

# Misfarging av marmor på taket av Operahuset, Oslo

Elen Roaldset, Rune S. Selbekk og Hans-Jørgen Berg



## Denne rapportserien utgis av:

Naturhistorisk museum  
Postboks 1172 Blindern  
0318 Oslo

[www.nhm.uio.no](http://www.nhm.uio.no)

## Forfattere:

Elen Roaldset, Rune S. Selbekk, Hans-Jørgen Berg

## Publiseringsform:

Elektronisk (pdf)

## Sitering:

Roaldset, E., Selbekk, R. S. og Berg, H.-J. 2013. Misfarging av marmor på taket av Operahuset, Oslo. Rapport til Statsbygg Øst, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, Rapport 28, 24 s.

ISSN: 1891-8050

ISBN: 978-82-7970-042-5

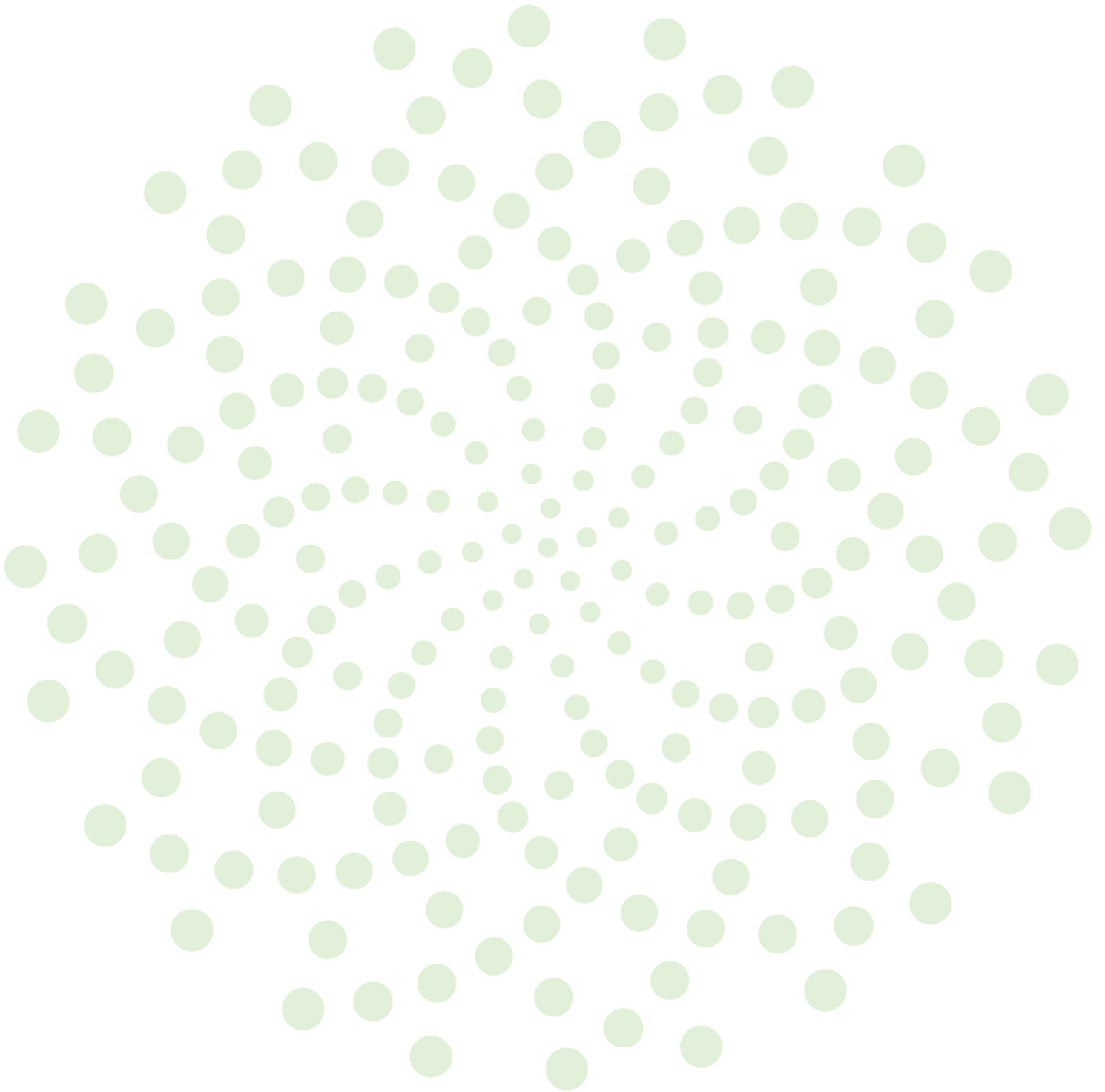
Foto forside: Hans-Jørgen Berg



# Misfarging av marmor på taket av Operahuset, Oslo

Elen Roaldset, Rune S. Selbekk, Hans-Jørgen Berg





Antall sider og bilag: 24 sider		Tittel Misfarging av marmor på taket av Operahuset, Oslo	
		Forfatter(e)/ enhet: Elen Roaldset (NHM, UiO) Runs S. Selbekk (NHM, UiO) Hans-Jørgen Berg (NHM, UiO)	
Rapportnummer: 28	Gradering: Fortrolig	Prosjektleder: Elen Roaldset	Prosjektnummer: 0/101103
ISSN ISSN	Dato: 29.05.2013	Oppdragsgiver: Statsbygg region øst	
ISBN 978-82-7970-042-5		Oppdragsgiversref. Ingar Reinsborg	

### Sammendrag:

Statsbygg står foran en anbudsinnhenting knyttet til vedlikehold og beskyttelse av utvendig marmor på Operaen. På Operaens tak observeres i 12013 gul-brunlig misfarging av marmoren. I 2008 da Operaen sto ferdig, ble marmoren behandlet med fluor-akryl-kopolymer for å beskytte steinen og lette renholdet. Naturhistorisk museum (NHM), Universitetet i Oslo, har på oppdrag fra Statsbygg vurdert mulige årsaker til misfargingen.

NHM besiktiget taket og tok prøver av flater med misfarget marmor. Misfargingen er ujevn og tilsynelatende uten noe entydig mønster. Analyser ved lav-vakuum SEM/EDS viser et høyere innhold av karbon i det gulbrune belegget enn i marmoren (bakgrunnen).  *Dette tyder på at misfargingen kan skyldes endringer av fluor-akryl-kopolymeren ved aldring, fotooksidasjon og/eller temperaturendringer.*

Mørk/sort misfarging går enkelte steder over i den gulbrune. Sort belegg og metallpartikler knyttes til eksos fra skips- og biltrafikk, samt byggearbeider i Bjørvika. Kvartsrrike partier i marmoren er ikke misfarget noe som kan skyldes at polymeren ikke fester seg til kvarts.

