# IVL RAPPORT

Refer

L85/320

# DIFFUS DAMNING I SAMBAND MED VITTRING AV BASISK SLAGG FRÅN STÅLTILLVERKNING

INSTITUTET FÖR VATTEN-
OCH LUFTVÅRDSFORSKNING

Bengt Steen

IVL publ. B 807
Göteborg
1985

# IVL

## INSTITUTET FÖR VATTEN- OCH LUFTVÅRDSFORSKNING

SWEDISH ENVIRONMENTAL RESEARCH INSTITUTE


Organisation/Organization

Institutet för Vatten- och Luftvårdsforskning

Adress/Address Box 5207

402 24 Göteborg

Telefonnr/Telephone


**RAPPORTSAMMANFATTNING**
**Report Summary**

Projekttitel och ev SERIX projektnr


Rapportförfattare (efternamn, tilltalsnamn)
Author (surname, christian name)

Steen, Bengt


Anslagsgivare för projektet/Project sponsor

Rapportens titel och undertitel/Title and subtile of the report

Diffus damning i samband med vittring av basisk slagg från ståltillverkning


Sammanfattning/Summary

En utredning har utförts om möjliga åtgärder för att minska olägenheterna av diffus damning i samband med vittring av basisk slagg vid ståltillverkning. En litteraturstudie har visat på orsakerna till vittringen. Denna anses bero på att slaggen då den svalnar innehåller dikalciumsilikat som övergår från en kristallform till en annan under kraftig densitetsförändring. I vittrade slaggprover från svenska stålverk har dessa kristallformer identifierats med röntgendiffraktionsanalys. Flera olika åtgärder diskuteras. I samtliga fall torde det vara lämpligt att så långt möjligt minska vindhastigheten då slaggen svalnar till under någon eller några meter per sekund.



Förslag till nyckelord samt ev anknytning till geografiskt område, näringsgren eller vattendrag/Keywords

damning, diffus damning, slagg, vittring, ståltillverkning, elektrostålugn

Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data

IVL - publ. B 807

Beställningsadress för rapporten/Ordering address

IVL, Biblioteket
Box 21060, S-100 31 Stockholm, Sweden

INNEHÅLLSFÖRTECKNING


| | | Sid. |
|---|---|---|
| 1. | Bakgrund, målsättning | 1 |
| 2. | Litteraturgenomgång | 1 |
| 3. | Analyser av slaggprover med avseende på kemisk sammansättning, partikelstorleksfördelning och damningsbenägenhet | 8 |
| 4. | Beräkning av stoftdeposition runt en fiktiv öppen slagghantering | 18 |
| 5. | Diskussion av några möjliga åtgärdsalternativ | 20 |
| A. | Förändring av slaggens sammansättning | 20 |
| B. | Inbyggnad av slagghanteringen | 20 |
| C. | Skärmning av slagghanteringen | 21 |
| D. | Avskiljd hantering | 21 |
| E. | Våtskrubber för lokal, diffus damning | 21 |
| 6. | Slutsatser | 24 |
| 7. | Litteraturreferenser | 25 |

# DIFFUS DAMNING I SAMBAND MED VITTRING AV BASISK SLAGG FRÅN STÅLTILLVERKNING

## 1. Bakgrund, målsättning

En besvärande damning uppstår ibland då basisk slagg från ståltillverkning tippas och får svalna. Slaggen vittrar sönder och bildar ett torrt fint stoft, som lätt virvlas upp i luften och kan förorsaka olägenheter i arbetsmiljö och omgivningar.

På senare år har sådana olägenheter blivit alltmer uppmärksammade, dels genom att de blivit vanligare, dels genom att den mer iögonfallande röken från ugnsprocesserna i stor utsträckning åtgärdats.

Inom ramen för IVL:s branschspecifika forskningsprogram och i samverkan med Jernkontoret, representanter för stålindustrin och SNV har en studie genomförts med syfte att ge uppslag om lämpliga emissionsbegränsande åtgärder.

## 2. Litteraturgenomgång

Det är framförallt i tysk litteratur som man finner studier av stabiliteten hos basiska slagger från ståltillverkning i konvertrar s.k. Ld-slagger eller BOF-slagger. Även studier av masugnsslagger förekommer. Intresset för slagger i Tyskland beror på att man där producerar stora mängder slagg, saknar råvarutillgångar med liknande egenskaper samt har relativt små landarealer att deponera dem på. Artiklar har även påträffats i amerikansk, fransk, japansk och rysk litteratur men i mindre omfattning.

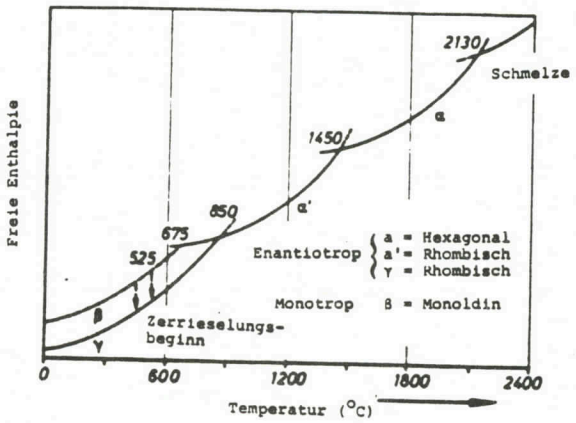
Intresset för slaggernas stabilitet gäller främst volymsstabiliteten när de används som fyllnadsmaterial för t.ex. vägbyggen. I sådana sammanhang sker dels långsamma fasomvandlingar mellan olika kristallmodifikationer, dels en hydratisering av CaO och en därav orsakad svällning av materialet.

Andra användningsområden, som diskuteras och där vittringen är av intresse (Barnes 1980) är

- tillsats till hönsfoder för att öka kalkhalten
- kalkning av jordbruksmark
- neutralisering av surt gruvvatten från kolgruvor
- cementtillverkning
- adsorptionsmedium för svaveldioxid

Miljöaspekterna i samband med slaggvittringen har inte nämnts i någon av de artiklar som påträffats. Parametrar av intresse för miljöeffektbedömningen, främst partikelstorleken är knappast behandlade alls.

Samtliga författare som givit en förklaring till vittringen, d.v.s. Schwiete et al. (1968), Elstner et al. (1970), Geiseler et al. (1983), Thomas och Stephenson (1978) och Panis (1976) anger skälet vara den 12%-iga volymsökning, som sker då β-dikalciumsilikat ($\beta$-$C_2S$) övergår till γ-dikalciumsilikat ($\gamma$-$C_2S$) då slaggen svalnar. Olika $C_2S$-modifikationers stabilitetsområden visas i figur 1.




Figur 1. Stabilitetsområden för olika dikalciumsilikat-modifikationer. Efter Nurse (1952) och Bredig (1950).

