



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R10:1978**

**Miljövänlig fasad-  
renovering —  
nya rengöringsmetoder**

**Gunilla Gillberg**

**Lars-Henrik Gezelius**

**Hans Ringblom**

**Kenneth Rosenquist**

**Yvonne Ståhl**

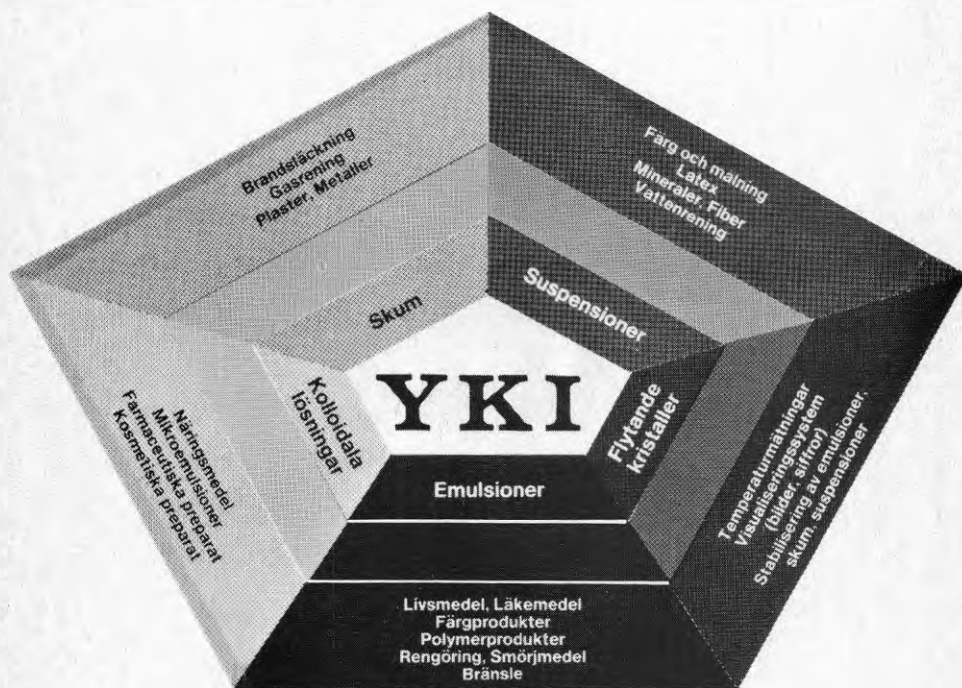
**Göran Lööf**

**Byggforskningen**

TEKNISKA HOGSKOLEN I  
SEKTIONEN FOR VAG- OCH  
BIBLIOTEKET

MILJÖVÄNLIG FASADRENOVERING -  
NYA RENGÖRINGSMETODER

Gunilla Gillberg  
Lars-Henrik Gezelius  
Hans Ringblom  
Kenneth Rosenquist  
Yvonne Ståhl  
Göran Lööf



Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730030-6 från Statens råd för byggnadsforskning till Ytkemiska Institutet, Stockholm

Nyckelord:

fasader  
rengöring  
smutstyper  
provningsresultat  
kalkstensytor  
tegelytor  
betongytor  
putsytor  
metodutveckling

UDK 69.059.1

R10:1978

ISBN 91-540-2805-1

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 850362

1.	INLEDNING .....	5
2.	ANALYS AV FASADSMUTS .....	7
2.1	Inledning .....	7
2.2	Analysmetod .....	7
2.2.1	Provtagning .....	7
2.2.2	Bestämning av fukthalt .....	7
2.2.3	Bestämning av mängd fritt kol .....	7
2.2.4	Bestämning av mängd organiskt bundet kol (kolväten) .....	8
2.2.5	Bestämning av mängd oorganiskt material ...	8
2.2.6	Bestämning av typ organiska komponenter ...	8
2.2.7	Bestämning av typ oorganiska komponenter ..	9
2.2.8	Analyschema .....	9
2.3	Analysresultat .....	10
3.	RENGÖRING AV KALKSTEN .....	15
3.1	Inledning .....	15
3.2	Stabilitet hos kalkstensmedel .....	16
3.3	Kompletterande löslighetsundersökningar ...	18
3.4	Rengöring medelst recirkulation .....	19
3.5	Försök i halvstor skala med recirkula- tionstvätt .....	21
4.	RENGÖRINGSMEDELS PÅVERKAN PÅ ÖVRIGA MATE- RIAL VILKA KAN FÖREKOMMA I ELLER PÅ STEN- FASADER .....	24
4.1	Målade ytor .....	24
4.2	Metaller .....	24
4.3	Isoleringsmaterial .....	25
5.	RENGÖRING AV TEGEL .....	31
5.1	Inledning .....	31
5.2	Analys av tegelsmuts .....	31
5.3	Provtvättningar i laboratorieskala .....	35
5.4	Undersökning av olika appliceringsför- farande .....	37
5.5	Små provtvättningar utförda på tegel- fasader .....	40
6.	RENGÖRING AV BETONG OCH PUTS .....	42
7.	METOD FÖR BESTÄMNING AV LÄMPLIGT FASAD- RENGÖRINGSMEDEL .....	44
8.	SLUTSATSER .....	46
	SAMMANFATTNING .....	48



## 1. INLEDNING

Föreliggande rapport utgör en slutrapport för det fleråriga projektet "Miljövänlig fasadrenovering - nya rengöringsmetoder", vilket utförts vid Ytkemiska Institutet på medel från Statens Råd för Byggnadsforskning. Projektet inleddes med en litteraturinventering (BFR nr 7300306), som visade att mycket få systematiska undersökningar rörande fasadsmutens sammansättning och bindning till fasadmaterial utförts. Sedan denna litteraturundersökning utförts har genom referensgruppens försorg följande publikationer erhållits:

1. Mamillan Marc, "The cleaning of facades of limestone" (Engelsk översättning av originalarbetet "Recherches Récentes sur le Nettoyage des Facades en Pierre Calcarie", Annales de l'Institut Technique du Batiment et des Travaux Publics 199-200, juillet-aout 1964.
2. Pühringer Josef, "Fasadrengöring - en vetenskap" NABO-nytt nr 1/1973.
3. Holmström Ingemar och Kvist Bengt, "Fasadrengöring", Byggnadsforskningens informationsblad Bl:1974.

Mamillans studier omfattar fysikaliska och kemiska egenskaper hos det hårda ytskikt, som naturligt bildas på kalksten enligt författaren. Detta ytskikt består till 27-50% av gips i stadsmiljö, men inget gips återfinnes i smutsprov tagna på landsbygden. Författaren drar härav slutsatsen att gipset bildas på grund av att stadsluften har hög halt av svavel-sura gaser. Olika rengöringsmetoder jämföres, nämligen mekaniska metoder, rengöring medels sandblästring, högtryckstvätt med vatten samt rengöring med kemikalier. Kemikalierna uppdelas i två kategorier, nämligen de som innehåller ammoniumvätedifluorid och de som innehåller kalium- eller natriumhydroxid. Den senare typen föreslår Mamillan skall bli förbjuden att användas vid rengöring av kalksten.

Det aktuella projektet har ej omfattat borttagning av klotter från fasadmaterialen. En omfattande studie häröver, och också över ytskikt som tål klotter, har utförts vid "Institute for Applied Technology, National Bureau of Standards, Washington DC, USA". Resultaten av dessa undersökningar finnes sammanställda i tre rapporter nämligen: "Graffiti-Resistant Coatings: Methods of Test and Preliminary Selection Criteria". NBSIR 75-789, Nov 1975 samt "Graffiti Removers: Evaluation and Preliminary Selection Criteria". NBSIR 75-914, Dec 1975 samt "United States Department of Commerce, National Bureau of Standards Report on Graffiti Removal by Commercial Companies". I det fall klotret är nytt har man medelst val av olika kommersiella lösningsmedel lyckats avlägsna alla typer av färger på porösa stenmaterial.

För att förankra projektet till för fasadrengröingsbranschen relevanta problem inleddes projektet med intervjuer och diskussioner med olika representanter för vilka fasadrengröing utgör en aktuell problematik. Resultatet av dessa finnes redovisade i Delrapport I "Inventering och dokumentation av existerande kunskap inom fasadrengröingsområdet", BFR nr 730030-6. Det experimentella arbetet inleddes med utveckling av en analysmetod för och analys av fasadsmuts, försök med olika kemikalier som "smutslösare" samt modellförsök av smutsig kalksten. Dessa försöksresultat finns i detalj redovisade i Delrapport II, "Analysmetoder för och analys av fasadsmuts - rengöring av kalksten", BFR nr 730030-6, april 1975 samt kortfattat i föreliggande rapport under paragraf 2 och punkt 3:1.

Föreliggande rapport redovisar provtvättningar med det utvecklade kalkstensmedlet och undersökning av dess stabilitet (paragraf 3), rengöringsmedlens inverkan på andra material som ex. isoleringsmaterial (paragraf 4) samt utveckling av rengöringsmedel för tegel (paragraf 5). Orienterande undersökningar rörande rengöring av betong och puts finns behandlat under paragraf 6 och förslag till en metod för bestämning av lämpligt fasadrengröingsmedel finns beskrivet under paragraf 7.

Under hela projekttiden har ovärderligt stöd och råd erhållits från den referensgrupp, som varit knuten till projektet. Ständiga medlemmar har varit Arthur Löwe, Kansliet för saneringsfrågor inom staden mellan broarna, Gunnar Nyquist, Stenindustrins forskningsinstitut och Josef Pühringer, Nya Asfalt AB. På grund av ändrade tjänsteförhållanden har SIBs representant, som dessutom suttit som ordförande i referensgruppen, utgjorts av Bengt Kvist samt Ingmar Holmström samt representant från Lundblads Miljövärd AB utgjorts av Sven Johansson, Tommy Westerberg samt Thorwald Kullman. Under projektets senare del har Tegelinustrins Centralkontor AB representerats av Karl-Olov Fentorp. BFR har haft en adjungerad medlem i Tommy Månsson och Sten Flodin.

Även om ansvaret för undersökningarnas utförande och innehåll helt vilar på Ytkemiska Institutet skulle utan referensgruppenskompletterande fackkunskap och stora praktiska erfarenhet, de erhållna resultaten ej uppnåtts. Bl a bör påpekas att undersökningarna rörande fasadrengröingsmedels inverkan på andra fasadmateriäl än det aktuella rengöringsobjektet initierats av referensgruppen. Vi vill framföra vårt varma tack till referensgruppens medlemmar för alla de stimulerande och lärorika möten som de kreerade.

De i rapporten angivna rengöringsmedlen har ej provats i stor skala. Några långtidstester i klimatkammare med rengjorda stenar har ej heller kunnat utföras. Dylåka tester måste utföras innan vi kan rekommendera dessa som kommersiella fasadrengröingskemikalier.



## 2. ANALYS AV FASADSMUTS

### 2.1 Inledning

Inom projektet utvecklades en kemisk analysmetod för att fastlägga huvudkomponenterna i fasadsmuts. Denna metod finnes beskriven i form av ett analyschema i delrapport 2. Då önskemål om en mer detaljerad beskrivning av analysförfarandet framförts, ges denna under punkt 2.2. En sammanställning av samtliga utförda analyser ges under punkt 2.3.

### 2.2 Analysmetod

#### 2.2.1 Provtagning

Provet bör tagas på fasadytor som erfarenhetsmässigt är svårast att rengöra, exempelvis sydfasader eller under lister. Då ett mycket tätt, slätt smutsskikt är svårare att göra rent än ett poröst smutsskikt (mossliknande eller flagor) bör också smutsprovet tagas från den släta smutstypen. Smutsprov bör tagas under uppehållsväder och vid låga vindstyrkor. Fasadytan, från vilket ett smutsprov skall tagas, avborstas först med en mjuk borste så att löst sittande dammpartiklar avlägsnas. Ytan borstas därefter med en stålborste och smutsen uppsamlas i en behållare med tättslutande lock. Ca 2 ml smuts bör insamlas, då mindre provmängder än 1 g ej bör användas vid analysen. Vid moderat till kraftigt smutsade ytor motsvarar detta avborstning av ca 1 dm<sup>2</sup> fasadyta. Alternativt kan smutsen avskrapas med en stålspatel. Denna metod är mer tidskrävande, men riskerna för att underliggande fasadmateriell skall blandas upp med smutsprovet är mindre. En nedmalning av smutsprov till fint pulver innan analys kan komma att krävas i de fall smutsprovet avskrapats.

Väderleksförhållanden vid och omedelbart före provets tagning bör noteras såväl som var provet tagits (nivå, väderstreck, trafiksituation).

#### 2.2.2 Bestämning av fukthalt

Ett smutsprov på ca 1 g inväges på en analysvåg som helst bör äga 3 decimalers noggrannhet, dvs tillåta bestämningar av viktsskillnader av storleksordningen mg.

Efter vägningen torkas provet vid 110°C under 2 timmar och väges ånyo. Viktsförlusten är lika med provets fukthalt.

#### 2.2.3 Bestämning av mängd fritt kol

Smutsens svarta pigment utgöres i regel av fritt kol (sot) men kan också bestå av metalloxider. Mängden fritt kol kan bestämmas genom förbränning av kolet vid kraftigt förhöjd temperatur (700°C) och notering av viktsförlusten därvid.

Då även organiskt bundet kol som exempelvis kolväten förbrännes vid denna temperatur och ett visst sönderfall av kalciumkarbonat erhålles, måste kolvätena först kemiskt bortoxideras och eventuella karbonatsalter sönderdelas. Detta åstadkommes genom behandling med den oxiderande syran, salpetersyra. Mängden fritt kol bestämmes således enligt följande metod: Ca 0.5 gram av ett smutsprov, som först torkats vid 110°C inväges exakt. 25 ml koncentrerad salpetersyra (HNO<sub>3</sub>) tillsättes, varpå provet kokas i 20 minuter. Därefter tillsättes ytterligare 125 ml 6 M HNO<sub>3</sub> och provet får stå över natten. Den fasta återstoden uppsamlas genom filtrering av prov genom porslinsdegel med glasfilter. Återstoden tvättas med vatten på filtret och torkas därefter i degeln under två timmar vid 140°C och vägs. Degeln ställes därefter i en ugn vid 700°C i två timmar och väges ånyo. Viktminskningen, som erhållits vid behandlingen vid 700°C, utgör ett mått på mängden fritt kol i provet.

