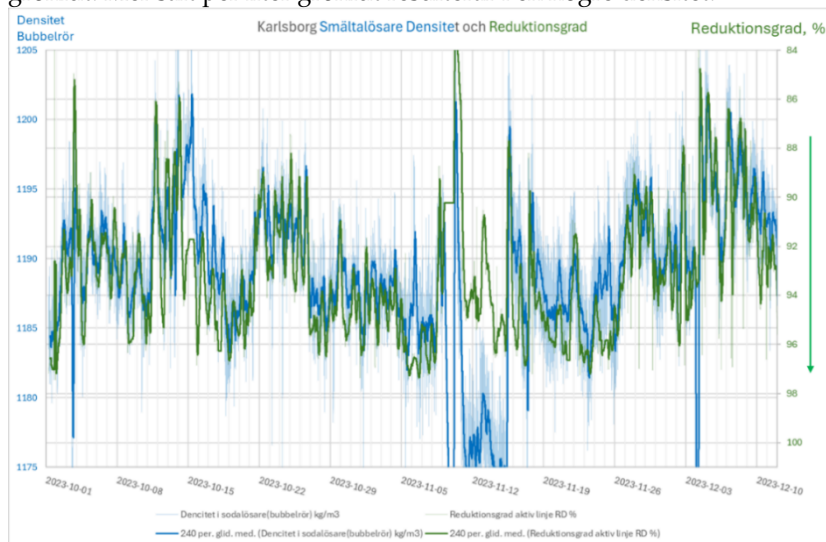
#### 4.1.3 Reduktionsgrad och densitet

Karlsborg har TTA-reglering av smältalösaren som resulterar i en liten TTA - variation i grönluten från smältalösaren, blå linje i figur 9. Iggesund har en mer utpräglad densitetsreglering och får en relativt stor TTA-variation i grönluten från smältalösaren, röd linje i figur 9.



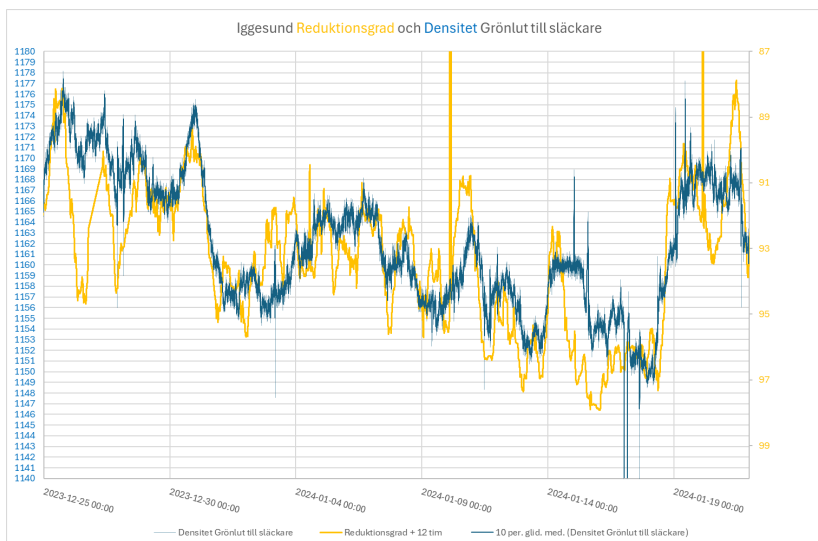
**Figur 9 TTA variationer i grönlut från smältalösaren. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje). Blå linje är Karlsborg och röd linje är Iggesund.**

Figur 10 visar hur reduktionsgraden och grönlutsdensiteten från smältalösaren varierar under en 2 månaders period i Karlsborgsfabriken. Reduktionsgraden varierar under perioden 85-97%. Variationen i uppmätt grönlutsdensitet följer reduktionsgradsvariationen. Figuren visar att vid en fungerade TTA-reglering så följer grönlutsdensiteten reduktionsgraden. När reduktionsgraden är låg minskar sulfidhalten i smältan då en stor del av grönlutens svavel föreligger som sulfat och andra svavelsalter, vilka inte inräknas i TTA. För att hålla TTA konstant måste spädningen minska när sulfidhalten i smältan minskar, vilket innebär mer salt per liter grönlut. Mer salt per liter grönlut resulterar i en högre densitet.



**Figur 10 Variationen i Reduktionsgrad (höger y-axel, omvänd riktning) och densitet (vänster y-axel) i Karlsborgsfabriken. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje). Blå linje är densitet och grön linje är reduktionsgrad**

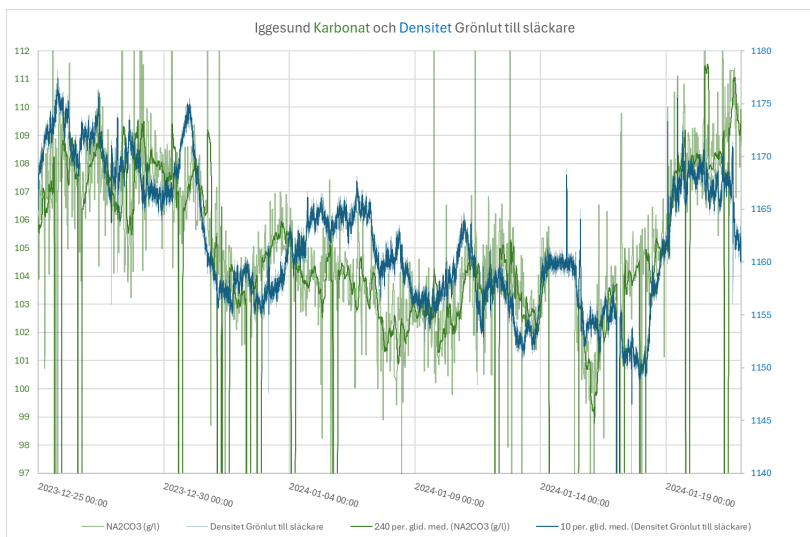
Figur 11 visas densitet och reduktionsgrad (axel i omvänd riktning) för grönluten till släckaren i Iggesund. Även här blir det tydligt hur grönlutsdensiteten följer variationer i reduktionsgrad när TTA är under kontroll.



**Figur 11** Variationen i Reduktionsgrad (förskjuten + 12 tim) (höger y-axel, omvänd riktning) och densitet till släckaren (vänster y-axel) i Iggesundfabriken. 4 timmars glidande medelvärde för reduktionsgrad respektive 10 minuters glidande medelvärde (ljus linje) och 10 minuters glidande medelvärde (mörk linje) för densitet till släckaren. Blå linje är densitet och gul linje är reduktionsgrad

#### 4.1.4 Densitet och karbonat

Figur 12 visar att, för grönluten till släckare i Iggesund, så följer karbonathalten densitetsvariationerna under perioden (samma period som i figur 11).



**Figur 12** Variationen i karbonathalt (vänster y-axel) och densitet (höger y-axel) i Iggesundfabriken. 1 minutersdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje) för reduktionsgraden. 1 minutersdata (ljus linje) och 10 minuters glidande medelvärde för densiteten. Blå linje är densitet och grön linje är karbonathalt

Resultaten visar att, vid en välreglerad TTA, så kommer både grönlutens karbonathalt och densitet att följa variationen i reduktionsgrad.

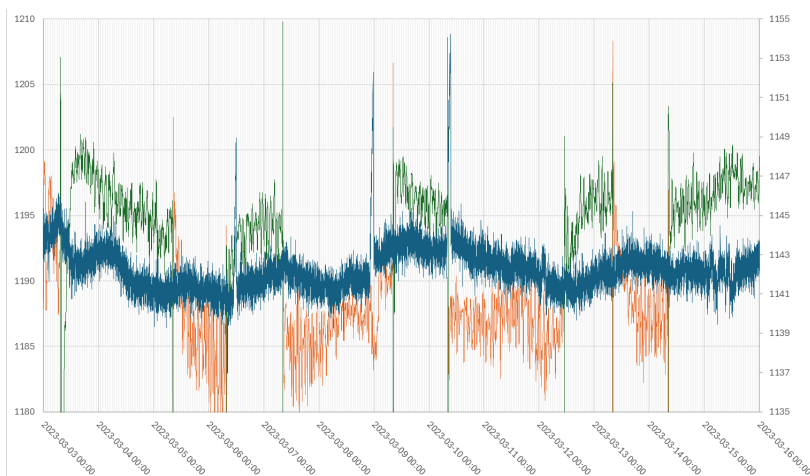
#### 4.1.5 Densitetsmätning smältalösare

I smältalösaren mäts densiteten på grönluten ofta med bubbelrör eller refraktometer. Densiteten kan också mätas på grönluten i ledningarna från smältalösaren, med x-ray mätning genom rören eller refraktometermätning i rören.

I Iggesund mäts densiteten med x-ray genom grönlutsledningarna från smältalösaren. Då grönlutsledning från smältalösaren och svaglutsledning till smältalösaren skiftas med ca 1 dygns intervall finns en x-ray densitetsmätare på varje ledning.