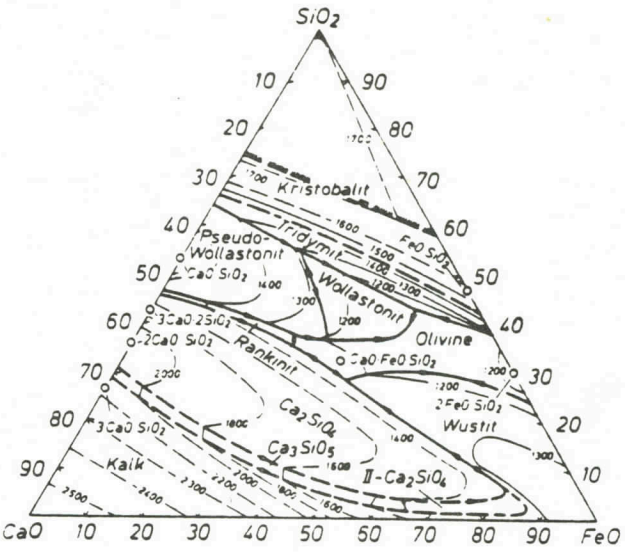
När den fria entalpin (ung.. lika med värmeinnehållet) hos en $C_2S$ kristall minskar sker en temperatursänkning enligt kurvan i figuren. Diskontinuiteterna i kurvan uppträder i samband med omkristalliseringar. Den första kristalltypen som bildas när smältan stelnar är av hexagonal typ och benämnes $\alpha$-$C_2S$. Sedan följer $\alpha^1$-$C_2S$ som är en rombisk kristalltyp, $\beta$-$C_2S$ som är monoklin och slutligen $\gamma$-$C_2S$ som återigen är rombisk. $\beta$-$C_2S$ är instabil, dvs den kan i hela sitt existensområde omvandlas till $\gamma$-$C_2S$. Vid övergången till $\gamma$-$C_2S$ sker vittringen.

I en stelnad slagg förekommer ett flertal kristalltyper förutom $C_2S$. Nedan i tabell 1 redovisas några. Dessa har i sin tur olika kristallmodifikationer på liknande sätt som $C_2S$.

Tabell 1.

| Slaggkomponent | Kemisk formel | Förkortning |
|---|---|---|
| Kalciumoxid | $CaO$ | C |
| Järn(II)oxid, wüstit | $FeO$ | W |
| Järn(III)oxid | $Fe_2O_3$ | F |
| Kiseldioxid | $SiO_2$ | S |
| Kalciumsilikat | $CaO \cdot SiO_2$ | CS |
| Dikalciumsilikat | $2CaO \cdot SiO_2$ | $C_2S$ |
| Trikalciumsilikat | $3CaO \cdot SiO_2$ | $C_3S$ |
| Järnsilikat | $FeO \cdot SiO_2$ | WS |
| Fayalit | $2FeO \cdot SiO_2$ | $W_2S$ |
| Olivin | $CaO \cdot FeO \cdot SiO_2$ | CWS |
| Kalkferrit | $2CaO \cdot Fe_2O_3$ | $C_2F$ |
| Andradit | $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3SiO_2$ | $C_3FS_3$ |

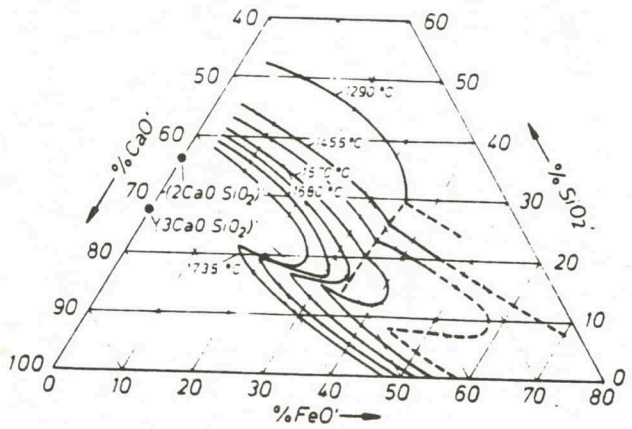
Förekomsten av $C_2S$ i systemet CaO-FeO-$SiO_2$ har undersökts av Schürmann och Winterfeld (1972) (figur 2 och 3), och redovisas av dem i ett trekomponents fasdiagram.



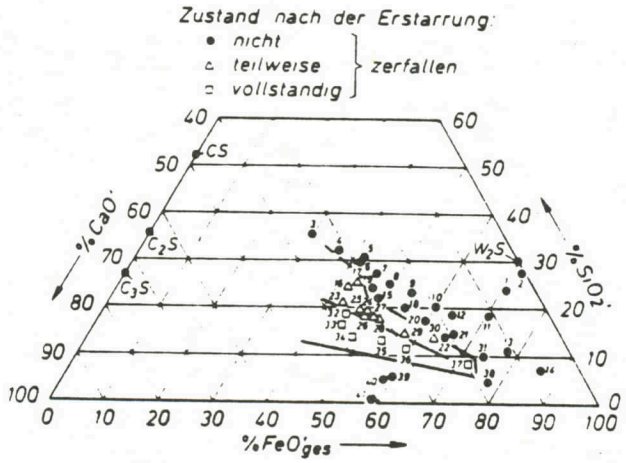

Figur 2. Systemet CaO-FeO-$SiO_2$. Efter Schürmann (1972)

## Hur man läser fasdiagram

Ett trekomponents fasdiagram är konstruerat på följande sätt: Viktsandelen av de tre komponenterna, $SiO_2$, CaO och FeO anges på trianglens sidor och är 100% i hörnet där komponenten anges. På motstående sida är halten 0. Parallellt med motstående sida går linjer genom triangeln som representerar slaggsammansättningar med samma koncentration av den aktuella komponenten. När två komponenters koncentration är given är även den tredjes given både geometriskt (skärningspunkten mellan två linjer) och matematiskt (100% - de två komponenternas %-andelar). Ibland redovisas även en tredje dimension -temperaturen - "uppåt" från papperet. "Uppåt" finns då smälta medan man närmar sig papperet möts av ett antal sammanhängande delytor som lutar och kröks på olika sätt och som representerar fasövergångar. I figur 2 anges övergången mellan smälta och fast fas. Delytornas lutning har angetts genom iso-linjer för punkter med samma stelningstemperatur. När man sänker temperaturen i en smälta motsvaras detta av att en punkt i fasdiagrammet på oförändrat avstånd från de tre hörnen närmar sig en viss delyta. När punkten träffar delytan motsvaras detta av att den fasta fasen börjar falla ut. Om den fasta fasens sammansättning skiljer sig från smältans får man en successiv ändring av smältans sammansättning och punktens läge i förhållande till triangelns hörn. Om t.ex. $C_2S$ faller ut rör man sig längs en linje, som lutar så att sammansättningen minskas med 2%-enheter CaO när den minskas med 1% $SiO_2$ dvs något mot FeO-hörnet. När denna linje träffar en annan fasgräns börjar en ny fas falla ut och riktningen ändras. Hela tiden förutsätts temperauren minska, dvs man rör sig utefter fasgränsytorna "ner mot papperet".




Figur 3. Utseendet hos stelningskurvor för $C_2S$ i systemet $CaO-FeO-SiO_2$. Efter Schürmann (1972)



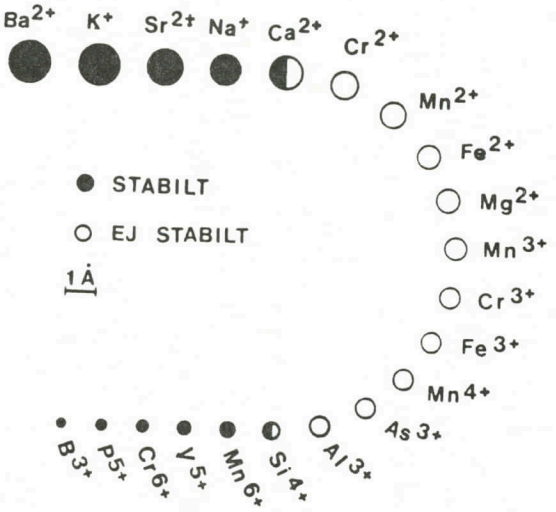

Figur 4. Slaggsammansättning och vittringsförhållanden efter svalning. Fyrkanterna anger fullständig vittring och ligger inom det område där $C_2S$ bildas (jfr. fig. 2). Δ anger delvis vittrade prover och • ej vittrade prover.