#### 2.2.4 Bestämning av mängd organiskt bundet kol (kolväten).

Mängden organiskt bundet kol erhålles även detta genom den viktminskning som erhålles vid förbränning vid 700°C. Innan provet förbrännes måste dock en kemisk sönderdelning av eventuella karbonater i provet utföras. Följande metod användes: Ca 0.5 g av ett smutsprov, torkat vid 110°C i 2 timmar, inväges (vägning 1) varpå 200 ml utspädd saltsyra (0.1M HCl) tillsättes. Provet får stå över natt, varpå återstoden uppsamlas genom filtrering (porsinsdegel med glasfilter), och tvättas med vatten. Provet torkas därefter vid 140°C i två timmar och väges (vägning 2). Därefter upphettas provet vid 700°C i två timmar. Efter avsvälning väges provet ånyo (vägning 3). Viktskillnaden (vägning 2 - vägning 3) ger totala mängden organiskt bundet kol och fritt kol. Genom att dividera med ursprunglig invägd mängd prov (vägning 1) erhålles den procentuella mängden. Procent organiskt bundet kol kan beräknas efter att procent fritt kol i provet bestämts enligt punkt 2.2.3.

#### 2.2.5 Bestämning av mängd oorganiskt material

Mängd oorganiskt material räknat på torrt prov erhålles som resterande mängd, när sammanlagda mängden fritt kol och kolväten frändrages.

#### 2.2.6 Bestämning av typ organiska komponenter

För denna analys är det önskvärt med en något större provmängd då de organiska komponenterna måste separeras från de oorganiska. Provet, vilket ej torkas, males om så kräves till ett fint pulver i exempelvis en agatmortel. Pulvret placeras därefter i extraktionsapparat (ex. Soxhlett-extraktor) och extraheras med ett organiskt lösningsmedel, exempelvis koltetraklorid, under minst 4 timmar. Koltetrakloriden indunstas därefter försiktigt under vakuum till ca 1-2 ml. Den fasta återstoden i extraktionsapparaturen kan därefter extraheras med metanol som kommer att lösa ut eventuella starkt polära organiska föreningar i smutsen.

Även metanolfasen indunstas efter extraktion till ca 1-2 ml. De indunstade organiska lösningarna analyseras därefter med infrarödspektroskopi (IR) och/eller NMR för identifikation av typ organiska föreningar. Dessa kan därefter separeras med hjälp av gaskromatografi och deras molekylvikt bestämmas genom masspektrometri.

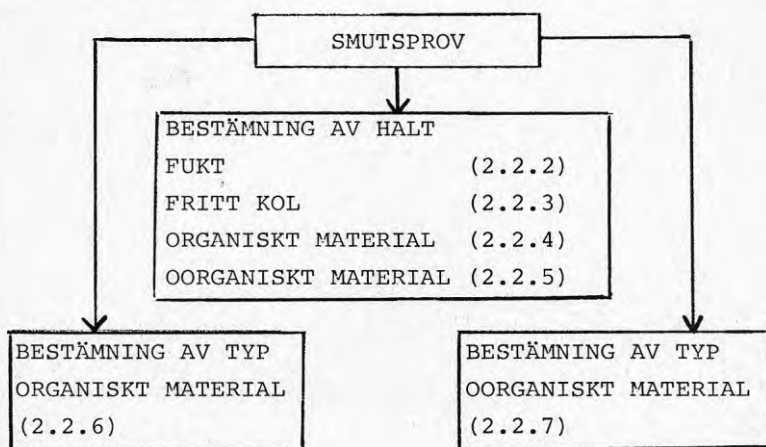
### 2.2.7 Bestämning av typ oorganiska komponenter

Grundämnen med högre atomnummer än natrium kan detekteras med hjälp av röntgenfluorescens om deras halt i provet överstiger 2 %. Samtliga grundämnen i provet erhålles direkt medelst denna metod. Då inga utslag för kol, syre eller kväve erhålles kan man ej från denna analys fastslå exakt typ av oorganisk förening. Exempelvis för kalciumkarbonat erhålles således endast kalciumlinjer. Om svavel föreligger som sulfid, sulfat eller som fritt svavel kan ej heller fastläggas.

Ur denna synpunkt är IR-spektroskopin att föredra, då varje oorganisk substans uppvisar sitt typiska spektrum. Genom att utvälja vissa typiska absorptionstoppar för varje ren substans kan även blandningens sammansättning identifieras kvalitativt. För en kvantitativ analys kräves att spektra för de olika substanserna i olika inbördes förhållande upptas och jämföres med smutsprovets IR-spektrum.

Grundämnesanalys på helt obehandlad smuts visar att smutsen innehåller stora mängder Ca och S ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , gips). Efter  $\text{HNO}_3$ -behandlingen och bränningen vid  $700^\circ\text{C}$  (2.2.3) visar grundämnesanalysen att återstoden i huvudsak består av kiselföreningar med små mängder Al. Vägning 3 (2.2.3) ger således ett mått på halten av silikater i smutsen.

### 2.2.8 Analysschema



### 2.3 Analysresultat

Smutsproverna har med endast ett undantag tagits i Stockholm och då i regel i dess centrala delar, då det är där fasader med klart utbildade smutsskikt återfinnes. Detta medför att de flesta byggnaderna är från 1900-talet eller tidigare, dvs de har i regel ej ventilerade väggar. De flesta av analyserna har utförts enligt det givna analys-schemat. Vid de 7 första analyserna ingick ej behandlingen med utspädd HCl, vilken sönderdelar eventuella karbonater vid bestämningar av fria kolväten. På grund av att sönderfall av karbonater vid bränningen blev kolvätevärdena i dessa analyser för höga och har därför ej medtagits. De flesta prover har tagits vid ögonhöjd och i uppehållsväder. Kalksten användes som beteckning även för kristallin sten.

Tabell 1. Analys av fasadsmuts i Stockholm.

Stenart	Adress	%	% i torr smuts		
			Fukt	Fritt kol	Org. mat.
Kalksten	Styrmansg 43	5.9	1.9	-	> 90
"	Tegnerl. 11 sam-	6.1	2.1	-	> 90
"	Kammakarg 58 ma	6.6	1.5	-	> 90
"	Upplandsg 12 hus	3.8	1.8	-	> 90
"	Oskarskyrkan	15	1.5	2.5	96
Marmor	von Rosens palats	2.3	0.6	1.6	98
Sandsten	Karlavägen 83	1.0	1.0	1.9	97
"	"	0.6	0.8	1.3	98
Puts	Valhallav. 66	4.7	1.9	-	> 90
"	Klevgränd 1b	4.4	1.5	0.8	98
"	Dalagatan 76	3.5	1.2	2.9	96
"	Engelbrektsg. 37	2.3	2.4	2.5	95
"	David Bagaresg. 9-11	7.9	2.7	1.2	96
Tegel, rödbrunt	Posthuset vid Riksmuseet	0.8	1.4	0.5	98
" rött	Norra stationsg. 54	1.3	1.6	2.7	96
"-	Lästmakarg. 17	2.2	0.7	0.6	99
"-	Norra Stationsg. 55-57	0.5	0.5	0.4	99
"-	St Eriksg. 125	4.3	1.3	0.4	98
"-	Norra Stationsg 67	1.4	0.6	0.2	99
" gult	Norrtullsg. 16	1.4	1.0	0.8	98
"-	Kungsg/Sveav.	2.0	1.4	2.9	97
Tegelfog	Norra Stationsg. 55-57	1.7	0.9	0.6	98
"	Norrmalmstorg	0.4	0.8	0.9	98
Betong	KFUM, Oslo	8.4	1.7	0.7	97
Granit (sockel)	Styrmansg. 15-17	3.2	2.8	-	> 90
" (sockel)	Valhallav. 66	3.3	1.7	-	> 90
"	Arsenalsg. 8a	0.8	2.0	2.6	95
"	"	1.5	2.2	1.8	96

28 olika smutsprover har analyserats. För samtliga fasadsmutsprover oberoende av stentyp gäller att de oorganiska komponenterna dominerar i mängd (mer än 95 vikts% av den torra smutsens sammansättning). Medelvärdesberäkningar ger följande resultat för fritt kol och organiskt material.

Tabell 2. Medelvärden av analyser

Stenart	Antal analyser	% fritt kol	Antal analyser	% org. material
Kalksten	6	1.6	2	2.0
Sandsten	2	0.9	2	1.6
Puts	5	1.9	4	1.9
Tegel	8	1.0	8	1.0
Fog (tegel)	2	0.9	2	0.8
Betong	1	1.7	1	0.7
Granit	4	2.2	2	2.2
Samtliga prover	28	1.5	21	1.4
"-	9	≤ 1	10	≤ 1
"-	2	> 2.5	6	> 2.5

Även om antalet analyser ej tillåter en statistisk bearbetning visar en snabb jämförelse att spridningen i totala mängden organiskt material är större än i mängden fritt kol. Höga halter av organiskt material i fasadsmutsen erhålles framförallt i fasadsmuts erhållen från fasader mot hårt trafikerade gator och vid låg höjd över gatan (granitsocklar). Analyser visar dock att det organiska materialet ej härrör sig i nämnvärd grad från bilavgaser (bensinmotorer) utan utgöres av mindre flyktiga kolväteföreningar med molekylvikter i storleksordningen 300-400. Dylåterfinnes i dieselolja och eldningsolja. (Molekylvikten hos bensinkolväten ligger i storleksordningen 80-150).

Analys av färsk trafiksmuts som det lösa damm som finnes på horisontella ytor och trafikmärken visar betydligt högre halter av kol och organiskt material.

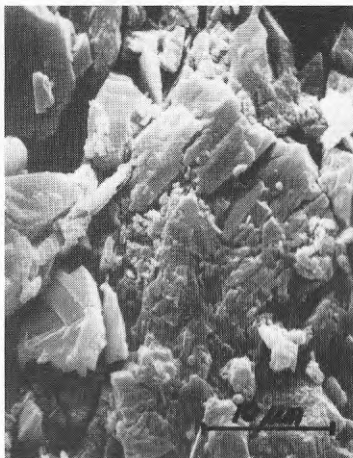
Tabell 3. Analys av färsk trafiksmuts

Adress	% i torr smuts			
	Fukt	Fritt kol	Org. material	Oorg. mat.
Linnégatan	3	6	9	85
Konstnärshuset	0.7	4	6	90

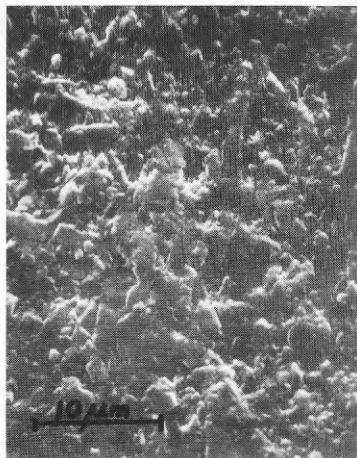
IR-analys av koltetrakloridextrakt av trafiksmuts avskrapad från trafikljusstolpe på Norra Stationsgatan visade att trafiksmutsen i likhet med fasadsmuts, i huvudsak innehåller tyngre kolväten. Som väntat visar både IR-analys och röntgenfluorescensanalys (EDAX-analys) av det oorganiska materialet att detta i huvudsak utgöres av kiseldioxid.

I hårt sittande smuts på fasaderna utgör dock gips den dominerande beståndsdelen, även på granitytorna där stenmaterialet i sig själv ej innehåller kalciumkarbonater, vilka med luftens svavelsyrlighet kan reagera till kalciumsulfat. Den utfällda gipsen i dessa fall härrör sig med all förmodan från fogmaterialet då även kalciumkarbonater återfinnes i denna smuts. (Analys av en fog visade att kalciumkarbonaterna omvandlats till sulfater intill ett djup av 2 mm). Silikathalten i smutsproverna är högre i de prover som tagits från silikathaltiga fasadmaterial. Detta resultat kan i huvudsak tillskrivas det faktum att en del av fasadmaterialet medföljer smutsen vid provtagningen. I vissa fall förefaller dock även smutsen att vara silikatbunden, vilket tyder på att lösta silikater utfällts på ytan. Silikater, dock i låg halt, återfinnes i smutsen hos rena kalkstensfasader. I dessa fall härrör sig silikaterna med stor säkerhet från luftburet damm. Trafiksmutsen var mycket silikatrik. EDAX-analyser påvisar förekomst av smärre mängder järn och aluminium i fasadsmutsen, medan IR-analys påvisar kalciumkarbonater.

Elektronmikroskopi av smutsiga fasadbitar visar att smutsens mikrostruktur kan variera kraftigt. I de fall smutsen är mer eller mindre kristallin (figur 1) är smutsen mycket lättare att avlägsna än när kristallerna förefaller inbakade i amorft material (figur 2). EDAX-analys kan ej påvisa någon kemisk skillnad i smutsen.



*Figur 1. Normal fasadsmuts i 3000 ggr förstoring. Kristallerna utgör gipskristaller.*



*Figur 2. Svår fasadsmuts i 3000 ggr förstoring. Gipskristallerna är inbakade i amorft material.*

På tegel taget från gamla panncentralen på Münchenbryggeriet i Stockholm finns en svart, mycket tät smuts, som kräver behandling med utspädd fluorvätesyra för att kunna avlägsnas. Smuts av denna typ skrapades av mycket försiktigt med en skalpell så att endast smuts och ej fasadmateriel skulle avskas. Denna smuts ivägsändes för bestämning av kol med Leco och spektralanalys. Analysen gav kolhalt 3.4% och att grundämnena kisel (Si), kalcium (Ca) och svavel (S) förelåg i största mängderna, men även på en förekomst av aluminium (Al), järn (Fe), kalium (K) och titan (Ti). Kislet i smutsen härör sig således i detta fall antingen från utlösta kiselföreningar eller damm. Då provstenarna tagits på en sida av panncentralen, som står mycket nära (mindre än 1 meter) en bergvägg och där en mycket fuktig miljö råder har dessa stenar med säkerhet genomgått ovanligt många fukt-torkförlopp. Detta innebär att kislet i smutsen, trots silikaters otroligt låga löslighet, skulle kunna utgöras av utlösta silikatföreningar. Denna smutstyp kommer att behandlas mera i detalj under kapitel 5 "Rengöring av tegel".