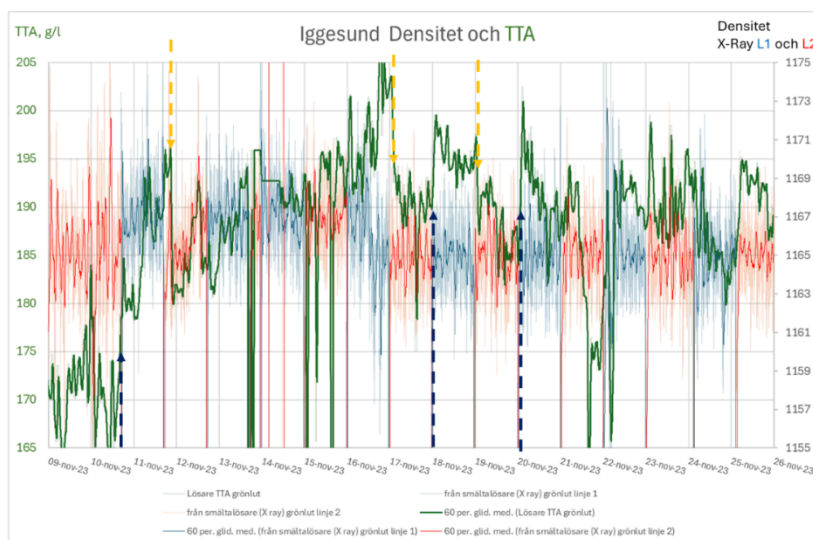
I Karlsborg mäts densiteten på grönluten i smältalösaren med bubbelrör. I ledningarna från smältalösaren mäts grönlutens densitet med refraktometrar. Grönlutsledningen och svaglutsledningen växlas med ca 1 dygns intervall, därför finns refraktometermätare i båda ledningarna.

Figur 13 visar densitetsmätningar från Karlsborgsfabriken. Blå linjen är densiteten uppmätt med bubbelrörsmätaren i smältalösaren. Eftersom bubbelrörsmätningen är i smältalösaren, blir den oberoende av ledningsbytena och kontinuerlig. Orange linje är densitetsmätning med refraktometer i ledning 1 vilken ger grönlutsinformation när ledningen används för grönlut, och däremellan mätning på svaglut till smältalösaren. Den gröna linjen är motsvarande refraktometermätning för densitetsmätning på ledning 2, som innehåller svaglut när linje 1 innehåller grönlut och grönlut när linje 1 innehåller svaglut. Figur 13 visar att när ledningarna skiftas, byte från grön till orange densitetssignal, registreras densitetsvärden med en offsetskillnad. Den gröna linjen från ledning 2 ger en högre densitetssignal och den röda linjen ger en lägre densitetssignal vid mätning på grönluten, som enligt bubbelrörsdensiteten är "jämn". Då refraktometermätningarna används för processtyrning av svaglutsflödet till smältalösaren, måste offsetskillnader mellan mätarna på de olika linjerna hanteras för att förhindra att linjebyten skall resultera i "hopp" i TTA. Den jämna bubbelrörsdensiteten visar att, med den använda smältalösarregleringen, lyckas man hantera offsetskillnaden mellan refraktionsmätarna. Om i stället bubbelrörsdensiteten skulle användas för smältalösarregleringen, elimineras risken för hopp i TTA vid linjebyten.



**Figur 13** Densitetsmätning smältalösare Karlsborg. Bubbelförändring, blå linje (höger y-axel). Refraktometermätt densitet linje 1, orange linje och refraktometermätt densitet linje 2, grön linje (vänster y-axel).

Figur 14 visar densitets och TTA-data för en tidsperiod från Iggesund. Här regleras smältalösaren på densitetssignalerna från x-ray mätare på ledningarna från smältalösaren. Det är två ledningar som växlas mellan att leda bort grönlut eller att tillföra svaglut. I figur 14 framgår att densiteten hålls jämn med variationer mellan 1163-1167 (med små börvärdesändringar). TTA varierar mycket och det blir ofta hopp i TTA vid ledningsbyten. Gula pilar i figuren indikerar hopp i TTA vid byte från linje 1 till linje 2, och lila pilar hopp i TTA vid byte från linje 2 till linje 1.



**Figur 14** Densitetsmätning och TTA smältalösare Iggesund. TTA, 1 timmes medelvärde, grön linje (vänster y-axel). X-ray mätt densitet linje 1, 1 minutsdata (ljus linje) och 1 timmes glidande medelvärde (mörk linje), blå linje. X-ray mätt densitet linje 2, 1 minutsdata (ljus linje) och 1 timmes glidande medelvärde (mörk linje), röd linje.

## 4.2 GRÖNLUTSREGLERING

Analysen av fabriksdata för Iggesund visar att grönluten från smältalösaren har en stor variation i TTA, figur 14. Regleringen baseras på densitetsmätning på de två ledningar som växelvis används för grönlut och svaglut. En övergripande

målsättning är att hålla TTA vid ett börvärde, vilket innebär att börvärdet för densiteten kan ändras baserat på när manuella observationer visar på en trend med avvikande TTA-värden. En reglerstrategi som går att automatisera med en reglering där densitetsmätningen och TTA-mätningen kopplas i samma reglering.

Principen för den nya regleringen är samma som med dagens reglering, förutom att i stället för att använda manuella observationer av uppmätta trender i TTA används en automatisk kompensation baserad på on-line TTA-mätningar.

Den nya regleringen använder, på samma sätt som idag, den uppmätta densiteten för regleringen. Med den skillnaden att avvikelser mellan uppmätt TTA och börvärdet för TTA automatiskt tillförs till reglersignalen, för att minska variationen i TTA.

Rent praktiskt så används samma PID-reglering som idag, med en automatisk justering av reglersignalen.

Här valdes att automatiskt uppdatera ärvärdet för densiteten i regleringen.

(Men man skulle också kunna välja att automatiskt uppdatera börvärdet och erhålla samma resultat.)

### **Med en automatisk uppdatering av densitetsärvärdet**

Den föreslagna densitetsregleringen reglerar på ett automatiskt uppdaterat densitetsärvärde, "nytt densitetsärvärde".

"Nytt densitetsärvärde" är uppmätt densitetsärvärde + offset.

"Offset" är en konstant som uppdateras med samma intervall som TTA-mätningen utförs (idag 40 minuter).

Offset är ackumulerade summan av skillnaderna mellan uppmätt TTA och börvärdet för TTA.

(varje ny skillnad adderas till befintlig offset)

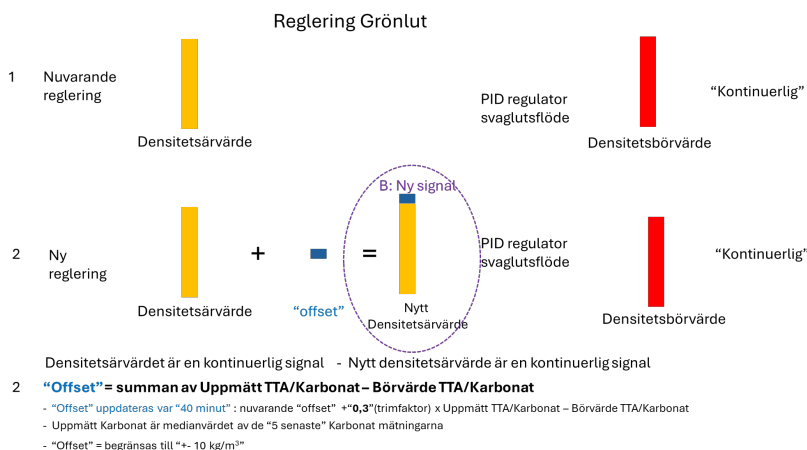
För att hantera enskilda "felaktiga" mätningar i TTA används inte varje enskild TTA-mätning för att uppdatera offset. I stället beräknas medianvärdet av ett valt antal av TTA-mätningarna, och skillnaden mellan det beräknade medianvärdet och börvärdet för TTA tillförs till offset.

Som en extra optimeringsmöjlighet inkluderas också en trimfaktor som anger hur stor andel av den beräknade skillnaden mellan medianvärdet och börvärdet som skall tillföras till offset vid varje tillfälle.

Som en säkerhetsfunktion sätts gränsvärden för hur stor offset får bli

(t.ex. +/- 10 g/l).

Exakt samma reglering används om man vill reglera mot en jämn karbonathalt. Då beräknas offsetet i stället som summan av uppmätt karbonat – börvärde karbonat.



Figur 15 Schematisk bild som visar skillnaden mellan nuvarande reglering och den föreslagna nya regleringen. Blå offset är den konstant som tillförs densitetsvärdet i regleringen. Konstanten offset uppdateras vid varje ny TTA/karbonatmätning. Båda regleringarna blir lika kontinuerliga.

Regleringen är användbar både för att reglera svaglut till smältlösaren och för att trimreglera svaglut till grönluten före släckaren.