Om förhållandena är sådana att $C_2S$ kan bildas och svalning sker är det inte säkert att $\gamma$-$C_2S$ bildas. Någon av de andra faserna, främst $\beta$-fasen kan stabiliseras genom att främmande joner går in som fast lösning i kristallgittret (Schweite, 1968). Detta kan ske antingen genom att

a) $Ca^{2+}$-joner ersätts av en relativt stor mängd större katjoner (positiva joner ) t.ex. $Ba^{2+}$

b) $(SiO_4)^{4-}$-gruppen ersätts av ett mindre anjonkomplex (negativt jonkomplex) t.e.x $CrO_5^{4-}$.

Dietzel(1953) anger följande schema för stabiliserande joner (Figur 5).




Figur 5. Stabiliseringseffektens avhängighet av radien hos främmande joner i $C_2S$-fasen.

Stabiliseringseffekter har uppmätts (Schweite 1968) med $V_2O_5$ och $B_2O_3$ i storleksordningen 0.1 till 0.25% inblandning i $C_2S$-fasen. För $As_2O_5$ och $P_2O_5$, $Cr^{6+}$ och $Mn^{6+}$ (räknat som $Cr_2O_3$ resp. $MnO_2$) erfordras ungefär 3% i $C_2S$-fasen. Det är då $\beta$-$C_2S$ som blir metastabil.

I fallet Cr och Mn kan dessa joner både förekomma som trevärda och sexvärda. Eftersom endast den sexvärda verkar stabiliserande har syretrycket stor betydelse. Schweite (1968) undersökte stabiliseringseffekten av 3% $CrO_3$ resp. MnO genom att upphetta $C_2S$ till 1500° C vid olika atmosfärstryck under 1 tim. Han fann att efter avsvalning förekom faserna γ resp. β vid följande syretryck

| | $\gamma$-$C_2S$ partialtryck för syre (torr) | $\beta$-$C_2S$ (torr) |
|---|---|---|
| 3% $Cr_2O_3$ | $\leq$ 10 | $\geq$ 75 |
| 3% MnO | $\leq$ 75 | $\geq$150 |

En stabilisering av α-$C_2S$ fordrade 20% $Ca_3(PO_4)_2$, 20% $Sr_2SiO_4$ eller 10% $Ba_2SiO_4$.

Stabiliserande effekt erhölls även vid lägre tillsatser då blandningar av 3% $Ba_2SiO_4$ med 1.25% $Mg_2SiO_4$ användes. Likande förhållanden rådde för $Sr_2SiO_4$ och $Ca_3(PO_4)_2$ i kombination med $Mg_2SiO_4$.

## 3. Analyser av slaggprover med avseende på kemisk sammansättning, partikelstorleksfördelning och damningsbenägenhet

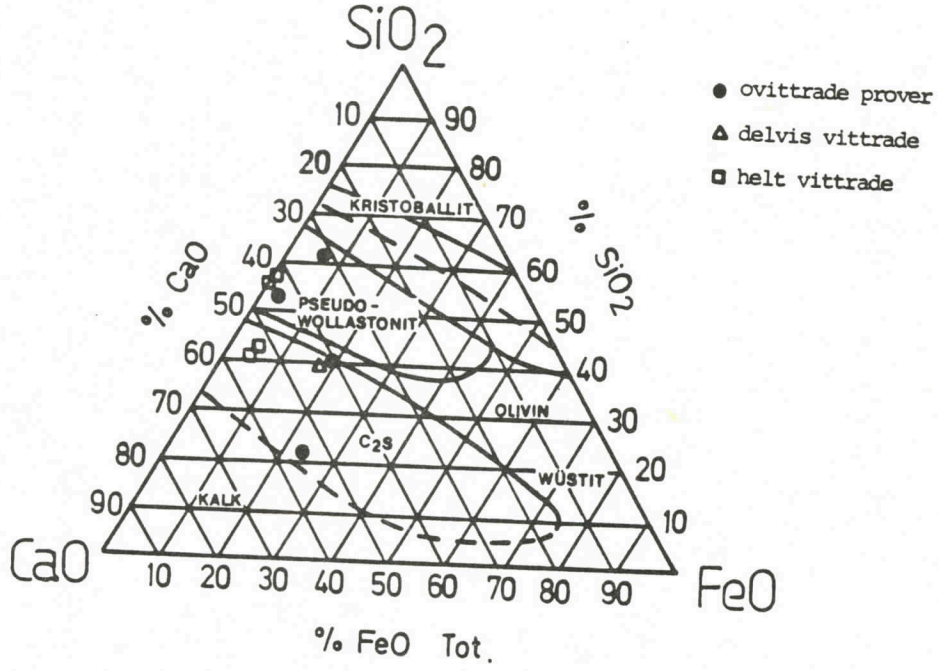
För att undersöka om de i litteraturen beskrivna förhållandena var tillämpbara på våra svenska elektrostålugnsslagger insamlades ett antal prov på sådana. I tabell 1 redovisas de slaggprover som undersökts inom ramen för det här redovisade projektet eller av andra laboratorier samt vilka tester som utförts.

| Prov-beteckning | Vittrat | Typ av slagg T=Tapphall U=Ugn R=Rostfri tillverkning | Partikelstorleksanalys | Kemisk analys | Fasanalys | Vinderoderbarhet | Referens |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | nej | U | | X | X | | |
| 2 | nej | T | | X | X | | |
| 3 | delvis | T | | | | | |
| 4 | nej | U | | | | | |
| 5 | helt | T | X | | | X | |
| 6 | nej | U | | | | | |
| 7 | helt | T | X | X[1] | X[1] | X | |
| 8 | delvis | U | | X | X | | |
| 9 | delvis | T | X | | | X | |
| 10 | nej | U | | | | | |
| 11 | helt | T | X | | | X | |
| 12 | nej | U | | | | | |
| 13 | helt | T | X | | | X | |
| 14 | nej | U | | | | | |
| 15 | helt | T | | | | X | |
| 16 | nej | U | | | | | |
| 17 | helt | T | X | | | X | |
| 18 | nej | U | | | | | |
| 19 | helt | T | | | | X | |
| 20 | nej | U | | | | | |
| 21 | helt | | X | | | | fabrik A |
| 22 | helt | | X | | | | " |
| 23 | | U | | X[2] | | | " |
| 24 | | T | | X[3] | | | " |
| 25 | | T | | X[4] | | | " |
| 26 | helt | | | X | | | " |
| 27 | helt | | | X | | | " |
| 28 | nej | | | X | | | " |
| 29 | helt | R | x | | | | |
| 30 | helt | R | x | | | | |

1) även på olika partikelfraktioner
2) medelvärde av 6 analyser
3) medelvärde av 7 analyser
4) medelvärde av 19 analyser

Tabell 1. Förteckning över undersökta slaggprover och utförda tester.

Tabell 2 visar den kemiska sammansättningen hos några av proverna. I Figur 6 har denna ritats in i systemet CaO-$SiO_2$-$FeO_{tot}$. De ovittrade proverna har markerats med • och de vittrade med □.




Figur 6. Exempel på slaggsammansättning.

