

Hygroskopisk släckning av kalk med ånga eller fuktig luft

Författare Roland Lundqvist



**HYGROSKOPISK SLÄCKNING AV KALK
MED ÅNGA ELLER FUKTIG LUFT**

**Ny energieffektiv teknik för släckning av mesakalk
i sulfatmassaindustrin**

**HYGROSCOPIC SLAKING OF LIME
WITH STEAM OR HUMID AIR**

**New energy effective lime slaking technology in
kraft pulping**

Roland Lundqvist

S4-425

Abstract

Mesakalk har släckts med ånga och het fuktmättad luft i en pilotanläggning (hygroskopisk släckning), som alternativ till traditionell släckning i grönlut (hydraulisk släckning). Med hygroskopisk släckning av mesakalk i sulfatmassaprocessens kemikalieåtervinning finns potential till utökad värmeåtervinning, och återvinning vid högre temperaturer.

Försöken har visat att släckningen kan ske vid temperaturer sådana att 3 bars ånga bör kunna utvinnas till en massafabriks ångnät, men även att arbete återstår med att utveckla eller finna lämplig släckningsutrustning.

Mesa som erhållits vid kausticeringsförsök med den ångsläckta mesakalken har haft sjunknings- och avvattningssegenskaper som är jämförbara med eller bättre än mesa som erhållits vid kausticering med bränd kalk.

Sammanfattning

Kalk används i stora kvantiteter som hjälpkemikalie för regenerering av koklut vid pappersmassaframställning enligt sulfatprocessen. Släckt kalk (kalciumhydroxid) används för att omvandla natriumkarbonat i grönlut till natriumhydroxid (kausticering) varvid kalciumkarbonat (mesa) faller ut. Kalciumhydroxiden regenereras i kalkcykeln genom ombränning av mesa i mesaugnen, följt av hydratisering (släckning) i grönlut under stark värmeutveckling.

Problem med traditionell släckningsmetod är att värmets utvinns vid låg temperatur. Med den i rapporten beskrivna metoden för kalksläckning finns potential att både utvinna värmets vid högre temperatur, företrädesvis som ånga till fabriken's ångnät, och att utvinna en väsentligt större mängd värme.

Den föreslagna metoden innebär att kalk släcks med ånga eller fuktig luft exempelvis i kombination med en mesator och bränsleledad mesaugn.

Uppdraget har omfattat släckning av bränd mesakalk med ånga eller fuktig luft och har avsett att i pilotskala testa en specifik maskinutrustning, att undersöka vilka temperaturer och släckningsgrader som uppnås, samt att jämföra den ångsläckta kalken med bränd kalk vid kausticering av grönlut, främst med avseende på mesans avvattningsegenskaper.

Målgrupp är främst pappersmassaindustri som använder sig av sulfatprocessen.

Försöken har genomförts vid SMA Svenska Mineral AB anläggning i Sandarne under vintern 2004-2005. Projektägare har varit Torkapparater AB, och projektet är utfört inom "Värmeforsks Skogsindustriella Program för år 2004-2005". Övriga partners förutom SMA Svenska Mineral AB, har varit Stora Enso Skoghalls Bruk, Carnot AB, ÅF Process AB och KTH Energiprocesser.

Kalk med varierande släckningsgrader har erhållits vid släckningstemperaturer uppemot 270 grader C i gasfas, högre i fast fas. Kausticeringsförsök som utförts visar att avvattningsegenskaperna hos mesan från den ångsläckta kalken är i nivå med, eller bättre än, mesakalk som släckts i grönlut. Farhågorna att den ångsläckta kalken skulle ge mesa med sämre avvattningsegenskaper har inte besannats.

Erfarenheter har vunnits som bör vara värdefulla i ett fortsatt utvecklingsarbete.

Nyckelord: ångsläckning, hygroskopisk släckning, kausticering, mesa.

Summary

Lime stone is widely used in chemical recovery for regeneration of white liquor in kraft pulping. Slaked (hydrated) lime is used to convert (causticize) sodium carbonate into sodium hydroxide, whereby lime mud (calcium carbonate) precipitates from the solution. Lime mud is dried and reburned in a lime kiln, where burned lime (calcium oxide) is formed. The circle is closed when lime is slaked (hydrated) in green liquor in an exotherm reaction.

Problems with traditional slaking method is that heat is recovered at low temperatures. With the method described in this report there is potential to increase heat recovery in the causticizing plant.

The forecasted method means that lime is slaked with steam or humid air, for example combined with a lime mud drier and a lime kiln.

The task has included slaking of burned lime with steam or humid hot air, on purpose to test a specific machine equipment in pilote scale, and to investigate temperatures and hydratization rates able to reach. Also the lime slaked with steam/humid air should be compared with burned lime slaked in green liquor when green liquor is causticized, and to investigate the dewatering properties of formed lime mud.

The target group is pulp and paper industry using the kraft process.

The tests have been performed at SMA Svenska Mineral AB plant (lime burning) at Sandarne Sweden in years 2004-2005. Project owner has been the Swedish company Torkapparater AB, and the project is performed inside the "Värmeforsk Program for Pulp and Paper Industry 2004-2005". Other partners, besides SMA Svenska Mineral AB, has been Stora Enso Skoghalls Bruk, Carnot AB, ÅF Process AB and KTH Energiprocesser.

Hydrated lime of varying slaking rates has been produced at temperatures up to 270 degrees Celcius. Causticizing being performed show that dewatering properties of lime mud formed is quite up to the standard of lime mud from burned lime slaked in green liquor. The apprehension, that the hygroscopic slaked lime should result in lime mud difficult to dewater, has not become true.

Important experiences have come out which could be used as a base in further investigations.

Key words: steam/humid air slaked lime, hygroscopic, causticizing, lime mud.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING	1
1.1	BAKGRUND	1
1.2	BESKRIVNING AV FORSKNINGSSOMRÅDET	1
1.3	FORSKNINGSUPPGIFTEN OCH DESS ROLL INOM FORSKNINGSSOMRÅDET	3
1.4	MÅL OCH MÅLGRUPP	3
2	BESKRIVNING AV FÖRSÖKSANLÄGGNING	4
2.1	ANLÄGGNING FÖR MESAOMBRÄNNING	4
2.2	FÖRSÖKSANLÄGGNING FÖR ÅNGSLÄCKNING	5
2.3	FÖRSÖKSBESKRIVNING	6
3	RESULTATREDOVISNING	7
3.1	SLÄCKNINGSTEMPERATURER	7
3.2	SAMMANSTÄLLNING ANALYSER	12
3.3	SLÄCKNINGSGRAD	13
3.4	KAUSTICERING	15
3.5	MESANS AVVATTNINGSEGENSKAPER	17
3.6	SIKTANALYS	21
3.7	STUDIEBESÖK VID SMAS ANLÄGGNING I RÄTTVIK	21
4	RESULTATANALYS	22
4.1	OBSERVATIONER OCH ERFARENHETER	22
4.2	PROCESSDATA OCH LABORATORIEANALYSER	24
5	SLUTSATSER	25
6	REKOMMENDATIONER OCH ANVÄNDNING	26
7	FÖRSLAG TILL FORTSATT FORSKNINGSPÅRBEJDE	27
8	REFERENSER	28

Bilagor

A BESKRIVNING AV FÖRSÖKSANLÄGGNINGEN

1 Inledning

1.1 Bakgrund

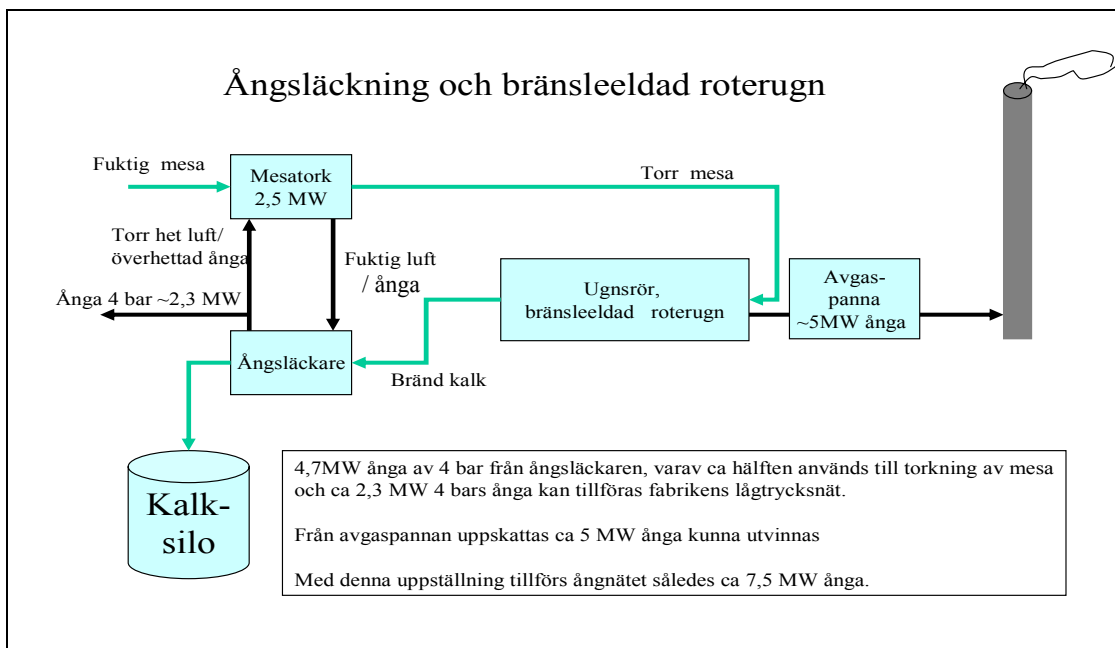
Kalk används i stora kvantiteter som hjälpkemikalie för regenerering av koklut (s k vitlut) vid pappersmassaframställning enligt sulfatprocessen. Bränd kalk släcks och kausticeras under stark värmeutveckling i grönlut, varvid kalciumhydroxid bildas. Grönluten, som håller temperatur nära kokpunkten, kyls för att inte kokning ska inträffa under släckningen. Värme utvinns således vid temperaturer mellan ca 80 och 100 grader C.