Hopp i TTA vid linjebytten orsakat av offset mellan densitetsmätare är svårhanterliga i reglering, figur 14. Ett sätt att hantera det är med individuella densitetsbörvärden för respektive mätare/linje, vilket görs i Karlsborg, där det inte går att observera några hopp i bubbelrörsdensiteten vid linjebytten, figur 13.

Att använda en densitetsmätare i smältlösaren, som inte berörs av linjeändringar, t.ex bubbelrörsmätare, är ett alternativ för att eliminera effekter av linjebytten.

Väljer man att använda samma börvärde för båda densitetsmätarna kommer offset, pga kalibreringsfel, att slå igenom vid linjeyt. Det blir då viktigt att minimera kalibreringsfelen.

Även den föreslagna regleringen riskerar TTA hopp vid linjeyt.

Men regleringen kommer automatiskt att börja styra mot TTA-börvärdet. Med glesa TTA- mätningar, medianvärde från flera mätningar, och trimfaktor, så tar det tid för regleringen att hantera hopp i TTA.

#### 4.2.1 Fabriksförsök med ny reglering

I ett fabriksförsök användes den nya regleringen för att reglera svaglutsflödet till smältlösaren. TTA-börvärdet sattes till 185 g/l.

Figur 16 visar hur TTA varierar före försöket och under försöket. För båda perioderna är korttidsvariationen stor, orsakad av TTA-hopp vid linjebytten på grund av offset mellan de två densitetsmätarna. Den nya regleringen återför TTA



relativt fort mot TTA-börvärdet. Storleken på den initiala förändringen efter linjebyte är direkt kopplat till offset mellan densitetsmätarna.

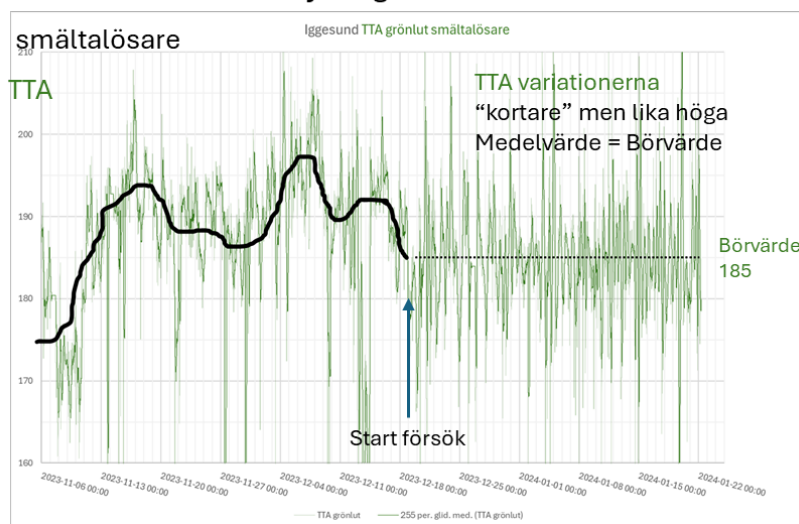
Figuren visar att långtidsvariation i TTA före försöket är stor, mellan 175-200 g/l.

För försöksperioden är långtidsvariationen borta med TTA lika som börvärdet.

Resultatet visar att den nya regleringen ger en automatisk kontroll av långtidsvariationer.

Med den nya regleringen är korttidsvariationerna lika stora, men återgången mot TTA-börvärdet är snabb. Tätare TTA-mätningar, högre trimfaktor och att minska medianberäkningen från de 5 senaste mätningarna till de 3 senaste mätningarna, eller bara den senaste mätningen (utan medianfiltrering), är sätt att ytterligare snabba på återgången mot TTA-börvärdet.

## 2. Fabriksförsök TTA styrning 18 Dec –

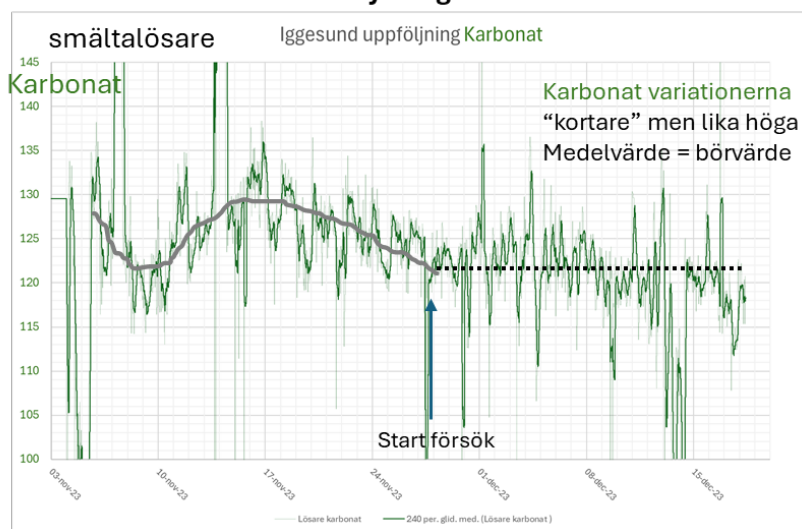


Figur 16 Variationer i TTA från smältlösare i Iggesund. Före och under försök med ny kombinerad densitet/TTA-reglering. 1 minutsvärden (ljus linje) och 255 minuters glidande medelvärde (mörk linje).

Det genomfördes också en försöksperiod med den nya styrningen, mot en jämn karbonathalt, Figur 17.

Regleringen är lika som TTA-regleringen förutom att ett karbonatbörvärde används i stället för ett TTA-börvärde. Regleringen förväntas därför att ge liknande resultat. Också för försöket med karbonat blir långtidsvariationen liten. Korttidsvariationen blir lika stor, men den nya regleringen återför karbonathalten snabbt mot börvärdet. (Försöket stördes delvis av att en parallell målsättningen att hålla jämt TTA låg kvar i driftsinstruktionerna)

## 1. Fabriksförsök karbonatstyrning 27 nov – 18 Dec



Figur 17 Variationer i Karbonatfrån smältalösare i Iggesund. Före och under försök med ny kombinerad densitet/karbonat reglering. 1 minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje).

### 4.2.2 Trimreglering grönlut till släckare

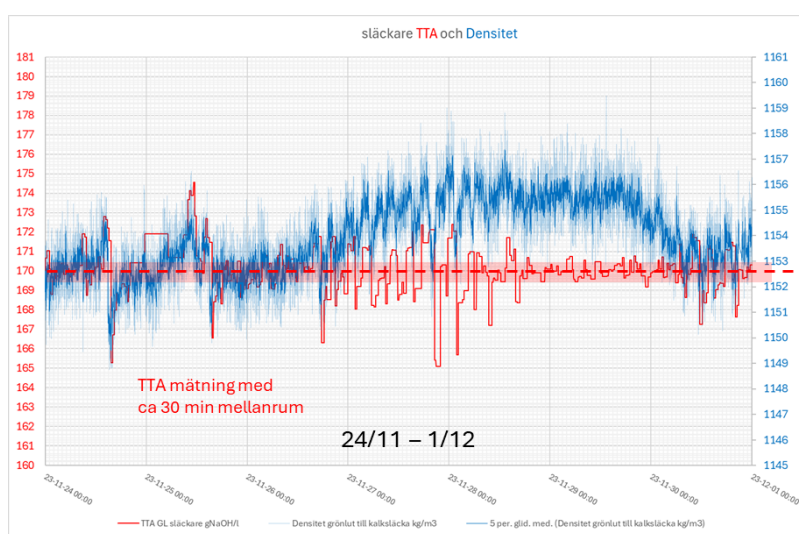
För trimreglering av grönluten till släckaren genomfördes inget fabriksförsök med den nya regleringen. Men analys och simuleringar med fabriksdata visar att även om TTA-variationen för grönluten till släckaren är relativt liten, skulle en användning av den nya regleringen kunna reducera den ytterligare. Figur 18 redovisar en veckas variation i grönluten till släckaren i Karlsborg, densitet och TTA. Ur figuren framgår att TTA följer korttidsvariationerna i densitet, men inte långtidsvariationen. TTA uppvisar en stor korttidsvariation som är korrelerad med liknande variation i densitet. Korttidsvariationen kan förklaras som koncentrationsvariationer, dvs salthalten i grönluten. Saltsammansättningen förväntas inte att variera på en kort tidsskala då snabba variationer i saltsammansättning utjämnas i smältalösare, klarnare och utjämningskärl. Saltsammansättningsvariationer förväntas visa sig som långsamma skillnader mellan olika mätparametrar för luten (TTA, karbonathalt, sulfidhalt, hydroxid och densitet).

Figur 18 visar att regleringen är en fungerande TTA-reglering mot ett TTA-börvärde medan densiteten tillåts variera.

Densitetsmätningen är en nästan kontinuerlig mätning och en reglering mot den signalen skulle vara mycket snabb även med en trimfaktor (filtrering). Med en densitetsreglering förväntas att densitetssignalen bli jämn kring ett valt densitetsbörvärde, t.ex 1153. Med mycket små korttidsvariationer. Även TTA skulle få små korttidsvariationer då differensen mellan TTA och densitet varierar långsamt beroende på utjämnningen i tankarna (smältalösare, klarnare och utjämningskärl).

