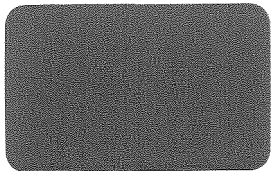


UNDERSØGELSE AF
SKADER I SLAGGEBETONPLADER

INVESTIGATION OF DAMAGES
IN LIGHTWEIGHT WALL PANELS
MADE WITH SLAGS OF CINDERS

WITH AN ENGLISH SUMMARY

G. M. IDORN



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT · SÆRTRYK NR. 92
I KOMMISSION HOS TEKNISK FORLAG · KØBENHAVN 1958

Statens Byggeforskningsinstitut

Bibliotekseksemplar 1

01312 P

BETON-TEKNIK

NR. 4

ÅRGANG 23

1957

Fejl og mangler

69.004.64

Der forekommer stadig mange fejl og mangler inden for byggefagene, og en hel del er gengangere. Det er derfor af den største betydning, at fejlene registreres og kendskabet til dem spredes, således at de i fremtiden så vidt muligt kan undgås.

Inden for betontechnikken har professor Suenson ved husbygnings-teknisk kursus i 1940 talt om husbygningstekniske fejl, og civilingeniør Moe om revner i jernbetonhuse – begge foredrag fulgt af livlig diskussion. Ved »Byggeugen« sidste sommer diskuteredes skader på beton, og civilingeniør Otto Christensen pegede på, at langt de fleste skader kunne være undgået, hvis man havde undgået visse fejl, især ved fugt-isolering af brobaner og lignende.

Det ligger i sagens natur, at fejl ikke begås med vilje – tænk blot på, hvor ofte kældervægge støbes af utæt beton, fordi grundvandet står lavt, medens arbejdet udføres, og først senere stiger og viser, at der burde være ofret penge på lidt mere cement, så væggene kunne være blevet tætte.

Diskussion om fejl og mangler er derfor en meget gavnlige diskussion, og når den kaster sig over et emne af aktuel og vidtrækkende, økonomisk interesse, er det af betydning, at den bringes til så vid en læserkreds som muligt. Blandt Statens Byggeforskningsinstituts mange publikationer hilser man derfor den i sommer udkomne 14. byggetek-

niske samtale: »Fejl og mangler ved betonelementer i montagebyggeri«, ved professor B. J. Rambøll, særlig velkommen.

Emnet er vigtigt – montagebyggeriet har stigende betydning i alt husbyggeri, både civilt og militært. Emnet er derfor velvalgt, og selve samtalen har været frugtbar, fordi fabrikanterne af de betonelementer, som jo er de væsentligste elementer til montagebyggeriet, har været villige til helt åbent at diskutere fejl og mangler ved produkterne.

Et andet værdifuldt bidrag af mere permanent og pædagogisk art er stadsarkitekt Børge T. Lorentzens fejlkartotek. Her er man ved en systematisk indsamling og registrering af fejl og mangler nået frem til et materiale, der i form af billeder og film kan anvendes ikke alene til oplysning for dem, der udfører bygningsarbejde, men også til undervisningsbrug.

Lad os benytte disse forskellige kilder og derved undgå fejl og mangler.

Helsingørvejen ved Hørsholm. Denne nye danske motorvej er ikke bare behagelig at køre på, men også sikker og hurtig.

Helsingør Road near Hørsholm. This modern Danish motorway is not only pleasant to drive on, but also very safe and quick.



Undersøgelse af skader i slaggebetonplader

Investigation of damages in lightweight wall panels made with slags of cinders

G. M. Idorn, civilingeniør, Statens Byggeforskningsinstitut.

691.32.059.2

Slaggebetonplader var for et halvt århundrede siden den alt dominerende skillerumsplade i boligbyggeriet. Nu er der kommet mange andre typer af skillerumsplader på markedet, men slaggebetonplader finder dog stadig udbredt anvendelse, og civilingeniør G. M. Idorns artikel vil sikkert finde mange interesserede læsere. Det er ganske rigtigt, at DS 400 kun i den sidste udgave fra i sommer indeholder krav til slaggmaterialerne, men når vi i C. t. O. bliver spurgt om slaggebeton, plejer vi at give en udskrift af det, jeg i 1938 har skrevet i »Murværk og jernbeton«.

Desværre er det rigtigt, at nogen almindelig vejledning i bedømmelse af slagter til beton ikke foreligger trykt på dansk, til trods for at der på dette område er gjort et betydeligt arbejde, således som jeg havde lejlighed til at se i det udvalg vedrørende mere rationel udnyttelse af aske og slagter, som på foranledning af nuværende belysningsdirektør A. K. Bak blev nedsat af D. I. F. i 1941. Her kom betydelige arbejder frem, bl. a. af A. Gernow (fra konkurrencen vedrørende krisebyggeri), E. Suenson: Jerns rusten i slaggebeton og A. J. Moe: Rapport over anvendeligheden af slagter fra H. C. Ørstedsværket. Udvalgsarbejdet gjorde fremskridt, men ikke hurtigt nok, og i 1954 mente man, at den udvikling, udvalget skulle have banet vej for, var kommet af sig selv, idet der nu ikke længere var nogen vanskelighed ved at få afsat eller brugt aske og slagter, hvorfor udvalget blev nedlagt. Måske var der grund til – under en eller anden form – at fortsætte det arbejde, der tog sigte på anvendelsen af aske og slagter til beton. Den foreliggende undersøgelse af ingeniør Idorn vil være et meget værdifuldt led i et sådant arbejde.