Grönlutens natriumkarbonat omvandlas vid kausticeringen med hjälp av kalciumhydroxiden till natriumhydroxid varvid kalciumkarbonat, så kallad mesa, faller ut ur lösningen som ett finkornigt slam. Mesan avvattnas, torkas och bränns till kalk i mesaugnen.

Med den i rapporten beskrivna metoden för kalksläckning finns potential att utvinna mer värme, och att utvinna värmets vid högre temperatur, t ex som ånga till fabriken 3 bars ångnät.

1.2 Beskrivning av forskningsområdet

Ekdahl och Lundqvist [1] har föreslagit en metod i samband med regenerering av vitlut i sulfatmassaprocessen som innefattar kalcinering av mesa med hjälp av elektriskt genererat plasma samt en metod för släckning av kalk i kombination med t ex mesator, där ånga eller fuktig luft återvinns och används som släckningsmedel för bränd mesakalk. De båda processerna är föreslagna att kunna användas tillsammans, integrerade i en helt ny processdesign som ersättning för nuvarande bränsleeldade mesaugnar. Alternativt har föreslagits att kalksläckning med ånga kan utföras i kombination med mesator tillsammans med bränsleeldad mesaugn. De båda metoderna är patentskyddade i Sverige.



Figur 1

Ångsläckning kombinerat med mesatorck och bränsleeldad mesaugn
 Lime slaking with steam combined with lime mud drier and lime kiln

Ovan visas schematiskt hur ångsläckning av mesakalk skulle kunna kombineras med mesatorck tillsammans med bränsleeldad mesaugn. Vattenånga som avdrivs i torkningen tillförs ångsläckaren och utgör släckningsmedium. Förutom släckningsvärmets utvecklas när den brända kalken hydratiseras, utvecklas även värme på grund av att vattenånga kondenserar. Återvinningen av släckningsångans ångbildningsvärme ökar värmeutbytet vid släckningen från knappt 3 MW till 4,7 MW i exemplet ovan (figur 1). Om mesaugnen även förses med avgaspanna för ångproduktion kan totalt 7,5 MW tillföras fabriken ångnät. Det kan jämföras med traditionell mesatorckning och kalksläckning, vid vilken återvinns ca 3 MW som varmvatten och het vitlut. Ångsläckningen, vilken sker vid atmosfärstryck, bör kunna utföras vid en temperatur om 250-350 grader C. Energibalansen är sådan att släckningsvärmets räcker väl för att driva mesatorckningen om mesan är väl avvattnad, och värmeöverskott från släckningen bör kunna användas för att producera ånga till fabriken lågtrycksångnät vid 3 bar (140 grader C).

Vattenfall samt KTH [2] har studerat tekniken som anses kunna ge fördelar genom lägre kostnad och minskad energiåtgång samt effektiv återvinning av värme vid högre temperaturer.

Lunds Universitet, avd kemisk teknologi [3], har utfört laboriemätningar av reaktionshastigheter och konverteringsgrader vid hydratisering av kalciumoxid vid olika temperaturer och vattenångstryck.

Den grundläggande kemien och fysiken som den föreslagna tekniken bygger på är känd och väl beskriven i litteraturen. Även i litteratur med huvudsakligt fokus på andra aspekter än kalksläckning finns mycket läsvärt, t ex Per Alvfors, KTH 1990 [4].

1.3 Forskningsuppgiften och dess roll inom forskningsområdet

Den föreslagna tekniken med hygroskopisk släckning av kalk i samband med kausticering av grönlut har såvitt vi känner till inte tidigare provats, vare sig i laboratorium eller i pilotskala. Då det har ansetts tillräckligt klarlagt att teorierna håller principiellt, har det ansetts önskvärt och nödvändigt att göra försök i sådan skala att slutsatser ska kunna dras inför eventuella fabriksförsök.

Föreliggande uppdrag har omfattat att släcka bränd mesakalk, dels med fuktmättad luft, dels med ånga utan luftinblandning. Försöken avsåg att för ändamålet i pilotskala testa en maskinutrustning från Torkapparater AB, bestående av en roterande tubulär försedd med möjlighet till extern kylning med kyl Luft i mantel och genomgående tuber. Under provkörningarna togs prover på ingående och utgående kalk, där målet var att se vilka släckningsgrader och släckningstemperaturer som kunde uppnås. Vidare undersöktes vilka egenskaper den ångsläckta kalken fick i kausticeringen med avseende på främst mesans sjunknings- och avvattnings egenskaper.

1.4 Mål och målgrupp

Målet för försöken har varit att ta fram praktisk kunskap om ångsläckning och om kausticering med ångsläckt mesakalk.

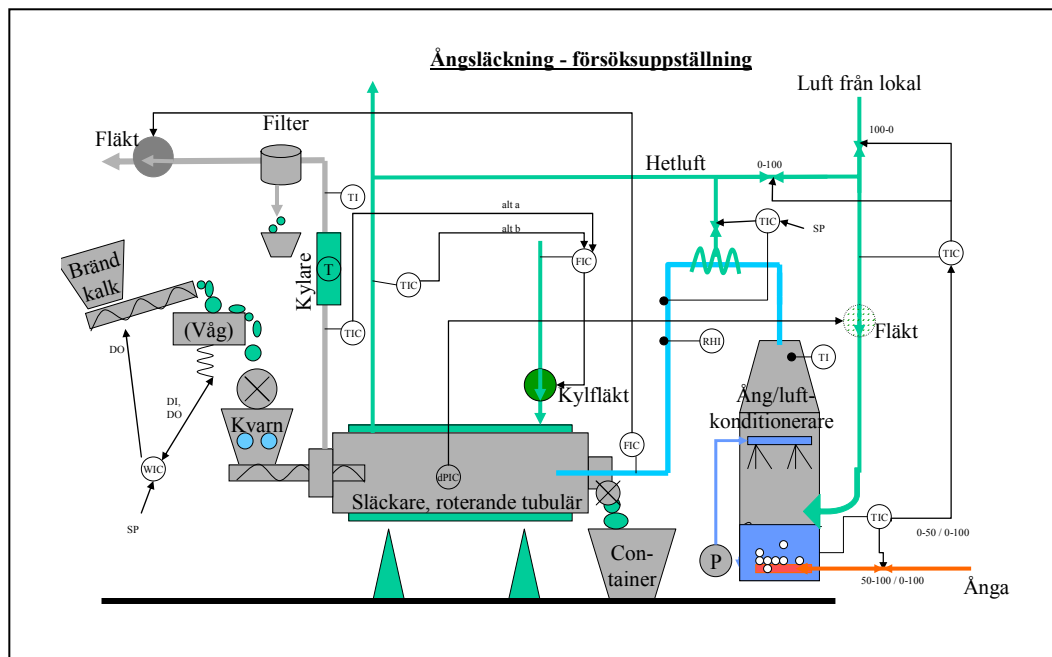
Målgrupp är pappersmassaindustri som tillämpar sulfatprocessen, kalkleverantörer och maskinleverantörer.