Långtidsdrift mellan densitet och TTA, skulle med en ren densitetsreglering, orsaka en långtidsvariation i TTA. För perioden den 26/11 till den 30/11 skulle TTA driva långt från sitt önskade värde, och hamna på ca 4 g/l lägre värde (ca 166 g/l).

Med den föreslagna regleringen, där TTA och densitet kombineras, skulle korttidsvariationen i densitet och TTA minska på samma sätt som med en ren densitetsreglering. Offset tillägget i den föreslagna regleringen baserad på TTA-mätningar, skulle automatiskt justera reglersignalen så att TTA inte skulle få någon långtidsvariation från ett TTA-börvärde. I det här fallet är långtidsavvikelsen mellan TTA och densitet orsakad av en varierande reduktionsgrad. En variationskälla som förutom drift och fel i densitetsmätaren, hanteras i den nya densitet/TTA regleringen.



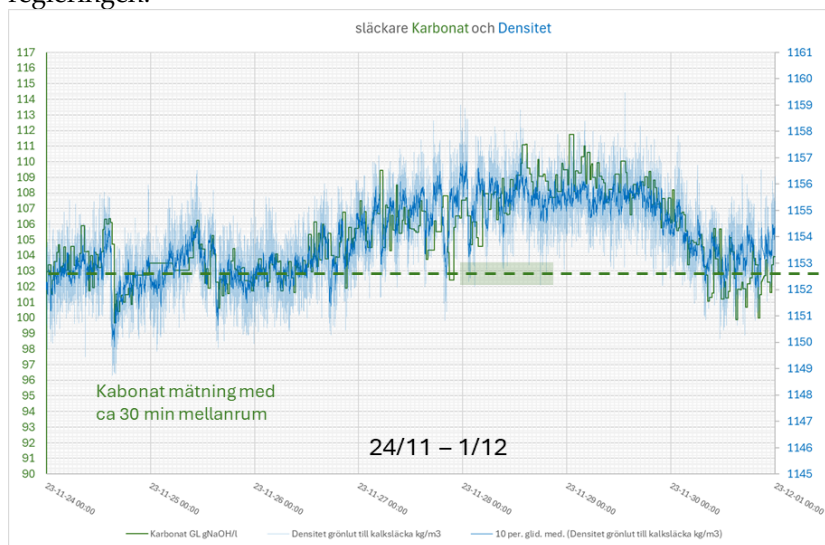
**Figur 18** Grönlut till släckare Karlsborgsfabriken. Densitet (höger y-axel), 1 minutsdata (ljus linje) och 5 minuters glidande medelvärde (mörk linje), blå linje. TTA mätningar, röd linje

I figur 19 redovisas densiteten och karbonathalten för samma period som i figur 18. Från figuren framgår att karbonathalten, förutom att följa korttidsvariationen i densitet, också följer långtidsvariationen i densitet. Att både karbonat och densitet ökar samtidigt som TTA är långtidsstabil visar att, vid TTA-reglering, så ger reduktionsgradsvariationer en samtidig förändring av karbonat och densitet. Lägre reduktionsgrad ger mindre sulfid som vid en TTA-reglering minskar spädningen, vilket resulterar i högre salthalt (densitet) och karbonathalt.

En ren densitetsreglering skulle, som beskrivits ovan, resultera i en långtids TTA-variation för den här perioden. Medan karbonaten, även med en ren densitetsreglering, skulle bli relativt jämn då karbonathalten följer både korttids och långtidsvariationen i densitet.

Den föreslagna regleringen med kombinerad densitet/karbonat skulle, på samma sätt som en ren densitetsreglering, reducera korttidsvariationen i både densitet och karbonathalt. Offsettillägget i den föreslagna regleringen skulle automatiskt justera regleringen så att karbonat inte skulle få någon långtidsvariation, orsakad av drift i differensen mellan karbonat och densitet. I figuren syns tendenser till mindre avvikelser mellan densitet och karbonat från mitten av 27/11 till mitten av den

29/11. Avvikelser som bör hanteras väl av den kombinerade densitet/karbonat regleringen.



Figur 19 Grönlut till släckare Karlsborgsfabriken. Densitet (höger y-axel), 1 minutsdata (ljus linje) och 5 minuters medelvärde (mörk linje), blå linje. Karbonatmätningar, grön linje.

#### 4.2.3 TTA karbonat eller densitet

De presenterade regleringarna av grönluten kan användas till att få en grönlut med minimal variation i densitet, TTA eller karbonat. En grönlut med jämn TTA är en målsättning i många fabriker idag. Den föreslagna TTA-regleringen är ett sätt att nå en låg TTA-variation, men som samtidigt lämnar variationer i densitet/jonstyrka och karbonathalt.

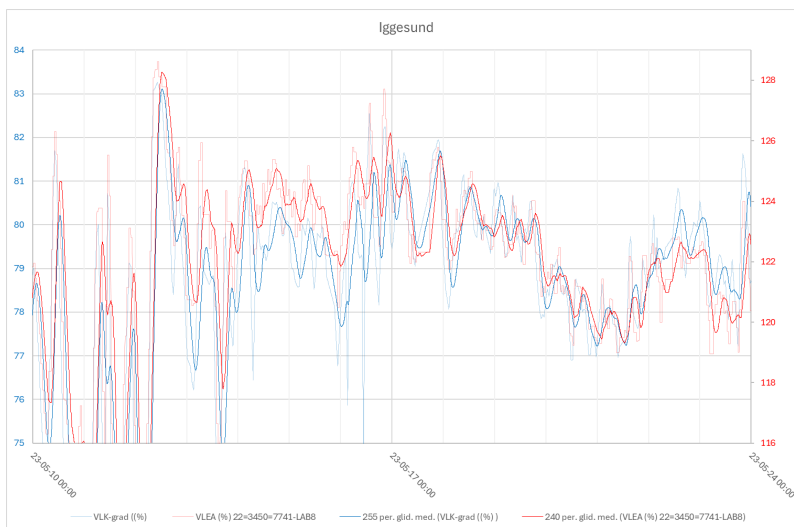
Den föreslagna kombinerade densitet/karbonatregleringen ger en möjlighet till att få en grönlut med en jämn karbonathalt.

Argumenten för en karbonatreglering är att risken för pirssonit kan reduceras, mindre densitetsvariationer i grönluten till klarnare och en förväntad enklare kausticeringsstyrning med jämnare vitlutsqualitäté.

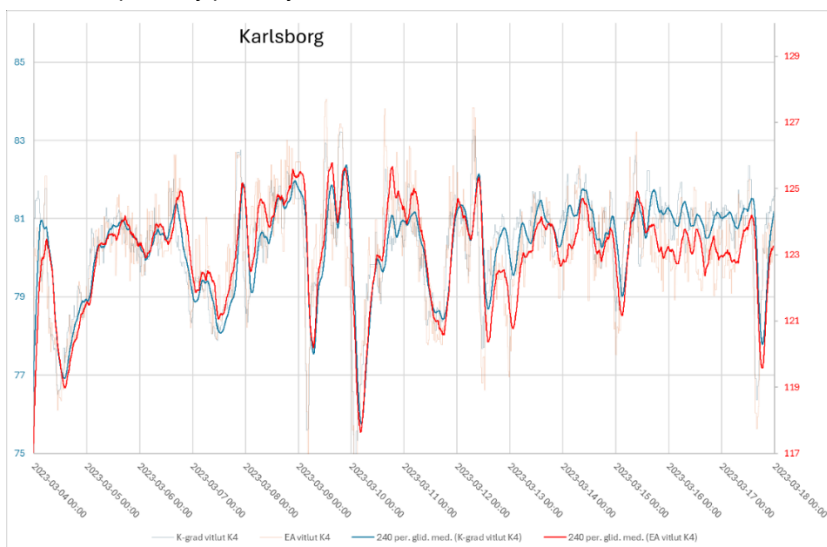
### 4.3 KAUSTICERINGEN

#### 4.3.1 Effektivt alkali och kausticeringsgrad i vitlut

För båda fabrikena gäller att korttidsvariationer i EA följer variationen i kausticeringsgrad, figur 20 och 21. Vilket indikerar att observerade korttidsvariationerna i EA beror på variationer i kausticeringen.