Før Operaens marmor behandles på nytt, bør misfarget overflatebelegg fjernes. Videre bør de forbindelser som nå planlegges benyttet, være testet på Carrara marmor av samme type som på Operaen (Bianco Carrara La Facciata).

Det få polymerkjemikere som både kan mye om fluor-akryl-kopolymerer, og som dessuten har kunnskaper om hvordan disse forbindelsene "samvirker" med ulike typer stein i bygninger og monumenter. Det anbefales å søke kontakt med italienske og/eller sveitsiske polymerkjemikere som har frontkompetanse knyttet til anvendelse av polymere forbindelser for beskyttelse av monumenter og bygninger.











## Innhold

### Sammendrag

1. Problemstilling -bakgrunn
2. Fotodokumentasjon og prøvetaking
3. Overflatebehandlingen i 2008
4. Prøvemateriale – analyser
5. Resultater
6. Diskusjon
7. Konklusjon – sannsynlig årsak til misfargingen
8. Anbefalinger/forslag
9. Litteratur



# Misfarging av marmor på taket av Operahuset, Oslo

## 1 Problemstilling – bakgrunn

Statsbygg står foran en anbudsinnhenting knyttet til vedlikehold og beskyttelse av utvendig marmor på Operaen. Det er i det siste oppstått gul-brunlig misfarging av marmoren på taket. På henvendelse fra Statsbygg har Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, ved Elen Roaldset, Rune Selbekk og Hans-Jørgen Berg besiktiget taket, fotografert misfargingen og tatt prøver av belegget for analyse.



**Figur 1.** Utsikt mot vest fra Operataket 22.03.2013 med kaiene og DFDS Seaways ferger i bakgrunnen. Gesimsen i forgrunnen har liten/ingen misfarging. Foto E. Roaldset 22.03.2013

## 2 Fotodokumentasjon og prøvetaking

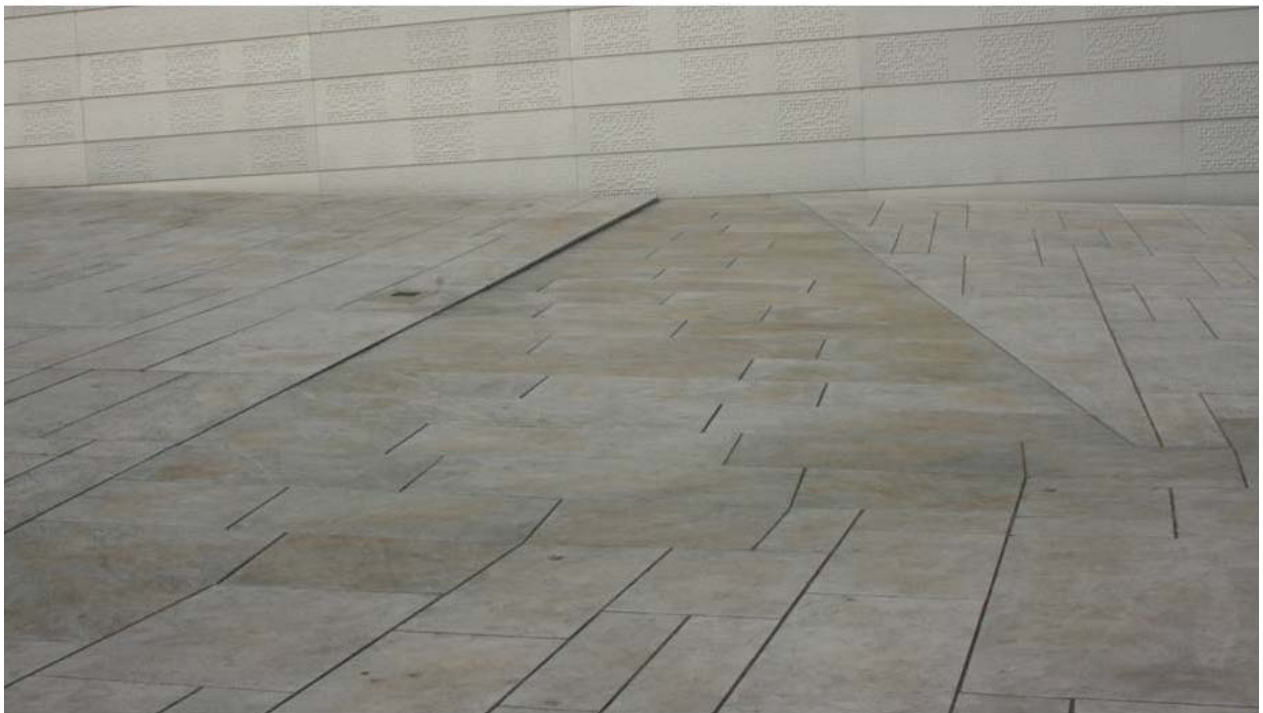
Prøver av små marmorbiter med belegget samt prøver ved å skrape av belegg ble tatt ved små 22. 03. 2013; den 25.03.2013 ble prøver av belegget tatt ved hjelp av kobber-tape for derved å unngå karbon forurensning. Samtidig ble det tatt prøver av sort belegg (løserbelegg). Den 26.03. 2013 tok vi en prøve av snø (skråtaket ved hovedinngangen) og is (fra plassen utenfor hovedinngangen til Operaen). (Se Figur 2 til figur 11).



**Figur 2.** SV-siden av operataket med synlig misfarging. Fra venstre Thomas Fredriksen og Ingar Reinsborg, Statsbygg, og Rune S. Selbekk, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. Foto: E. Roaldset 22.03.2013.