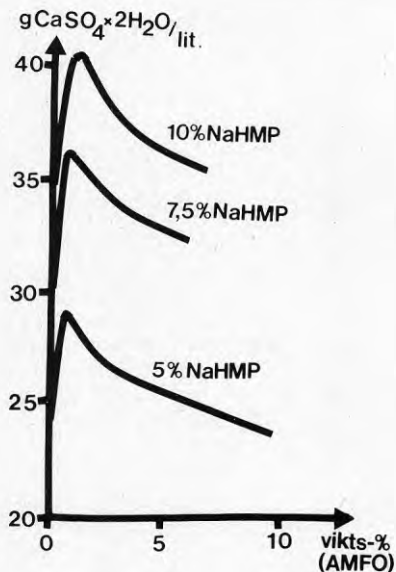
### 3. RENGÖRING AV KALKSTEN

#### 3.1 Inledning

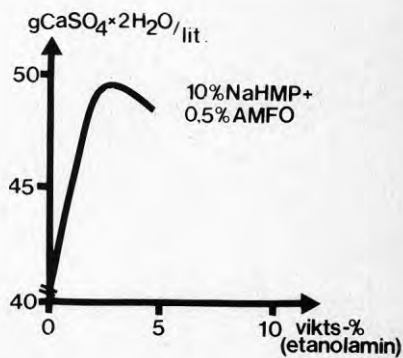
Den inledande inventeringen och dokumentationen av existerande kunskap och aktuella problemställningar inom fasadrengröingsområdet visade att fasader av kalksten (inklusive kristallin kalksten) bedömdes som besvärliga att rengöra. Önskemål om att erhålla effektiva men oskadliga rengöringssystem för dessa ytor framfördes starkt. (Se delrapport 1).

Analysundersökningar visade också att all fasadsmuts innehåller, som en dominerande komponent, kalciumsulfat (gips) och att sotet, som ger fasaden dess smutsiga intryck, är inkapslat i detta gips. På kalkstensfasader föreföll denna smutsbildningsmekanism att vara mest renodlad. Kalksten bedömdes därför som det lämpligaste materialet för undersökningarna med syftet att framta bättre rengöringssystem.

Genom att använda gips som modellsubstans framtogs lämpliga rengöringskemikalier för kalkstenssmuts. Prov på naturligt smutsad kalksten visade, att gips som modellsystem gav relevanta resultat. Den bästa lösligheten av gips erhöles vid dessa experiment med en blandning av 10 % natriumhexametafosfat (NaHMP), 0.5 % ammoniumformiat (AMFO), 2 % av den organiska basen etanolamin. Lösningens pH var 10-11. Den relativa gipslösligheten som funktion av rengöringslösningarnas sammansättning framgår av figurerna 3 och 4. En detaljerad redovisning ges i delrapport 2.



Figur 3. Lösningen av gips i lösningarna av natriumhexametafosfat och ammoniumformiat.



Figur 4. Lösningen av gips i lösningar med varierande etanolamin-koncentrationer.

Vid tester på naturligt smutsat material visade sig en tillsats av vätmedel ge ökad rengöringseffekt. Olika appliceringsmetoder prövades. Eftersom det nya rengöringssystemet bygger på en ökad löslighet och ej på en kemisk etsning av ytan, som de starkt sura och basiska medlen, blir både kontakttiden och diffusionen i rengöringsmedlet av betydelse. För att få ökad kontakttid provades rengöringskemikalierna dels i skumform och dels i gelad form. De gelade systemen var dels av typen vatten med tillsatta gelbildare, dels av typen vatten-i-olja emulsioner med hög halt vatten, vilka är mer kända som brandsläckningsgel. Inget av de gelade systemen gav önskad rengöringseffekt på grund av för låg diffusionsgrad. I fallen med de skummade systemen erhöles ej tillräcklig mängd kemikalie per fasadytenhet trots att låga expansionstal (förhållandet skumvolym/skumvätskevolym) användes. Dessa resultat finnes redovisade i mer detaljerad form i delrapport 2.

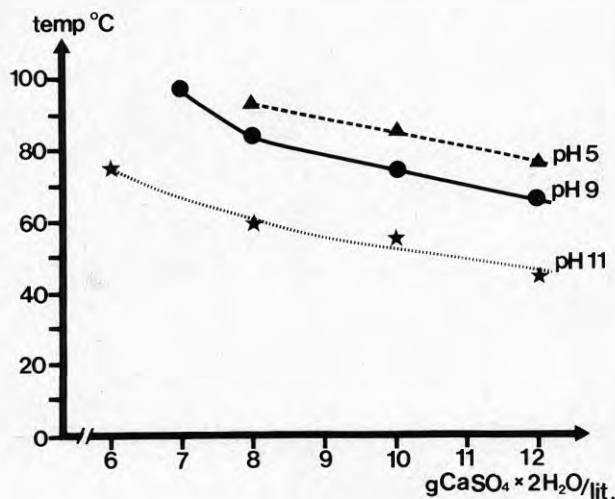
De fortsatta undersökningarna med kalkstensrengöringsmedlet inriktades därför på att finna en lämplig appliceringsform, dess stabilitet samt att fastlägga rengöringsmedlets effekt på andra material som det kan komma i kontakt med under fasadrengöringen.

### 3.2 Stabilitet hos kalkstensmedel

Natriumhexametafosfat,  $\text{Na}_n(\text{PO}_3)_n$  är en blandning av tri- och tetrametafosfat samt högre polymera polyfosfat, där O-P-O-P-kedjorna bildat ringar. I vatten sker en hydrolys av dessa kondenserade fosfat. Vid rumstemperatur sker denna långsamt, men vid temperaturer över  $50^\circ\text{C}$  sönderfaller de kondenserade fosfaterna relativt snabbt till ortofosfat,  $\text{PO}_4^{2-}$ . Framförallt polyfosfatjonerna ( $n > 3$ ) bildar starka komplex med flervärda katjoner och kan därigenom åstadkomma upplösning av fasta faser innehållande dessa katjoner. Det är medelst denna komplexbildning som rengöringssystemen äger sin goda gipslösande förmåga. Emellertid, om lösningarna uppvärms långvarigt över  $50^\circ\text{C}$ , finns stor risk för att svårlösliga kalciumfosfater eller ammoniumkalciumfosfater bildas. Normalt skall de nya rengöringsmedlen användas vid rumstemperatur. Emellertid, om tvättning måste avbrytas innan sköljning och stark sol belyser fasaden, kan höga temperaturer erhållas i en relativt gipsmättad lösning. Vidare kan det finnas viss risk för att en ökad rengöringseffekt förväntas erhållas i likhet med konventionell kemikalietvätt om mycket hett sköljvatten användes. Med det inom projektet framtagna rengöringssystemet är så ej fallet. Detta skall användas vid normal vattentemperatur och kallt vatten skall användas vid sköljning.

Nedanstående figur (figur 5) visar vid vilken temperatur fällning först kunde observeras när prover av rengöringsmedel B, pH 9 (5% NaHMP, 0.25% AMFO, 0.05% Berol 478 och etanolamin till pH 9) samt motsvarande medel med pH justerat till pH 5 med citronsyra respektive pH 11 med etanolamin, värmdes långsamt i närvaro av gips. Temperaturen ändrades stegvis 5°C i taget och hölls en 1/2 timme vid varje temperatur. Den bildade fällningen löses ej upp vid sänkning av temperaturen igen, ej heller vid spädning av lösningarna. Tillsats av utspädd saltsyra, pH 1, löser upp fällningen. IR-analys visar att den utgöres av kalciumfosfat. För att fastlägga tidsberoendet av denna irreversibla utfällning av kalcium och fosfater löstes 8, 10 respektive 12 g gips per liter rengöringsmedel B, pH 9. Efter 4 timmar vid 40°C hade någon utfällning ej skett i något av proverna, efter 3 timmar vid 50°C erhöles en liten utfällning i provet med 12 g/liter. De två andra proverna stod sedan ytterligare 7 timmar i 50°C utan att någon tendens till grumling kunde observeras.

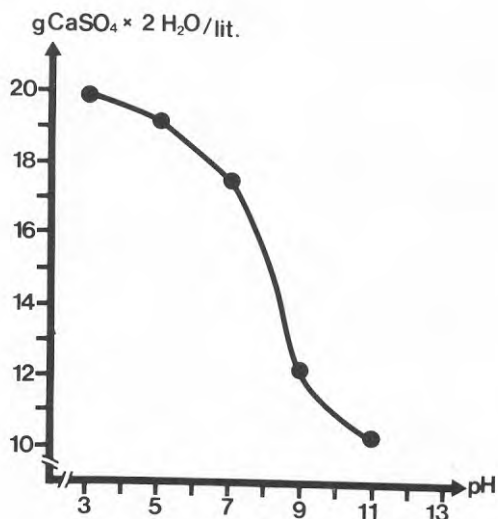
Försöken visar således att vid normal användning av rengöringsmedlen föreligger ingen risk för utfällning av olösliga kalciumfosfater även vid driftstopp vid förhöjda ytemperaturer.



Figur 5. Vid långsam värmning av rengöringsmedel B av olika pH och med olika mängder löst gips grumlas lösningarna vid en viss temperatur. Kurvorna anger den temperatur vid vilken en fällning först observerats.

### 3.3 Kompletterande löslighetsundersökningar

En enkel och relativt snabb metod användes för att bestämma den relativa lösligheten av gips i olika lösningar (se delrapport 2). Denna metod gav emellertid inga verkliga värden på gipsets löslighet. Kompletterande försök för att fastlägga hur stor mängd gips som kunde lösas i rengöringsmedel B (5% NaHMP, 0.25% AMFO och 0.05% Berol 478) utfördes därför. Medel Bs pH varierades medelst tillsats av citronsyra eller mera etanolamin. Små tillsatser av gips gjordes successivt till respektive lösning tills det inte gick att lösa mer inom en rimlig tidsperiod. Resultatet av undersökningen framgår av figur 6.



Figur 6. Löslighet av gips i rengöringsmedel B:  
5% NaHMP, 0.25% AMFO, 0.05% Berol 478.  
Tillsats av monoetanolamin eller citronsyra  
till önskat pH.

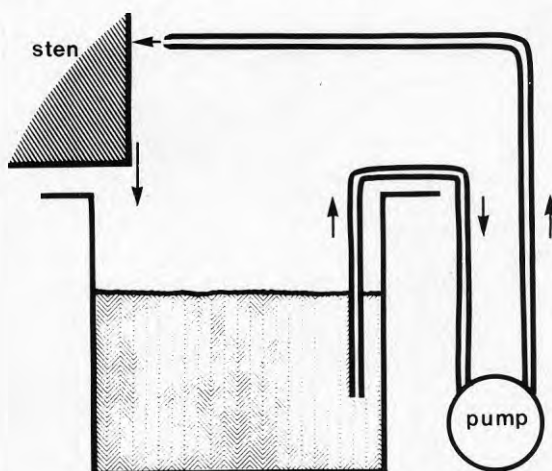
Ur löslighetssynpunkt bör således högre pH än 7 undvikas.

### 3.4 Rengöring medelst recirkulation

Vid ridåtvätt med rent vatten erhålles en god rengörings-effekt trots gips låga löslighet i rent vatten på grund av att långa tider användes och därmed stora volymer av vatten kommer i kontakt med smutsskiktet. En nackdel med denna metod är att hela fasadmaterialet blir mättat med vatten på grund av den långvariga bejuttningen.

Med ett effektivt gipslösningssystem borde kortare kontakt-tider ge önskad renhetsgrad. För att utnyttja det nya systemets totala gipslöslighetsförmåga och därmed hålla kemikalieförbrukningen nere bör lösningen recirkuleras.

Vid recirkulationsförsöken i laboratorieskala pumpades rengöringslösningen med en enkel stråle på ytan enligt nedanstående principskiss i figur 7.



Figur 7. Principskiss för rengöring med recirkulation.

Försöken visade att för att den täta smutsen (se figur 2), som oftast återfinnes nära fogar, skall kunna avlägsnas inom en rimlig tid kräves närvaro av vätmedel. Ca 0.2 % av vätmedlet natrium dioktylsulfosuccinat (säljes ex under beteckning Berol 478 av Berol Kemi AB, Aerosol OT av Cyanamid) är tillräckligt. Försök med en rengöringslösning bestående av 10% NaHMP, 0.5% AMFO, 2% etanolamin och 0.25% Berol 478 (rengöringsmedel A) visade att recirkulation av 500 ml med en pumphastighet av ca 1 liter/min vid rumstemperatur avlägsnade all lätt smuts (smutstyp, figur 1) inom några minuter och att efter 30 minuter hade det tjocka täta smutsskiktet i fog och på sten i dess närhet (smutstyp, figur 2) helt avlägsnats. I botten av bågaren avsatte sig efter rengöringsförsöket en fin brungrå fällning. Analys visade att denna

utgjordes till sin dominerande del av silikat, förmodligen av inkapslat trafikdamm.

Fortsatta försök i laboratorieskala visade att minst lika god rengöringsförmåga erhöles om halterna av de aktiva kemikalierna sänktes till hälften, samt att halten etanolamin var föga kritisk. Lika snabb och god rengöring erhöles med lösningar utan etanolamin som med de med etanolamin till pH 9 eller 11 justerade lösningarna. Vid prov i halvstor skala användes därför rengöringsmedel B med grundammansättningen 5% NaHMP, 0.25% AMFO, 0.05% Berol 478. Till denna sattes monoetanolamin till pH 9 och betecknas med rengöringsmedel B, pH 9.

Recirkulationshastigheten förefaller ej heller vara kritisk ur smutslösningssynpunkt. Denna kan hållas mycket låg. Enda kravet är att ytan hålles fuktig hela tiden. Emellertid erhöles en ren yta snabbare just där strålen träffar ytan. En viss mekanisk bearbetning förefaller således fördelaktig.