Figur 20 Vitlut Iggesund, variationer i kausticeringsgrad, "1" minutsvärden (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), blå linje. Variationer i EA, "1" minutsvärden (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), röd linje



Figur 21 Vitlut Karlsborg, variationer i kausticeringsgrad, "1" minutsvärden (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), blå linje. Variationer i EA, "1" minutsvärden (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), röd linje

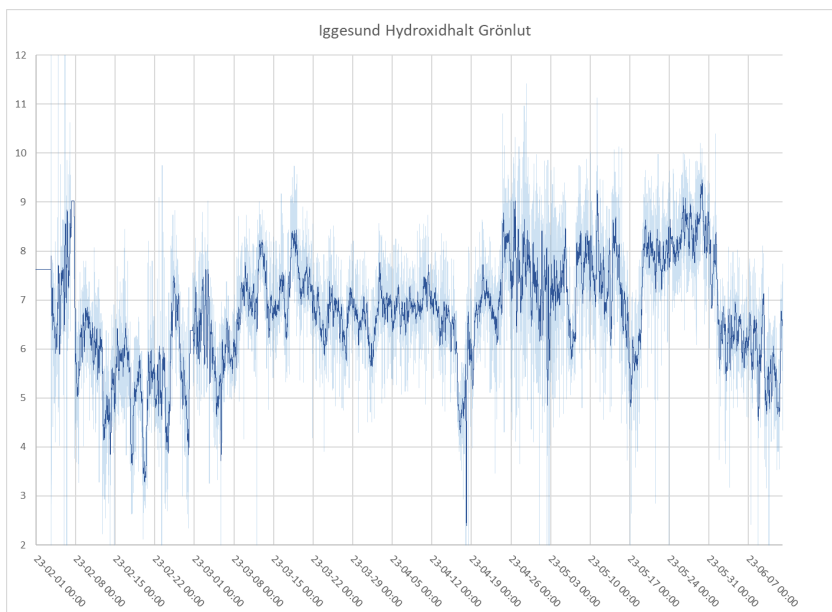
En enkel illustration av att huvuddelen av korttidsvariationen i EA kan relateras till variationen i kausticeringsgrad gjordes med observerade variationer i början av den 15/3 i karlsborgsdata, figur 21. Där kausticeringsgraden ökade från 79 till 81,5 och EA från 121 till 125. Som uppskattning så beräknades den procentuella ökningen av kausticeringsgraden,  $2,5/79$  och användes för att beräkna effekten av kausticeringsgradsökningen på EA.

Ökning K-grad från 79 till 81,5 är en ökning med 2,5  
 EA-ökning pga ökning av kausticeringsgrad  $(2,5/79) \times 121 = 3,8$   
 Ny EA pga kausticeringsökningen  $121+3,8 = 124,8$ .

Resultatet av beräkningen blir 124,8 g/l vilket ligger nära den observerade EA, ca 125 g/l. Resultatet illustrerar att den observerade korttidsvariationen i EA i huvudsak beror på variationerna i kausticeringsgrad. En bättre kontrollerad kausticeringsgrad skulle ge ett jämnare EA. Om kausticeringsgraden skulle kunna hållas jämn på en högre nivå, t.ex 81 %, skulle mer EA kunna produceras samtidigt som överbäringen av karbonat som dödsvikt skulle kunna minska.

### 4.3.2 Hydroxid i grönlut

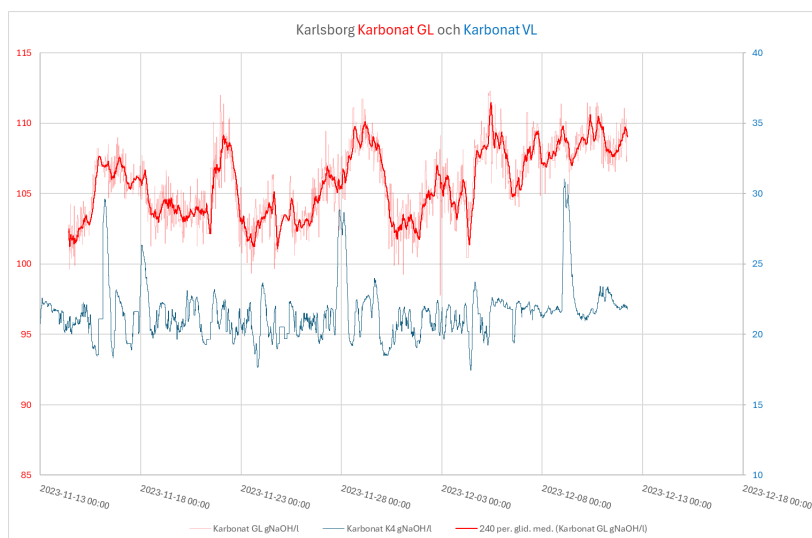
Grönluten innehåller karbonat som i kausticeringsreaktionen genererar hydroxid från den tillförda kalken. I grönluten finns redan hydroxid som kommit med svagluten och den hydroxid som bildats vid hydrolysen av natriumsulfid. Halten hydroxiden från hydrolysen av natriumsulfid är samma som halten sulfiden i grönluten, och mängden hydroxid som kommer med svagluten varierar. Figur 22 visar variationen av hydroxid från svagluten i Iggesund för en 4 månaders period.



Figur 22 Hydroxid i grönluten som kommit med svagluten. 1 minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje).

### 4.3.3 Kausticeringen

Differensen mellan den karbonatmängd som finns i grönluten och den som finns i vitluten är den karbonat som omsatts till hydroxid i kausticeringen, figur 23. Den här skillnaden kan användas för att räkna ut karbonatomsättningen.



Figur 23 Karbonathalt i grönlut (vänster y-axel), "1" minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), röd linje. Karbonathalt i vitlut, blå linje

**Karbonatomsättningen** är ett mått på hur mycket karbonat som reagerat i kausticeringen.

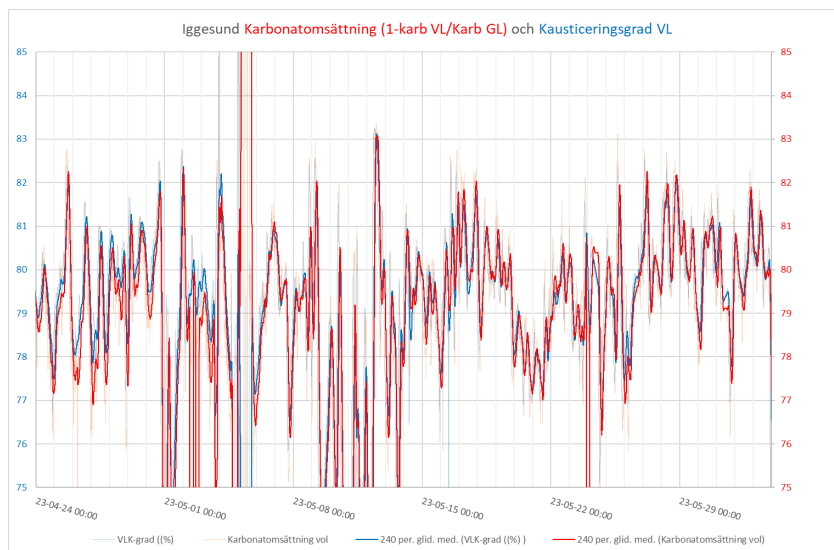
Karbonatomsättning =  $1 - (\text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ i vitlut} / \text{Na}_2\text{CO}_3 \text{ i grönlut})$

Beräkningen innehåller karbonathaltsmätning på grönluten och karbonathaltsmätning på vitluten. Men saknar hydroxidmätdata.

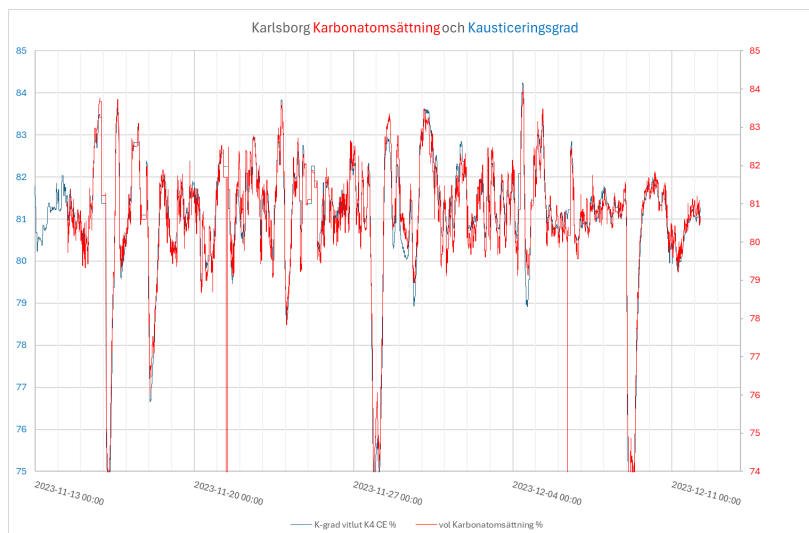
**Kausticeringsgraden** är ett annat mer använt sätt att beräkna hur mycket karbonat som har reagerat och den beräknas som

Kausticeringsgrad =  $((\text{EA} - 0,5 \text{ Na}_2\text{S}) / ((\text{EA} - 0,5 \text{ Na}_2\text{S}) + \text{Na}_2\text{CO}_3))$  Beräkningen innehåller bara mätningar gjorda på vitluten. I EA ingår all uppmätt hydroxid, från svagluten, från hydrolysen av natriumsulfid och från kausticeringen. Hydroxiden från hydrolysen av sulfid subtraheras från EA vid beräkningen, EA-0,5 Na<sub>2</sub>S. Hydroxiden från svagluten subtraheras inte från EA i beräkningen.