Jämfört med vad Schürman angivit (Figur 4) vittrar våra slagger inte lika konsekvent då de ligger inom $C_2S$-området respektive förblir ovittrade om de ligger utanför området. Sannolikt beror detta på att Schürmann arbetat med syntetiska slagger med enbart de tre redovisade komponenterna, medan våra slagger även innehöll andra ämnen i relativt höga koncentrationer såsom $Al_2O_3$, MgO och MnO samt ett flertal ämnen i låga koncentrationer.

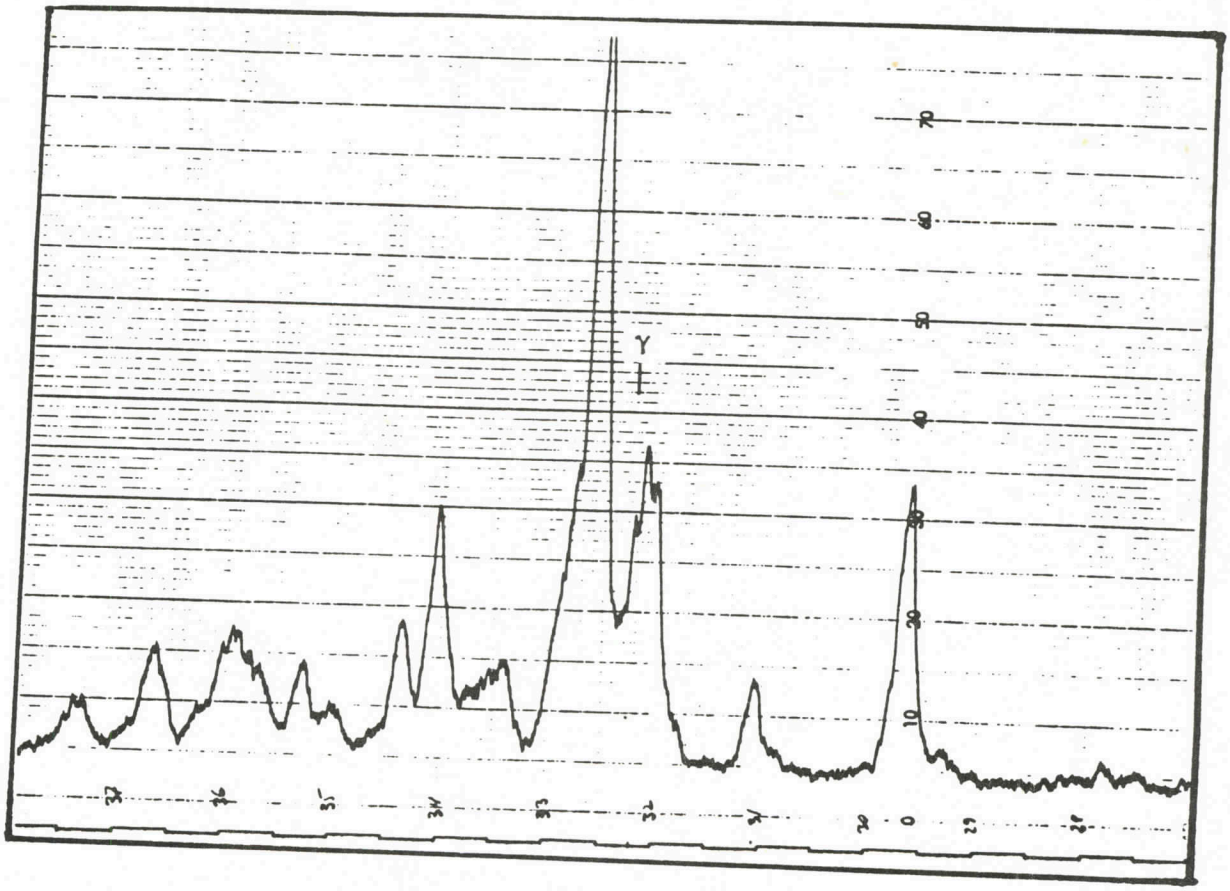
| Prov nr | Sammansättning, vikts-% räknat som oxider | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $TiO_2$ | $Al_2O_3$ | Tot.Fe $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $Na_2O$ | $K_2O$ | MnO | CuO | NiO | ZnO | PbO | $Cr_2O_3$ | $V_2O_5$ | $P_2O_5$ | BaO | SrO |
| 1 | | | | 14.8 | 30.7 | | | | 4.2 | | | | | | 0.15 | <0.05 | | <0.07 |
| 2 | | | | 2.1 | 33.1 | | | | 2.4 | | | | | | 0.18 | <0.05 | | <0.07 |
| 7 | | | | 0.3 | 32.6 | | | | 0.5 | | | | | | 0.03 | <0.05 | | <0.07 |
| 7(∿30 µm) | | | | 0.4 | 33.1 | | | | 0.6 | | | | | | 0.03 | <0.05 | | <0.07 |
| 7(1.6-3.1 mm) | | | | 4.2 | 23.1 | | | | 0.6 | | | | | | 0.03 | <0.05 | | <0.07 |
| 8 | | | | 13.7 | 33.1 | | | | 3.9 | | | | | | 0.19 | <0.05 | | <0.07 |
| 23 | 14.7 | | 7.3 | 21.5 | 42.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 24 | 23.3 | | 7.6 | 7.3 | 39.3 | | | | | | | | | | | | | |
| 25 | 25.1 | | 8.2 | 2.2 | 54.0 | | | | | | | | | | | | | |
| 26 | 27.1 | 0.63 | 10.5 | 3.6 | 39.5 | 11.1 | 0.2 | 0.1 | 6.0 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.07 | 0.18 | 0.22 | 0.18 | | |
| 27 | 27.3 | 0.97 | 6.6 | 3.7 | 41.9 | 7.6 | 0.3 | 0.2 | 9.7 | 0.01 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 0.18 | 0.24 | 0.31 | | |
| 28 | 21.2 | 0.60 | 6.4 | 17.1 | 41.7 | 4.3 | 0.1 | 0.04 | 7.1 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.10 | 0.66 | 0.18 | 0.55 | | |

Tabell 2. Kemisk sammansättning hos olika slagger.

Röntgendiffraktionsanalyser har genomförts på några av proverna. Förekomsten av $\gamma$-$C_2S$ i det vittrade provet nr 8 kunde styrkas. Se figur 7. $\gamma$-$C_2S$ saknades i de ovittrade. Prov nr 7, som saknade $\gamma$-$C_2S$ ligger förmodligen ej i $C_2S$-området (se figur 6). En viss osäkerhet finns i placeringen av en slaggs sammansättning i fasdiagrammet i och med att slaggen är sammansatt av fler än tre komponenter.

I tabell 3 och figur 8 visas siktanalyser av vittrad slagg. Finfraktionsandelen varierar som synes högst väsentligt, varför man kan förvänta sig olika miljöeffekter från olika vittrade slagger.

Damningsbenägenheten har undersökts med hjälp av försök i vindtunnel. Ett tunt lager stoft har lagts på en skiva i en grund fördjupning och den mängd stoft som blåsts av vid olika vindhastigheter och uppehållstider har bestämts. Resultaten redovisas i figurerna 9-11. Ingen större skillnad uppmättes mellan de olika proverna. Vindhastigheter över 7-8 m/s räcker för att virvla upp stoftet. Det bör emellertid påpekas att vindhastigheter utomhus normalt mäts några meter över marken och därmed blir något högre än motsvarande "mark och vindtunnelhastighet" men att vinderosionen i gengäld bestäms av topphastigheten i turbulent vind vilken är något högre än den medelhastighet som vanligen anges.