**Figur 3.** Misfarging av marmor på horisontal takflate, svakere misfarging på den skrå flaten som heller mot sørvest. Fotoet er tatt mot nordvest. Til høyre står Ingar Reinsborg og Thomas Fredriksen, Statsbygg. Foto: E. Roaldset 22.03.2013



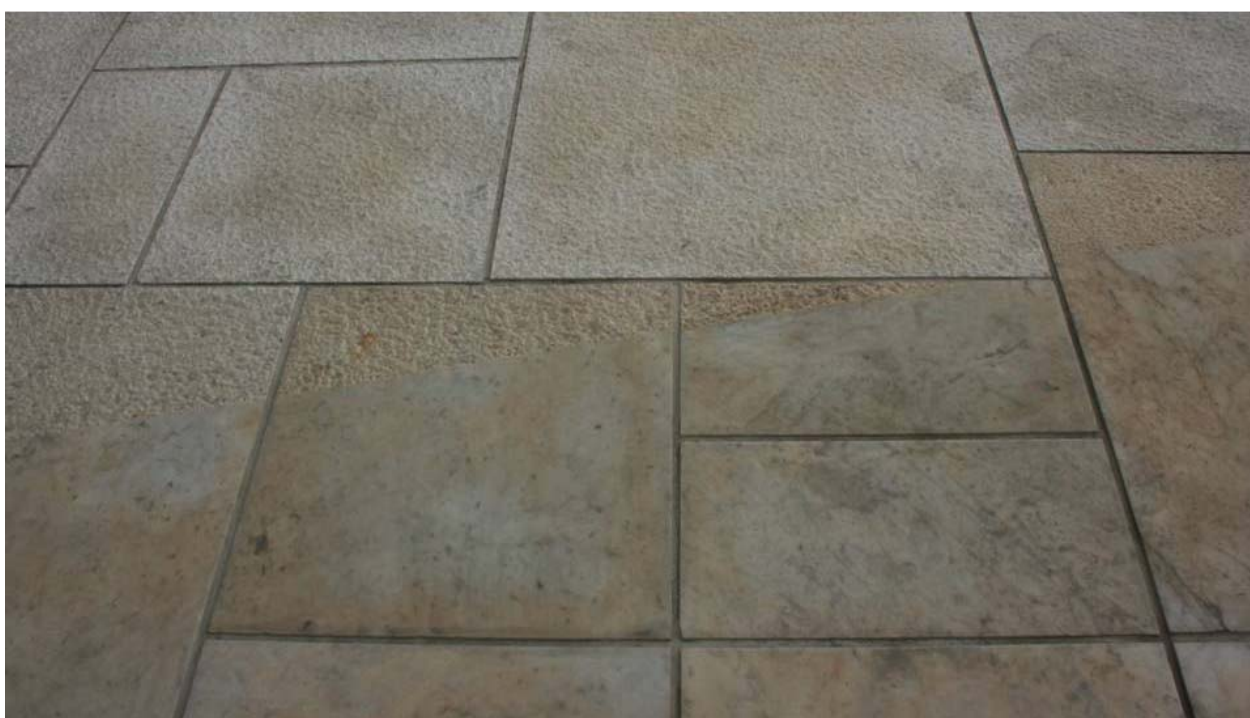
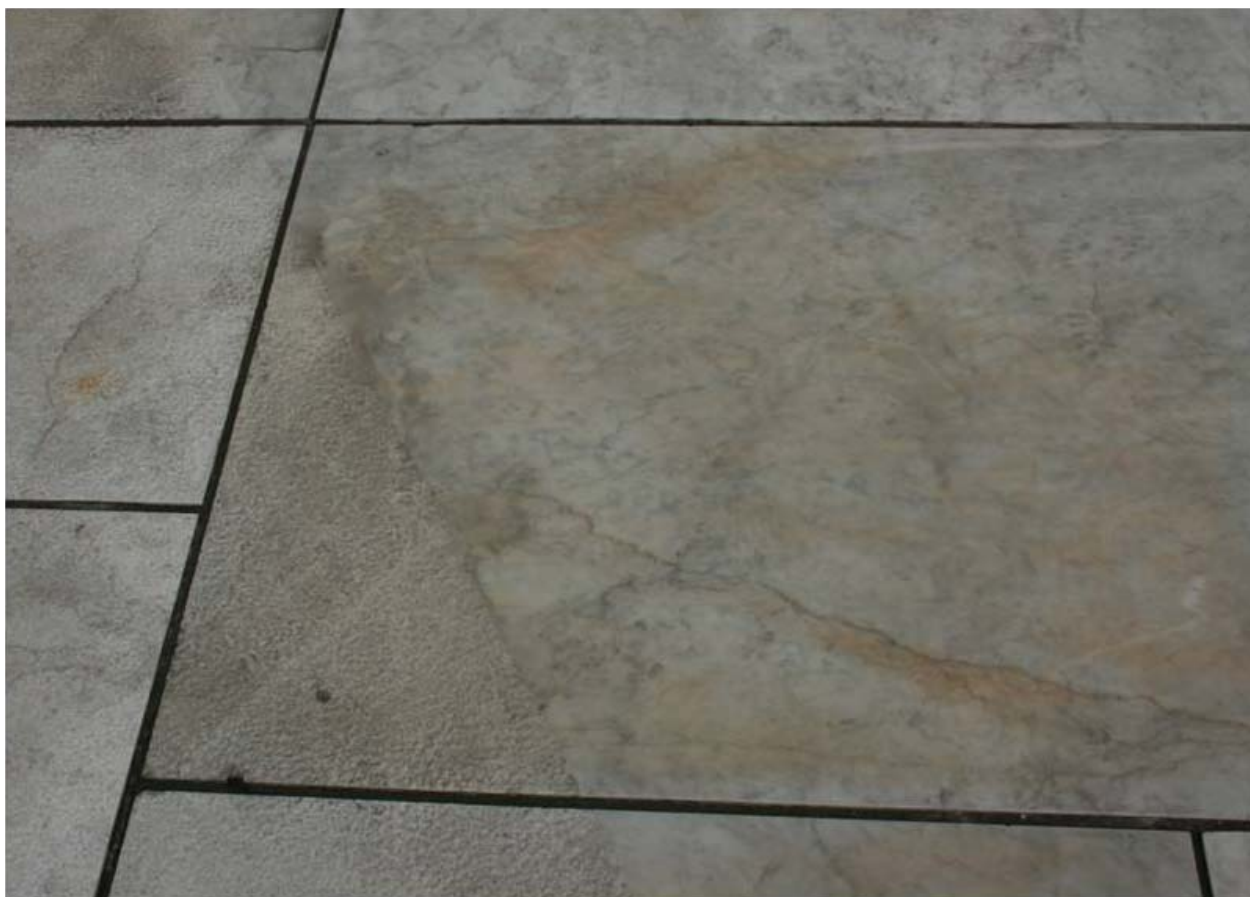
**Figur 4.** Sørsiden av operataket med varierende grad av misfarging. Bildet øverst viser at graden av misfarging varierer, og at den er sterkest i bunnen av en forsenkning med slakt fall mot nordøst, samt på et parti mot veggen. Bildet nederst viser det tilnærmet horisontale feltet med sterkere misfarging enn områdene på siden. Marmorblokkene har opprinnelig vært prikkhogd/polert med ulike overflater. Foto. E. Roaldset 22.03.2013.