E. V. M.

Indledning

I et nyt beboelseskomples i en større by i Jylland har der siden opførelsen forekommet ret omfattende skader i form af udbulninger og afsprængningssår (springere) i vægge af slaggebetonplader. De skadelige reaktioner er sket – og sker stadig – navnlig i vægge opført af plader fra en enkelt leverance og overvejende

i vægge, der er pudset og oliemalt, d. v. s. i køkken- og badeværelsevægge. I kælderrum, hvor ubehandlede plader af samme leverance er opsat, forekommer kun ubetydelige skader. De første springere fremkom kort tid efter ejendommens opførelse. Udhugning og efterfyldning med mørtel har i de fleste tilfælde været effek-

tivt ved reparationer, men har ikke forhindret, at nye springere til stadighed fremkommer. Konsekvensen synes at blive enten stadig fortsatte reparationsarbejder med deraf følgende omkostninger og ulemper for beboerne eller udskiftning af samtlige angrebne vægge.

Forfatteren har foretaget en undersøgelse af prøver af de pågældende beskadigede vægge med det formål at fastslå årsagen til afsprængningerne.

Tilsvarende beskadigelser har vist sig at forekomme i en større beboelsesejendom i Københavns omegn. Der var her tale om springerdannelse i glitpudsede og oliemalede badeværelse- og køkkenvægge samt i pudsede og tapetserede vægge i opholdsrum. Springere er fremkommet til stadighed siden ejendommens opførelse for ca. 8 år siden, og nye udvikles stadig i uformindsket omfang. Reparationerne medfører derfor i dette tilfælde en relativt betydelig belastning af ejendommens vedligeholdelsesregnskab foruden generne for beboerne.

Det foreliggende problem synes således ikke at være betydningsløst. Den her beskrevne undersøgelse må betragtes som orienterende, men den har muligvis gjort nogle konklusioner, der kan være vejledende for både fabri-

kanter og forbrugere af slaggebetonplader, indtil problemet er mere teoretisk afklaret ved videregående undersøgelser.

Litteratur om emnet

I E. Suenson »Byggematerialer IV« 1911 nævnes (§§ 1060 og 1070), at læskningsdygtig kalk kan give udbulninger i slaggebeton, såfremt der kommer vand til, således at der dannes calciumhydroxyd, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Endvidere nævnes, at forekomst af svovl i slaggen kan give udbulninger ved dannelse af gips.

I amerikanske specifikationer til »aggregates for lightweight concrete« kræves (jvf. Concrete Manual, 6' udgave, s. 359-360), at slaggens indhold af sulfater er $< 1,00\%$ og af sulfider $< 0,45\%$. Desuden foreskriver ASTM, C 330 og C 331, standardprøvemethoder for *slaggematerialets* kvalitet. I Concrete Manual anbefales i øvrigt udludning af råslaggen før dens anvendelse som tilslagsmateriale.

I British Standard 1165:1947, »Clinker Aggregates for Plain and Precast Concrete« stilles forskellige krav til slaggematerialets egenskaber, herunder at indholdet af opløselige sulfater ikke må overskride $1,0\%$, beregnet som SO_3 . Standards omfatter endvidere specifikationer for prøve-

metoderne til kvalitetsvurderingen, appendix A-D.

I DS 400 er formuleret normkrav for slaggebetonplader vedrørende udformning, dimensioner og vægt (400.5.10) samt bøjningsstyrke (400.2, punkt 4.2.4). Krav vedrørende slaggenes egenskaber findes ikke, ligesom der ud over styrkeprøvningen ikke kræves prøvning af det færdige produkt til bedømmelse af dets kvalitet, specielt dets holdbarhed.

Det må dog bemærkes, at det i *bilagsblad A*, »Råd og vejledning angående fremstilling af betonvarer efter DS 400« som retningslinier, der bør følges, er anført (pkt. 1.2) at »tilslagsmaterialerne er sand og sten eller andre produkter, der ikke indeholder stoffer, der er skadelige for varerne«. I det foreliggende tilfælde må betegnelsen »andre produkter« gælde slaggematerialet, og formuleringen må formentlig opfattes som et udtryk for, at en rationel udnyttelse af eventuelle utraditionelle materialer ikke ønskes forhindret ved specificerede forhåndskrav. En naturlig følge af en sådan opfattelse må vel være, at ansvaret for sådanne materialers egnethed må påhvile producenten.

Teoretiske bemærkninger

Brændt kalk i slagge. Såfremt der ved forbrænding af kul eller koks

dannes brændt kalk, CaO , ud fra calciumkarbonatholdige urenheder i brændslet ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2 \uparrow$), læskes kalken til $\text{Ca}(\text{OH})_2$, såsnart slaggen udsættes for fugtighed, d. v. s. enten allerede under oplagring af slaggen som affaldsprodukt i det fri, eller senest ved udstøbning til slaggebeton, hvortil der benyttes en vandmængde, som er væsentlig større end den, der forbruges af den tilsatte cement ved hydratiseringen.