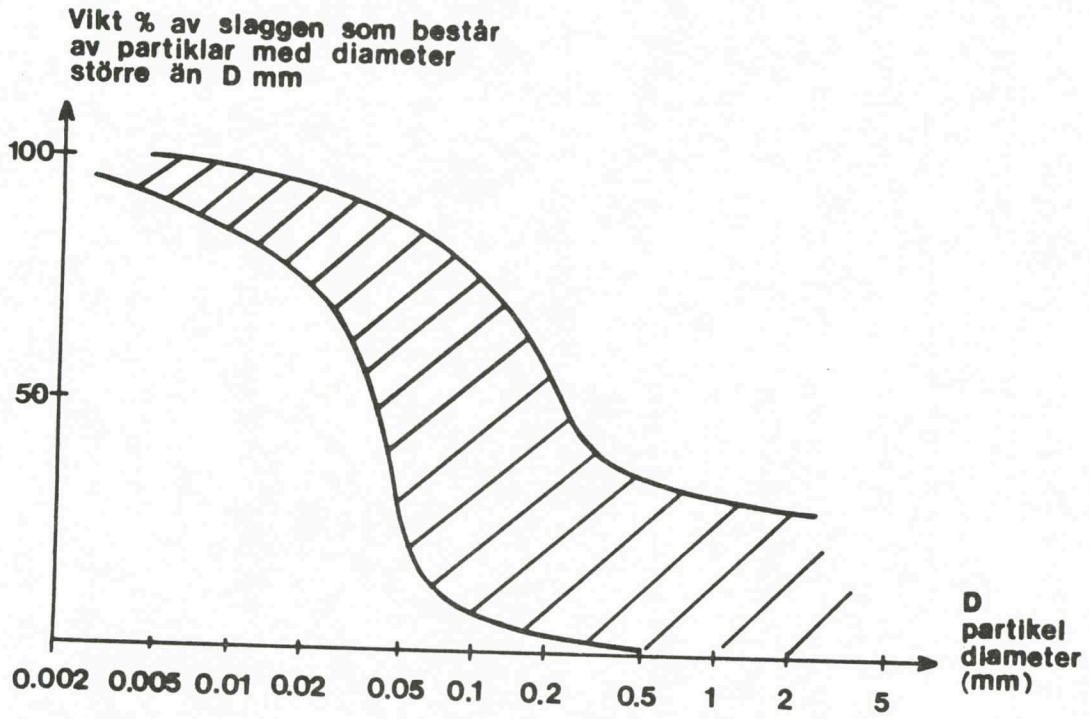



Figur 7. Röntgendiffraktorgram av prov nr 8 visar på förekomsten av $\gamma$-$C_2S$. Förutom olika modifikationer av $C_2S$ förekommer även mayenit ($Ca_{12}Al_{14}O_{33}$).

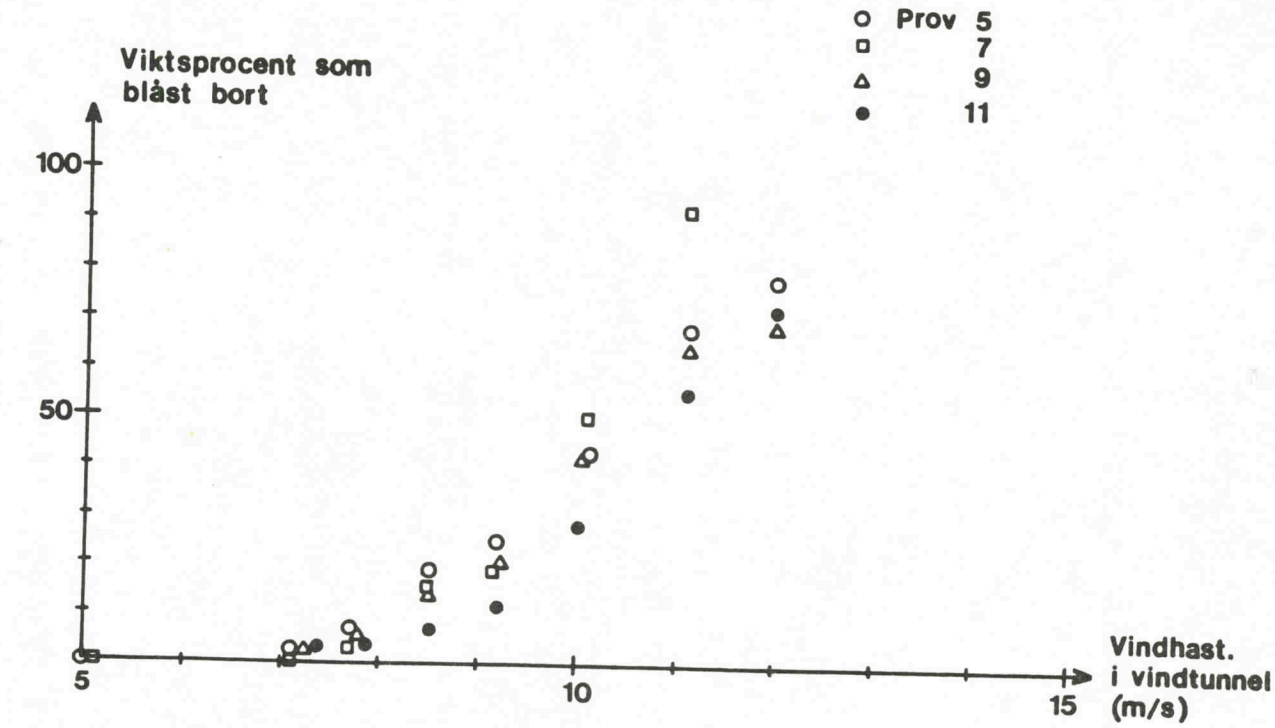
| Prov \ Fraktion (geom. diam. i µm) | <5.5 | 5.5 – 36 | 36 – 50 | 50 – 100 | 100 – 200 | 200 – 400 | 400 – 800 | 800 – 1600 | 1600 – 3150 | >3150 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 21 | 9.2 | 18.4 | 48.3 | 17.0 | 3.9 | 1.2 | 2.0 | | | |
| 22 | 11.6 | 21.8 | 27.7 | 16.2 | 5.5 | 2.0 | 15.1 | | | |
| 29 | 4.3 | 13.0 | 11.0 | 19.0 | 26.1 | 23.3 | 3.3 | | | |
| 30 | 7.9 | 36.1 | 19.5 | 21.7 | 4.9 | 2.3 | 7.7 | | | |
| 5 | —— x/ | 5 | 5.1 | 12.3 | 21.3 | 22.5 | 12.0 | 4.3 | 5.5 | 11.9 |
| 7 | 5.8 | 23.1 | 36.1 | 27.3 | 3.8 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 3.6 |
| 9 | —— | 3.2 | 6.7 | 12.3 | 20.3 | 23.7 | 10.1 | 3.4 | 4.0 | 12.2 |
| 11 | —— | 12.1 | 25.2 | 34.7 | 11.7 | 4.5 | 2.8 | 2.1 | 2.1 | 5.0 |
| 13 | 1.3 | 6.6 | 17.6 | 25.6 | 6.7 | 3.9 | 4.3 | 2.4 | 4.1 | 27.5 |
| 15 | —— | 11.3 | 28.9 | 44.6 | 9.2 | 0.8 | 0.9 | 1.4 | 1.4 | 1.6 |
| 17 | —— | 9.4 | 26.9 | 22.7 | 10.5 | 3.8 | 3.3 | 4.9 | 7.0 | 12.4 |
| 19 | —— | 8.1 | 21.7 | 27.2 | 3.8 | 1.4 | 1.7 | 2.9 | 4.7 | 28.5 |

x/ —— indikerar att ingen separering av fraktionerna har skett.