**Figur 5.** Prøvetaking på vestsiden av operataket. Både riflete og glatte flater har misfarging. Rune S. Selbekk tar små prøver av belegget med litt av underlaget. Foto: E. Roaldset, 22.03.2013.

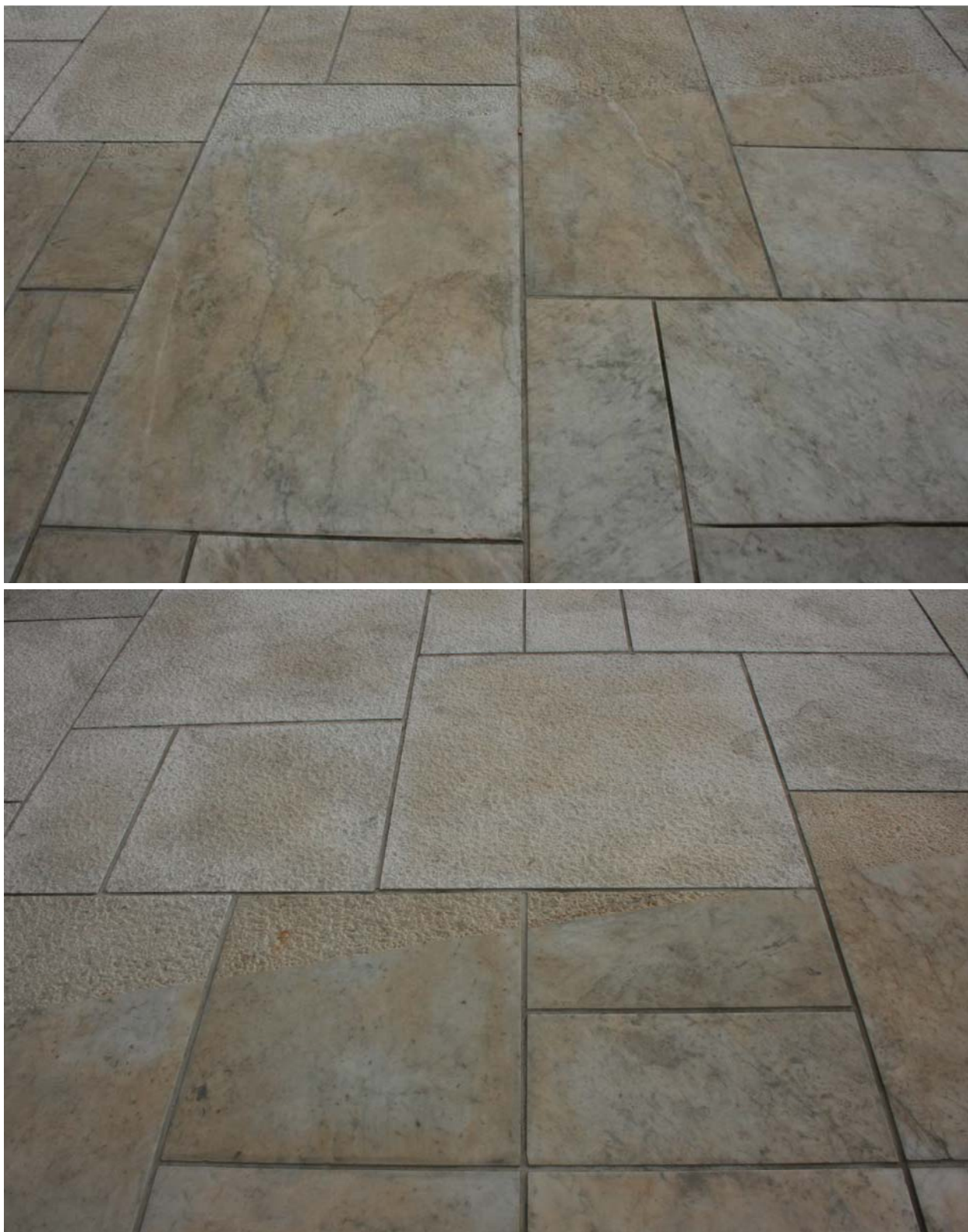


**Figur 6.** Øverst: Prøvetaking ved å skrape misfarget belegg av plan marmorflate. Nederst: misfargingen er ujevn og varierer med marmorens struktur/tekstur. Foto: E. Roaldset 22.03.2013.



**Figur 7.** Misfarging av både glatte og prikkhamrede marmorflater på sørsiden. Misfargingen varierer både med marmorens struktur/tekstur og hvordan steinen er bearbeidet muligens også med fluor-akryl-kopolymerens egenskaper. Foto: E. Roaldset 25.03.2013.





**Figur 7 forts.** Misfarging på både glatte og prikkhamrede marmorflater på sørsiden. Misfargingen varierer med marmorens struktur/tekstur, hvordan steinen er bearbeidet, muligens også med fluor-akryl-kopolymerens egenskaper. Foto: E. Roaldset 25.03.2013.



**Figur 8.** Kvartsrike soner i marmor. Sonene har lav porøsitet. Kvarts er dessuten mer bestandig enn kalsitt. Dette viser at misfargingen også avhenger av mineralogien.  
Foto: E. Roaldset 25.03.2013

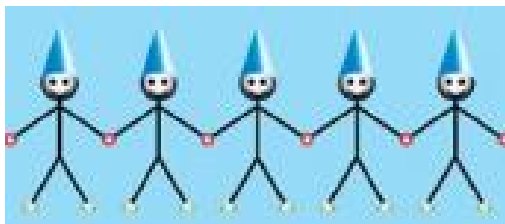


**Figur 9** Til venstre: Hans-Jørgen Berg som ved hjelp av kobbertape prøvetar brunt og sort belegg for SEM-EDS analyse. Til høyre: kvartsrike soner med "hull" etter oppløst/forvitret mineral, sannsynligvis gips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Foto: E. Roaldset 25.03.2013.

De gulbrune fargeendringene er ujevnt fordelt og danner ikke noe entydig mønster. Så vidt vi kunne observere er overflaten, og vertikale sider av gesimsene ikke misfarget. Misfargingen synes å være sterkest nær knekkpunktet/forsenkningen på sørsiden av taket.