Experiment har visat att borstning under ca en minut med en halvhård borste liknar den mekaniska behandling som sköljning med högtrycksspruta innebär. För att undersöka den mekaniska effektens betydelse spolades en naturligt hårt smutsad kalksten i tre minuter med rengöringsmedel B, borstades och sköljdes. Efter ytterligare två gånger tre minuters tvättning, borstning och sköljning erhöles en helt ren stenyta. Ett annat avsnitt av stenen spolades under nio minuter och sköljdes därefter utan borstning. Ytan blev något ljusare men ej ren. Ett tredje avsnitt av stenen spolades under nio minuter, borstades därefter och sköljdes. Denna behandling gav en helt ren yta.

Detta försök och även det faktum att rengöringen går mycket snabbt och dessutom snabbare för den mer porösa smutstypen än den täta indikerar att det är en upplösning av gipskristallernas kanter och därmed fästpunkter till varandra och fasadytan som först äger rum. Den milda mekaniska behandlingen kan därefter frigöra hela gipskristallen, dammpartiklar och sot.

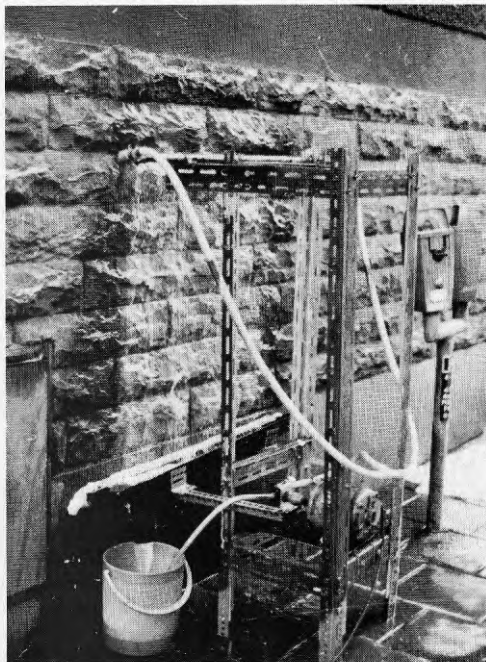
Löslighetsundersökningen med rengöringsmedel B vid olika pH visade att vid pH högre än 7 avtog gipslösligheten snabbt. Provtvätt med recirkulation av rengöringsmedel B med pH 5 (citronsyra), 7 respektive 9 på smutsad kalksten visade att lösning med pH 5 gav bästa resultatet, därefter den med pH 9 och den med pH 7 sämst resultat. Rengöringseffekten förefaller således ej enbart vara korrelerad till gipslösligheten.

Olika avsnitt av en smutsad kalkstensyta spolades med vatten, rengöringsmedel B, pH 9, dito med pH 5, respektive med ett starkt alkaliskt fasadreningsmedel, Reiniger A. Efter 15 minuters recirkulationsspolning var ytorna som behandlats med vatten eller Reiniger A fortfarande smutsiga, medan rengöringsmedel B vid båda pH gav helt rena ytor.

För att undersöka om rengöringsmedel B verkar korrosivt på ren kalksten bestämdes dels lösligheten av kalciumkarbonat, dels effekten av långtidsspolning. Lösligheten av kalciumkarbonat var mycket låg, 0.1g/liter. Antar vi att 10 liter får verka på en yta av 1 m<sup>2</sup> skulle detta innebära att maximalt 0.04 mm av fasadmaterialet skulle lösas upp. För testerna med långtidsspolning användes en röd normalhyvld Gusta kalksten, normalslipad röd Ölandskalksten och polerad röd Gusta kalksten. (Röda kalkstensytor blekes mycket lätt). Efter 16 timmars recirkulation kunde en viss mattning av den polerade stenen observeras, övriga var helt opåverkade.

### 3.5 Försök i halvstor skala med recirkulationstvätt

En pilot-plant anläggning, vilken skulle tillåta provtvättning av ca 1 m<sup>2</sup> stor fasadyta iordningställdes. Apparaturens konstruktion framgår av figur 8.



*Figur 8. Provtvättning med pilot plant-apparatur.*

Rengöringslösningen sprayas på väggen genom 4-6 dysor. Vätskan uppsamlas i en hängränna efter det den runnit över fasadytan, och ledes därefter tillbaks till reservoirkärl, varifrån den pumpas upp till dysorna igen. Tätningen mellan hängränna och vägg är kritisk. Bäst resultat har vid våra försök erhållits med silikonbehandlad fetvadd. En hängränna, försedd med en mjuk gummilist och upphängd på så sätt att den kan pressas mot väggen, bör kunna eliminera fetvadden.

Första provtvätten med rengöringsmedel B, pH 9, utfördes på Styrmansgatan 43, där bottenvåningsfasaden bestod av kraftigt smutsad kalksten (huset skulle fasadtvättas senare). På grund av läckage mellan ränna och vägg kunde endast 5 minuters rengöringstid erhållas. En tydlig gräns mellan behandlad och obehandlad yta erhöles även om den behandlade ej var ren. Ytan sköljdes med en hand-spruta efter tvättningen.

Vid nästa provtvätt användes fetvadd som tätlist. Provtvätten utfördes på kuperad kalksten (Dalagatan 78) och rengöringsmedel B, pH 9, användes. Efter tre minuters injusterings av apparaten fick 5 l rengöringsmedel recirkulera över ca 1 m<sup>2</sup> yta under fem minuter. Smutsen försvann mycket lätt och efter sköljning med vatten (recirkulation) var ytan helt ren (fig 9).

Vid nästa försök tvättades en kalkstensfasad på Narvavägen 1. Ca 18 minuters recirkulation av rengöringsmedel B krävdes för att god effekt skulle erhållas. Fasaden sköljdes medelst recirkulation. Efter torkning kunde konstateras att en något ojämn rengöring erhållits. Där rengöringsmedlet träffat fasaden från dysorna observerades renare ringar. Fasadavsnittet sköljdes därefter med en högtrycksspruta. Ojämnheterna i renhetsgraden försvann därvid. Fasadavsnittets renhetsgrad var lika hög som den yta, vilken behandlats med ett kommersiellt rengöringsmedel enligt den vedertagna proceduren för kalkstensfasader. Detta rengöringsförsök filmades.



*Figur 9. Efter ca 5 minuters recirkulation med rengöringsmedel B och sköljning med högtrycksspruta erhöles en helt ren kalkstensyta.*



Vid nästa provtvätt tvättades en kalkstensfasad ca 5 m över mark vid Stureplan. Fasaden var hårt smutsad och bestod av råhuggen kalksten. Efter ca 15 minuters recirkulation med rengöringsmedel B, pH 9, sköljdes fasaden medelst recirkulation. Fasaden var ej helt ren. Lätt borstning och förnyad sköljning gav en yta som såg ren ut efter torkning, varför en sköljning med högtrycksspruta förmodligen hade gett önskad renhetsgrad.

Ytterligare en provtvättning av kalkstensmaterial utfördes, nämligen på en räfflad marmorsockel på ett hus i korsningen Storgatan-Grevgatan. Inget kraftigt smutsskikt hade utbildats, men sockeln var fläckvis nedsmutsad. Efter 10 minuters recirkulation med rengöringsmedel B, pH 5 (citronsyra) och sköljning med högtrycksspruta erhöles en jämnt ren yta.

Pilot-plant-försöken visar att det utvecklade rengöringsmedlet har en god rengöringseffekt även på större ytor. Försöken visar på betydelsen av en kompletterande mekanisk behandling ex. av typ sköljning med högtrycksspruta. Försöken, vilka ej har utförts på rikt ornamenterade hus, visar på att en god tätning mellan uppsamlingsränna och fasadvägg är nödvändig. Då besprutning via dysor ger en kraftigare rengöring just där vätska träffar väggen, bör lösningarna istället påstrilas diffust vid tvättning med recirkulation.

Inga negativa effekter av rengöringsmedlet B har framkommit vid provtvättningarna.

#### 4. RENGÖRINGSMEDELS PÅVERKAN PÅ ÖVRIGA MATERIAL VILKA KAN FÖREKOMMA I ELLER PÅ STENFASADER.

##### 4.1 Målade ytor

De starkt basiska kommersiella fasadreningsmedlen, som bl a användes på kalksten, angriper och löser upp färgen på fönsterramar etc. Inga sådana tendenser noterades med de ny-utvecklade fasadreningsmedlen. Som ytterligare kontroll lades en vitmålad fönsterkarmsbit i rengöringsmedel B, pH 9, i dito pH 5, i rengöringsmedel C, vilket består av 6 % natriumdivätefosfat ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ), 3 % citronsyra och 0.05 % Berol 478 och har pH 3 respektive i rent  $\text{H}_2\text{O}$ . Efter 4 dygn var lösning B, pH 9 starkt guldfärgad och grumlig, men ingen påverkan på den målade ytan kunde noteras, lösning B, pH 5 var guldfärgad, lösning C svagt guldfärgad och grumlig, och det rena vattnet något guldfärgat. Ingen påverkan på den målade ytan kunde noteras. Guldfärgningen av vätskorna kan ha berott på utlösning av substanser från det oskyddade träet i de nysågade ändbitarna.

##### 4.2 Metaller

Även på stenfasader finnes ofta metaller i detaljer som stänkleck och stuprör, olika fästen och armeringsjärn. Det är viktigt att rengöringsmedlet ej angriper dessa metallföremål så att tvättningen medför utfällning av rost eller grönblå kopparsalter på de rengjorde stenyterna.

För att undersöka korrosibiliteten hos det utvecklade kalkstensrengöringsmedlet; rengöringsmedel B, skruvades kopparskruvar dels i en marmorskiva, dels i en vit kalksten. Kopparskruvarna och stenyterna i närheten spolades därefter under 30 minuter med rengöringsmedel B, pH 9. Efter det att ytorna fått torka kunde ingen missfärgning noteras vare sig på kopparn eller stenyterna. Samma försök men med en ärgad koppar respektive rostiga spikar gav ej heller upphov till någon missfärgning när ytorna eftersköldes med vatten. Däremot sker en missfärgning i gränsytan mellan torrt stenmaterial och vått om sköljning ej utföres. En missfärgning av rengöringslösningarna erhålles om rostiga eller ärgade metallbitar förvaras i dessa ett dygn. Som testlösningar användes rengöringsmedel B med naturligt pH av 6.5, dito med tillsats av citronsyra till pH 5, dito med tillsats av etanolamin till pH 9 respektive 11. Ärgad koppar gav upphov till mycket svag blåfärgning av B, pH 6.5, grönblå färgning av B, pH 5, ljusblå färgning av B pH 9 och violett färgning av B, pH 11. Rostiga spikar gav en mycket svag gul missfärgning av B, pH 6.5, något starkare i de med pH 9 och pH 11, medan medlet med pH 5 blev svagt brungult. Försöket visar att rengöringsmedlet delvis löser upp rost och ärgskikten på de korroderade metallerna. På grund av att lösningarna är goda komplexbildare av tungmetaller sker ingen utfällning under förutsättning att lösningarna ej får torka in på stenarna. Med normal tvättprocess, där en sköljning omedelbart följer tvättningen bör risker för missfärgningar, orsakade av utlösta färgade metallsalter under tvättprocessen, vara minimal.

### 4.3 Isoleringsmaterial

Moderna byggnader har ventilerade väggar. Vid fasadrengöringen finnes risk för att inläckage av rengöringsmedel och sköljvätskor äger rum genom sprickor och ventilerings-spalter. Under rinningen nedåt kan lösningarna lösa ut komponenter ur isoleringsmaterialet, exempelvis fenol, som under en efterföljande torkprocess transporteras ut i fasadens nedre delar och där kan ge upphov till missfärgning.

För att undersöka effekten av kalkstensmedlet rengöringsmedel B, pH 9 och två tegelmedel, rengöringsmedel B, pH 5 och rengöringsmedel C, lades i en första försöksserie bitar av korkisoleringsmaterial och stenull (Rockwool) under 4 dygn i dessa medel samt rent vatten. För enkelhets skull upprepar vi sammansättningen hos rengöringsmedlen i tabell 4 nedan.

Tabell 4 Sammansättning hos rengöringsmedel.

Medel B, pH 9:	5 % NaHMP, 0.25 % AMFO, 0.05 % Berol 478 + etanolamin
Medel B, pH 5:	5 % NaHMP, 0.25 % AMFO, 0.05 % Berol 478+citron-syra
Medel C, pH 3:	6 % NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , 3 % citronsyra, 0.05 % Berol 478

Efter de 4 dygnen noterades följande förändringar i utseendet hos lösningarna och isoleringsmaterialen.

Tabell 5. Påverkan av isolermaterial efter 4 dygns förvaring i olika rengöringsmedel.

Lösning	Material	Utseende hos	
		Lösning	Material
H <sub>2</sub> O	Kork	Helt opåverkad	Ingen påverkan
"	Rockwool	"-	"-
Medel B, pH9	Kork	Gulfärgad	"-
"-	Rockwool	Ofärgad men grumlig	"-
Medel B, pH5	Kork	Svagt gul, grumlig	"-
"-	Rockwool	Gulgrön, grumlig	Något lite upplöst
Medel C, pH3	Kork	Ofärgad, grumlig	Ingen påverkan
"-	Rockwool	Gulgrön, grumlig	Nästan helt upp-löst

Det faktum att stenullsmaterialet föreföll att lösas upp av de svagt sura medlen föranledde ytterligare undersökningar, bl a studerades tidsförloppet. I medel B, pH 9 och pH 5, sker ingen missfärgning eller påverkan av stenullen inom de 2.5 timmar som försöket pågick. Däremot börjar stenullsmaterialet att lösas upp efter en halv timme i medel C och upplösningen ökar kraftigt med tiden och i takt med denna gulnar lösningen.

Då det var medlet med lägst pH som angrep stenullsmaterialet jämfördes effekten av olika sura lösningar.

Tabell 6. Påverkan av Rockwool av förvaring i 2 timmar i olika sura lösningar.

Lösning	Utseende hos	
	Lösning	Rockwool
3 % citronsyra pH 3	Gul	Delvis upplöst
HCl pH 3	Något grumlig	Mycket lite upplöst
10% $\text{NH}_4\text{HF}_2$ , pH3	Grumlig	Något lite upplöst, vit

Citronsyra är således klart aggresivast mot stenull vid jämförbara pH'n hos lösningarna.