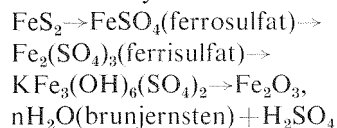
Disse kemiske betingelser må antages at forhindre, at eventuelt forekommende CaO i råslaggen forbliver ulæsket i den hærdnede slaggebeton og læskes på langt senere tidspunkter efter opsætning af pladerne.

Svovlforbindelser i slaggen. På grund af de geologiske dannelsesforhold for kulforekomster i konsoliderede sedimentbjergarter er svovlforbindelser hyppigt forekommende urenheder i kul og koks, bl. a. i form af sulfider, herunder pyrit (FeS_2) og magnetkis ($\text{FeS}_{0,99-1,14}$). Disse mineraler er i meget høj grad kemisk reaktive, når de udsættes for stærk opvarmning, d. v. s. geologiske processer eller brænding af kul, samt iltning og fugtighed. Reaktionsforløb og reaktionsprodukter er udførligt beskrevet i Norges geotekniske Instituts rapport No. 22:

»Bidrag til belysning av visse bygningstekniske problemer ved Oslo-området alunskifer« af R. Bastiansen, J. Moum og I. Th. Rosenqvist, Oslo 1957.

I det foreliggende tilfælde synes følgende reaktioner af særlig interesse:

I. I oksyderende milieu er pyrit (svovlkis) ubeständig og går gradvis gennem en række mellemtrin over i brunjernsten under samtidig dannelse af fri svovlsyre:



II. Ved stærk opvarmning (geologiske processer eller kunstig varme) omdannes pyrit til magnetkis. Allerede ved 300°C er reaktionen mærkbar.

III. Magnetkis reagerer ved normal temperatur med ilt og vand (fugtig atmosfærisk luft) under dannelse af ferrosulfat (FeSO_4) og svovldioxyd. Såfremt magnetkis findes sammen med den mindre »reaktive« svovlkis, vil forvitring af denne i henhold til I katalyseres af magnetkisens nedbrydning.

IV. Det dannede ferrosulfat danner under iltning trivalent $\text{Fe}(\text{OH})_3$ og fri svovlsyre, og

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ udfældes som rust (brunjernsten).

Af denne summariske oversigt ses det, at forekomster af pyrit eller magnetkis eller begge mineraler i frisk råslagge kan bevirke forvitring af disse mineraler under dannelse af 1) ferrosulfat, 2) fri svovlsyre og rust. Ved passende oplagring og udludning af slaggen vil ferrosulfat omdannes til rust og svovlsyren bevirke udfældning af neutrale salte.

Såfremt slaggen imidlertid benyttes som tilslag til slaggebeton, inden en sådan udludning har fundet sted, vil forvitringen af de nævnte mineraler ske i betonpladen. Både svovlsyren og jernsulfaterne kan reagere med 1) fri kalk og 2) calcium bundet i cementgel under dannelse af bl.a. gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) og muligvis komplekse calciumaluminatsalte. Disse salte krystalliserer under betydelige volumenudvidelser, hvilket antages at kunne medføre revner i betonen. Også rustdannelsen medfører volumenforøgelse.

Det er naturligt, at reaktionerne specielt giver anledning til lokalt koncentrerede afsprængninger, idet udgangsmaterialerne (sulfiderne) findes koncentreret i mineralkorn eller aggregater heraf.

At sådanne springerdannelser –

efter de foreliggende oplysninger – navnlig synes at forekomme i plader, der er afdækket med kalk- eller bastardmørtel, kan muligvis forklares ved, at mørtlen i forhold til selve pladen indeholder et overskud af lettilgængelig calcium, samt at de fysiske forhold, specielt fugtighedsforholdene, kan antages at koncentrere reaktionerne i overfladelaget.

At skaderne forekommer i stærkt varierende omfang og i mange tilfælde slet ikke, må formentlig tilskrives, dels varierende lagring og udludning af råslaggen, der medfører mere eller mindre neutralisering af de skadelige stoffer, dels at brændslets indhold af svovlforbindelser formentlig kan være stærkt varierende.

Det forekommer sandsynligt, at processer af den beskrevne art har været grundlag for de ovenfor nævnte udenlandske standardkrav om minimale indhold af sulfat- og sulfidforbindelser i slagge, men i øvrigt er der på grund af slaggematerialets komplekse karakter med hensyn til mineralogisk og kemisk sammensætning utvivlsomt mulighed for andre, og til dels meget komplicerede, kemiske reaktioner i den alkaliske fase i slaggebetonpladerne. En nærmere redegørelse herfor vil imidlertid kræve yderligere un-

dersøgelser. De beskrevne muligheder for skadelige reaktioner betragtes derfor som et foreløbigt arbejdsgrundlag.

Undersøgelse af pulverpræparater

Der er foretaget en petrografisk undersøgelse af pulverpræparater af brunligt afskrab fra springere, dels af prøver fra bebyggelsen ved København, dels af prøver leveret fra bebyggelsen i Jylland.

I de fleste kegleformede afsprængninger, som findes i den modtagne samling prøver, ses i keglens top et brunt til gulbrunt, pulveragtigt henfaldende materiale over flader af ca. 1 til 4–5 mm tværsnit. Ved besigtigelsen af ejendommen ved København fandtes tilsvarende dannelser i springersårene i de angrebne slaggebetonplader. Arkitekten beskrev disse dannelser som karakteristiske forekomster i forbindelse med springerne.