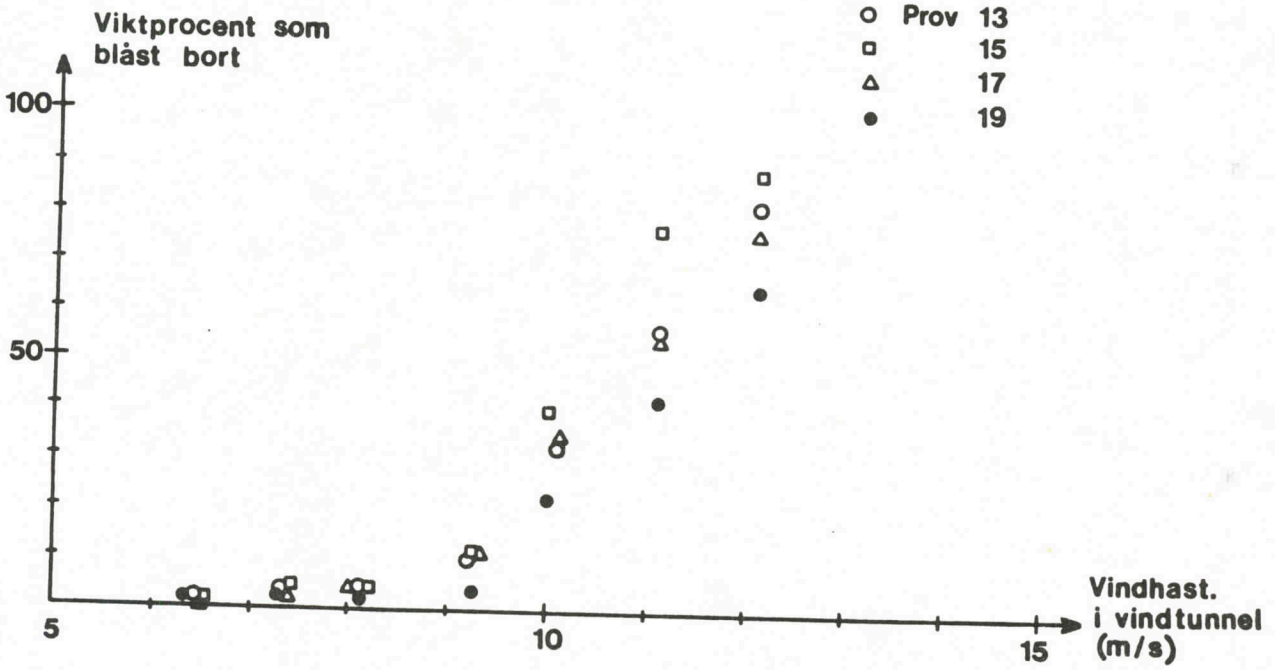
Tabell 3. Siktanalyser av vittrad slagg, vikts-%.



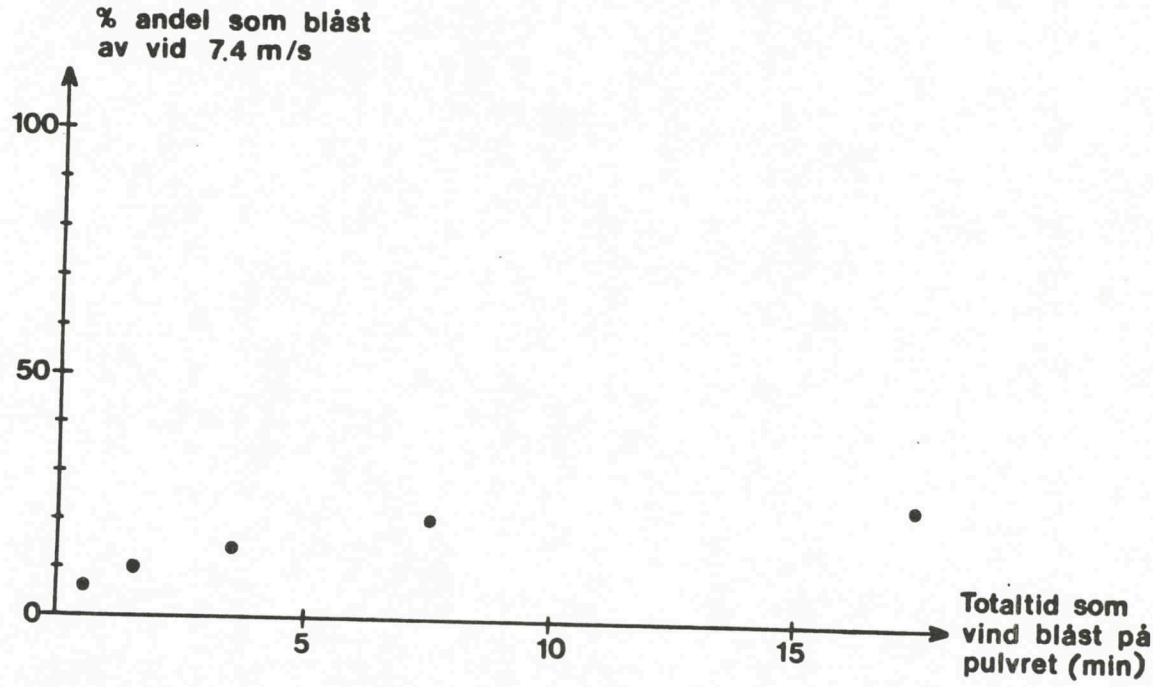

Figur 8. Partikelstorleksfördelning i vittrad slagg. Samtliga provers fördelningskurvor faller inom det streckade området (se även tabell 3).




Figur 9. Vinderosion av vittrad slagg vid försök i vindtunnel. Exponeringstid: 30 sek.



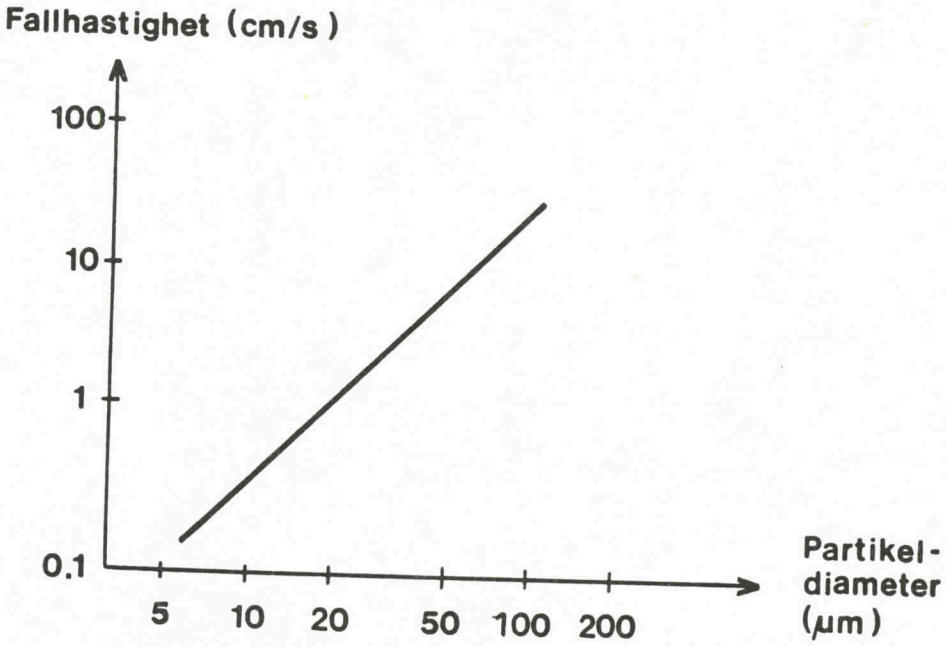

Figur 10. Vinderosion av vittrad slagg vid försök i vindtunnel. Exponeringstid: 30 sek.