Ett vanligt isolermedel är fenolhartsbundna glasfibermattor. Två olika kvaliteter, nämligen en lösare kvalitet, Gullfiber skiva 3024, och en hård kvalitet, Gullfiber skiva 70 kg/m<sup>3</sup> undersöktes. Efter 4 dygns förvaring i vatten, medel B, pH 9, medel B, pH 5, respektive medel C, pH 3, hade samtliga lösningar guldfärgats. (Guldfärgade föroreningar finns i isoleringsmaterialet eftersom ett recirkulerande sköljvatten används vid framställningen av detta). Efter det att bitarna fått torka utan sköljning kunde en kraftig sammanlimning (sänkning av volym till ca hälften) observeras för de bitar som förvarats i rengöringsmedel B pH 5 och pH 9. Kvalitet 3024 blev hårdare efter förvaring i och intorkning av medel C. Om bitarna däremot sköljdes med vatten efter behandlingen återfick de sin ursprungliga elasticitet och form.

IR- och UV-analyser av indunstade lösningar och behandlade Gullfiberbitar visade att "bakgrundstopparna" från ingående rengöringskemikalier och material är så dominanta att en eventuell utlösning av bindemedel ej kunde detekteras.

Den observerade påverkan av isoleringsmedlen föranledde en större jämförande försöksserie där påverkan av idag använda fasadrengöringsmedel undersöktes.

Tre starkt sura medel, nämligen V 708 (fluorvätesyra och fosforsyra), Deox (saltsyra och citronsyra) samt Ferrotone (fosforsyra) och två starkt basiska medel Reiniger A och ett med okänd beteckning som kommer att kallas starkt basiskt, testades jämte de inom projektet utvecklade medlen.

Isoleringsmaterial som undersöktes var glasfiber, Gullfiber kvalitet 3024 och 70 kg/m<sup>3</sup>, kork samt stenull (Rockwool). Bitar av isoleringsmaterialen fick ligga i lösningarna ett dygn, varefter de fick torka på urglas i rumstemperatur. Med Gullfiber gjordes också en serie, där bitarna sköljdes med vatten före torkningen. Förändringarna i tvättlösningarna (tabell 7) samt på isoleringsmaterialen, efter två veckor och utan sköljning (tabell 8) och efter sköljning (tabell 9) noterades.

Tabell 7. Inverkan på isoleringsmaterial av olika fasad-rengöringsmedel. Förändringar i lösningarnas utseende efter 1 dygns kontakt.

Rengöringsmedel	Urspr. utseende	Utseende efter 1 dygn			
		Gullfiber 3024	Gullfiber 70 kg/m <sup>3</sup>	Kork	Rockwool
V708 1:3 <sup>x</sup>	ljus gruml.	oförändrad	oförändrad	oförändr.	mörkt gruml.
Deox	klar	ljus,grå	ljus,grå	ljus,gul	gul
Ferrotone	mörk brun-grön	brungul	brungul	brungul	brungul
Reiniger A	gruml. ljusgrå	ljusgul	ljusgul	mörkt brungul	ljusgrå
Starkt basisk	mörkt grå	grumlig grå	grumlig grå	mörkt gulgrå	mörkt grå
Medel B pH 9	klar	ljusgul	ljusgul	klar	klar
Medel B pH 5	"	"	"	"	ljusgul
Medel C pH 3	"	"	"	"	"
Medel D pH 3 <sup>xx</sup>	"	"	"	"	"

x Användes nyutspädd 1 del på 3 delar vatten. Även då starkt sur

xx Medel D: 5 % NaHMP, 3 % citronsyra och 0.1 % Berol 452.

Som framgår av tabellen löses i de flesta fall ut komponenter från isoleringsmedlen. Av färgförändringarna att döma är de starkt basiska medlen mest aggressiva på kork. De inom projektet utvecklade medlen löser i allmänhet ut mindre mängder färgade komponenter än de kommersiella medlen.

Tabell 8. Inverkan på isoleringsmaterial efter 1 dygn i olika fasadrenöjningsmedel efter lufttorkning utan sköljning under två veckor.

Rengöringsmedel	Gullfiber 3024	Gullfiber 70 kg/m <sup>3</sup>	Kork	Rockwool
V 708 1:3 sur	Formkollapsad, blöt, svagt gulröd	Form stabil, blöt, svagt gulröd	Ej synligt påverkad, blöt	Knappt synlig återstod vilken är blöt och gul
DEOX sur	Form nästan stabil. Hård men elastisk.	Form stabil. Elastisk. Vitgul	Ej synligt påverkad	Gult pulver kvar, hårt
Ferrotone sur	Form kollapsad blöt; olivgrön	Form stabil, blöt, olivgrön	Ej synligt påverkad, blöt	Kladdig klump som återstod. Gulgrön
Reiniger A bas	Form kollapsad. Mycket hård. Gulröd + vitt salt	Form kollapsad. Mycket hård. Rödgul	Hård, spröd, oelastisk Vitt salt	Fullständig kollaps, form förlorad. Hård, gråbrun, salt.
Starkt basiskt	Form kollapsad. Mycket hård. Gulröd + vitt salt	Form kollapsad. Mycket hård. Rödgul	Hård, spröd. Oelastisk. Vitt salt	Fullständig kollaps, form förlorad. Hård. Vit av salt
Medel C pH 3	Form stabil. Hård, avfärgad	Form stabil. Avfärgad	Ej synligt påverkad	Fullständig kollaps. Grågul rest kvar
Medel D pH 9	-	-	Ej synligt påverkad, svagt klubbig. Elastisk	Fullständig kollaps. Grågul rest kvar
Medel B pH 5	Form kollapsad till ca hälften. Sammanlimmad	Form delvis förlorad. Sammanlimmas	Ej synligt påverkad, svagt fuktig	Delvis kollaps, ngt grågul
Medel B pH 9	Form kollapsad. Sammanlimning	Form delvis förlorad. Sammanlimning	Ej synligt påverkad	Nästan formstabil. Hård, färg opåverkad.
H <sub>2</sub> O	Form stabil. Något avfärgad	Form stabil. Något avfärgad	Ej synligt påverkad	Svagt avrundad i kanter, mjuk

Som framgår av tabell 8 fördärvas den aktuella Rockwool-kvaliteten helt av samtliga kommersiella rengöringsmedel, både sura och basiska och i stor utsträckning av de som innehåller citronsyra av rengöringsmedlen utvecklade inom projektet om rester av rengöringsmedlen får torka in i materialet. Korkisoleringsmaterialet förefaller tåla de inom projektet utvecklade rengöringsmedlen väl och också de starkt sura kommersiella, medan de starkt basiska gör materialet sprött. Av de två Gullfiber-kvaliteterna tål den tätare 70 kg/m<sup>3</sup> rengöringsmedlen mycket bättre än den porösare kvaliteten 3024. Det är endast de starkt basiska medlen som får den förra att kollapsa, men en viss minskad volym noteras med de rengöringsmedel som utvecklats inom projektet och som innehåller NaHMP. Denna formförlust blir klart mer markant med den lättare Gullfiber-kvaliteten. Det är endast det sura rengöringsmedlet DEOX samt medel C av rengöringsmedlen, som medför en i det närmast oförändrad form och därmed isoleringsförmåga hos denna kvalitet. Försöket visar således klart att en kraftig påverkan av isoleringsmedlen sker om rengöringskemikalier får verka längre tid och i utspädd form på dessa. Eventuella missfärgningar på fasadens utsida skulle i detta sammanhang endast vara en sekundär bieffekt.

Det är föga troligt att vid en fasadtvätt förhållanden i likhet med ovanstående experiment skulle kunna uppstå. Om det emellertid under optimalt olyckliga omständigheter skulle ske ett kraftigt lokalt inläckage av fasadrengröringsmedel är det av intresse att undersöka om de i tabell 8 noterade förändringarna är reversibla eller ej. En försöks-serie med sköljning av isoleringsmaterialen efter ett dygns kontakt med rengöringsmedlen, utfördes därför. Endast Gullfiber-materialen medtogs i denna försöksserie, då den aktuella Rockwool-kvaliteten i de flesta fall angripits så kraftigt att den helt upplösts och korkmaterialet var relativt opåverkat.

Resultatet av denna undersökning ges i tabell 9.

Tabell 9. Inverkan på isoleringsmaterial efter 1 dygn i olika fasadreningsmedel, sköljning med vatten och lufttorkning.

Rengöringsmedel	Gullfiber 3024	Gullfiber 70 kg/m <sup>3</sup>
V 708 1:3 sur	Hopsjunken, ej elastisk, svagt gulröd	Hopsjunken, ej elastisk, svagt gulröd
DEOX sur	Form nästan återställd, gulgrön	Form ursprunglig ngt mjukare, gulgrön
Ferrotone sur	Hopsjunken, ej elastisk, Svagt gulröd	Hopsjunken, ej elastisk
Reiniger A Bas	Form kollapsad, hård Gulröd	Form kollapsad, hård Gulröd
Starkt basisk	Form kollapsad, hård Gulröd	Form kollapsad, hård Gulröd
Medel C pH 3	Form och elasticitet helt återställd	Form och elasticitet helt återställd
Medel B pH 5	"-	"-
Medel B pH 9	"-	"-

Detta experiment visar att endast det sura medlet DEOX av de kommersiella rengöringsmedlen ej ger permanenta skador på Gullfiberisoleringsmaterialet. De nytvecklade rengöringsmedlen ger också en helt reversibel effekt. Den ihopklistring av Gullfibern som orsakats av den intorkade NaHMP försvinner således helt vid sköljningen. Även ur synpunkt av åverkan på isoleringsmaterialet är de nytvecklade rengöringsmedlen skonsammare än existerande starkt sura och basiska medel.



## 5. RENGÖRING AV TEGEL

### 5.1 Inledning

Tegel erhålles som bekant vid bränning av lera, vilken i huvudsak består av silikater, aluminiumoxid och järnoxid, och endast små mängder av kalciumkarbonat. Vid bränningen erhåller tegelytan en s k brännhud och en relativt låg porositet 10-20%. Vid en rengöring av en tegelfasad är det viktigt att brännhuden bevaras för att teglets ursprungliga utseende skall bibehållas. Denna brännhud etsas bort av fluorvätesyra, som ofta ingår i de fasadrengröingsmedel som erfarenhetsmässigt ger bästa renhetsgraden. Tegelfasadens svaga länk är dess fogar, vilkas bindemedel utgöres av kalciumkarbonat och kalk och således är mycket syrakänsliga. Tegel kan således förväntas erbjuda en annan rengöringsproblematik än de kalciumkarbonatrika naturstenarna.

### 5.2 Analys av tegelsmuts

Analysen av tegelsmutsen visade att denna i regel består till minst 96 % av oorganiskt material, vilket i sin tur domineras av gips även om järn, aluminium och kisel detekteras i större mängder än vad som i regel är vanligt för karbonatstensmaterialen. Det mycket försiktigt avskrapade smutsprovet från tegel från München-bryggeriet (se 2.3) indikerar också att dessa komponenter inte enbart härrör sig från underliggande tegel, vilket medkommit i smutsprovet.

För tvättförsök i laboratoriet och även elektronmikroskopundersökningar har i huvudsak tegel från David Bagares gata 9-11 och Gamla Panncentralen på München-bryggeriet använts. En del försök har utförts på tegel från skorsten på rivningsfastigheten Drottninggatan-Malmskillnadsgatan. (En svårighet vid undersökningarna har varit att mycket få tegelfastigheter rivits i Stockholm eller dess närhet under den aktuella försöksperioden).

Vid försökstvättningar visade det sig att smutsen kunde uppdelas i tre huvudtyper, nämligen lätt avlägsnad (vatten tillräckligt), medelsvår (av kommersiella rengöringsmedel kräves att de innehåller starka syror, dock ej fluorvätesyra) och mycket svår att avlägsna (medel med fluorvätesyra kräves). Den sistnämnda smutsen återfinnes ofta inne i porer. Omfattande analysförsök för att fastlägga om några skillnader i smutsens sammansättning föreligger, har genomförts. Vid dessa analyser har framförallt elektronmikroskopi och EDAX använts, men i ett fall skrapades också en större smutsmängd bort för spektralanalys och bestämning av kol med Leco (se analysresultat 2.3).

I likhet med smutstyperna på kalksten (figur 1 och 2) skiljer sig tätheten hos de olika smutstyperna på tegel på ett likartat sätt (figur 10 och 11).



Figur 10. Medelsvår smuts på tegel i 500 ggrs förstorning



Figur 11. Svår smuts på tegel i 500 ggrs förstorning

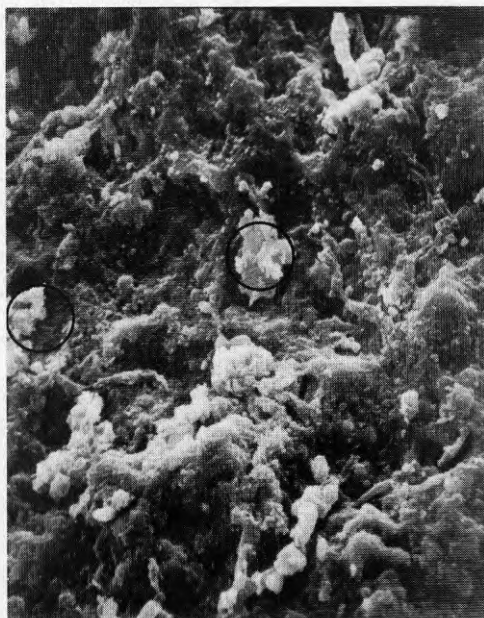
IR- och EDAX analys av den lätta smutsen visar att denna är mycket gipsrik, men att även kisel, järn, kalcium och aluminium ingår.

EDAX- och mikrosondanalyser visar skillnaden mellan teglet från Münchenbryggeriet och David Bagares gata. (Vid EDAX-analys erhålles relativa mängder av de olika grundämnena i en punkt på ytan; vid mikrosondanalys integreras resultatet från en större yta (100 x 100  $\mu\text{m}$ )). Både bulkmaterial och smutsyttskikt i teglet från David Bagares gata innehöll fosfor, vilket i regel ej var fallet med Münchenbryggeriet. Några signifikanta skillnader i sammansättningen hos medelsvår respektive svår smuts kunde ej detekteras. Den största skillnaden förefaller vara att materialet omedelbart under det svåra smutsskiktet förefaller mera urlakat än det med medelsvårt samt att den svåra smutsen ger ett rikare spektra. Detta visar således små mängder av krom, barium och titan förutom de dominerande komponenterna kisel, fosfor, aluminium, järn och kalium. Den svåra och medelsvåra smutsen på Münchenbryggeriet visar dessutom relativt mycket gips, medan så ej är fallet hos tegelsmutsen från David Bagares gata.