### 3 Overflatebehandlingen i 2008

Vi er informert om at marmor på taket utendørs ble behandlet med produktet FACEAL OLEO HD som produseres av PSS Interservice AG som har hovedkontor i Sveits. Produktet er en **fluor-akryl-kopolymer**. Vi har fått hatt tilgang til en 2 siders produktomtale der det vises til at productet kan brukes på "*Natursteine, wie Marmor bis zu 0,10-0,20 l/m<sup>2</sup>*", samt databladet "*Safety Data Sheet in Accordance with Regulations (EC) No 12907/2006*" med HMS aspekter for produktet. Disse dokumentene gir ingen nærmere informasjon om produktets kjemiske sammensetning, stabilitet over tid med mer. **Figurene nedenfor** er alt som presenteres om kopolymerens sammensetning og egenskaper. Ytterligere informasjon var ikke tilgjengelig på nettet



- Det har ikke latt seg gjøre å skaffe en prøve av produktet.
- Er det tilsatt stoffer for å hindre bakterievekst?
- Vi har ikke kjennskap til når og hvordan impregneringsarbeidet ble utført.
- Hvor jevnt det ble strøket på.
- Hvilken konsistens væsken hadde da den ble smurt på marmoren - viskositet?

## 4 Prøvematerialet - analyser

Det undersøkte materialet er av

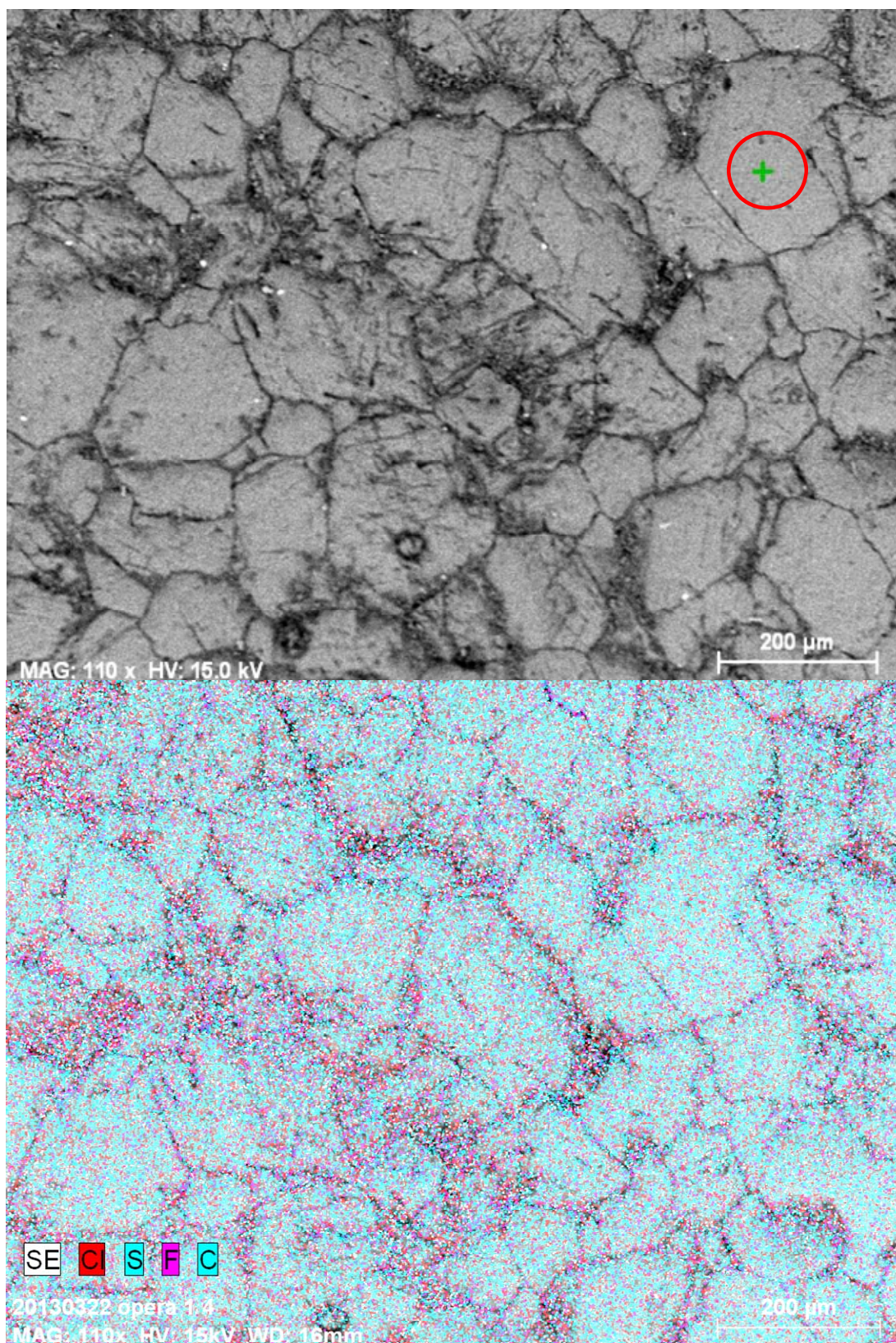
- belegg på små marmorbiter med har en gul misfarging på overflaten.
- brunlig belegg forsiktig skrapet av overflaten
- brunlig og sort belegg på tatt med kobber tape
- snø med partikler

Prøvene ble undersøkt ved lav vakum scanning mikroskopi og analysert ved energidispersiv analyse (SEM/EDS-analyse) ved Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, i april 2013.