2 Beskrivning av försöksanläggning

2.1 Anläggning för mesaombränning

SMA Svenska Mineral AB har sitt huvudkontor i Persberg och anläggningar i Sverige, Norge, Finland och Estland. Verksamheten omfattar kalkbrytning samt framställning av bränd kalksten, hydratkalk mm. I Sandarne, vid Söderhamn, finns en anläggning för ombränning av mesa. Med båt kommer även bränd kalksten från bland annat Belgien som distribueras ifrån anläggningen i Sandarne. Det är massaindustrier företrädesvis längs norrlandskusten som levererar mesa och köper ombränd mesa vid haverier i egna mesaugnar eller behov av kapacitetstillskott. Mesaugnen som används har tidigare ingått i den numera nedlagda sulfatmassafabriken i Sandarne. Mesa transporteras till anläggningen med lastbil eller båt och mellanlagras under tak i väntan på att brännas. Mesan torkas i cyklontork som drivs med rökgaserna från mesaugnen. Mesaugnen eldas med konverterad olja och har en kapacitet om ca 100 ton/d. Ombränd mesa lagras i silos varifrån den levereras med bulkbilar. Driften av mesaugnen är kampanjvis så tillvida att den vanligtvis körs under ett antal veckor tills lagringssilos är fyllda, varefter det kan uppstå stillestånd under någon vecka. På samma industriområde ligger Arizona Chemicals anläggning med förädling av tallolja. SMA köper vid behov ånga från Arizona Chemical.

2.2 Försöksanläggning för ångsläckning



Figur 2
Försöksuppställning Sandarne
Pilote plant in Sandarne

Försöksanläggningen för ångsläckning av bränd mesakalk ställdes upp intill SMAs mesaugn i Sandarne. Bränd kalk hämtades direkt från mesaugnens utmatning till försöksanläggningen. Möjlighet fanns även att hämta bränd kalk ifrån lagringssilo, när mesaugnen stod still pga fulla lager. Som släckningsmedium användes fuktmatad varm luft alternativt ånga.

Släckaren, som ställts till förfogande av Torkapparater AB, utgjordes av en horisontellt uppställd långsamt roterande tubulär med diameter 1,1 m och längd 3 m. Utrustningen som finns i ett flertal storlekar och utföranden för tillämpningar inom t ex värmning, kylning och torkning är försedd med en mantel utanpå tubulären samt tuber genom tubulären för indirekt kylning eller värmning med luft. I det aktuella fallet kunde det bli fråga om att kyla.

Se även bilaga A.

2.3 Försöksbeskrivning

Vid försöken har använts såväl fuktmättad luft, 90-99 grader C, som direktinjicerad ånga som släckningsmedium. Fuktig luft fördes i motström mot kalken genom släckaren. När ånga användes provades både med- och motström. Inmatningshastighet av kalk samt temperatur och flöde av luft/ånga har varierats. Det har varit nödvändigt att försöka hålla ett litet undertryck i släckaren för att minska damning till lokalen, vanligtvis inställt inom intervallet 10-30 Pa. Huvudsakligen har försöken utförts utan mantelkyllning.

Mätdata från mätgivare har loggats under provkörningarna var tionde sekund. Mätdata har sedan matchats mot tidpunkter för provuttag.

Prover har tagits ut i nedanstående positioner, normalt med en timmes intervall.

1. Bränd kalk från mesaugn
2. Bränd kalk från lagringssilo
3. Ångsläckt kalk från filter
4. Ångsläckt kalk inifrån släckaren (tubulären)
5. Ångsläckt kalk från släckarens utmatningsskrub

Laboratorieutrustning har anskaffats för att utföra kausticering och vissa analyser:

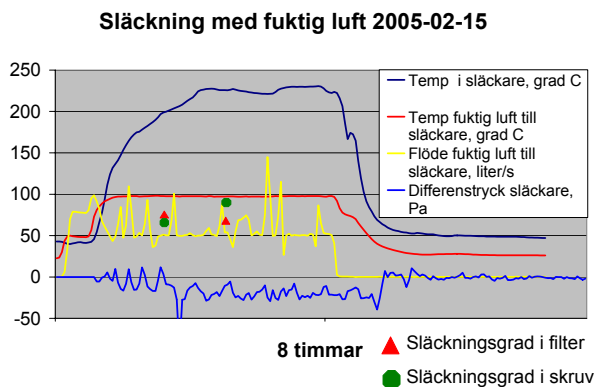
- Torrhalt hos bränd och släckt kalk genom vägning före och efter torkning i värmeskåp
- Torrhalt enligt ovan med SMAs torrhaltsautomat
- Kausticering i grönlut
- Sjunkningshastighet hos mesa efter kausticering
- ABC-titrering på erhållen vitlut efter kausticering
- Dessutom har några prover skickats till SMA i Persberg och Boda för analys, bland annat siktanalys 32 μm och 45 μm .

3 Resultatredovisning

Nedan redovisas resultat av provkörningarna i tabell- och diagramform. Olika aspekter diskuteras, såsom erhållna temperaturer, släckningsgrader och mesans avvattningsegenskaper efter kausticering.

3.1 Släckningstemperaturer

Ett antal provkörningar utfördes. Släckningsmediet var fuktig luft, i regel i intervallet 90-99 grader C, alternativt direktinjicerad ånga av ca 135 grader C. Fukthalten i utgående luft kunde inte mätas tillfredsställande, men daggpunkten uppskattas under provkörningarna ha legat vid 70 grader C och högre. Temperatur mättes i frånluft och låg regelmässigt i området 200-250 grader C. Högsta uppmätta temperatur i frånluft från släckaren var 270 grader C. I fast material som bakats ihop och fastnat runt släckarens väggar uppmättes som högst 390 grader C.



*Diagram 1
Släckning med fuktmättad luft
Slaking with air saturated with moisture*

I diagram 1 är kalktillförseln 200 kg/h i motström mot fuktig luft. Temperatur hos fuktig luft till släckare var 99 grader C. Flöde fuktig luft till släckare 50 l/s. Vatten med fuktig luft 29 kg/h. Stökiometriskt vattenbehov till släckningen 44 kg/h. Släckartemperaturen stabiliseras vid ca 225 C.

Tillförd fukt är under stökiometrisk mängd. Släckningsgrad i filter synes ha sjunkit från 81 till 75 %, medan släckningsgrad i utmatningsskruv stigit

från 73 till 98 %. Prov uttogs endast vid två tillfällen under denna provkörning.

Trots understökiometrisk vattentillförsel har daggpunkten hos frånluften inte varit lägre än uppskattningsvis 70-80 grader C. Det tyder på att kontakten mellan fuktig luft och kalk inte varit så god, alternativt uppehållstiden för kort. Att släckningsgraden är lägre i frånluften än i utmatningsskruven vid stationärt tillstånd kan bero på att finkornigt, nyss inmatat, osläckt material rycks med frånluften eftersom kalkinmatning och frånluftsutdrag sitter i samma ände av släckaren.

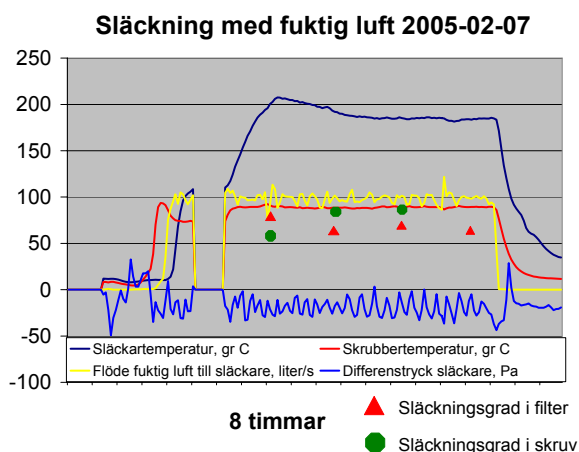


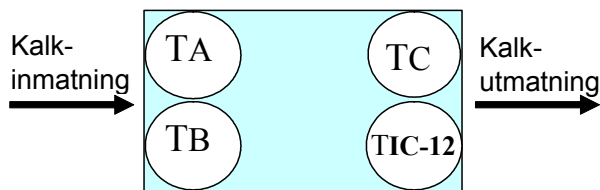
Diagram 2
Släckning med fuktmättad luft, låg fyllnadsgrad
Slaking with moist saturated air, low filling rate

Diagram 2:
Tillförd bränd kalk 150 kg/h i motström mot luftflödet.
Stökiometriskt vattenbehov till släckningen 33 kg/h.
Vatten tillfört med fuktig luft 40 kg/h.
Fuktig luft till släckare 100 l/s.
Temperatur hos tillförd fuktmättad luft 90 grader C.
Undertryck i släckaren 25 Pa.
Under denna provkörning hölls kalktillförseln på en förhållandevis låg nivå, medan luftflödet hölls tillräckligt högt för att all kalk skulle komma ut med frånluften.

Tubulären var fylld med material vid start, en blandning av fint och grovt material (spaltvidd i valskvarnen för inkommande kalk ca 5 mm). Temperaturen steg snabbt i början, men när finfraktionen lämnat släckaren med frånluften och kalkmängden minskat i släckaren bröts temperaturökningen. Vid slutet av körningen var släckaren nästan tömd på kalk, endast en mindre mängd av grovfraktion fanns kvar i släckaren. Den minskande mängd som kom ut via utmatningsskruven var finkornig och fick förhållandevis lång kontakttid i motström mot fuktig tilluft, och därför allt högre släckningsgrad. Hela finfraktionen lämnade till slut släckaren via frånluften.