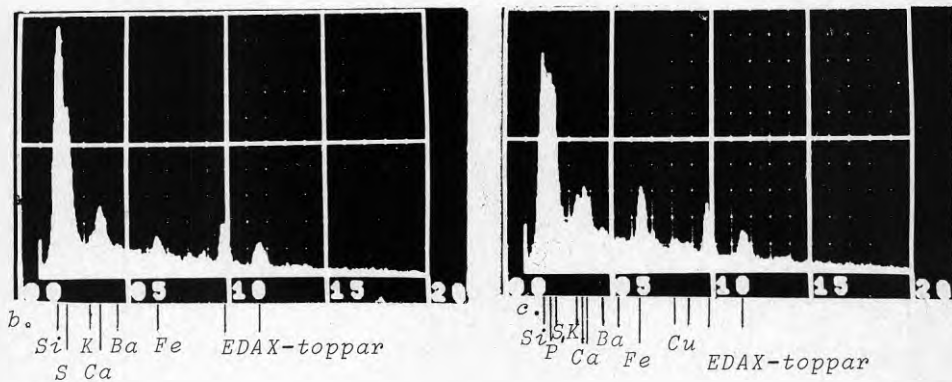
Då EDAX-analys av olika smutstyper på tegel ej gav direkta besked om skillnaderna i borttvättning, beslöt vi undersöka om elektronmikroskopiering av tvättade bitar kunde göra detta.

Figur 12 a-c visar elektronmikroskopiering 1000 ggrs förstorning samt EDAX-analys på två olika ställen av tegel från Münchenbryggeriet, vilket tvättats med  $\text{H}_2\text{O}$  (spolning 20 minuter) och figur 13 a-c motsvarande efter tvättning med ett kommersiellt fluorsyrehaltigt fasadrengöringsmedel (V708) och sköljning med dest  $\text{H}_2\text{O}$ .

Figur 12. Hårt smutsat tegel från Münchenbryggeriet. Tegelbiten har spolats i 20 minuter med dest  $H_2O$ .

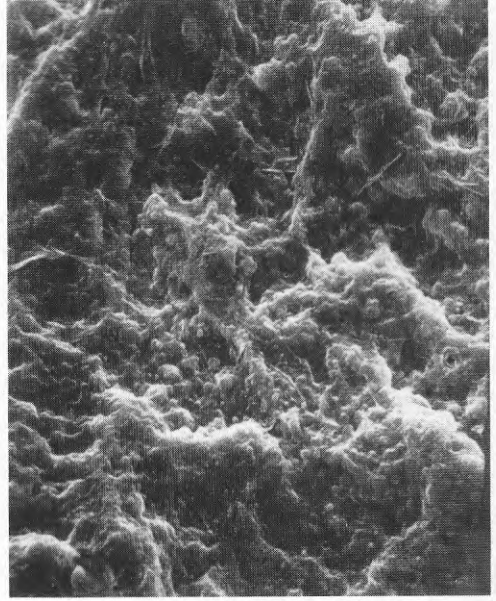
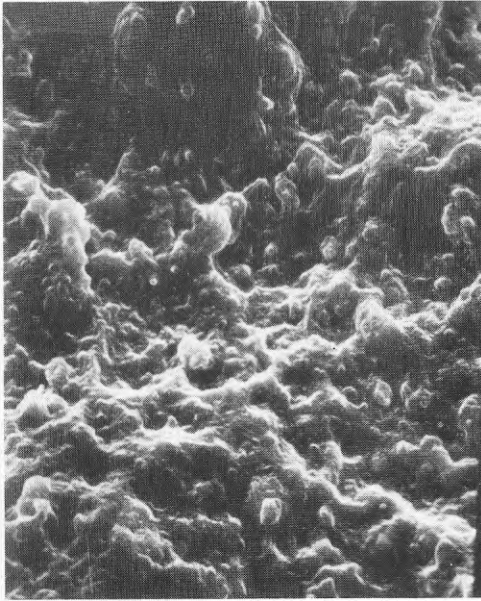


a. 1000 ggrs förstoring. Cirklar markerar porer vilka förefaller tilltäppta av kristallin smuts.



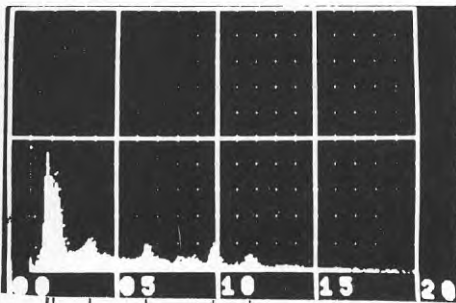
b, c EDAX-analyser på två olika ställen på ytan.

Figur 13. Hårt smutsat tegel från Münchenbryggeriet. Tegelbiten har spolats i 20 minuter med kommersiellt fasadreningsmedel innehållande fluorvätesyra (V 708) och därefter sköljts med dest  $H_2O$ .



a. Outspätt medel,  
1000 ggrs förstoring

b. Spätt medel 1 del till  
3 delar vatten,  
1000 ggrs förstoring



Si Ca Fe EDAX-toppar

c. EDAX-analys på ytan.

Jämför vi elektronmikroskopibilderna ser vi att fluorvätebehandlingen avlägsnat de kristaller som finnes på det H<sub>2</sub>O-tvättade provet, även i dess porer. De fluorsyratvättade ytorna har också mycket mjukare kanter. Jämföres EDAX-analyserna finner vi ungefär samma relativa halter av grundämnen. (Intensitetsskillnader som de mellan fig 12c och 13c härrör sig till skillnader i analysid).

Mikroskopiundersökningar av den mycket svåra smutsen på tegel från Münchenbryggeriet visar på vissa ställen en klar skiktstruktur. Mellan den yttre svarta smutsen och teglet finnes således ett skikt med vita kristaller. IR-analys visar att dessa kristaller utgöres av gips. Det svarta ytskiktet visar starka SiO<sub>2</sub>-toppar men ej några karaktäristiska gipstoppar. Skiktstrukturen indikerar att gips transporterats inuti murverket för att vid torkförloppet transporteras ut mot ytan. Det svarta ytskiktet har emellertid så hög täthet att det är impermiabelt för en gipslösning. Vattnet har förmodligen avgått i gasfas.

### 5.3 Provtvättningar i laboratorieskala

Vid laboratorieförsöken har i regel den utvecklade tekniken med recirkulation använts. Mycket snabbt visade provtvättningarna att smutsen på teglet kunde delas upp i tre klasser, lätt (avlägsnades med vatten), medelsvår (krävde starka syror) och mycket svår (krävde medel i vilka fluorvätesyra eller dess derivat ingick). Det smutsade teglet grovsortades därför enligt dessa klasser. Provtvättningarna inleddes först med att finna milda medel, vilka skulle kunna ersätta de starkt sura medlen (svavelsyra, saltsyra eller fosforsyra användes) på den medelsvåra typen.

Av de tidigare utvecklade medlen var det inget som gav tillfredsställande resultat. Sänkning av pH i medel B till 5 med citronsyra gav dock relativt god effekt. Fortsatta försök ledde fram till två nya medel lämpliga för medelsvår smuts på tegel, nämligen "medel C", som består av 6 % natriumdivätefosfat (NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 3 % citronsyra, 0.05 % Berol 478, pH 3, samt "medel D", vilket innehåller 5 % natriumhexametäfosfat (NaHMP), 3 % citronsyra och 0.1 % Berol 452, pH 3. En recirkulationstid på ca 10 minuter kräves.

Den svåra smutsen på tegel från David Bagares gata blir endast delvis borttvättad med 30 minuters recirkulation av medel C eller D. Försök med recirkulation med 5 % ammoniumvätedifluorid gav helt ren yta. Ammoniumvätedifluorid sattes därefter i halter från 0.05% upp till 1 % till medel B. Vid ammoniumvätedifluoridhalter högre än 0.2% (pH 7 vid 0.2%, pH 5 vid 1%) erhöles en helt ren yta efter 20 minuters cirkulation. När recirkulation med 5% ammoniumvätedifluorid provades på det hårt smutsade Münchenbryggeri-teglet erhöles dock ej en ren yta. Framför allt porerna i detta tegel (David Bagares gata-teglet hade mycket låg porositet) hade kvar svart smuts. Lades en droppe av ammoniumvätedifluorid på en yta och det

svarta smutsskiktet i poren bearbetades med en fin nål under mikroskop kunde man iakttaga hur smutsen sönderföll i finare partiklar. Detta indikerar att smutsen är silikatbundet kol.

Tillföres vätmedel till ammoniumvätedifluorid-lösningen erhålles även en ren yta i fallet med det svårt smutsade Münchenbryggeri-teglet. För att recirkulationstider mindre än 30 minuter skall uppnås, förefaller emellertid en fluorvätehalt på minst 2 % krävas.

Den svarta täta smutsen på bryggeriteglet, som hade skikt av gips under ytan, blev helt ren efter en recirkulation av medel D under en timme. Tillsats av 0.5% fluorvätesyra påskyndade ej rengöringsprocessen i någon högre grad.

Provtvättningarna visade således att relativt milda medel såsom medel D med ett pH på 3 avlägsnar de flesta smuts typer från tegel vid recirkulation. För mycket hårt smutsat tegel förefaller fluorvätesyra att behövas framförallt för att lösa ut smutsen ur porerna. En god vätning är därvid nödvändig, varför tillsats av goda vätmedel i sådan mängd att vattnets ytspänning sänkes tillräckligt, blir en speciellt kritisk faktor vid porösa material. Även vid bruket av fluorvätesyra och dess derivat är närvaro av en gipslösande kemikalie som natriumhexametafosfat fördelaktig, då en snabbare rengöringseffekt vid lägre fluorvätesyrahalt därvid kan åstadkommas. Ett rengöringsmedel med sammansättning: 5% natriumhexametafosfat, 3% citronsyra, 0.5% fluorvätesyra och 1% av en alkylbensensulfonat är effektivt på de flesta av de mycket svåra smutstyperna. Då fluorvätesyra angriper tegelytan, vilket bl a märks på att den blir alldeles mjuk, bör ej höga halter fluorvätesyra eller ammoniumvätedifluorid användas över större ytor. På de fläckar, som eventuellt kvarstår efter tvätt med det fluorvätesyrahaltiga medlet, rekommenderas en punktvis behandling med starkare medel. Framförallt på smutsat tegel kunde vi iakttaga under mikroskop hur ytan mjuknade vid fluorvätesyrabehandlingen. Redan en lätt repning med en nål var tillräcklig för att ge upphov till djupa, breda repor.

Medel D avlägsnar i de flesta fall det mesta av den svåra smutsen så att ur estetisk synpunkt en tillfredsställande ren yta erhålles. Det faktum att kvarvarande smuts i huvudsak ligger i porerna, tyder på att ur teknisk synpunkt en dylik rengöring ej är tillräcklig.

Provtvättningarna i laboratorieskala på tegel visar att speciellt i fall med porösa material såsom tegel, är en regelbunden underhållstvätt med vatten ytterst fördelaktig, då detta kommer att förhindra utfällning av silikatbunden smuts i porerna, vilket annars förefaller ske med tiden.

#### 5.4 Undersökning av olika appliceringsförfarande

Recirkulationstvätt med de inom projektet utvecklade rengöringsmedlen har visat sig vara en mycket effektiv rengöringsmetod. Tätningen mellan vägg och uppfångningsränna kan dock erbjuda problem, framför allt på starkt strukturerade fasader. Speciellt i de fall fluorvätesyrehaltiga medel måste användas kan läckage bli farligt. Dessutom är en recirkulationsmetod per se olämplig för dessa.

Skumningsförsöken koncentrerades på att få fram skum, som har tillräcklig livslängd för att tillåta att en större yta behandlas per gång samt en lagom snabb dränering, så att fasaden hålles blöt med rengöringsmedel tillräckligt länge. Framför allt under dräneringssteget är det viktigt att skummet fäster bra till ytan så att det ej börjar glida nerför fasaden.

Olika skumbildare tillsattes rengöringsmedel C och skummen pålades på en tegelmur i ett 2-3 cm tjockt skikt och på en ca 2 dm<sup>2</sup> stor yta. Försöken visade att skummen grovt kunde klassas i fyra grupper med avseende på sin struktur och därmed vidhäftning till tegelmuren, nämligen:

1. Gelaktiga skum med små gasblåsor, väter ytan dåligt och glider därför lätt.
2. Instabila skum med små gasblåsor väter ytan bra, men fäster mycket dåligt.
3. Medel-expanderade skum (dvs små till medelstora skumblåsor) väter bra men fäster dåligt samt
4. Högexpanderade skum (stora skumblåsor) väter ytan bra och visar ingen tendens till att glida.

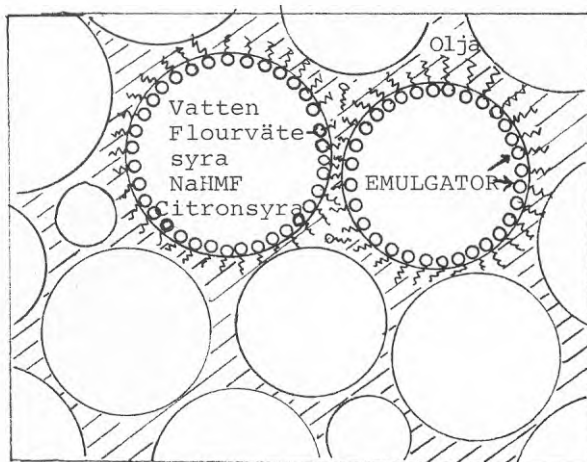
Det var således endast de mycket lätta av de provade skummen, som hade tillräcklig adhesion till väggmaterialet för att övervinna gravitationskraften. Skumbildaren i dessa skum var en blandning av en natriumdodekylbensensulfonat (0.05-0.2%) och en dodekyletylenoxidaddukt (0.5-0.8%). Skummets livslängd på teglet visade sig vara starkt beroende av teglets porositet, dvs dess kapillärsug. På ett poröst tegel bryter skummet således inom 5 minuter, medan på mindre poröst tegel har det en livslängd på ca 15-20 minuter.