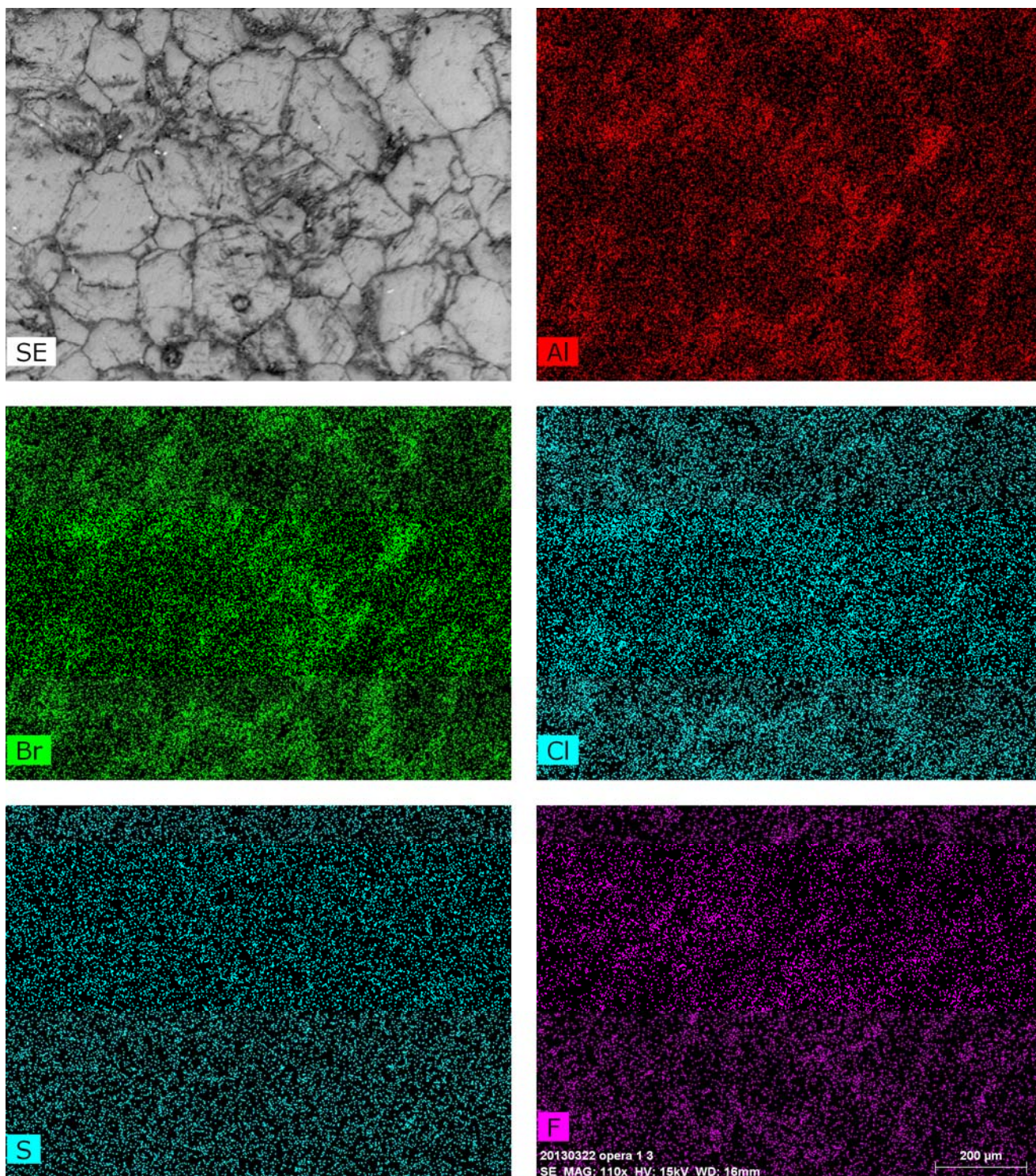
## Analyser av gulbrunt og sort belegg på taket (SEM/EDS analyser)

**Tabell 1.** Semikvantitative EDS-analyser av brunt og sort belegg på marmor, areal- og punktanalyser. Usikkerheteten i målimgene er  $\pm 0,2$  wekt % .

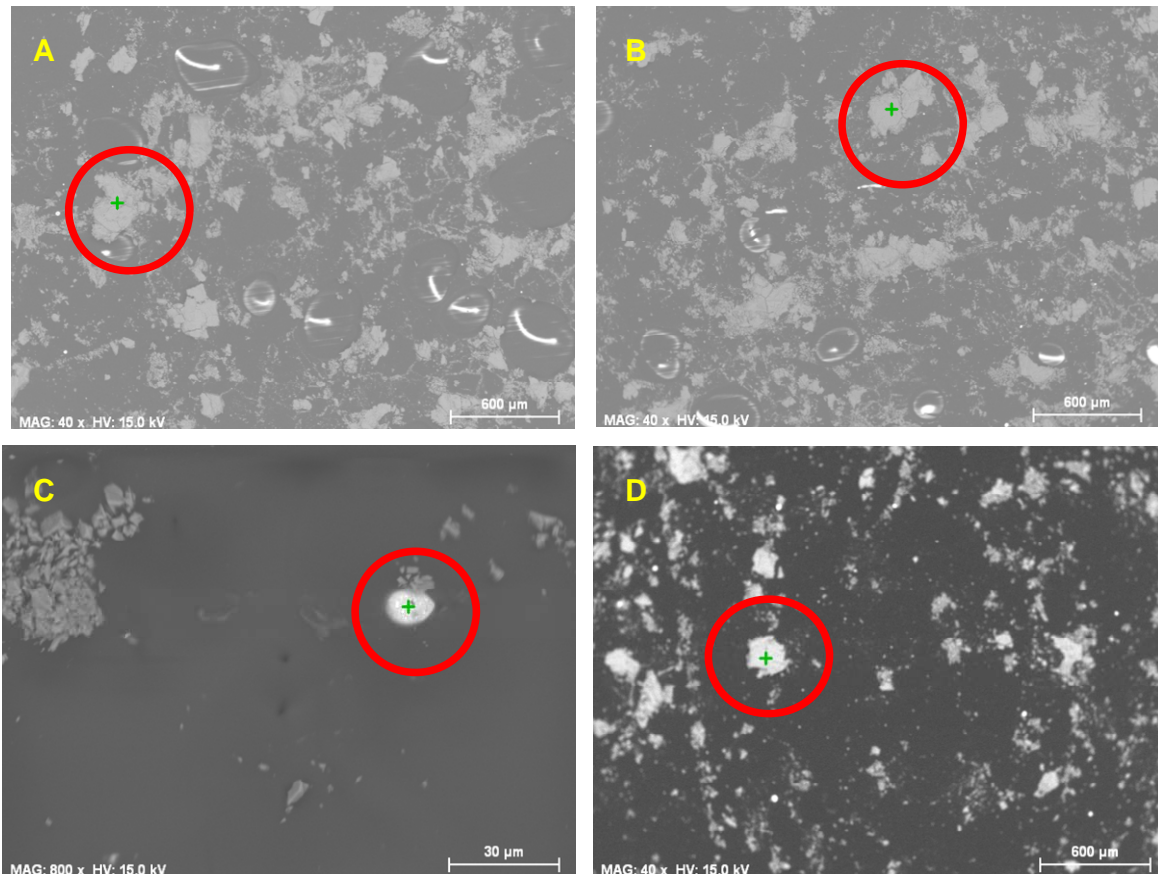
Element	Opera 19	Opera 22	Brunt A	Brunt B	Brunt C	Brunt D	Sort A	Sort B	Sort C	Sort D
C	12.22		10.81	14.25	22.15	16.50	<b>41.45</b>	10.30	14.09	20.97
O	48.88	-	25.33	24.07	10.21	42.37		46.56	28.71	20.02
Na	1.14				1.96			0.39		0.77
Mg	0.77		0.46	0.35	1.16	0.35	7.06	0.36	0.05	0.99
Al					0.21		8.52	6.13	0.42	2.70
Si	2.36		0.08	0.93	21.00		16.96	19.97	0.98	15.08
S	0.05							0.03		0.50
F		<b>1.29</b>						<b>0.75</b>		
Cl	0.49	0.93								0.00
K	0.27			4.68			7.45	0.35		0.77
Ca	30.88		<b>60.38</b>	53.40	6.79	38.69		13.19	0.85	4.39
Ti							<b>2,28</b>		<b>6.38</b>	
Ag					<b>28.70</b>					<b>29.55</b>
Th					3.14					
Fe	1.22						13.74		46.17	0.44
Br	1.73	2.85								