Med fabriksdata ger karbonatomsättningen och kausticeringsgraden i princip samma numeriska värden, figur 24 och figur 25. Skillnader mellan värdena är mycket små i förhållande till den nuvarande variationen.



**Figur 24** Iggesunddata Karbonatomsättning (höger y-axel), "1" minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), röd linje. Kauticeringsgrad (vänster y-axel), "1" minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), blå linje.



**Figur 25** Karlsborgsdata Karbonatomsättning (höger y-axel), "1" minutsdata, röd linje. Kauticeringsgrad (vänster y-axel), "1" minutsdata, blå linje.

För processtyrning kan därför, i de flesta fall, antingen karbonatomsättningen eller kauticeringsgraden användas.

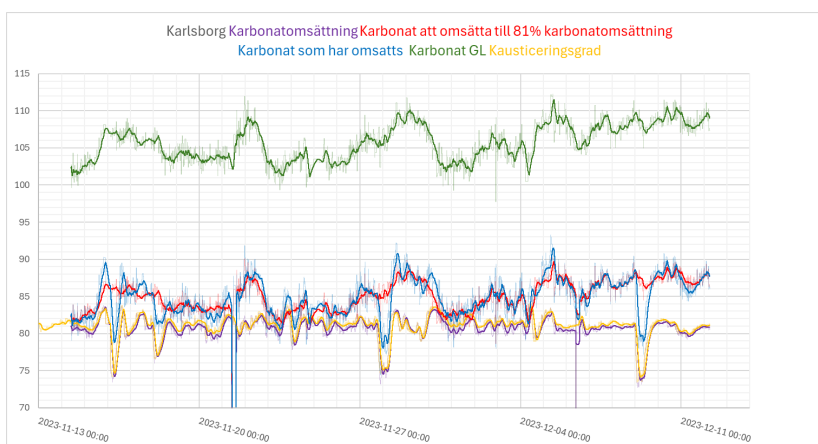
#### 4.3.4 Mängd karbonat att omsätta till önskad karbonatomsättning

Med hjälp av karbonatomsättningsekvationen och uppmätt karbonathalt i grönluten och i vitluten, beräknades karbonatomsättningen. Karbonat i grönluten och i vitluten ger hur många gram/l av grönlutens karbonat som har omsatts. Karbonatomsättningsekvationen användes också till att beräkna hur mycket av grönlutens karbonat g/l som behöver omsättas för att uppnå en önskad karbonatomsättning, t.ex. 81%.



De beräknade resultaten för en 1 månads period från Karlsborg är presenterade i figur 26. Figuren visar att karbonathalten i grönluten varierar mellan 100-110 g/l (grön linje). Den beräknade karbonatomsättningen är i stort sett identisk med kausticeringsgraden och varierar mellan 75-83 % (gul och lila linje). Skillnaden mellan linjen för karbonat som har omsatts (blå linje) och linjen för beräknad karbonat att omsättas till 81% karbonatomsättning (röd linje), stämmer väl med variationen i karbonatomsättning (lila linje).

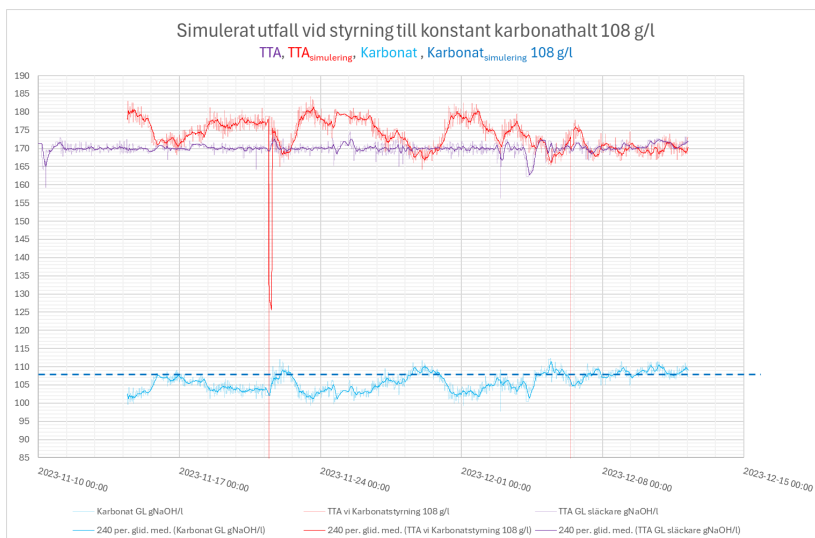
Resultaten visar att om man bättre skulle kunna utnyttja informationen om hur mycket karbonat som behöver omsättas för att uppnå en karbonatomsättning/kausticeringsgrad på 81%, till att styra kalktillsatsen, skulle variationen i kausticeringsgrad minska.



**Figur 26 Karlsborgsdata, variation i karbonathalt grönlut, grön linje, karbonat som har omsatts, blå linje, karbonat att omsätta till 81 % karbonatomsättning, röd linje, kausticeringsgrad, lila linje och karbonatomsättning, gul linje. Ljusa linjer är 1 minutsdata och mörka linjer är 4 timmars glidande medelvärde.**

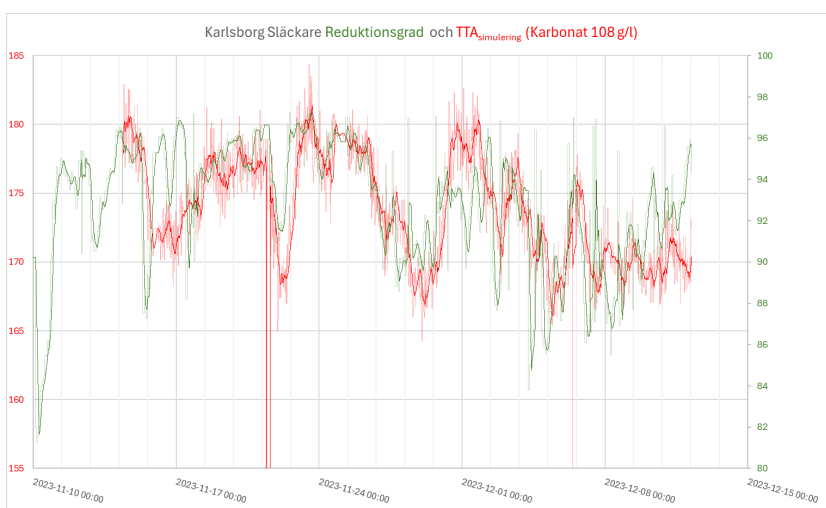
I nuläget regleras spädningen av grönluten mot ett jämt TTA-värde, vilket lämnar stora karbonathalts- och densitetsvariationer, Figur 27.

Om i stället för att reglera grönluten mot en jämn TTA, reglerade mot en jämn karbonathalt, skulle TTA variera på ett motsvarande sätt som karbonaten gör idag. Medan variationen i karbonathalt skulle bli liten. En simuleringsberäkning som visar effekten av en karbonatreglering är presenterad i figur 27. Med nuvarande reglermetod, men mot karbonathalten, skulle karbonatvariationen bli lika som dagens variation i TTA, lila linje i figur 27. Med den föreslagna kombinerade densitet/karbonat regleringen, en lägre variation.



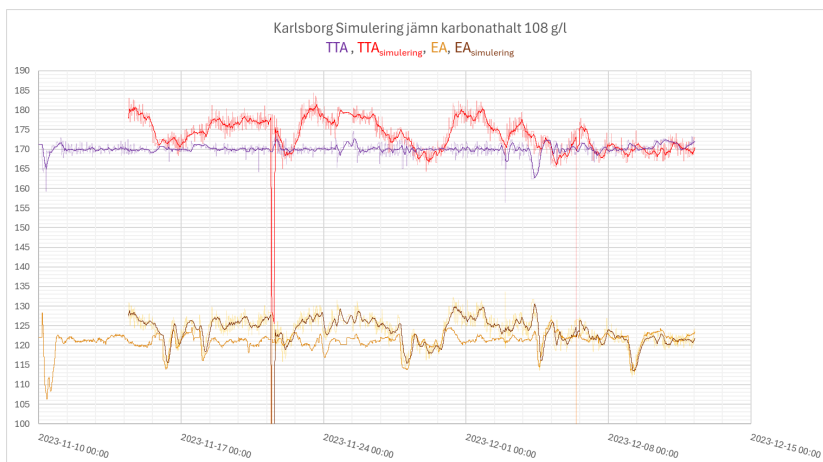
**Figur 27 Karlsborgsdata Beräkning av effekten av styrning mot jämn karbonathalt i grönluten till släckaren. TTA med nuvarande styrning mot TTA, lila linje. Beräknad TTA vid styrning mot jämn karbonathalt i grönluten, röd linje. Karbonathalt med nuvarande styrning mot jämt TTA, blå linje. Jämn karbonathalt i grönluten, streckad blå linje.**

Figur 28 visar hur en simulerad reglering mot en jämn karbonathalt skulle resultera i att TTA skulle följa variationerna i reduktionsgrad. Hur en vald karbonathalt på 108 g/l resulterar i att TTA vid en låg reduktionsgrad hamnar på ca 170 g/l, vilket är lika med dagens TTA-börvärde. En hög reduktionsgrad innebär att TTA hamnar kring 180 g/l vid samma karbonathalt, 108 g/l. När TTA ökar mot 180 g/l så ökar EA mot 130 g/l.