Pulver af sådant gulbrunt afskrab er undersøgt med lysbrydningsvæsker i polarisationsmikroskop. Materialet indeholder:

- 1) Små mængder mikrokrySTALLISK CaCO_3 (som eventuelt kan hidrøre fra omgivende cementpasta eller puds).
- 2) Et aggregatagtigt, finkornet materiale i flager med middel

Bindemidlet i pudsen er meget stærkt karbonatiseret, således at det i dette tyndsnit undtagelsesvis ikke kan ses, om materialet indeholder cement. Sandet består fortrinsvis af 0,1–0,5 mm store, kompakte kantsliddede kvartskorn.

3) *Mørtel i slaggebeton.* Mørtlen består af cementpasta med færlige, uregelmæssige partikler af slagge, kul, koks m.v. af stærkt varierende størrelse. En del materiale er af pulverfiness. Desuden findes færlige luftblæser af varierende størrelse, maksimalt ca. 4 mm diameter. I nogle hulrum ses veludviklede krystaller af calciumhydroxyd, i andre hulrum ses en randbeklædning af calciumkarbonat, som er dannet sekundært af $\text{Ca}(\text{OH})_2$ under påvirkning af CO_2 fra atmosfærisk luft.

4) *Stor mineralisk aggreger.* I det foreliggende tyndsnit findes to typer af større korn:

det tilsvarende foto, figur 2, samt farveplancherne, figur 3–6.

Almindelig beskrivelse

Materialet ses at bestå af følgende komponenter:

1) Tyndt lag oliemaling (yderst til venstre, fig. 1 og 2).

2) Pudsag, og derefter Slaggebetonpladen opbygget af:

3) Mørtel

4) Større mineralisk og aggreger. Det med punkterede linjer (fig. 1) afgrænsede parti, (5), angiver forvittringsområdet, hvor udbulningen er sket.

1) *Overfladelag af oliemaling.* Lagets tykkelse er ca. 0,1–0,5 mm. Udbulningens højeste punkt ses i udbulningens tyndeste del, og efter dette tilfælde er udbulningen altså sket før malningens påførelse.

2) *Pudsag.* Lagets tykkelse er gennemsnitlig ca. 1,5 mm. I nogle af pladeoverfladens dybeste huller er pudsen ikke trængt ned, således at der her er efterladt hullrum. I øvrigt synes der at være god vedhæftning mellem puds og slaggebetonoverflade, bortset fra forvittringsområdet (5), hvor den oprindelige pladeoverflade er brudt op og pudsen gennemsat af mikrorevner.

bet, og at den gulbrune farve og tilstedeværelsen af en rødbrun til brun substans i præparaterne tyder på tilstedeværelse af jernholdige forbindelser.

Undersøgelse af tyndsnit

Af det fremsendte prøvemateriale fra Jylland er fremstillet fire tyndsnit, nr. 1–4. Nr. 1 og 2 er lagt vinkelret på oprindelig pladeoverflade gennem en udbulning i puds og oliemålet pladeoverflade med underliggende slaggebeton.

Nr. 3 og 4 er lagt vinkelret på grundfladen i afsprængte kegleformede springere og indeholder ikke den oprindelige underliggende slaggebeton. Tyndsnitene er fremstillet på den måde, at prøvestykkerne efter imprægnering i vacuum med rødfarvet araldit (n), positive i længderetningen, parallel udslukning, $n \sim 1,54$ –1,56, dobbeltbrydning meget ringe.

6) Sorte, uregelmæssige opake korn.

På grund af det store antal komponenter i det foreliggende materiale, dets overvejende aggregerede karakter har nedsmuldtende karakter har nedsmuldtende mættet foretages meget forsigtigt, og det har ikke været muligt at gå ned til normalt benyttet tykkelse, ca. 15–20 μ .

Da de fænomener, der er taget ved en orienterende undersøgelse af samtlige tyndsnit, har vist sig typisk repræsenteret i nr. 1, er den følgende redegørelse koncentreret om iagttagelser i dette, se systemskitsen, figur 1, kan dog siges, at CaCO_3 kun udgør en yderst ringe del af arskra-

lysbydning $n \sim 1,52$ –1,55 og middel dobbeltbrydning. Der findes enkeltkorn, $d \sim 1$ –2 μ , i aggregererne med høj dobbeltbrydning og $n_1 < 1,50$, $n_2 > 1,58$. I gennemfaldende lys er brudflagerne gullige til brunlige.

3) Aggregerer og enkeltkorn af rødbrun til brun, glasagtigt isotropt eller isometrisk krylignende materiale. Relativt store partikler af dette stof er mørke og næsten uigennemskinnelige. Lysbrydningen er større end 1,58.

4) Isotrop, klart, farveløst materiale i glasagtige fiseformede brudstykker, $n \sim 1,51$ –1,53.

5) Stavformede, farveløse krylignende fiseformede staller (1–5–10 μ , 1–30–100 stykkerne efter imprægnering i vacuum med rødfarvet araldit (n), positive i længderetningen, parallel udslukning, $n \sim 1,54$ –1,56, dobbeltbrydning meget ringe.