En stor del av tillförd bränd kalk var finkornig, och torde därför ha ryckts med frånluften och fått mycket kort uppehållstid i släckaren. Släckningsgrad hos kalk uttagen i frånluftsfiltret har stannat vid ca 60-65 %. En okänd andel av släckningsarbetet måste dessutom ha skett i filterkakan, eftersom frånluften har haft kvar huvuddelen av sitt fukttinnehåll.

Diagram 3 - 6 nedan visar resultat från några av försöken som gjordes med direktinjicerad ånga av temperatur 135 grader C. I diagrammen visas temperaturer från manuellt avlästa termometrar, placerade i släckaren enligt figur 1, samt TIC-12 som var ansluten till styrsystemet och vid dessa försök placerad i kalkutmatningsänden. Ångan har inmatats i medström med kalken under dessa försök. Frånluft har tagits ut i kalkutmatningsänden. Försök har gjorts med och utan kylning av släckarens mantel. På x-axeln i diagrammen visas en skala omfattande 8 timmar.



Figur 1
Placering termometrar
Positions of thermometers

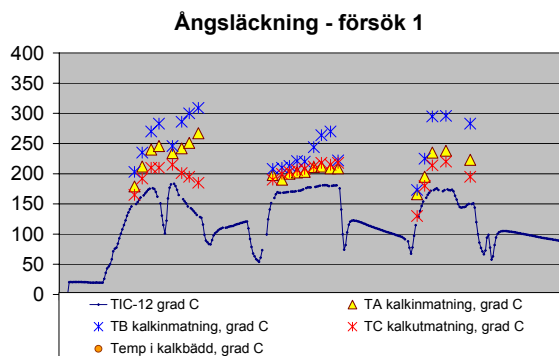


Diagram 3
Släckning med direktinjicerad ånga
Slaking with direct injected steam

Beläggningarna sönderdelades snabbt när släckaren roterades med ångtillförseln stängd. Även termometrarna blev täckta av kalkbeläggningen. Temperaturen steg snabbt efter att ångtillförseln startats, temperatur upp till 309 grader C uppmättes i kalkinmatningsänden i fast fas.

Ångsläckning – försök nr 1

Tubulären fylldes upp med kalk innan ångtillförseln startades. Ånga injicerades i medström med kalken och med hög hastighet på ångstrålen med syfte att se om kalkinmatningsänden på så vis kunde hållas fri från beläggningar. Kalktillförseln var relativt hög, 400 kg/h.

Släckaren stoppades några gånger under dagen för inspektion. Vid dessa inspektioner kunde iaktas att material hade byggt i kalkinmatningsänden.

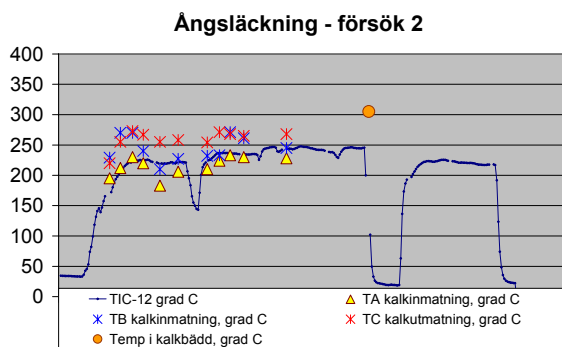


Diagram 4
Släckning med direktinjicerad ånga
Slaking with direct injected steam

Ångsläckning – försök nr 2
Ånga injicerades i samma ände som kalkinmatningen. Kalktillförseln var 400 kg/h. Temperatur i gasfas kring 250 grader C, ungefär lika i släckarens bägge ändar, som högst 271 grader C. I fast fas (ringbildning) i utmatningsänden uppmättes 305 grader C.

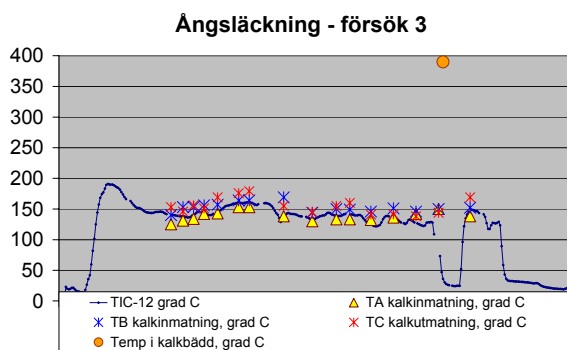


Diagram 5
Släckning med direktinjicerad ånga
Slaking with direct injected steam

Ångsläckning – försök nr 3
Liknande körsätt som föregående dag med tillägget att kylluft till släckarens mantel kördes. Syftet var att se om klubbning i släckaren ändrades vid sänkt temperatur.

Temperaturen i släckaren hölls vid ca 150 grader C (gasfasen) med hjälp av kylluft till mantelkyllningen. Efter ett par timmars körning blev det stopp i frånluftsfiltret på grund av fuktigt material. Efter rengöring av filtret och ytterligare några timmars körning stoppades släckaren för inspektion.

Väldigt mycket material hade då byggt inne i släckaren. Temperaturen 390 grader C uppmättes i det fasta materialet. Det var också den högsta temperatur som uppmättes under alla försökskörningar. Släckningsgraden 46 % uppmättes på materialet i släckaren efter att det hade sönderdelats genom rotation utan ångtillförsel. Släckningsgraden hos kalk från utmatningsskrub låg i intervallet 55-65 %, kalk från frånluftsfiltret 75-85 %.

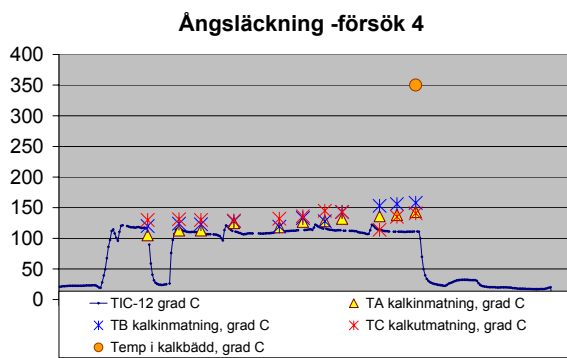


Diagram 6
Släckning med direktinjicerad ånga
Slaking with direct injected steam

När släckaren inspekterades efter körningens slut visade den sig vara nästan helt fylld med material som fastnat mot väggarna.

Släckningsgraderna i utmatningsskruven låg något högre än under föregående försök, och var i filtret nära 100 %. Kalkprov som togs inifrån tubulärens utmatningshals var fuktiga och visade sig ge mesa med anmärkningsvärt hög sjunkningshastighet, vilket också beskrivs nedan i samband med diagram 13.

Ångsläckning – försök nr 4

Försök gjordes denna dag med ytterligare ökad kylning av manteln. Temperaturen i släckaren hölls vid endast ca 130 grader C, vilket var så lågt som tilläts för att klara frånluftsfiltret från fuktutfällning och klubbning av material. Frånluftens temperatur steg med ca 15 grader C vid passage genom filtret, vilket visar att släckningen fortsatte i filtret. Mot slutet av körningen steg uppmätta temperaturvärdena i släckaren något, vilket förklaras av att dessa mätare fick beläggningar av kalk.

3.2 Sammanställning analyser

Ca 200 kalkprover har tagits ut, normalt ca 500-1000 gram, i burkar med tätslutande lock. Torrhaltsbestämning har i regel utförts direkt efter provtagning. Släckningsgrad och kausticering har i regel utförts i efterhand.

I redovisningen nedan ingår ett urval av ca 140 prover. Prover har valts ut där väsentliga parametrar har kunnat hållas inom vissa gränser:

Natriumsulfid, Na ₂ S	60-75	g/l
Verksamt alkali, VA	130-170	g/l
Totalt titrerbart alkali, TTA	175-200	g/l
Effektivt alkali, EA	100-130	g/l
Kausticeringstemperatur	85-100	°C
Kausticeringstid	90-120	min

I tabell 1 visas medelvärden för de i rapporten ingående proverna.