**Figur 28 Karlsborgsdata, Reduktionsgrad (höger y-axel), "1" minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), grön linje. Beräknad TTA vid styrning mot jämn karbonathalt i grönluten (vänster y-axel), "1" minutsdata (ljus linje) och 4 timmars glidande medelvärde (mörk linje), röd linje.**

Högre TTA vid hög reduktionsgrad innebär en möjlighet till att nå en högre EA vid samma kausticeringsgrad/karbonatomsättning. Figur 29 visar den beräknade effekten på EA från simuleringen med reglering mot en jämn karbonathalt, 108 g/l och befintlig variation i kausticeringsgrad.



Figur 29 Karlsborgsdata, Beräknad TTA (brun linje), och beräknad EA (röd linje) vid styrning mot jämn karbonathalt i grönluten. TTA (lila linje) och EA (gul linje), med nuvarande styrning mot jämn TTA. Ljusa linjer är 1 minutsvärden och mörka linje är 4 timmars glidande medelvärde.

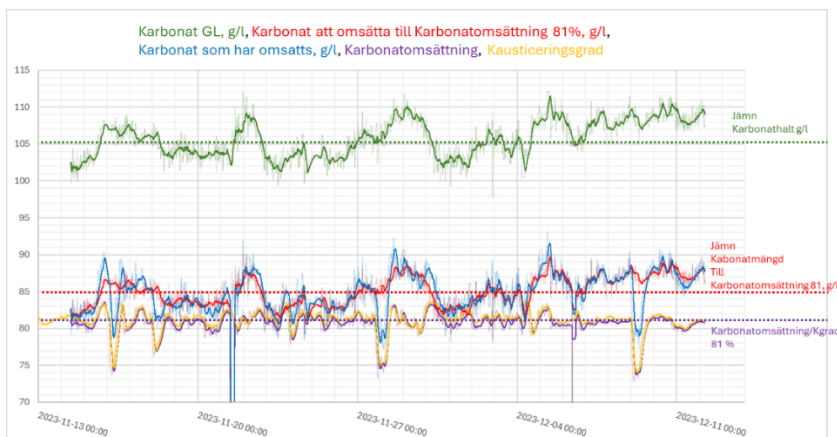
#### 4.3.5 Jämn karbonathalt till släckaren

En jämn karbonathalt i grönluten till släckaren medför att karbonatomsättningen till en önskad karbonatomsättning blir konstant, i gram/l.

En jämn karbonathalt innebär ett jämnare behov av kalk, då varje liter grönlut kommer att innehålla samma mängd karbonat, jämfört med en jämn TTA då mängden karbonat per liter grönlut varierar. Vid jämn TTA och dålig reduktionsgrad blir mängden karbonat per liter hög, med ett ökat behov av kalk per liter grönlut. Vilket också kan resultera i en temperaturökning i släckaren. En jämn karbonathalt öppnar därför också en möjlighet till en minskad process/temperaturvariation i släckaren.

Figur 30 illustrerar hur en jämn karbonathalt, streckad grön linje, medför en konstant mängd karbonat, streckad röd linje, för att nå en jämn karbonatomsättning på 81 %, streckad lila linje.

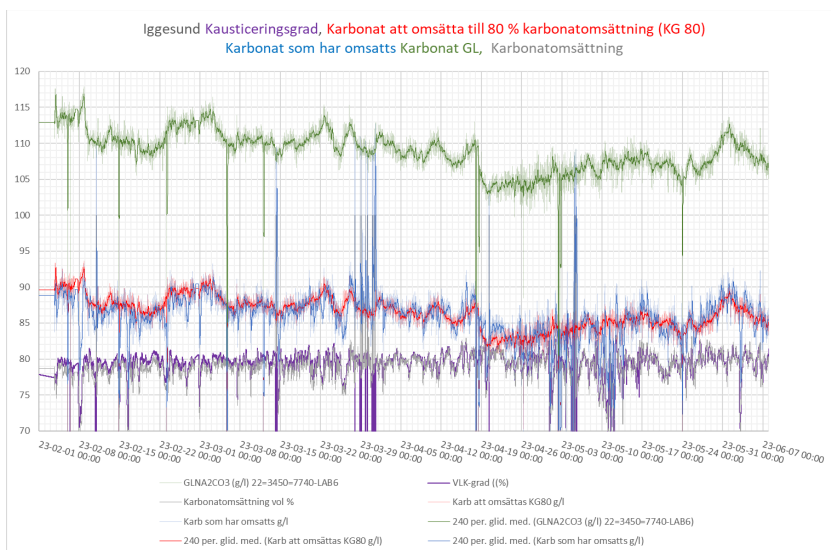
Med kunskap om hur mycket karbonat som skall konverteras kvarstår en metod att tillföra rätt mängd kalk. Rätt mängd kalk måste inkludera hantering av kalkens tillgänglighet och reaktivitet. Men med en jämn karbonathalt förväntas möjligheterna till en bättre reglering av kalkdoseringen att förbättras.



**Figur 30 Karlsborgsdata, Variation i karbonathalt grönlut (grön linje). Karbonat som har omsatts (blå linje). Karbonat att omsätta till 81 % karbonatomsättning (röd linje). Kausticeringsgrad (lila linje). Karbonatomsättning (gul linje). Jämn karbonathalt (streckad grön linje). Karbonat att omsätta till 81 karbonatomsättning vi jämn karbonathalt i grönluten (streckad röd linje). Förväntad kausticeringsgrad vid lyckad kausticering av grönlut med jämn karbonathalt (streckad lila linje). Ljusa linjer är 1 minutsdata och mörka linjer är 4 timmars glidande medelvärden.**

Figur 31 visar variationer för en tidsperiod i Iggesund. Även här är karbonathaltsvariationerna stora, 105-115 g/l, grön linje, då grönluten till släckaren reglerats mot ett jämnt TTA. Linjen för den beräknade mängden karbonat som skall omsättas till 80 % karbonatomsättning, röd linje, följer i huvudsak linjen för för karbonat som har omsatts, blå linje. Karbonatomsättningen, grå linje, och kausticeringsgraden, lila linje, varierar mellan 75-82 %.

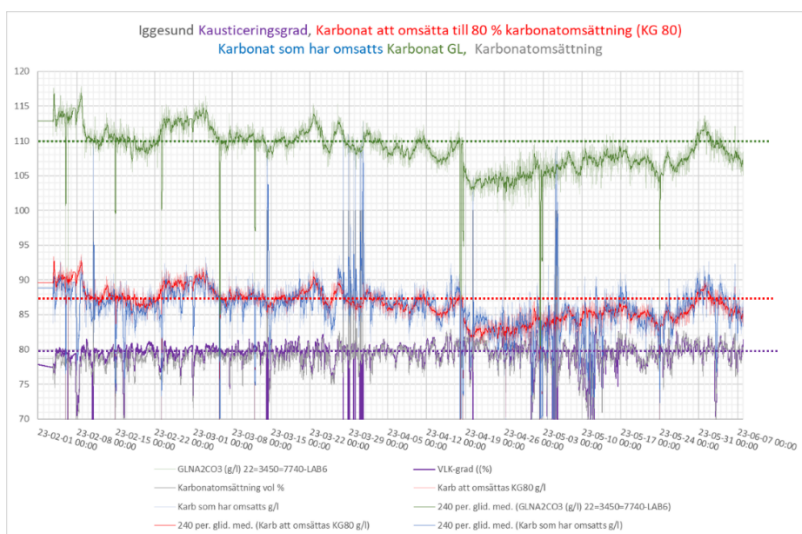
Variationerna i kausticeringsgrad följer observerade skillnader mellan blå och röd linje, vilket visar att om man kunde reglera kalken till att omsätta den beräknade mängden karbonat, skulle variationerna i kausticeringsgrad minska och kunna ligga närmare målet på 80.



**Figur 31 Iggesundsdata, Variation i karbonathalten i grönlut (grön linje). Karbonat som har omsatts (blå linje). Karbonat att omsätta till 80 % karbonatomsättning (röd linje). Kausticeringsgrad (lila linje). Karbonatomsättning (grå linje). Ljusa linjer är 1 minutsdata och mörka linjer är 4 timmars glidande medelvärde.**

Figur 32 visar med Iggesunddata, hur en jämn karbonathalt, streckad grön linje, betyder en jämn mängd karbonat att kausticera, streckad röd linje, för att uppnå en jämn karbonatomsättning på 81 %, streckad lila linje.