6) Sorte, uregelmæssige opake korn.

På grund af det store antal komponenter i det foreliggende materiale, dets overvejende aggregerede karakter har nedsmuldtende karakter har nedsmuldtende mættet foretages meget forsigtigt, og det har ikke været muligt at gå ned til normalt benyttet tykkelse, ca. 15–20 μ .

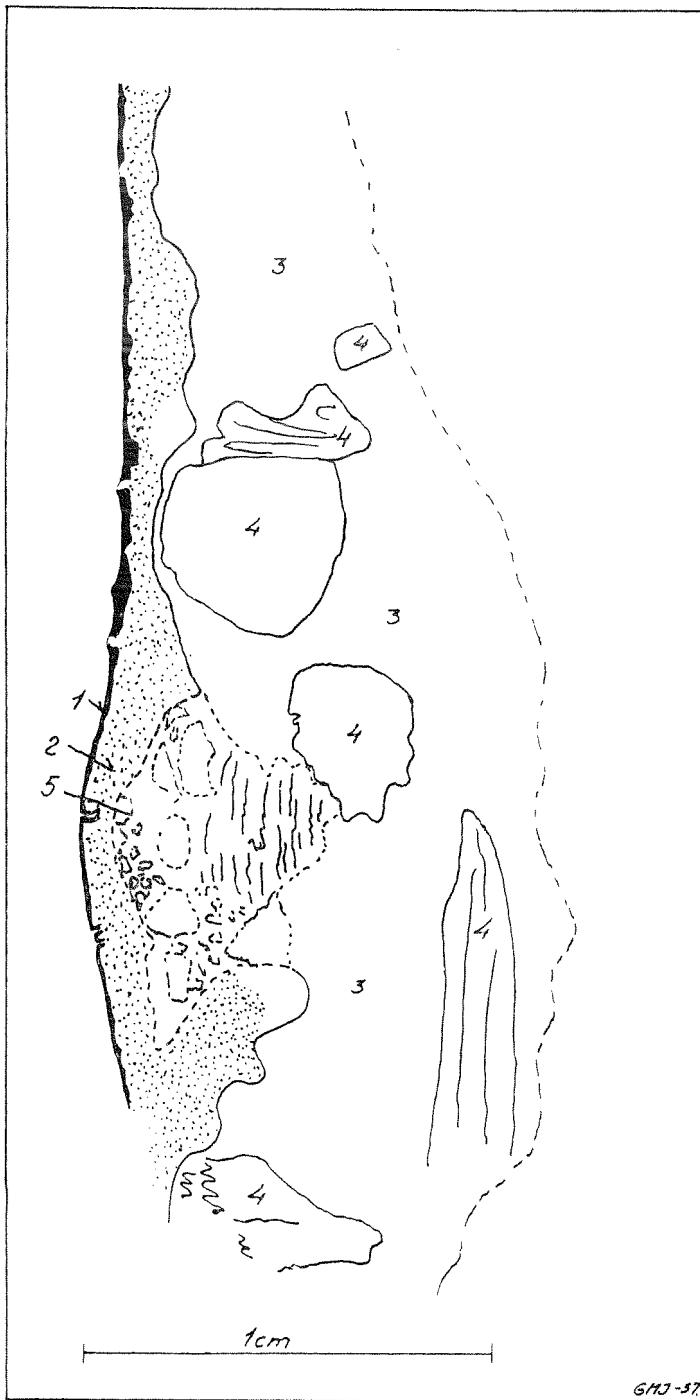


Fig. 1. Skitse af tyndsnit nr. 1; sammenlign fig. 2.

1. lag af oliemaling;
2. puds;
3. slaggebeton;
4. større partikler i slaggebetonplader, omfattende egentlig slagge og lagdelte partikler af phyllitlignende bjergarter;
5. forvittringsområde, begrænset af den yderste punkterede linie.

Sketch of thin-section No. 1. compare with fig. 2.

1. layer of oilpainting;
2. layer of plaster;
3. slag-concrete;
4. coarse aggregates comprising particles of slag and particles of phyllitic rock;
5. area of distintegration, within the outermost dotted line.