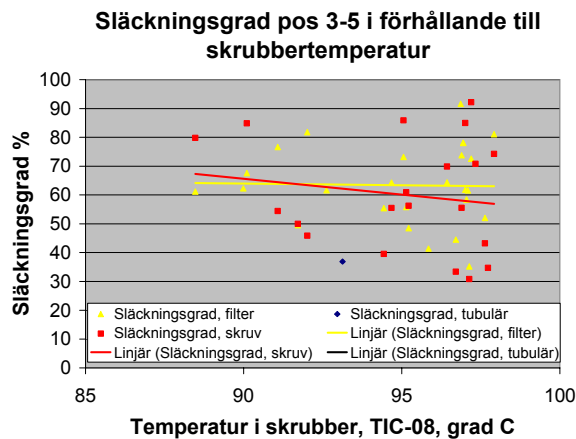
Kalkprovning

	Medelvärde pos 1 Mesaugn	Medelvärde pos 2 Silo	Medelvärde pos 3 Frånluftsfilter	Medelvärde pos 4 Tubulär	Medelvärde pos 5 Utmatningsskruv	Medelvärde pos 1-5
Torrhalt (TH) %	100	100	99	99	100	100
Släckningsgrad mht torrhalt (%)	0	0	67	66	58	45
Sjunkning (ml efter 10 min)	50	47	57	58	65	58
Effektivt alkali g/l (EA)	125	123	120	120	116	120
Verksamt alkali g/l (VA)	159	157	153	153	149	153
Totalt titrerbart alkali g/l (TTA)	190	186	186	186	187	187
NaOH g/l	91	89	86	87	83	86
NaCO ₃ g/l	31	29	33	33	38	34
Na ₂ S g/l	68	69	66	66	66	67
Kausticeringsgrad %	75	76	72	72	69	72
Sulfiditet/VA %	43	44	44	43	44	44
Sulfiditet/TTA %	36	37	36	36	35	36
Sjunkning/EA (Kvot)	0,40	0,38	0,48	0,48	0,56	0,48
Antal prover totalt	34	15	72	12	71	204
Antal prover efter urval	22	15	51	4	48	141

Tabell 1
Sammanställning av prover
Summary of analyses

3.3 Släckningsgrad

En viktig egenskap är släckningsgraden hos den erhållna produkten. Diagram 7 visar släckningsgrad i prover som uttagits i frånluftsfiltret respektive efter släckarens utmatningsskruv. Dessa visas i förhållande till skrubbertemperatur, dvs temperaturen hos den fuktiga luften som tillförts släckaren. I diagrammet ingår ej prover från körningar där släckning utförts genom injicering av ånga.



*Diagram 7
Släckningsgrad vid olika temperaturer hos fuktig luft till släckare.
Slaking rates with moist saturated air at different temperatures to the slaker.*

Luften som tillfördes släckaren fuktmättades med hjälp av en skrubber (100 % RH). Temperaturen hos den fuktiga luften till släckaren varierades huvudsakligen i intervallet 90-99 grader C. Det betyder att luftandelen varierat från 25 % ner till nära 0 %.

Släckningsgraden varierar i intervallet 30-90 %. Ingen korrelation kan utläsas mellan den fuktiga luftens temperatur och erhållen släckningsgrad. Ingen skillnad ses heller mellan släckningsgrader hos kalkprover uttagna i utmatningsskruv respektive frånluftsfiltret.

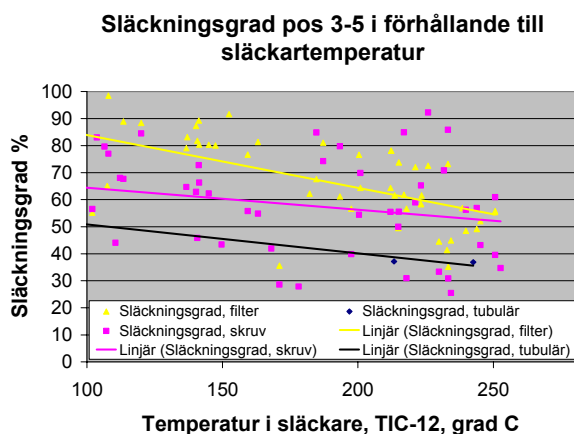


Diagram 8
 Släckningsgrad vid olika släckningstemperaturer.
 Obtained slaking rates at different slaking temperatures.

värme utvecklats och kalken alltså absorberat fukt ur tillförd luft. En bedömning är att daggpunkten hos släckarens frånluft har överstigit 70 grader C.

Kalksläckningen är en exoterm jämviktsreaktion enligt $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Ca(OH)}_2$. Släckningstemperatur som kan nås beror bland annat på vattenångtrycket. Redan vid vattenångtrycket 200 Pa (vilket motsvarar fuktmättad luft vid -8 grader C) är den teoretiska jämviktstemperaturen för släckningsreaktionen 300 grader C. (Ref. Alvfors [3]). När vi har tillfört släckaren fuktmättad luft vid 90 grader C, har vattenångtrycket varit ca 75 kPa hos tillförd luft.

Diagram 8 visar erhållen släckningsgrad i förhållande till temperatur i släckaren. Temperaturen i släckaren har varit inom intervallet ca 100-250 grader C. Släckningsgraden ligger huvudsakligen i intervallet 30-90 %.

Enligt diagrammet finns ett omvänt förhållande mellan släckningsgrad och temperatur i släckaren, vilket också är fysikaliskt helt rimligt. En annan parameter förutom temperaturen som ska påverka släckningsgraden är fukthalten inne i släckaren (partialtryck av H_2O), vilken inte har kunnat mätas. Det som med säkerhet kan sägas är att vattenångtrycket inne i släckaren har varit lägre än hos tillförd luft, eftersom

3.4 Kausticering

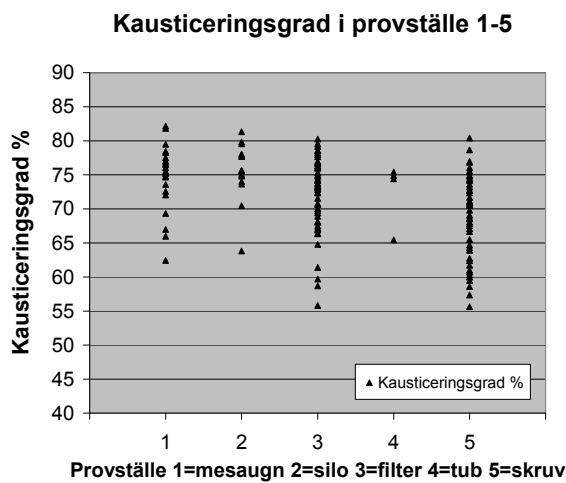


Diagram 9
 Erhållen kausticeringsgrad med osläckt och ångsläckt kalk.
Causticizing rate obtained from different types of burned and steam slaked lime.

bör avspeglas i kausticeringsgrad. Kausticeringstemperaturen har inte kunnat hållas lika hög som i fabrik, vilket sänker kausticeringsgraden. Eventuellt sämre omrörning påverkar inte jämviktens läge, men gör att det tar längre tid att nå den.

I diagram 9 visas kausticeringsgrad erhållen med osläckt och släckt material från olika provställen.

Kausticeringsgrad och effektivt alkali är i alla våra kausticeringsprov lägre än de som vanligtvis erhålls i fabrik.

Den ångsläckta kalken har gett något lägre kausticeringsgrad och större spridning än osläckt kalk från mesaugn eller lagringssilo. Som framgår av diagram 10 finns samma tendens ifråga om effektivt alkali.

Den stora spridningen i kausticeringsgrad kan förklaras med att vi inte alltid kunnat åstadkomma lika stabila förhållanden som i fabrik. Viss variation i temperatur i kausticeringen

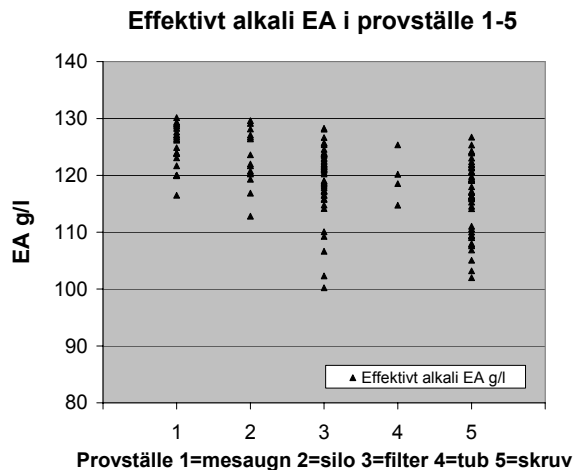


Diagram 10

Effektivt alkali hos vitlut från bränd respektive ångsläckt kalk.

Effective alkali in white liquor obtained with different kinds of burned and steam slaked lime respectively.

lösningens volym, vilket sänker koncentrationen av EA lika mycket (Diagram 10). Det stämmer väl med Tabell 1 enligt vilken EA hos vitlut från ångsläckt kalk är ca 3 % lägre än vitlut från bränd kalk. Lägre EA borde samtidigt ha påverkat kausticeringsgraden positivt i någon mån, vilket alltså inte kan utläsas.

Det har inte kunnat undvikas att det har skett en viss oxidation av grönlut/vitlut under kausticeringen i laboratoriet. Dock bör inte detta ha påverkat hydroxidjonkoncentrationen (effektivt alkali) nämnvärt. All sulfid S^{2-} hydrolyseras i grönluten till hydroxid OH^- och vätesulfid HS^- . Den sistnämnda omvandlas till tiosulfat $S_2O_3^{2-}$ vid oxidation med luftens syre, medan OH^- inte påverkas nämnvärt vid aktuell temperatur [5].

I diagram 10 visas effektivt alkali (EA) i vitlut efter kausticering med kalk från olika provställen.