**Figur 10.** Utsnitt av brunlig, marmoroverflate behandlet med fluor-akryl-kopolymer. Øverst: Analysepunktet (merket +) angitt på SEM-bildet, viser kalsitt ( $\text{CaCO}_3$ ). Nederst: Et sammensatt elementkart («element map») som viser hvordan klor (Cl), svovel (S), fluor (F) og karbon (C) fordeler seg på mikroskala nivå. Fluor er konsentrert i grenser mellom mineralhorn. Det er lite fluor på mineralflatene.



**Figur 11 .** SEM/EDS elementanalyse («element map») over utsnittet vist øverst til venstre. Aluminium (Al), brom (Br) og klor (Cl) fordeler seg på samme måte, og er anrikt i/langs korn grenser. Svovel fordeler jevnt over det hele noe som gjenspeiler at elementet er i selve marmoren. Fluor som skal være jevnt påført med fluor-akryl-kopolymer beskyttelsen, fordeler seg ujevnt, med mest i korn grenser/mikrosprekker.



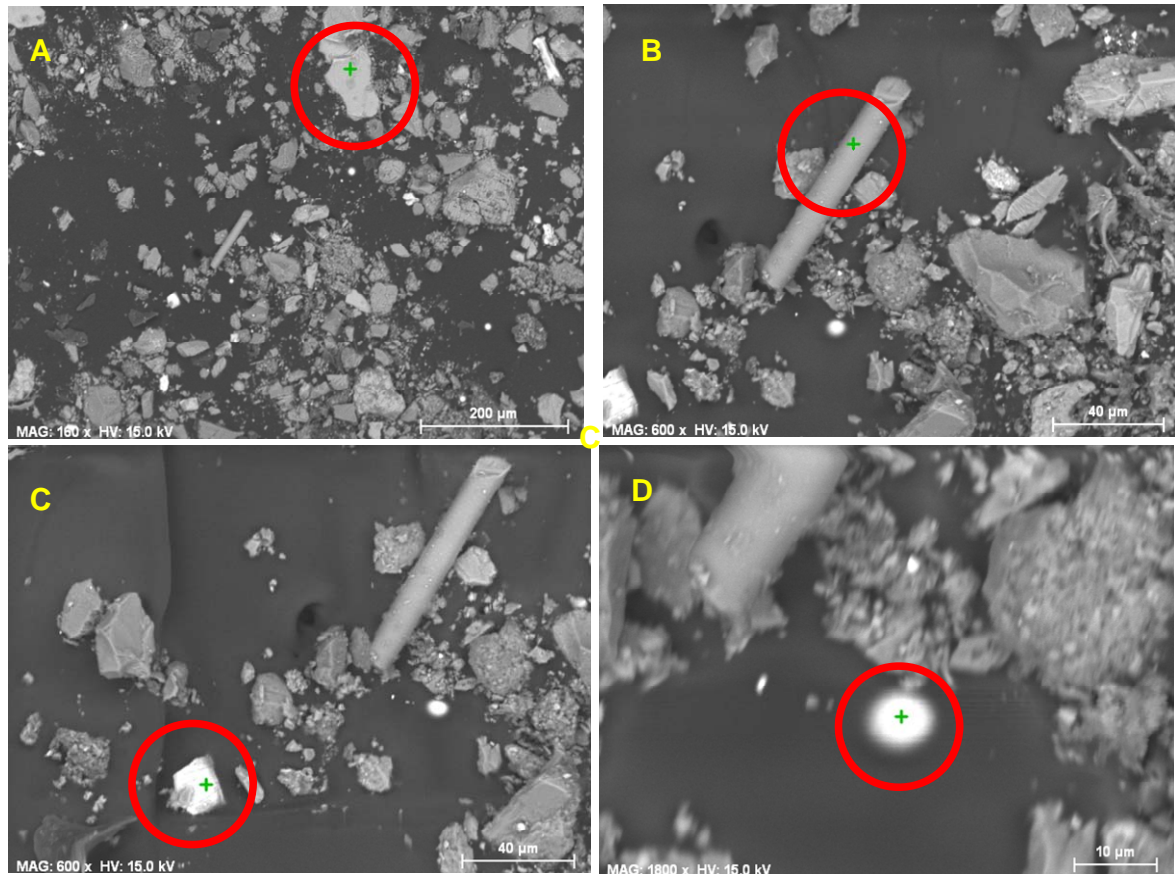
**Figur 12.** Partikler i brunt belegg på vestsiden av taket (se Figurene 5 og 6.) Målestokken (i  $\mu\text{m}$ ) er angitt ved svak strek i nederst i venstre hjørne. Punktanalyser av utvalgte partikler. De helt lyse fragmentene (se C og D, innringete partikler) er jern, antakelig fra skjærebrennere og armeringsjern.

**A:** Den analyserte partikkelen består hovedsakelig av Ca, O og C, dvs. av kalsitt og kan være fra marmoren. Noen av småpartiklene kan være sementstøv fra rivnings/byggearbeidene i området.

**B:** Den analyserte partikkelen består hovedsakelig av Ca, O og C, dvs. av kalsitt, og kan være fra marmoren. K og litt Mg kan også være fra marmoren, eller salt fra sjøen.

**C:** Den lyse partikkelen består av Ag (sølv), Si, Ca og mye C (stort overskudd i forhold til Ca, stammer fra polymer belegget?), litt Na og Mg (sjøsalt?).

**D:** Den analyserte partikkelen består hovedsakelig av Ca, O og C, dvs. av kalsitt og kan være fra marmoren.



**Figur 13.** Partikler fra sort belegg på sørsiden av taket (se Figur 9). Målestokken (i µm) er angitt ved svak strek i nederst i venstre hjørne. Punktanalyser av utvalgte partikler. De fleste partiklene er støv fra ferger og turistskip, og de pågående bygge-/anleggsarbeidene i Bjørvika. De helt lyse fragmentene (se C og D, innringete partikler) er jern, antakelig fra skjærebrennere og armeringsjern.