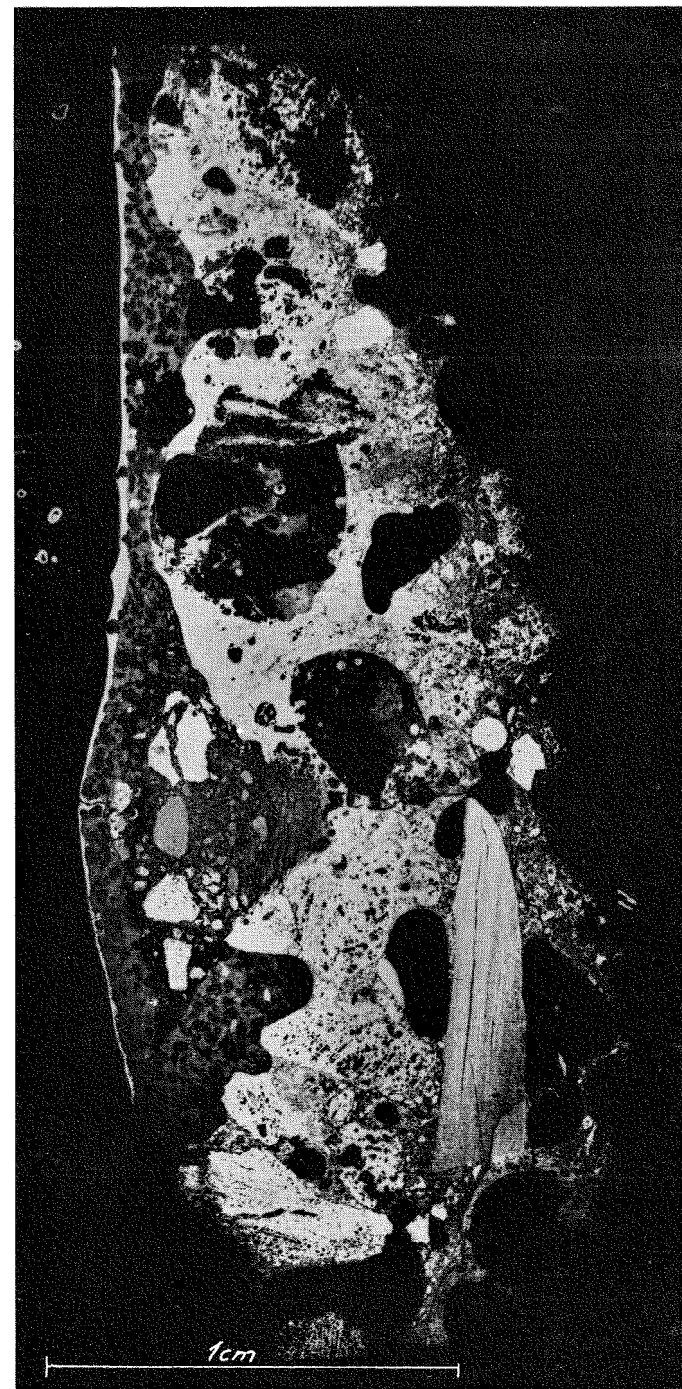


Fig. 2. Fotografi af tyndsnit nr. 1; sammenlign fig. 1.

Tyndsnittet er benyttet som negativ i forstørrelsesapparatet.

Photo of thin-section No. 1. Compare with fig. 1.

The section has been used as negative in the enlarger.

korn er utvivlsomt egentlig slagge, d. v. s. smeltede og/eller sintrede mineralske urenheder i brændslet.

Den ene af disse partikler ses beliggende i bunden af forvitningsområdet (5). Partiklen består fortrinsvis af følgende komponenter:

1. Farveløse, transparente, nåleformede krystalliter ($t \leq 5\mu$, $l \sim 30-300\mu$) med parallel udslukning, positive i længderetningen og lysbrydning $n \gg 1,58$ (formentlig ca. 1,70). Dobbeltbrydning middel, d. v. s. svag ændring i relief ved drejning. Krystalliterne ses i uregelmæssige bundter.
2. Kantede, kompakte, isotrope (eller isometriske) korn med lysbrydning $n \gg 1,58$. Kornene er klare og farveløse med stærkt relief.
3. Aggregater af meget små ($d < 5\mu$) runde, uklare korn, tildels omgivende større, rødbrune partikler.

Den samlede partikelstruktur har en lysgrålig farvekarakter med rødbrune til gulbrune partier. Den er porøs og åben i så høj grad, at en delvis opløsning af komponenter må antages at

have fundet sted efter udstøbning.

Krystalliter som de her beskrevne, ses også i den anden slaggepartikel i tyndsnittet. I denne findes de i bundter og enkeltvis i et gulligt, isotropt materiale med $n \sim 1,60$.

De beskrevne materialekomponenter kan ikke identificeres på grundlag af de foreliggende iagttagelser. Det kan dog siges, at partiklen ikke indeholder calciumkarbonat eller i hvert fald kun forsvindende mængder deraf. Det er meget sandsynligt, at der er jernforbindelser til stede (indiceret ved brunfarvet materiale), og det er muligt, at hovedparten af materialet – herunder de nåleformede krystalliter – hører til mineralgruppen $n \text{ Fe}_2\text{O}_3$, $m \text{ SO}_3$, $x \text{ H}_2\text{O}$.

5) *Forvitningsområde*. Yderst ses det »hævede« mørtellag. Umiddelbart under dette findes et område med itubrudte og delvis korroderede slaggepartikler og mørtel, der øjensynlig også er »hævet« fra oprindelig position i pladeoverfladen. Herunder ses – indtil keglens top – et parti udpræget sekundært udfældningsmateriale, der forekommer dels i kornede aggregater, dels i lagdelt struktur med subparallelle lag vinkelret på keglens akse. Dette partis direkte forbindelse med den

ovenfor omtalte delvis destruerede slaggepartikel – jvf. figurerne – kan være et udtryk for, at denne partikel er springerdannelsens udgangspunkt.