Tendensen är liknande som för kausticeringsgrad, dvs den släckta kalken har gett något lägre värden än osläckt kalk.

Det skulle kunna tolkas så att den ångsläckta kalken är mindre reaktiv, dvs den har inte hunnit kausticeras lika långt som den brända kalken.

Den släckta kalken bär med sig en del bundet och eventuellt fritt vatten (om den inte är helt torr) vilket sänker koncentrationen hos lösningen. Det medföljande vattnet motsvarar 2-3 % av

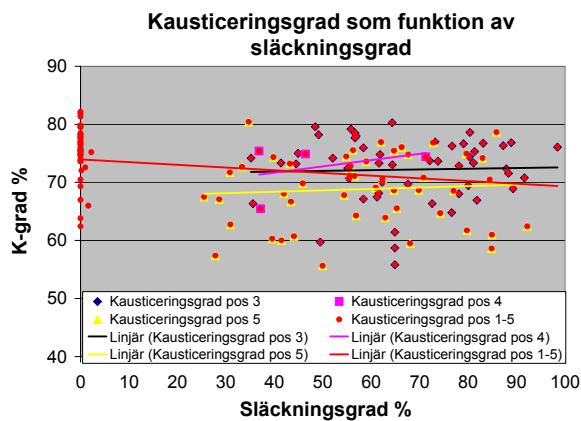


Diagram 11
Kausticeringsgrad vid olika släckningsgrad.
Causticizing rate at different slaking rate.

I diagram 11 visas kausticeringsgrad tillsammans med släckningsgrad. Kurvanpassning har gjorts dels till analyser från samtliga provställen (1-5), dels till analyserna från provställen 3-5 separat (filter, tub, skruv).

Kalk från släckaren har gett ungefär samma k-grad oberoende av släckningsgraden hos den använda kalken.

Tendensen som finns i diagram 10 och i tabell 1 visar att osläckt kalk gett något högre k-grad än ångsläckt kalk.

3.5 Mesans avvattningsegenskaper

En viktig aspekt i kausticeringen och efterföljande mesahantering är den bildade mesans egenskaper. I kausticeringen vill man traditionellt ha goda klarningsegenskaper hos den bildade vitluten. Mesan ska sjunka till botten i klarningskärnen eller vara lätt att avskilja i vitlutsfiltreringen.

Under kausticeringsförloppet är sjunkningshastighet det mått man vanligtvis använder sig av för att kontrollera att kalksatsningen är rimlig. Dålig sjunkning kan vara ett tecken på översatsning men ger också en uppfattning om mesans avvattningsegenskaper efter kausticeringen.

Mesans sjunkningshastighet efter kausticering har i försöken använts som ett mått på dess avvattningsegenskap. God sjunkning tyder på stora kristaller med hög densitet, dålig sjunkning tyder på finkornig och svåravvattnad mesa. Lutens temperatur och viskositet påverkar sjunkningshastigheten, men provningsförfarandet har utförts på likartat sätt för alla prover.

Ett syfte med försöken var att studera hur mesans avvattningsbarhet påverkades vid ångsläckning, eftersom man var rädd för att den ångsläckta kalken skulle ge en mycket finkornig och svåravvattnad mesa.

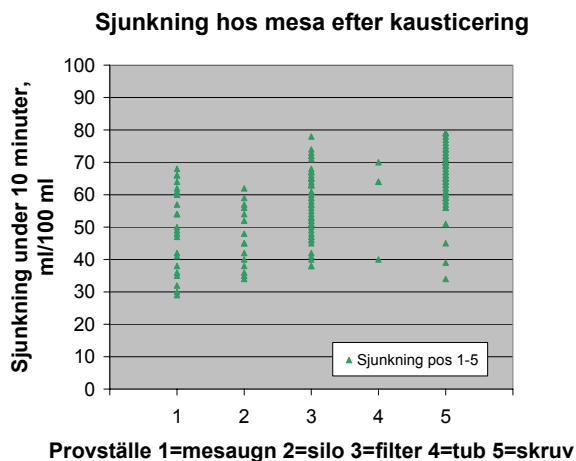


Diagram 12
Sjunkningshastighet mesa i vitlut efter kausticering med bränd respektive ångsläckt kalk. Sedimentation rate, lime mud in white liquor after causticizing with burned and steam slaked lime respectively.

kalk från mesaugnen, och 40 % större än bränd kalk från silo.

I diagram 12 visas avläst sjunkning efter kausticering. Den uppslammade, heta slurrin från kausticeringen har hållits i mättrör 100 ml. Sjunkningshastigheten är uttryckt som sjunkning under 10 minuter, ml/10 minuter.

I diagrammet uppvisar den ångsläckta mesakalken den snabbaste sjunkningen.

Den dominerande tendensen är att den ångsläckta mesan sjunker snabbare än mesan från den brända kalken.

Av Tabell 1 framgår att kalkproverna från släckarens utmatningsskruv har i medeltal 14 % större sjunkning än kalk från släckarens frånluftsfilter. Vidare framgår att sjunkningen hos mesakalk ifrån skruv är ca 30 % större än bränd

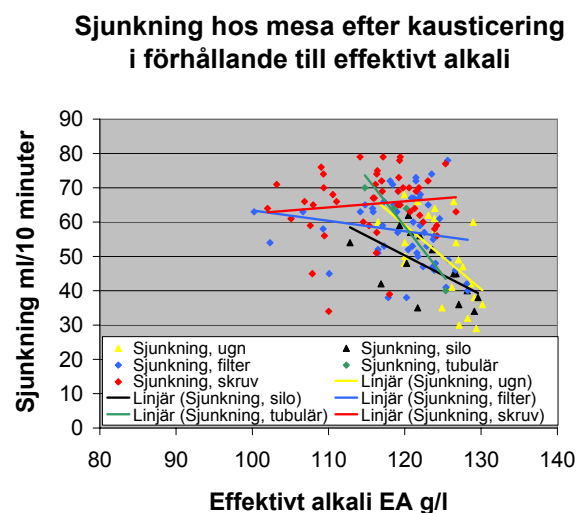


Diagram 13
Sjunkning hos mesa vid olika effektivt alkali, efter kausticering med bränd respektive ångsläckt kalk. Lime mud sedimentation rate after causticizing with burned and steam slaked lime respectively.

sjunkning än bränd kalk. Det framgår även av kvoten sjunkning/EA (Se Tabell 1).

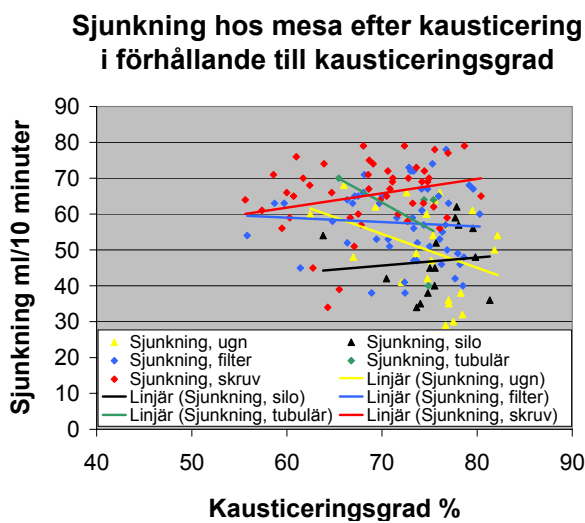
I diagram 13 visas sjunkning som funktion av effektivt alkali.

Det är känt att högre kalksatsning ger högre EA men också långsammare sjunkning hos mesan, finkornig och svåravvattnad mesa. I provmängden ingår endast prover med samma kalksatsning, varför variationer i EA snarare bör bero på olika långt framskriden kausticering.

Med undantag för kalk ifrån släckarens utmatningsskruv finns ett omvänt förhållande mellan sjunkning och EA. Sambandet är signifikant hos den brända kalken från mesaugn och lagringssilo.

Den ångsläckta mesan har gett snabbare

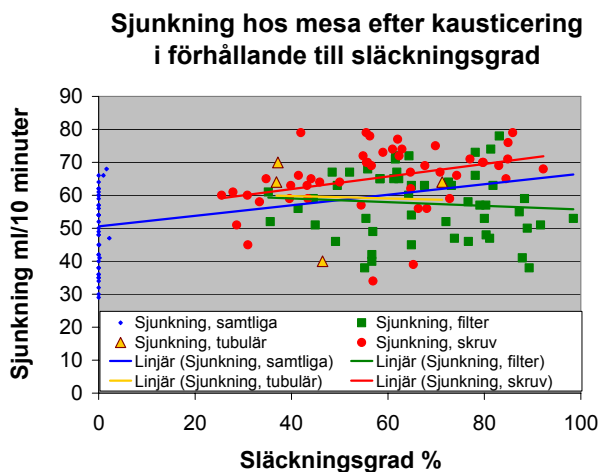
En speciell observation kan vara intressant i detta sammanhang. Hos ett par kalkprover uttagna inifrån släckaren (tubulären) har sjunkningen varit extremt hög, ca 90 ml efter kausticering. Dessa prover hade även i övrigt avvikande egenskaper och ingår därför inte i det urval prover som visas i diagrammen. Pga av tillfälliga omständigheter har kalken överfuktats och fått en grynigare konsistens. Torrhalten hos dessa prover var låg, 50-60 %. Kausticeringsgrad ca 50 %, EA ca 80 g/l, var låga vilket tyder på långsam och ofullständig reaktion.