Figur 11. Vinderosion av vittrad slagg vid försök i vindtunnel vid konstant vindhastighet 7,4 m/s. Vid 5 m/s hade 0.8% blåst bort efter 50 minuter.

## 4. Beräkning av stoftdeposition runt en fiktiv öppen slagghantering

De partiklar från den vittrade slaggen som virvlats upp i luften transporteras åter till marken genom i huvudsak två processer. Den ena bestäms av gravitationen och luftmotståndet och leder till att partiklars fallhastighet i luft blir konstant efter en mycket kort tid. Fallhastigheten redovisas i Figur 12.

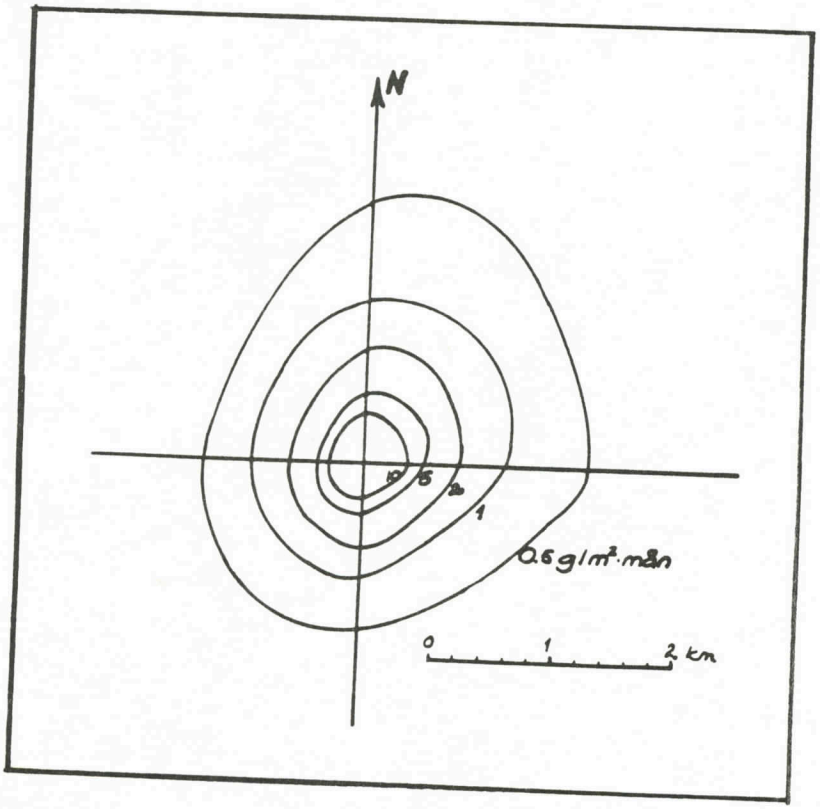



Figur 12. Partiklars fallhastighet i luft. Gäller för sfärer med densiteten 1 g/cm$^3$.

Den andra består i en turbulent diffusion mot marken. När partiklar nära marken träffar olika hinder till följd av sin tröghet relativt luftflödet, minskar partikelkoncentrationen i ett marknära skikt. Turbulensen blandar emellertid ner luftpaket från högre skikt och därmed sker en nettotransport ner mot marken.

De två depositionsprocesserna samverkar och resulterar i en nettodepositionshastighet som är högre än fallhastigheten, och som beror av turbulensen i luften samt av markskiktets "filtreringsförmåga".

Spridnings- och depositionsförhållandena runt en slagghantering där 1000 ton vittrad slagg hanteras per år har beräknats med hjälp av en gaussiskt spridningsmodell (Lövblad, 1982) utgående från meteorologiska förhållanden i Göteborg och en genomsnittlig partikelstorleksfördelning för den vittrade slaggen (tabell 3). Resultatet framgår av figur 13. Normalt anses en deposition om mer än 10 g/m$^2$, mån vara besvärande.




Figur 13. Beräknad stoftdeposition i områden kring en slagghög till följd av diffus damning från vittrad slagg. Beräkningarna är baserade på en vittrad slaggmängd av 1000 ton/år och har gjorts med meteorologisk statistik från svenska västkusten. Endast torrdeposion har antagits vara av betydelse eftersom nederbörden dämpar damningen. Slagghögen är belägen i origo.

## 5. Diskussion av några möjliga åtgärdsalternativ

### A. Förändring av slaggens sammansättning

En av de möjligheter som vid starten av detta arbete såg mest attraktiv ut var den att förändra slaggens sammansättning genom tillsatser av olika slag under ståltillverkningens slutskede och därmed förhindra $\gamma$-$C_2S$-bildningen. Detta förfarande skulle kunna bli relativt enkelt men följande komplikationer finnes:

1. Det är svårt att i ett sent skede av processen få en god omblandning av tillsatserna i slaggen utan att stålsmältan påverkas.

2. De mest effektiva stabilisatorerna är ämnen som är värdefulla legeringsmetaller. En lyckad tillverkning förutsätter givetvis att legeringsmetallerna finns i stålet i så stor utsträckning som möjligt.

3. Slaggsammansättningarna varierar så pass mycket att det antagligen blir mycket svårt att hitta en generellt användbar tillsats.

### B. Inbyggnad av slagghanteringen

I vissa fall kan vittringen ske inomhus. Uppvirvlingen av dammet kan då minskas i avsvalningsmomentet. Därefter kan slaggen vätas.

C. Skärmning av slagghanteringen

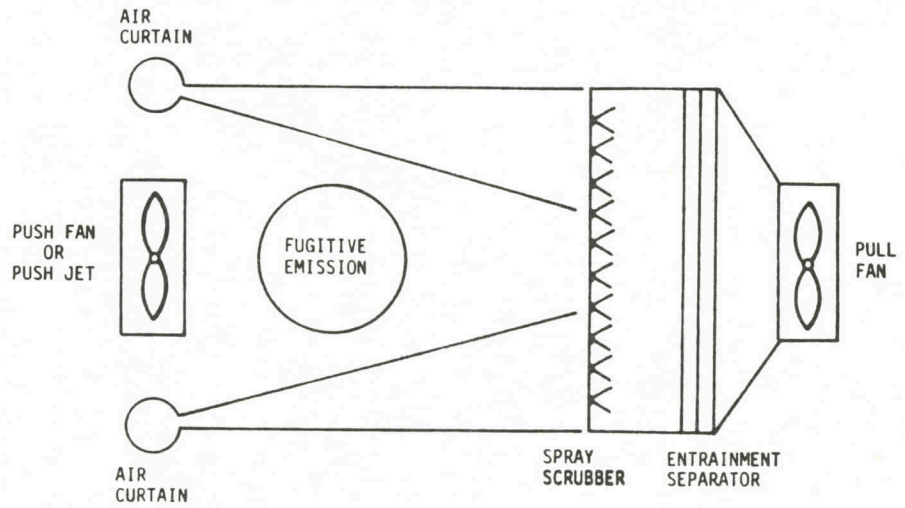
En avskärmning av slagghanteringen så att vindhastigheten blir lägre än någon eller några meter per sekund torde vara verksamt. Den termik som råder vid avsvalningen sänker sannolikt den kritiska vinderosionshastigheten jämfört med den som bestämts i vindtunneltestet (jfr figur 9-11). När slaggen svalnat kan den vätas.