Mekanismen ved dannelsen af udbulningen må have været, at der i keglens top i en vandig fase sekundært er udfældet en svellende substans, som har medført brud i det dækkende lag af slaggemørtel. Denne deformation må være sket på et tidspunkt, hvor den overliggende puds endnu har besiddet en vis plasticitet, og før malingen er blevet påført. (I andre tilfælde findes de afsprængte kegler med plan grundflade, et udtryk for, at det svellende reaktionsprodukt er dannet så lang tid efter pudslagets anbringelse, at dette ikke har været plastisk). I det foreliggende tilfælde har udbulningen medført revner i pudslagets yderside, og udtørring har formentlig ført til standsning af de kemiske reaktioner, således at totalbrud langs keglens overflade resulterer i løsgørelse af springeren ikke er sket.

Det sekundært udfældede materiale i keglens topparti indeholder kun forsvindende mængder calciumkarbonat, hvortil $\text{Ca}(\text{OH})_2$ måtte være omdannet under de foreliggende omstændigheder. I øvrigt forekommer en isotrop glasagtig substans med lysbrydning $n > 1,58$, et svagt dobbelt-

brydende, transparent og farveløst materiale med lysbrydning $n \sim 1,52-1,55$, et opakt, brunligt til rødbrunt stof, samt et mikrokrySTALLINSK stof, tildels i aggregatopbygning. Da samtlige disse komponenter findes intimt blandede, er nøjagtigere optiske bestemmelser ikke gennemførlige, og egentlige identifikationer kan derfor ikke foretages. Rustagtige forbindelser synes dog at udgøre en del af materialet. Den strukturelle opbygning er højporøs, og forekomstens porer og hulrum er derfor udfyldt med araldit ved imprægneringen.

Langs keglens nittets sideflader ses i nogle hulrum mindre formationer af nåleformede krystalliter med svag dobbeltbrydning, parallel udslukning og en lysbrydning væsentlig mindre end 1,58 (bedømt efter relief ca. 1,50). Disse krystalliter kan være calciumsulfoaluminat.

Sammenfatning af petrografiske undersøgelser

De undersøgte springerdannelser kan ikke skyldes læskning af calciumoxyd. Forekomsten af rustagtige forbindelser i sekundært udfældet materiale i afsprængningskeglerne tyder på, at forvitring af jernsulfider er medvirkende ved beskadigelserne, idet det antages, at reaktioner mellem svovlsyre og cementpasta og puds

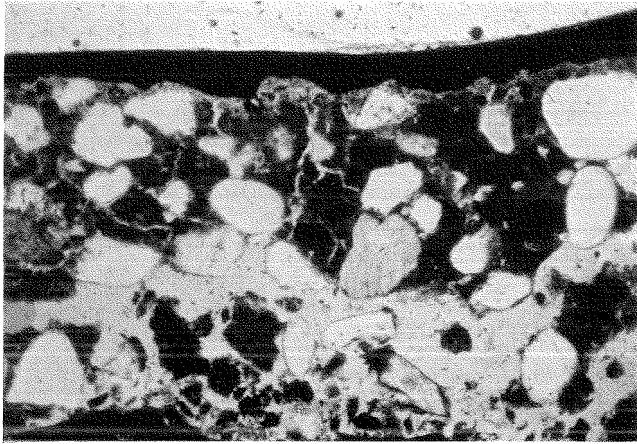


Fig. 3. Mørtellag i forvitningsområde. Øverst ses tæt, mørkt lag af oliemaling, derunder mørtlen med afrundede kompakte sandkorn. Hulrum i forvitret mørtel er udfyldt med rødfarvet araldit ved imprægneringen. Bemærk mikrorevner i mørtlen. Gennemfaldende lys, parallelle nicol'er. Forstørrelse 32 \times .

Layer of plaster in area of pop-out. Uppermost is seen the layer of oilpainting (opaque). Underneath is seen the plaster with rounded, compact grains of sand. Voids in the deteriorated plaster are filled with araldite (pink colour) by the impregnation. Note micro cracks in the plaster. Transmitted light, plain nicols. $\times 32$.

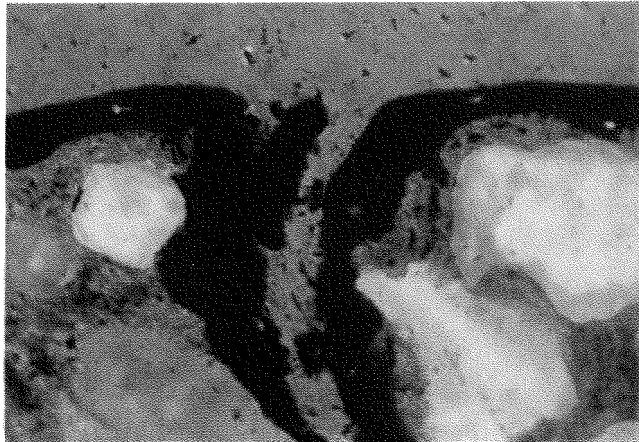


Fig. 5. Detalje af revne gennem mørtel i forvitningsområde. Tæt mørkt lag, der passerer ind i revnen, er oliemaling. Sandkorn er stærkt farvede, mørtlen pigmenteret. Gennemfaldende lys, krydsede nicol'er. Gipsblad indskudt. Forstørrelse 100 \times .

Detail of crack through top of area of deterioration. The opaque layer of oilpainting is seen to pass into the crack. Sand grains are homogeneously coloured, matrix is pigmented. Transmitted light, crossed nicols. Gypsum plate inserted. $\times 100$.