Försök med denna skumbildare tillsatt till medel D resulterade ej i några skum.

Olika gelningsmedel provades också tillsatta till medel C och medel D. Det kommersiella gelmedlen Polyox coagulant och Polyox WSR 205, som ofta används i fasadrengrörensmedel, gav i 1 och 3% tillsatser till medel C inhomogena lågviskösa geler. Däremot ger 2% CMC eller 6% natriummetsilikat goda geler med medel C. Deras rengöringseffekt var även efter 3 timmars kontaktid ytterst ringa.

Ett intressant gelsystem utgöres av d s k vattengelserna, vilka är vatten-i-olja-emulsioner med hög halt vatten, minst 85%. Dessa vattengeler har utvecklats för brandsläckningsändamål och har därvid visat mycket goda sprutlängder och en mycket god adhesion till vertikala ytor, t o m till glas. Oljefasen utgöres ofta av en petroleumprodukt, som fotogen, och emulgatorerna är nonjonemulgatorer.

Försök visade att stabila vattengeler kunde erhållas med 95% vattenfas när denna utgjordes av rengöringsmedel D (utan sitt vätmiddel) och detta system med 0.5% fluorvätesyra tillsatt. Gelerna pålades hårt smutsat Münchentegel. Trots god adhesion, väter de dåligt och ingen rengöringseffekt erhöles efter 30 minuters kontakt. Fortsatta försök visade också att på tegel, med en smuts som avlägsnas helt efter 10 minuters recirkulation med medel D, erhålles ingen rengöringseffekt med vattengelet. Detta faktum kan tillskrivas vattengelets struktur, som framgår av nedanstående figur



Figur 14. Struktur hos vattengeler.

Struktur hos s k vattengeler. Vattendropparna är omgivna av ett tunt oljeskikt (///). Strukturen stabiliseras av att lämpligt valda emulgatorer adsorberas i gränsytan mellan vattnet och oljan. Emulgatorn symboliseras av  $O \sim w$  i figuren.



Det kommer således att vara den kontinuerliga oljefasen som kommer att komma i kontakt med väggmaterialet och smutsen. I och med att gelerna är ytterst stabila (flera dygn) kommer vattnet och i detta lösta kemikalier aldrig i kontakt med smutsen, då de ej kan diffundera genom oljan i någon nämnvärd grad trots att denna föreligger i ytterst tunna skikt. Denna inkapsling av kemikalierna är naturligtvis ideal under påläggningsförloppet. Risken att exempelvis fluorvätesyra skall frigöras till omgivningen under detta steg, är således minimal. När gelen väl applicerats vill vi emellertid att vattnet och kemikalierna skall komma i kontakt med fasadmaterialet. Detta kan tänkas åstadkommas på två sätt

1. genom en avdunstning av oljan, vilket endast lämnar vatten och dess kemikalier kvar samt
2. genom en s k invertering av vatten-i-olja-emulsionen till en olja-i-vatten-emulsion, dvs istället för att ha stora vattendroppar i oljan erhåller vi små oljedroppar i vattnet.

Försök att byta ut fotogenet mot mera lättflyktiga kolväten som hexan och petroleumeter gav visserligen stabila geler. Någon avdunstning av kolvätet ägde dock ej rum i någon större grad, även i de fall gelerna pålades en solbelyst, varm tegelvägg. Gelerna satt helt oförändrade kvar även efter två timmar. Starka kapillärkrafter föreligger således i oljefasen, som omger vattnet i form av tunna lameller, vilket medför att ångtrycket för det organiska lösningsmedlet sjunker och någon noterbar avdunstning äger ej rum.

Nonjonemulgatorer har den egenskapen att de över en viss temperatur, den s k PIT eller HLB-temperaturen ger vatten-i-olja-emulsioner, men under denna olja-i-vatten-emulsioner. Ju högre HLB-temperatur desto hydrofilare är emulgatorn. De emulgatorer som normalt användes för vattengeler har en HLB-temperatur lägre än rumstemperaturen, varför de ger vatten-i-olja-emulsioner. Genom att välja hydrofilare emulgatorer måste vi höja temperaturen på vårt system för att få en vattengel. När dennas temperatur sjunker övergår systemet spontant i en lättflytande olja-i-vatten-emulsion. Försök med hydrofilare emulgatorer visade att vattengeler erhöles vid förhöjd temperatur och att dessa övergick till lättflytande emulsioner vid lägre temperatur. För att ha en tillräcklig marginal för naturliga temperaturväxlingar bör HLB-temperaturen vara högre än 35°C. Vid laboratorieförsök med medel D bildades gelet vid ca 65°C. En nackdel med denna höga temperatur är att natriumhexametrafosfat ej tål långvarig uppvärmning (se punkt 3.2). Inverterande vattengeler av medel D pålades smutsat tegel (Münchenbryggeriet). Rengöringseffekten var låg och teglet gav intryck av att en oljehinna lämnades kvar.

Fortsatta försök där olika tekniker att få fördröjd utlösning av joniska emulgatorer tillförda gelen i en passiv form, visade att det gick att få fram geler, vilka efter 25 minuter övergick till vattenkontinuerliga system med viss skumbildning. Tvättförsök visade att en god rengöringseffekt erhöles i de fall gelen bröt jämnt. Om ojämn brytning erhöles fanns en stark tendens till att obrutna områden av vattengel börjar glida på ytan när dränerat vatten från inverterade områden kommer rinnande till dess ytor. Systemen är således mycket lovande, men kräver ytterligare utvecklingsarbete innan ett kommersiellt användbart system finnes. Dessa system har också använts för gelning av vissa konventionella starkt sura system. Apparatur för bildning av gel i sprutmunstycke finnes redan på marknaden.

#### 5.5 Små provtvättningar utförda på tegelfasader

I samband med en provtvätt på en marmorsockel på ett hus vid korsningen Storgatan-Grevgatan med kalkstensmedlet, testades även i liten skala tegelmedlet C på det röda tegel som fanns ovanför sockeln. Teglet var ej hårt smutsat. Medel C påsprayades medelst en lågtrycksspruta på ett fasadstycke och pålades i form av skum på ett annat. I bägge faller sköljdes ytorna med högtrycksspruta efter 10 minuter. Klart renare yta erhöles där kemikalierna pålagts även i jämförelse med ytor som enbart vattensköljdes med högtrycksspruta.

Ytterligare försök med skumtvätt utfördes på en fasad på Hantverkargatan. Medel C med optimala skumbildare från laboratorieförsök användes. När skummet pålades en torr yta, hade efter ca 8 minuter allt vatten i skummet antingen sugits upp av teglet eller dränerat. Efter avsköljning med högtrycksspruta kunde en tydlig rengöringseffekt konstateras. Om fasaden först sköljts med vatten i ca 5 minuter, så att dess ytskikt mättats med vatten, skedde en betydligt långsammare dränering av skummet, men samtidigt erhöles en sämre rengöringseffekt. Jämfört med ett försök där medel C påsprutades och avsköljdes efter 10 minuter, erhöles en betydligt sämre rengöringseffekt än med skummet, vilket indikerar att de verksamma kemikalierna sögs in i teglet för snabbt från ytan.

En jämförelse av olika rengöringsmedels effektivitet vid ridåtvätt (recirkulation var ej möjlig) utfördes på en tegelfasad i hörnet Parkgatan-Polhemsgatan. (Fastigheten hade vänligen ställts till vårt förfogande av HSB i Stockholm). Under tegelavsnittet fanns puts, varför även rengöringseffekten på puts för några av rengöringsmedlen erhöles. Efter sköljningen med rengöringsmedlen, sköljdes ytorna med vatten medelst en handspruta. Medlen som provades, och deras ridåtvättid, framgår av nedanstående tabell.

Tabell 10. Olika rengöringsmedel testade vid ridåtvätt av tegel och puts.

Nr	Rengöringsmedel	Tid min för ridåtvätt
1	Medel B, pH 6.5: 5% NaHMP, 0.25% AMFO, 0.02% Berol 478	5
2	Medel B, pH 5 : som ovan men citronsyra till pH 5	3
3	Medel D, pH 3 : 5% NaHMP, 3% citronsyra, 0.1% Berol 452	2 x 5
4	Kommers. tegelmedel med bl a 2% fluorvätesyra (HF)	2
5	"- 20% fosforsyra, 0.5% HF	5
6	0.5% HF	5

Resultatet av tvätten framgår av tabell 11.

Tabell 11. Resultat av ridåtvätt med medel enligt tabell 10.

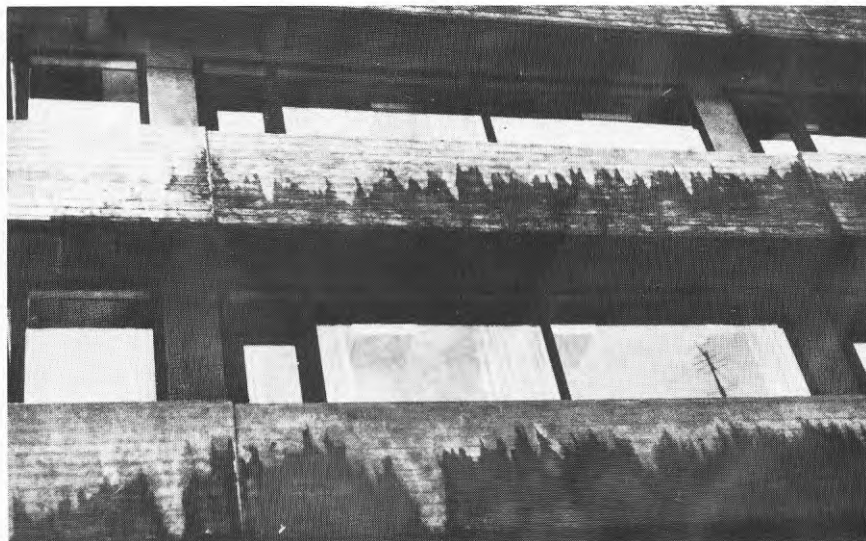
Nr	Rengöringseffekt Tegel	Dito puts
1	Svag rengöringseffekt	rent
2	Teglet blir något renare men ojämnt	rent
3	Bättre än 1 och 2 efter 5 minuter. Efter 10 minuter finnes smuts kvar på skrovliga stenar	rent
4	Släta stenar snabbt rena; de med grov yta mycket smutsiga	övre del rent
5	Släta stenar snabbt rena; de med grov yta fortfarande smutsiga	renare än tidigare
6	Viss effekt men ej rent	-

De rengjorda släta stenarna med starka kommersiella medel hade en död yta och kändes sträva. Inget av rengöringssystemen lyckades rengöra de starkt smutsade stenarna, som hade en mycket grov yta inom använda relativt korta tider. En mekanisk bearbetning, som den som erhålles vid högtryckstvätt, hade förmodligen haft en mycket positiv effekt på denna smutsyp. Av de provade nytvecklade rengöringsmedlen erhålles klart den bästa effekten med tegelmedel D.

## 6. RENGÖRING AV BETONG OCH PUTS

Inga systematiska undersökningar har utförts på dessa material. Fackmässig erfarenhet säger att puts, när de är i sådant skick att en tvättning är befogad och inte en omputsning, rengöres putsen lätt med högtrycksbesprutning med vatten. Detta gäller också de moderna plastputserna, kanske delvis beroende på att "åldrad" smuts ännu ej finnes på dylika material. De försök, som utförts inom projektet, indikerar att rengöringsmedel av typen medel B och medel D har god rengöringseffekt på puts.

Några mer ingående undersökningar av smutssammansättning och dess borttagande på betong har inte kunnat inrymmas i undersökningen. Vi bedömde det dock som intressant att försöka fastlägga skillnader i smutsade och synbart rena ytskikt på KFUM-gården i Oslo, där en ovanligt förfulande nedsmutningsbild erhållits (se figur 15. Provtvättningar har indikerat att mycket starka fluorvätesyrahaltiga rengöringsmedel kräves.



Figur 15. Ojämn regntvätt har lämnat tydliga spår på betongfasaden. (KFUM-gården, Oslo).

Små flisor avhöggs och ett större smutsprov avborstades. Analys av detta gav 1.7% fritt kol och 0.7% kolväten. IR-diagrammet visade sulfat, karbonat och silikattoppar.

EDAX-analys av olika punkter gav följande resultat.

Tabell 12. Relativa intensiteter av olika grundämnenstopp vid EDAX-analys av smutsad betong.

Grundämne	Svart smutsat område				Punktanalys		Vit rand punktanalys	Ej synb. påverkad betong 0.1x0.1mm <sup>2</sup>
	1	2	3	4	5	6		
Al	-	0.2	-	-	-	-	-	0.1
Si	0.2	0.4	0.9	-	0.7	-	0.2	0.6
S	0.6	0.8	0.4	0.4	0.5	0.8	0.3	0.3
Cl	-	-	0.1	-	-	-	0.05	-
K	0.1	0.4	0.4	-	0.1	-	-	-
Ca	0.9	0.9	0.4	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9
Fe	0.1	0.15	0.2	0.05	0.2	-	0.2	0.5

Relativa intensiteten kan ej direkt jämföras mellan olika prover då absolutnivån är avhängig analysstiden.

Sammansättningen hos Portlandcement är approximativt 64% Ca/, 5.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 3% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 23% SiO<sub>2</sub>, 1.4% MgO och 2.1% SO<sub>3</sub>. Jämför vi denna sammansättning med EDAX-analysen av en synbart ej påverkad betongyta är det framförallt järn och svavelhalterna som är höga enligt EDAX-analysen. Ännu mer markant höga svavelhalter erhålles i de kraftigt smutsade partierna. Där finnes även kalium och klorid. Natriums absorption ligger vid lägre röntgenenerginivåer än vad som analyserats. Kloriden kan antas härröra sig från havsluften. Punktanalys 4 och 6 ger svavel och kalcium som huvudsakliga komponenter. Gips är således en väsentlig beståndsdel i smutsen. Förutom den svarta smutsen finns på den aktuella fasaden vita stråk som förefaller orsakade av rinnande vatten. Analys av en punkt inom ett dylikt område ger en relativt hög kalciumhalt. Som motjon kan antingen hydroxyl, men mera troligt med tanke på nutidens sura atmosfär, vätekarbonat tänkas. Experiment med Portlandcement har visat att även i den härdade cementen finnes ca 14% kalciumoxid, som kan utlösas av rent vatten, men i ännu snabbare takt av svavelsurt eller koldioxidrikt vatten. IR-analysen av den sotinnehållande smutsen visade också på förekomst av karbonatoppar. Det är känt att åldrade utfällningar av surt kalciumkarbonat på lågt belägna murverk är mycket svåra att tvätta bort.