En jämn karbonathalt medför att karbonatmängden att kausticera till en önskad karbonatomsättning blir konstant, i gram/l.



Figur 32 Iggesunddata, Variation i karbonathalt grönlut (grön linje). Karbonat som har omsatts (blå linje). Karbonat att omsätta till 80 % karbonatomsättning (röd linje). Kausticeringsgrad (lila linje). Karbonatomsättning (grå linje). Jämn karbonathalt (streckad grön linje). Karbonat att omsätta till 80 % karbonatomsättning vid jämn karbonathalt i grönluten (streckad röd linje). Förväntad kausticeringsgrad vid lyckad kausticering av grönlut med jämn karbonathalt (streckad lila linje). Ljusa linjer är 1 minutsdata och mörka linje är 4 timmars glidande medelvärde.

#### 4.4 REGLERING AV KALDOSERING

I det här projektet har fokus varit att identifiera metoder att skapa grönlut med jämn kvalitet till kausticeringsreaktionen. Doseringen av kalk är inte undersökt. Med en jämn karbonathalt förväntas regleringen av kalktillsatsen blir enklare då grönlutsflödet kommer att direkt motsvara karbonatmängden till släckaren.

## 5 Diskussion

Reglering av grönlut mot ett jämnt TTA ger vid ojämn reduktionsgrad variationer i karbonathalt, densitet och jonstyrka. Hög karbonathalt och jonstyrka ökar risken för pirssonitutfällningar. Densitetsvariationer är negativt för funktionen av grönlutsklarnare. En reglering mot jämn karbonathalt skulle förutom en jämnare karbonathalten också resultera i jämnare jonstyrka och densitet.

I rapporten redovisas en metod för en reglering beskriven som kombinerar snabba densitetsmätningar med glesa TTA eller karbonathaltsmätningar.

Fabriksförsök för smältalösarreglering visar att regleringen reducerar långtidsvariationer i grönluten från smältalösaren, både vid styrning mot jämnt TTA och vid styrning mot jämn karbonathalt.

Analys av grönlutsvariationer till släckaren visar att den föreslagna regleringen med den kombinerade användningen av densitetsmätningar och TTA eller karbonat, skulle kunna resultera i minimala grönlutsvariationer till släckaren.

Dagens variationer i karbonathalten i grönluten till släckare innebär att styrningen av kalkdoseringen måste hantera både karbonathaltsvariationer i grönluten och skillnader i kalkkvalité. En jämn karbonathalt i grönluten innebär att mängden karbonat till släckaren enbart blir direkt kopplat till grönlutsflödet, vilket underlättar regleringen av kalkdoseringen. En jämn karbonathalt minskar också risken för extra temperaturökningar i släckaren då höga karbonathalter i grönluten medför en ökad mängd kalk per liter grönlut, vilket relaterar till en högre temperaturökning i släckaren.

Med karbonatomsättningsberäkningar kunde mängden karbonat som behöver omsättas till en önskad kausticeringsgrad predikteras. Med en jämn karbonathalt och en önskad kausticeringsgrad blir den predikterade mängden karbonat att omsättas konstant, per liter grönlut. Och i princip behöver en kausticeringsregleringen endast kompletteras med en korrigeringsfaktor för kalkkvalité.

Med styrning mot jämn karbonathalt följer variationer i TTA och EA, vilket innebär att vid en hög reduktionsgrad skulle vitluten kunna få en förhöjd EA.

Resultaten och argumenten för att styra mot en jämn karbonathalt istället för en jämn TTA motiverar till fabriksförsök, där man provar att reglera karbonathalten i grönluten till släckaren istället för TTA. Och även reglering mot en jämn karbonathalt från smältalösaren. Utvärderingen av ett sådant försök skulle visa ifall styrning mot karbonathalten resulterar i en jämnare och bättre vitlut med jämn kausticeringsgrad, hög EA och liten överbäring av karbonat.

## 6 Slutsatser

### 6.1 REGLERING AV SMÄLTALÖSARE

Vanligtvis regleras smältalösaren baserat på densitetsmätare med en automatisk eller manuell överordnad styrning mot TTA. Den presenterade styrmetoden baserat på en kombinerad användning av densitetsmätning och TTA eller karbonathalt, i samma reglering, är en enkel metod att få en automatisk effektiv styrning mot jämn TTA eller karbonat. Reglering mot jämn karbonathalt i stället för jämn TTA reducerar risken att passera löslighetsgränsen för pirssonit och ge jämnare grönlutsdensitet, vilket gynnar funktionen i grönlutsklarnare.

### 6.2 REGLERING AV GRÖNLUT TILL SLÄCKARE

Variationer i grönluten kan hållas låg om den föreslagna reglermetoden med en kombinerad användning av densitetsmätning och TTA eller karbonat används för trimreglering av grönluten till släckaren. En jämn karbonathalt underlättar styrningen av kalk till släckaren

### 6.3 DOSERING AV KALK I SLÄCKAREN

Om grönluten till släckaren trimregleras till en jämn karbonathalt blir mängden karbonat per liter konstant, och regleringen av kalkdoseringen blir då beroende bara av grönlutsflöde och kalkkvalité.

Beräkning av karbonatomsättning kan användas för att utifrån mätningar på grönluten, kontinuerligt prediktera mängden karbonat som behöver konverteras till en önskad kausticeringsgrad med tillsatsen av kalk. Med en jämn karbonathalt i grönluten blir mängden karbonat att konvertera per liter grönlut konstant.

Med jämn grönlutskvalité blir kausticeringsgraden mer relevant för bedömning av över och underkalkning.

## 7 Fortsatt arbete och rekommendationer

De identifierade och föreslagna metoderna för styrning av smältalösare och trimreglering av grönlut till släckare är enkel och detaljerat beskriven i rapporten. Vilket gör implementering i fabrik enkel.

Metoden kan användas mot en jämn TTA för grönluten men bör helst testas att användas för en jämn karbonathalt för grönluten. En jämn karbonathalt till släckaren förväntas att resultera i en mer lättreglerad kalktillsats.

Den beskrivna metoden för prediktion av karbonat som behöver kausticeras till en önskad kausticeringsgrad kan enkelt implementeras. En enkel programmering med befintliga signaler. Först som en processövervakningssignal, för att sedan kunna inkluderas i den befintliga kausticeringskontrollen. För att utvärdera och verifiera att den resulterar i jämnare kausticeringsgrad och mindre över och underkalkning.



## 8 Referenslista

Lindberg H. (1981) Kausticeringen som kemisk reaktion – vad vet vi?, Svensk Papperstidning nr 1 1981 (4) 14-18

Frederick, W.J., Krishnan, R., and Ayers, R.J.(1990) Pirssonite deposits in green liquor processing, Tappi Journal, 73(2): 135-140, 1990.

Allison B. (2011) Kinetic Model-Based State Estimation and Inferential Control of the Causticizing Process, Proceedings Tappi Peers, 2011, p. 1302-1313

Theliander H., Aksnes O. (1989) A system analysis of the chemical recovery plant of the sulfate pulping process, Part 7. Comments on the smelt dissolver Nordic Pulp and Paper Research Journal no 4, 1989, p. 263-271.

Wallbäcks L., Theliander H., Ahlroth M., Optimization of green liquor systems, Innventia Report No 574 ,2014

Wallbäcks L., Ahlroth M., Kulander I. (2017), Reduce variations in the recausticising process Reduce variations in the recausticising process through more efficient use of available and soft sensors in process control, Innventia Report No. 910, 2017

Tolonen J., Tolonen O., and Puhakka J. (1999) Tappi 1999 Pulping Conference , October 31-November 4, 1999, Renaissance Orlando, Orlando, Florida. Proceedings p. 1111-21

Kassberg M., Pettersson B. (1993) Vitlutsberedning, Skogsindustrins utbildning i Markaryd, Yrkesbok Y-214, p.17-18

## Optimerad vitlutsproduktion

Sammansättningen på kemikalieflödet i massafabrikens kemikalieåtervinning påverkas starkt av olika processteg. För att minska variationer i kvalitén på de återskapade kemikalierna för massaframställning krävs effektiva regleringar som hanterar processvariationer på ett effektivt sätt. Moderna lösningar för processreglering baserat på processkunskap och utvecklad användning av tillgänglig mätteknik skapar möjligheter till en förbättrad kemikalieåtervinning med mindre energiförbrukning och högre och bättre produktion. Fabriksförsök och simuleringar visar att processreglering baserat kombinationer av mätgivare skapar möjligheter till en kemikalieåtervinning där kvalitetsvariationerna i kan reduceras. För att i slutänden återskapa kokkemikalier med en högre och jämnare kvalitet med lägre processtörningar. Specifikt med avseende på kvalitet på grönlut och vitlut i vitlutsberedningen

Beskrivna metoder för regleringar baserat på kombination av mätgivare är generellt användbara för vitlutsberedningen i alla massabruk.