Fig. 4. Top af forvitningsområde. Øverst ses tæt, mørkt lag af oliemaling, der løber ind i revner i mørtlen. De mørke partikler i mørtlen er slagge. Hulrum opstået ved forvitring er udfyldt med rødfarvet araldit. Gennemfaldende lys, parallelle nicol'er. Forstørrelse 32 \times .

Top of area of deterioration. Uppermost is seen the oilpainting (opaque). Dark particles in the mortar consist of slag. Voids developed during deterioration have been filled with pink araldite during the impregnation. Transmitted light, parallel nicols. $\times 32$.

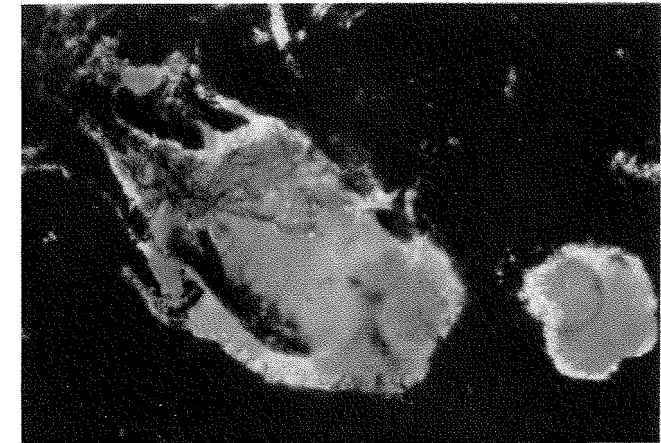


Fig. 6. Hulrum i bunden af forvitningsområdet med nåleformede krystalliter, muligvis calciumsulfoaluminat. Mikrokrystallinsk calciumcarbonat ses udfældet i randen af hulrummene, der ellers er udfyldt med araldit. Gennemfaldende lys, parallelle nicol'er. Gipsblad indskudt. Forstørrelse 100 \times .

Voids in the bottom area of deterioration with needle-shaped crystallites, possibly of calcium sulphoaluminat. Microcrystalline calcite is seen lining the boundaries of voids, which have been filled with araldite during impregnation. Transmitted light, parallel nicols. Gypsum plate inserted. $\times 100$.

samt muligvis bestanddele af mineralske partikler i slaggen har fundet sted, og at der som følge heraf er udfældet svellende reaktionsprodukter, bl.a. rust.

Konklusioner

Af den foreliggende undersøgelse kan der drages følgende konklusioner:

1. I tilfælde, hvor springerdannelse er begyndt at indtræffe i vægge af slaggebetonplader, må de skadelige reaktioner påregnes at kunne fortsætte, indtil alle »skadecentre« i pladernes overfladepartier har reageret færdigt. Dette reaktionsforløb kendes der for tiden næppe midler til at forhindre.
2. Forbrugere kan sandsynligvis opnå en større sikkerhed mod skadelige reaktioner ved at stille krav om, at slagge, der benyttes til slaggebeton, indeholder $< 1,00\%$ sulfat og $< 0,45\%$ sulfid.
3. Producenter af slaggebeton vil sandsynligvis uden større omkostninger kunne imødekomme sådanne krav ved at be-

nytte godt udludet og lagret slagge til betonen. Udsortering af egnet slagge vil muligvis også kunne ske på basis af kemisk analyse og geologisk vurdering af brændslet.

4. Yderligere undersøgelser synes motiverede på følgende måder:
 - a. En nærmere kortlægning af omfanget af skader som de beskrevne.
 - b. Yderligere litteraturstudier med hensyn til baggrunden for de omtalte krav i udenlandske standardspecifikationer.
 - c. Yderligere undersøgelser for nærmere at definere de skadelige reaktioner og deres årsager, herunder videregående petrografiske undersøgelser, suppleret med kemiske og røntgenanalysemetoder.

Når sådanne undersøgelser er gennemført, bør det muligvis overvejes at komplettere bestemmelserne i DS 400 med hensyn til krav om egenskaber af slagge, der benyttes som tilslag ved fremstilling af slaggebetonplader.

ENGLISH SUMMARY

In two multi-storey blocks of flats, one situated in a town in Jutland and another in the vicinity of Copenhagen, pop outs have developed in wall elements of lightweight concrete prepared with slags of cinders as aggregates. The pop-outs showed up on plastered inner walls covered with oilpainting or wallpaper. This article describes an investigation of the damages. Specifications for slags of cinders are briefly reviewed, theoretical considerations on the damaging reactions are mentioned, and observations from a petrographic examination of the affected concrete are referred. A satisfactory explanation of the disintegration has not been obtained by the investigation, but it is indicated that corrosion of Pyrit (FeS_2) and Pyrrhotite ($FeS_{0.99-1.14}$), in the slag (originally present as impurities in the cinders), play an important role in the processes of disintegration and that limonite ($Fe_2O_3, aq.$) is precipitated as a result of the chemical reactions.

As a tentative conclusion is suggested to avoid the use of slags containing more than 1.00 per cent soluble sulphates (computed as SO_3) and more than 0.45 per cent sulphides as aggregates. It is further mentioned that the manufacturers might ensure the fulfilling of this demand either by suitable analyses of the cinders or by sufficient storing and washing of susceptible slags before casting of the concrete.

Further studies of the problems are also suggested.