I diagram 14 visas sjunkning mot kausticeringsgrad. Inget signifikant samband går att utläsa mellan sjunkning och k-grad.

Man ser dock tydligt att ångsläckt kalk uppvisar snabbare sjunkning än bränd kalk från ugn och silo.

Diagram 14
Sjunkning hos mesa vid olika kausticeringsgrad efter kausticering med bränd respektive ångsläckt kalk.
Lime mud sedimentation rate after causticizing with burned and steam slaked lime respectively.



I diagram 15 visas sjunkning mot släckningsgrad.

Osläckt kalk från mesaugn och silo sjunker långsammast.

Släckt kalk från utmatningsskruv sjunker snabbast enligt diagrammet, och ett svagt positivt samband med släckningsgrad kan skönjas.

*Diagram 15
Sjunkning i förhållande till släckningsgrad efter kausticering med bränd respektive ångsläckt kalk.
Sedimentation at different slaking rates after causticizing with burned and steam slaked lime respectively.*

3.6 Siktanalys

Några siktanalyser har utförts vid Svenska Minerals laboratorium i Boda på ångsläckt kalk uttagna ifrån utmatningsskruv och frånluftsfilter.

Alpinsikt - Svenska Mineral

Prov		32 µm			45 µm		
Burk nr	Plats	Prov 1 (g)	Prov 2 (g)	%	Prov 1 (g)	Prov 2 (g)	%
47	3=Filter	0,22	0,23	2,3	0	0	0
50	3=Filter	1,63	1,55	15,9	0,27	0,25	2,6
53	3=Filter	1,03	0,88	9,6	0,17	0,05	1,1
56	3=Filter	0,59	0,69	6,4	0,06	0,06	0,6
Medelvärde		0,87	0,84	8,55	0,13	0,09	1,08
48	5=Skruv	4,29	4,83	45,6	2,37	2,81	25,9
51	5=Skruv	2,01	1,45	17,3	0,99	0,78	8,9
54	5=Skruv	0,99	1,09	10,4	0,53	0,56	5,5
Medelvärde		2,43	2,46	24,43	1,30	1,38	13,43
Hydratkalk från Svenska Mineral		0,15	0,16	1,6	0,04	0,03	0,4

Tabell 2
Siktanalys hygroskopiskt släckt mesakalk
Sift analyses on hygroscopic slaked lime

Som referens visas siktanalys hos hydratkalk från kalksten, släckt i Svenska Minerals anläggning i Rättvik. Den ångsläckta kalken innehåller mer grovt material (>32 och >45 µm) än Rättviks hydratkalk (av kalksten). Det ångsläckta mesakalkstoffet som kommit ut via utmatningsskruv innehåller större mängd grovt material än mesakalk som kommit ut via filtret.

3.7 Studiebesök vid SMAs anläggning i Rättvik

Ett studiebesök har gjorts hos Svenska Mineral i Rättvik där man bränner kalksten i roterugnar och även tillverkar torr hydratkalk av bränd kalksten. De producerar ca 4 ton/h hydratkalk i en anläggning som till måtten inte är större än den använda försöksutrustningen. Släckningen utförs i en sorts bubbelbädd. Varmvatten blandas med kalk i ett liggande tråg med likaså liggande omrörare. Kalken täcker omröraren. Tre avlånga tråg, ca 3 m långa och 0,5 m breda, är staplade ovanpå varandra. Kalken faller från änden av det övre tråget till nästa. Vatten tillsätts tillsammans med kalk i det översta tråget, i överskott i förhållande till stökiometrisk mängd för att släcka kalken. Släckningen sker vid en temperatur om ca 120 grader C, och överskottsvattnet avdunstar av släckningsvärmets och avgår som ånga. Kalkbädden bubblar av den avgående ångan, och en del stoft rycks med till efterföljande skrubber där avgående ånga våtskrubbas med kallvatten, och stoft och varmvatten återförs till släckaren. Medryckningen av kalkdamm var förhållandevis blygsam i jämförelse med försöksutrustningen. Hydratkalken var torr och släckningsgraden ca 99,5 %.

4 Resultatanalys

4.1 Observationer och erfarenheter

Temperaturnivåer/Värmeutvinning

Huvuddelen av det värme som utvecklades under släckningen fördes bort med frånluften. Temperaturen nådde aldrig sådana nivåer att kylluft till manteln behövde köras för att skydda utrustningen. Det var en ambition att försöka påvisa att släckningen kunde bedrivas vid temperatur uppemot 300 grader C. Relativt enkelt nåddes 225-250 grader C, medan högsta säkert uppmätta temperatur i gasfas var 270 grader C. Temperaturen i material som fastnat på tubulärens väggar mättes med instickstermometer och var alltid högre än i gasfasen, upp till 390 grader C uppmättes.

Släckningsgrad

Eftersom släckningen sker i ett enda kärl med ganska kraftig omblandning, blir det inte ett idealt pluggflöde av kalk genom släckaren. Uppehållstiden hos en viss partikel kommer att kunna beskrivas som ganska stokastisk. Sannolikheten att erhålla 100 % släckt kalk ut ur släckaren minskar. Det är uppenbart att omblandning i ett enda kärl är till nackdel när hög släckningsgrad eftersträvas. Uppehållstiden påverkas naturligtvis även av hur mycket material som ryms i släckaren.

Huvuddelen av kalken tenderade att föras ut via frånluften när genomflödet av ånga/fuktig luft ökades. Det kommer att vara nödvändigt att återföra stoft eller reducera medryckningen.

Kausticering och sjunkning hos mesa

Jämfört med bränd kalk har den ångsläckta kalken gett mesa med snabbare sjunkning, även i förhållande till kausticeringsgrad och effektivt alkali. Siktanalys på ångsläckt kalk visar större andel grovfraktion (>32 och >45 μm) än hos hydratkalk från Rättvik. Farhågorna att ångsläckt kalk skulle ge mesa med sämre avvattningssegenskaper har inte besannats.

Prover med låg torrhalt och extremt hög sjunkning:

I stycke 3.5 ovan nämns om ett par udda prover som överfuktats och bearbetats under längre tid i utmatningsskruven. Dessa uppvisade vid kausticering en särskilt snabb sjunkning hos bildad mesa. Detta indikerar att överfuktning av kalken kan ge ett ”kalkbruk” som klumpar ihop sig och i princip skulle kunna vara ett sätt att styra mesans avvattningssegenskaper.

Kylning, ånggenerering

Den roterande släckaren som vi har använt förutsätter att eventuell mantelkylning sker med luft under atmosfärstryck. Om släckaren ska kylas via manteln måste ett extra värmeöverföringssteg införas, från kyl luften till ångpannan, vilket sänker effektiviteten.

De mekaniska tätningarna mellan manteln och tubulären är en svag punkt där läckage och värmeförlust kan uppstå.

Kladdning

När fuktig luft använts som släckningsmedium har kalken inte kladdat, utom under exceptionella förhållanden när kalken fuktats i släckaren pga för liten tillförsel av kalk.

När ånga injicerades direkt i släckaren bakade kalken ovillkorligt ihop sig runt släckarens väggar och tuber. Detta oberoende om ångan injicerades i medström eller motström mot kalkens riktning. Beroende på temperatur i släckaren uppträdde kladdningen i olika ändar av släckaren. Vid hög temperatur i släckaren bakade kalken ihop sig vid kalkinmatningen. När ångtillförseln upphörde föll kakorna i regel sönder efter en kort stunds rotation av släckaren. Kyluft till tubulärens mantelkylning kördes i ett fall, nämligen när vi ville undersöka hur klubbning påverkades av låg temperatur i släckaren vid släckning med ånga. Vid låg temperatur uppträdde kladdningen i utmatningsänden.

Ovanstående olika beteenden förklaras möjligen på följande sätt:

Kakan bildas när vattenånga sugas inåt i kalkskiktet pga att släckning pågår och ångan förbrukas. Kalkskiktet hålls till att börja med bara ihop av undertycket i kalkskiktet. Om gasfasen är luftbemängd bildas en "luftkudde" (anrikning av luft i materialet utgör diffusionshinder för vattenånga) som hindrar mer ånga att sugas in i kalkskiktet och kakan faller sönder. När ånga utan luftinblandning används uppstår inte luftkudden lika snabbt, och mer material kan sugas fast och bilda en tjockare kaka. Att kakan faller sönder när ångtillförseln upphör kan då förklaras av att undertrycket som håller ihop den utjämnas när ingen vattenånga längre finns.