Egna försök visade dock att dylika utfällningar löste sig i 5% citronsyra. Eventuellt hade icke tillräckligt åldrade prover erhållits vid provtagningen. När en kraftigt smutsad betongflisa nedlades i tegelmedel D erhöles en betydligt ökad renhetsgrad. Provmaterialet tillät ej några mer omfattande experiment. I likhet med poröst tegel kan borttagning av smuts, utfällt i betongens porer, förväntats ge de största svårigheterna.

## 7. METOD FÖR BESTÄMNING AV LÄMPLIGT FASADRENGÖRINGSMEDEL

För att fastlägga optimala rengöringssystem utföres idag oftast provtvättningar på ca 1 m<sup>2</sup> stora ytor på några - icke för iögonfallande - ställen på fasaden. I många fall låter man erfarenheten från tidigare rengöringsobjekt ligga till grund för valet av de mest lämpade kemikalierna.

Utnyttjande av recirkulationstekniken i liten skala kan emellertid erbjuda en relativt enkel testmetod, vilken ej kräver för stora ytenheter och därför tillåter test av flera olika medel på likvärdigt smutsade ytor. Dessa ytor kan också väljas bland de som erfarenhetsmässigt är svårast att rengöra, nämligen under lister eller i närheten av fogar på den fasad som varit närmast intensiv trafik.

I figur 16 ges en principskiss för apparatur, som kan användas härvid. Slangpumpar, vilka samtidigt kan pumpa upp till 8 linjer finnes. Några högre flödes hastigheter kräves ej. De olika vätskeströmmarna längs fasaden isoleras från varandra genom pålagda strängar av silikonfett (silikongummi). Efter försöket avskrapas detta, resten torkas bort med en trasa och tvättas slutligen med lämpligt organiskt lösningsmedel.

Som testlösningar föreslås

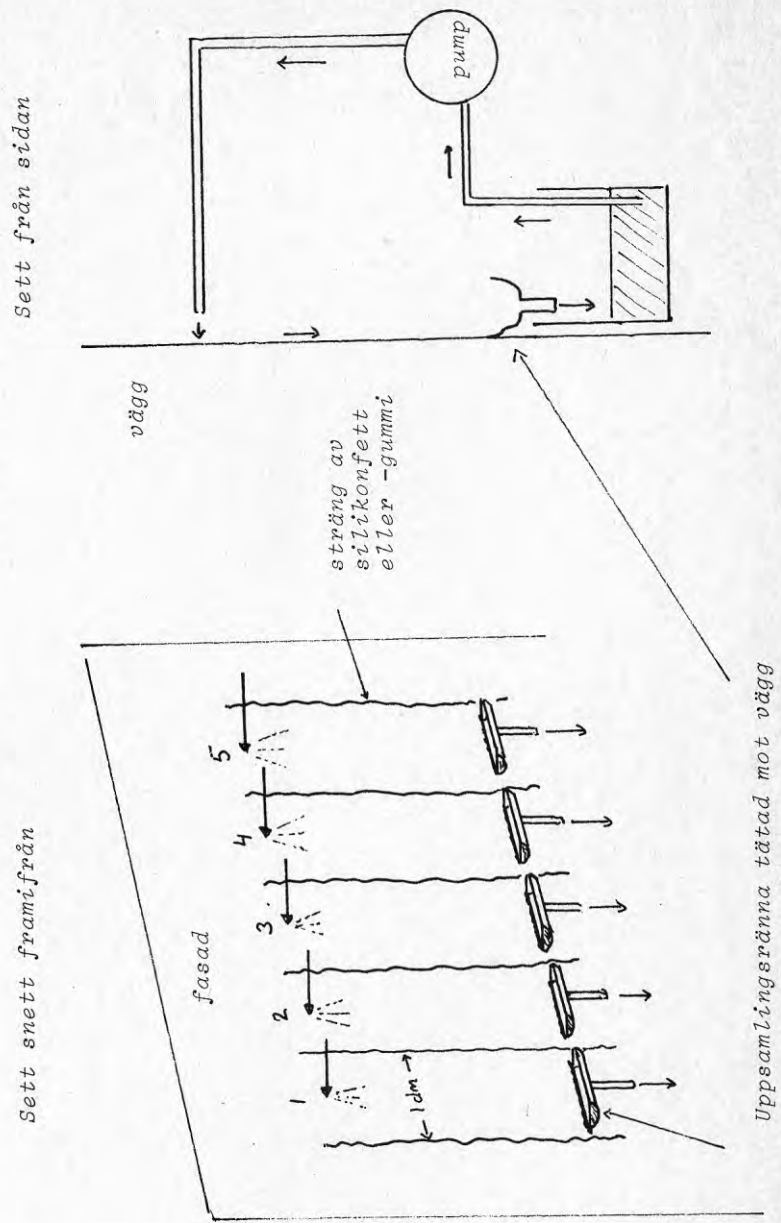
1. Vatten
2. Rengöringsmedel B, pH 9, dvs 5% natriumhexametafosfat, 0.25% ammoniumformiat, 0.1% Berol 478 samt etanolamin till pH 9.
3. Rengöringsmedel D, pH 3, dvs 5% natriumhexametafosfat, 3% citronsyra, 0.1% Berol 452 eller 1% alkylarylsulfonsyra.
4. Fluorvätesyrehaltigt rengöringsmedel, exempelvis 5% natriumhexametafosfat, 3% citronsyra, 2% fluorvätesyra och 1% alkylarylsulfonsyra (ex. Sulfosoft).
5. Kommersiellt rengöringsmedel som erfarenhetsmässigt ger ren yta.

Efter 15 minuters recirkulation eller efter en kortare tid i de fall rena ytor erhållits tidigare, borstas ytorna med en relativt hård borste, varpå de avsköljes med vatten. (Borstningen motsvarar ungefär den mekaniska kraft som en högtryckssköljning innebär. En dylik är ej lämplig på de små begränsade ytor som är aktuella).

Ett laboratorieförsök utfördes enligt dessa riktlinjer. Som fasadyta användes en hårt smutsad kalksten, och lösningar som recirkulerades var 1) vatten, 2) rengöringsmedel B, pH 9, 3) rengöringsmedel B, pH 6.5 och 4) ett starkt basiskt kommersiellt rengöringsmedel (Reiniger A). Efter 15 minuters recirkulation hade medel 2 och 3 gett rena ytor, medan 1 och 4 fortfarande var smutsiga.

För porösa material bör rengöringseffekten också studeras som funktion av mängd vätmedel, ex. 0.1 och 1%.

Figur 16. Principskiss för apparatur för fastläggande av lämpligt fasadrengöringsmedel.



## 8. SLUTSATSER

De genomförda undersökningarna visar att fasadsmuts på mineraliska byggnadsmaterial utgöres i huvudsak av oorganiskt material. Trots fasadsmutsens mycket svarta utseende är dess sotinnehåll i regel lägre än 2%, och dess halt organiskt material är mindre än 3%. Den dominerande oorganiska komponenten är kalciumsulfat (gips) även om närvaro av silikater och (surt) kalciumkarbonat också detekteras. I fall av karbonatstenar kan silikaterna anses utgöras av luftburet damm och deltar således ej direkt aktivt i bindningen av sot till ytan. I fall av porösa material som tegel och betong förefaller i fall av gammal åldrad smuts silikater att också binda smutsen, framförallt i porerna.

Undersökningarna har visat att för karbonatstenar (kalksten, marmor etc) utgör ett icke-korrosivt kalkstensmedel, som äger en mycket hög gipslösande förmåga, ett mycket effektivt rengöringsmedel. Detta medel, vilket vi benämnt medel B, har grundsammansättningen 5 % natriumhexametafosfat, 0.25% ammoniumformiat och 0.05-0.1 % vätmedel (exempelvis Berol 478). Medel B har i sig själv pH 6.5. Genom tillsats av den organiska basen etanolamin, höjes pH till 9, vilket är det föredragna pH vid tvätt av kalksten. Då natriumhexametafosfat sönderfaller vid förhöjd temperatur (över 50°C) skall medlet användas vid normal temperatur.

På tegel finnes i princip tre smutstyper, nämligen lätt, medelsvår och mycket svår att avlägsna. De två förstnämnda innehåller mera gips och är mindre täta än den sistnämnda, men utförda analyser har ej direkt kunnat skilja på smutstyperna. Den lätta smutsen avlägsnas vid högtryckstvätt med vatten. Undersökningarna visar att de konventionellt använda mycket starkt sura medlen kan utbytas mot ett tegelrengöringsmedel, medel D, bestående av 5% natriumhexametafosfat, 3% citronsyra och 0.1-1% vätmedel (exempelvis alkylarylsulfonsyra eller Berol 452). Medlet har ett pH på 3 och skall användas vid normal temperatur även om det är mindre temperaturkänsligt än medel B. För den svåra smutsen kräves fluorvätesyra eller komplex därav (ex. ammoniumvätedifluorid). Genom att kombinera fluorvätesyra med medel D förefaller lägre halter krävas och framförallt kräves ej andra starka oorganiska syror.

Någon ideal appliceringsteknik för de nya medlen har ej erhållits. Den mest använda tekniken, nämligen den utvecklade recirkulationstekniken, ger mycket goda rengöringsresultat inom kort tid. Den kräver dock speciell teknisk utrustning och tätning vid uppfångningsränna som kommer att bereda svårigheter vid starkt strukturerade fasader. Tekniken är också svår att kombinera med sky-lift. Den mest lovande tekniken är därför den med inverterande vattengeler. Dessa system kräver dock ytterligare utvecklingsarbete innan det går att avgöra om en önskad invertering kan erhållas reproducerbart.



Undersökningarna av fasadreningsmedels effekt på isoleringsmaterial visar att de flesta starka basiska och sura rengöringsmedel kan ha en katastrofal inverkan på isoleringsmaterial av glas eller mineralfibrer. Även de icke-korrosiva rengöringsmedlen, framtagna inom projektet, påverkar deras isoleringsförmåga kraftigt genom att de orsakar ihopklistringar. Denna effekt är dock reversibel och sköljning återställer materialen helt. (Undantag är mineralull som varit i kontakt med citronsyra). Korkmaterialen verkar resistenta.

Den utvecklade recirkulationsmetoden och de nya rengöringsmedlen kan användas för en enkel testmetod på små ytor för att fastlägga nödvändig typ av rengöringsmedel.

## SAMMANFATTNING

Undersökningarna har omfattat en litteraturstudie, en intervjuinventering av fackexpertis för att fastlägga praktiska erfarenheter och behov samt experimentella undersökningar. De experimentella undersökningarna inleddes med utveckling av en analysmetod samt analys av fasadsmuts, avskrapad från olika byggnader i Stockholm. Analyserna visar att även den svartaste fasadsmutsen på mineraliska byggnadsmaterial till huvudsak är av oorganisk natur, dess sothalt understiger i regel 2% och halten av organiskt material 3%. Den dominerande oorganiska komponenten är kalciumsulfat, dvs gips. På karbonatstenar är sotet, och i viss grad även silikatdamm, bundet i en matrix av kalciumsulfat med eventuellt mindre halter av surt kalciumkarbonat. Samma bindningsmekanism förefaller gälla för lätt och medelsvårt smutsat tegel. I de fall där teglet genomgått ett otal nedblötnings- och torkcykler, förefaller smutsen, framförallt i porerna, vara delvis silikatbunden då fluorvätesyrahaltiga rengöringsmedel kräves för rengöring

Med en utvecklad recirkulationsteknik har en mycket snabb rengöring erhållits på kalksten och marmor med ett medel B bestående av 5% natriumhexametafosfat, 0.25% ammoniumformiat och ca 0.1% vätmedel (ex Berol 478) samt etanolamin till pH 9. Det effektivaste tegelmedlet utgöres av medel D bestående av 5 % natriumhexametafosfat, 3 % citronsyra och 0.1-1% vätmedel (exempelvis alkylarylsulfonat eller Berol 452). För det hårt smutsade teglet med silikatbunden smuts förefaller medel D med 0.5-2% fluorvätesyra eller ammoniumvätedifluorid ge en god effekt. Inget av medlen skall användas vid förhöjd temperatur, då natriumhexametafosfat sönderdelas vid temperaturer över 50°C.

Även om recirkulationstekniken ger mycket goda rengöringsresultat är den ingen ideal appliceringsteknik, då den med svårighet kan användas från sky-lift. Konventionella gelmedel fungerar ej med de nyutvecklade rengöringsmedlen. Den mest lovande appliceringsmetoden är utnyttjandet av inverterande vattengeler. Ytterligare utvecklingsarbete kräves dock innan metodens användbarhet i teknisk skala kan fastläggas.

Den använda recirkulationstekniken och de utvecklade rengöringsmedlen kan utnyttjas för en metod att på små och enhetligt smutsade ytor utvärdera lämpliga rengöringsmedel.

Fasadrengöringsmedel, framförallt de starkt sura och basiska medlen, har en starkt negativ effekt på isoleringsmaterial av glas- eller mineralfibrer. I många fall fördrivas dessa irreversibelt. Även de icke korrosiva rengöringsmedlen, utvecklade inom detta projekt, påverkar isoleringsmaterialens isoleringsegenskaper negativt, då de orsakar en ihopklistring om de får torka in. De citronsyrahaltiga medlen löser också upp mineralullen. Genom sköljning med vatten kan ihopklistringen hävas.

Projektet har haft ett ovärderligt stöd från den referensgrupp, som varit knuten till projektet.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 730030-6 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Ytkemiska institutet,  
Stockholm**

**Art.nr: 6600710**

**Abonnemangsgrupp:**

**Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:**

**Svensk Byggtjänst, Box 1403  
111 84 Stockholm**

**Cirkapris: 22 kr exkl moms**

**R10: 1978**

**ISBN 91-540-2805-1**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

10001 0 1111 0 1403 1 111 84 91 540 2805 1