D. Avskiljd hantering

En ungefärlig uppfattning om vilka avstånd som fordras till närmaste nedsmutsningskänsliga område får man ur den spridninsberäkning som tidigare redovisats (figur 13). En nackdel med denna typ av åtgärd är att osäkerheten i en prognos av nedsmutsningen är relativt stor, varför det finns en risk för kostsamma säkerhetsmarginaler alternativt att effekten blir otillräcklig.

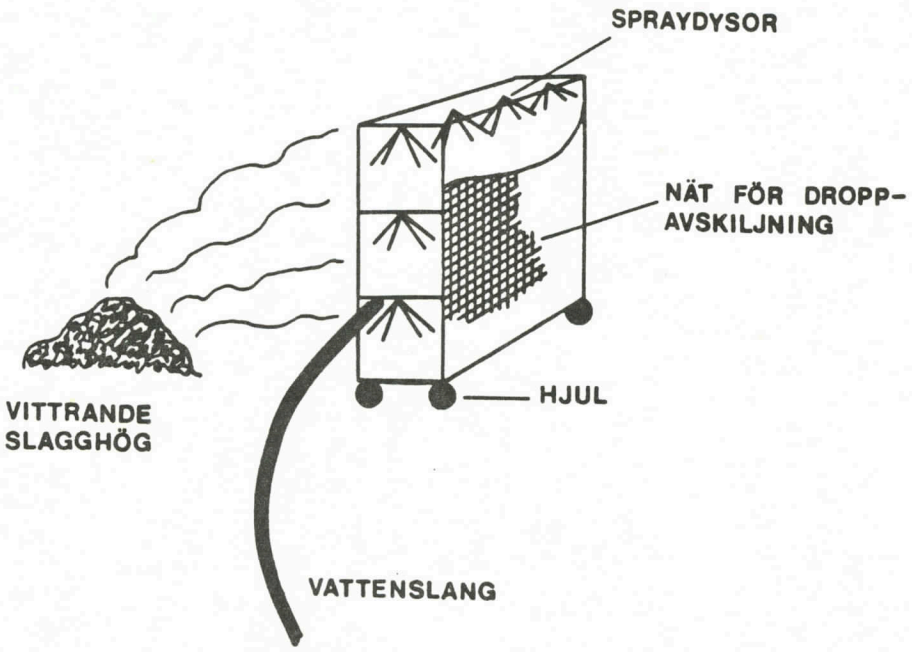
E. Våtskrubber för lokal, diffus damning

I litteraturen förekommer uppgifter om stoftavskiljare för diffusa dammemissioner, t.ex. Drehmel et al., 1980. Denna har en fläkt, ett antal spraydysor och en laddningsenhet för att öka effektiviteten för små partiklar. Principförfarandet visas i figur 14.




Figur 14. Principiellt utförande av stoftavskiljare enligt Drehmel et al.

Den slagg som blir kvar på marken när man tömt ett slaggkärl är inte större än att man skulle kunna fånga in "rökplymen" och behandla den i en avskiljare av t.ex. skrubbertyp. De kornstorleksanalyser som genomförts på den vittrade slaggen tyder på att en väsentligt enklare avskiljare skulle kunna användas än den som tagit fram av Drehmel et al. En skiss till en sådan redovisas i Figur 15.




Figur 15. Skiss till flyttbar stoftavskiljare för damm från vittrande slagg.

Skrubbern saknar fläkt och förutsätter att en viss vindhastighet och stabil vindriktning föreligger. Är det lugnt kan det vara svårt att fånga in dammet, men å andra sidan torde damningen vid mycket låg vindhastighet vara av liten omfattning och skrubbern därför inte behövas.

Åtgärder av typ inkapsling och avskärmning underlättas om den vittrade slaggen kan användas till någonting och kostnaden därmed bli rimlig. En tanke, som ligger nära till hands är att den vittrade slaggen, som är finkornig och basisk på något sätt skulle kunna användas att motverka försurning i något avseende. Exempel finns på att LD-slagg användes som jordbrukskalk.

## 6. Slutsatser

Ett flertal alternativa vägar finns att minska det damm-problem som uppstår till följd av vittrande slagg. I samtliga fall torde det vara lämpligt att så långt möjligt minska vindhastigheten där slaggen svalnar till under någon eller några meter per sekund. Därefter kan den vätas. Stabilisering av slaggen genom tillsatser är en svårframkomlig väg. Goda möjligheter finns att ta fram en billig och enkel "skrubber-skärm" att ställa i lä om den vittrade slaggen.

## 7. Litteraturreferenser

Barnes, T. och Strong, J., "Use of lime values in steelmaking slag wastes". Proceedings of the Seventh Mineral Waste Utilization Symposium, Chicago, Ill. October 20-21, 1980 s. 135-144.

Bredig, M., J. Amer. Ceram. Soc. Vol. 33 (1950), s. 188-192.

Dietzel, A. och Tscheischwili, L., Ber. Deutsch. Keram. Ges. Vol. 30 (1953), s. 151-154.

Drehmel, D., Yung, S-C., Parker, R., Bhutra, S. och Calvert, S., "Fugitive particle emission control using spray charging and trapping scrubber". Proceedings of Fourth Symposium on Fugitive Emissions, New Orleans, May 1980. US Environmental Protection Agency, report EPA-600/9-80-041. December 1980.

Elstner, I., Leers, K-J. och Niesel, K. "Untersuchungen zum Dicalciumsilikat-Zerfall von Hüttenschlacken". Tonindustrie-Zeitung, Vol. 94, nr 8 (1970) s. 317-331.

Geiseler, J., Grade, K. och Valentin, P., "Beitrag zur Kennzeichnung von Edelstahlschlachen", Stahl u. Eisen, Vol. 103, nr 20, (1983), s. 1013-1017.

Lövblad, G., "Diffus damning i samband med kolhantering". Projekt Kol-Hälsa-Miljö. Teknisk rapport nr 18. Statens Vattenfallsverk (1982) ISBN-91-7186-100-9. ISSN-0280-3291.

Nurse, R., Proceedings of the Third Intern. Sympos. Chem of Ceramics, London (1952), s. 56-77.

Danis, A., "Les sories LD", Bulletine Liaison Labo. P. et Ch., Vol. 83 (1976), s. 99-104.

Schwiete, H.E., Krönert, W. och Dechert, K. "Existenzbereiche und Stabilisierung von Hochtemperaturmodifikationen des Dicalciumsilicates". Zement-Kalte-Gips, Vol. 21, nr 9 (1968), s. 369-366.

Schürman, E. och Winterfeld, F., "Phasenuntersuchungen im Schlachensystem CaO-FeO-$Fe_2O_3$-$S_2O_2$", Thyssen Forsch. Ber. Forsch. Betr., Vol. 4, nr. 3-4 (1972), s. 118-132.

Thomas, G. och Stephenson, I., "The beta to gamma dicalcium-silicate phase transformation and its significance on air-cooled slag stability". Silicates Industrials. Vol. 43, nr 9 (1978), s. 195-200.