Damning

Damning till lokal på grund av läckage i släckarens tätningar var besvärande. Den kunde möjligen ha undvikits genom att använda större undertryck i släckaren, men på bekostnad av inläckande "tjuvluft" vilket inte är önskvärt i denna tillämpning. Även om försöksanläggningen inte helt kan jämföras med en produktionsanläggning kan det inte bortses ifrån att den roterande tubulären har en svaghet i de mekaniska tätningarna.

Ånga eller fuktig luft som släckningsmedium

Trots ovan beskrivna fenomen med kladdning vid ångsläckning, bör ånga utan luftinblandning vara att föredra som släckningsmedium. Om ånga utan luftinblandning används vid släckningen behövs i princip inget avdrag av ånga/fuktig luft från släckaren, förutsatt att släckaren kyls, och därmed minimeras även medryckningen av stoft.

Rättviks släckare

Följande kan ses som gynnsamt: Konstruktionen är kompakt. Medryckningen av stoft är förhållande liten. Tätningar mot roterande delar är endast för drivaxlar till omrörare, liten damning till lokal. Tre seriekopplade tråg ger pluggflöde.

4.2 Processdata och laboratorieanalyser

Det var väsentligt att ha kontroll på inmatning av kalk och fuktig luft till släckaren. Den till detta ändamål använda satsvågen för kalkinmatning samt skrubbern för framställning av fuktig luft har fungerat väl. Styr- och datainsamlingsystemet fungerade väl.

Upprepade driftavbrott och korta körtider försvårade utvärderingen av försöken.

Fuktmätning i släckaren hade varit önskvärt, men fick uteslutas på grund av tekniska hinder.

Provtagning, provberedning och laboratorieanalyser har utförts av personal med laboratorievana.

Prover av bränd kalk (kulor) har malts för att minska neddelningsfel vid efterföljande invägning av prov för analys.

Metodik och laboratorieutrustning som stått till förfogande har möjliggjort bestämning av torrhalt och släckningsgrad med god noggrannhet.

Till diagram som redovisas har i möjligaste mån prover valts som inte avviker för mycket i väsentliga parametrar.

Kausticeringsförsök som utförts efterliknar inte helt tillfredsställande kausticering i fabriksutrustning. Kausticering i fabrik utförs vid något högre temperatur och under jämnare omrörning än som varit möjligt att uppnå med använd utrustning. Det finns anledning tro att det har resulterat i lägre och varierande kausticeringsgrad. En viss oxidation av grönlut/vitlut under kausticeringen har inte kunnat undvikas.

Kausticering har utförts med en normerad sats mesakalk motsvarande 65 g CaO per 1 000 ml grönlut. 400 ml grönlut har använts vid kausticeringen. Samma grönlut har använts till alla kausticeringar.

5 Slutsatser

Släckningstemperatur

Ett syfte med försöken har varit att ta reda på om man kan nå temperaturer under släckningen tillräckliga för att i fabriksskala effektivt kunna driva en mesatorn och att framställa lågtrycksånga till fabriken lågtrycksnät. De maximala temperaturer som uppnåtts i släckaren har inte riktigt motsvarat förväntningarna. Om de i gasfas maximalt uppmätta 250-270 grader C skulle kunna hållas i en produktionsanläggning, bör dock ånga av 140 grader C kunna framställas. De högre uppmätta temperaturerna i fast fas ger stöd för att högre temperaturer bör vara möjliga att nå i en mer optimal anläggning.

Släckningsgrad

Fullständig släckning har inte uppnåtts i den testade utrustningen. Även vid lägsta produktion nåddes i regel inte högre släckningsgrad än 90 %. Kontakten mellan fast fas och gasfas blir inte lika ideal som i en fluidbädd. Att släckaren består av ett enda reaktionskärl med omblandning (inte ”pluggflöde”) spelar också en roll, genom att enskilda partiklar kan råka passera genom släckaren på mycket kort tid.

Mesans avvattningssegenskaper

Ett annat syfte har varit att undersöka avvattningssegenskaperna hos mesan. Redovisade resultat ger skäl till att förvänta sig minst lika goda avvattningssegenskaper hos mesa från ångsläckt kalk som hos mesa från osläckt kalk. Detta är ett intressant resultat, eftersom man befarade att den ångsläckta kalken skulle ge en mycket finkornig och svåravvattnad mesa.

Övrigt om den testade utrustningen

En kraftig överbäring av stoft har skett till släckarens frånluftsfilter. Det finkorniga kalkstoftet har inte har lämpat sig att tumla i den använda utrustningen. Stor mängd stoft rivs upp till gasfasen jämfört med förhållandet i den omnämnda släckaren för framställning av hydratkalk som finns hos Svenska Mineral AB i Rättvik.

Den testade utrustningens tätningar mot roterande delar i in- och utmatning klarar inte av att stå emot mer än mycket små tryckskillnader. Även om släckningen utförs vid atmosfärstryck finns risk att kalkdamm kommer att läcka ut till omgivningen, eller att ”tjuvluft” sugas in i släckaren och bildar diffusionshinder för vattenångan.

6 Rekommendationer och användning

Mot bakgrund av positiva resultat hos erhållna avvattningsegenskaper hos mesa vid kausticering med ångsläckt kalk, finns anledning att arbeta vidare med ångsläckning.

Den typ av släckningsutrustning som testats bedöms inte ha förutsättningar att klara de krav som måste ställas på en produktionsutrustning i denna applikation.

Utifrån den kunskap och de erfarenheter som vunnits, rekommenderas att rikta intresse mot någon typ av fluidbädd, till exempel med utgångspunkt från den omnämnda konstruktion som används i Rättvik.

7 Förslag till fortsatt forskningsarbete

Följande föreslås:

- Inventera vilka andra typer av konstruktioner som kan lämpa sig för ångsläckning av mesakalk, med fokus på fluidbäddar.
- Utföra pilotförsök med ångsläckning i fluidbädd.

8 Referenser

- [1] Ekdahl T, Lundqvist R, patenträttsinnehavare

- [2] Projektgrupp KTH Energiprocesser: Bjotveit S, Gordon A, Ohlsson K, Rutqvist E, Williamsson E "Förstudie Eldriven kalcinering", KTH Kemiteknik/Energiprocesser, Stockholm, juni 2003

- [3] Bjerle I, Kiuru S, "CaO-hydratisering i ångatmosfär", Avd för Kemisk Teknologi, Lunds Universitet

- [4] Alvfors P, "On the high temperature sulphur capture by calcium based sorbents", Avdelningen för Värmeteknik, KTH, Stockholm, 1990

- [5] Kassberg M, Pettersson B, "Vitlutberedning", Skogsindustrins Utbildning i Markaryd AB, Markaryd, september 1997

Bilagor

A Beskrivning av försöksanläggningen

A.1 Bilder från provanläggningen

Nedan visas några foton från provanläggningen.



Bild 1: till vänster skrubber för tillverkning av fuktmetad luft, mitt i bild frånluftsiltret (grönt), bakom till höger skymtar släckarens utmatningsände.



Bild 2: Släckare med kylfläkt och utmatningsskruv.



Bild 3: Utloppsledning från mantelkylning.



Bild 4: Släckarens tubulär med kalkinmatning till vänster, utmatningsände till höger.



Bild 5,6: Släckarens inmatningsände med elevator som transporterade upp till satsvåg (röd) under vilken fanns cellmatare till kvarn (grön).



Bild 7: Elevator som hämtade bränd kalk från mesaugnens redlertransportör eller från silo med truck.



Bild 8: Släckarens kalkutmatning via cellmatare och skruvtransportör till container.



Bild 9: Släckarens utmatningshals med de ställbara utmatningsskoporna. Kalk har klibbat fast runt utmatningshalsen. Tubulären är välfylld med material efter att fastklibbat material lossnat från väggarna.



Bild 10: De långsgående tuberna som syns inne i släckaren utgör, tillsammans med tubulärens mantelyta, kyl- eller värmeytor beroende på tillämpning. Ytorna är rena från beläggningar och endast en mindre mängd material finns inne i släckaren.



Bild 11: Laborariearbete Sandarne.

Värmeforsk är ett organ för industrisamverkan inom värmeteknisk forskning och utveckling. Forskningsprogrammet är tillämpningsinriktat och fokuseras på energi- och processindustriernas behov och problem.

Bakom Värmeforsk står följande huvudmän:

- Elforsk
- Svenska Fjärrvärmeföreningen
- Skogsindustrin
- Övrig industri

VÄRMEFORSK SAMARBETAR MED
STATENS ENERGIMYNDIGHET

VÄRMEFORSK SERVICE AB
101 53 Stockholm
Tel 08-677 25 80
Fax 08-677 25 35
www.varmeforsk.se

Beställning av trycksaker
Fax 08-677 25 35