**A:** Den analyserte partikkelen med noe av omliggende, består av K, Si, Al, Mg, Fe, Ti og O. Kan være feltspat/leirmineral og titanholdig jern

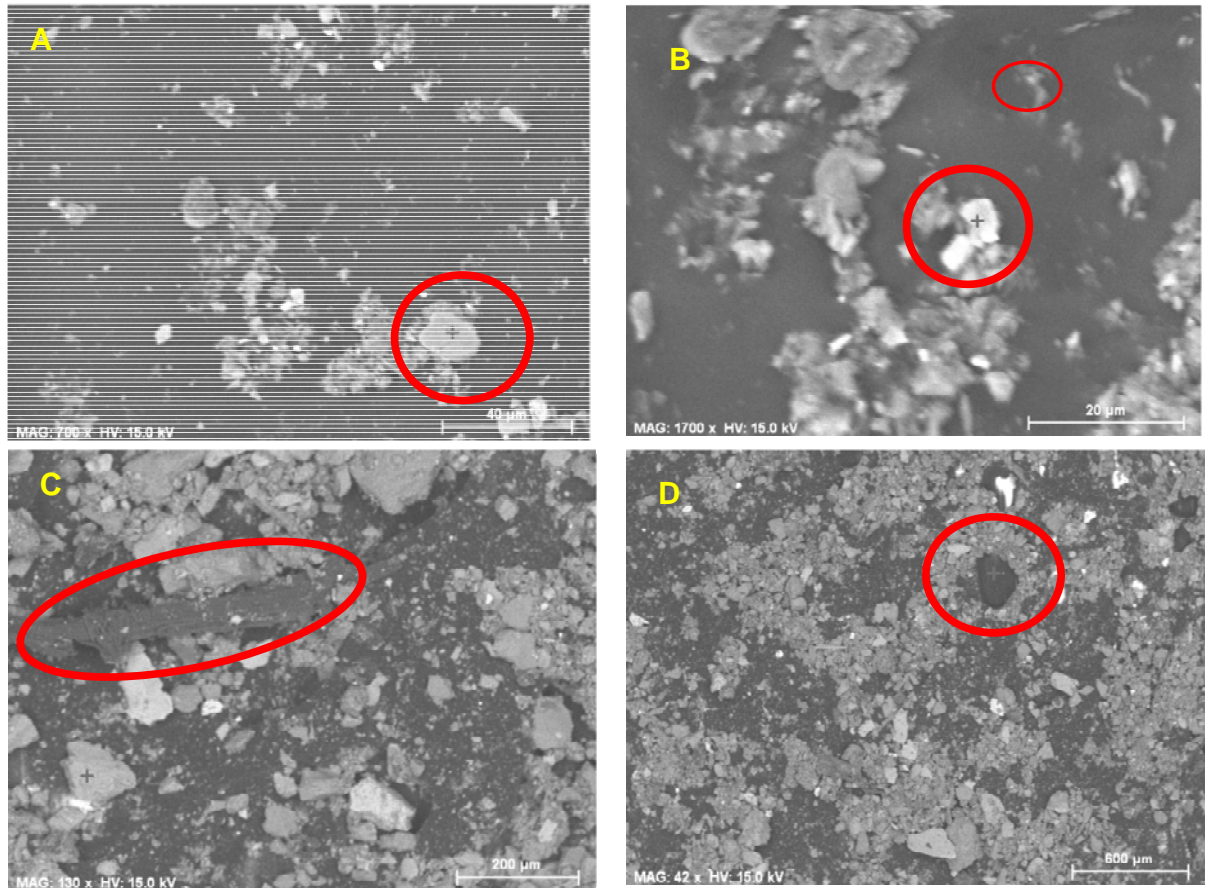
**B:** Den analyserte partikkelen inkl. noe av partiklene under, består av Si, Ca, Al, O og C, med spor av Na, Mg og K. Det kan være biologisk materiale, sammen med sementstøv, silikatmineral (leirmineral) og spor av salt fra fjorden.

**C:** Den lyse partikkelen består av Fe (jern), noe Ti (titan), og noe C, fra skjærebrenner/-armeringsjern og eksos

**D:** Den lyse partikkelen består av Ag (sølv), øvrige elementer er Ca, Si, litt Al, O og C, hvilket tyder på støv med silikater (kvarts/feltspat) og kalsitt, enten fra marmoren eller sementstøv fra rivningsarbeidene.



**Partikler i snø, nordvent skråtak ved operaens hovedinngang.**



**Figur 14** . Partikler i snø fra nederst på skråtaket, sørøst for hovedinngangen. Målestokken er angitt ved svak strek i nederst i venstre hjørne i  $\mu\text{m}$ . Punktanalyser av utvalgte partikler. De fleste partiklene er støv fra de pågående bygge-/anleggsarbeidene i Bjørvika. De helt lyse fragmentene (se B, innringet partikkel er jern antakelig fra skjærebrennere og armeringsjern..  
**A:** Den analyserte partikkelen består av K, Al, Si, C og O, samt spor av Fe (jern).  
**B:** Den analyserte partikkelen består av jern. Nærmeste tilgrensende partikler er isopor (karbon)  
**C:** Det lange fragmentet består av karbon (76%) og oksygen, samt små mengder silisium og er organisk fiber. De hvite partiklene er jern.  
**D:** Det mørke fragmentet er sot (karbon) fra trafikk/fyring eller fra fergetrafikken.

## 5 Resultater

- De gulbrune fargeendringene er ujevnt fordelt og danner ikke noe entydig mønster. Så vidt vi kunne observere, er overflaten og vertikale sider av gesimsene ikke misfarget. Misfargingen synes å være sterkest nær knekkpunkter,
- Overflatebelegget gir høyere innhold av karbon enn marmor alene (bakgrunnen). Gjenspeiler at belegget er der fortsatt.
- Relativt høye silisium verdier kan tyde på at siloxan er benyttet i kopolymeren?
- Det er små og varierende mengder av natrium og klor (salt NaCl) på marmoroverflaten
- Fluor er kun påvist i 2 spektra/prøver, samt at element-scan viser til at fluor er konsentrert i ”sprekker” (mikrosprekker).
- Partikler av rent jern (Fe) og karbon (C ) er påvist i sort belegg.
- Titan (Ti) –holdige partikler er påvist i sort belegg
- Sølv (Ag) er påvist i partikler i både gulbrunt og sort belegg
- Partikler av jern finnes i både i gulbrunt og sort belegg. Jern og sementpartikler/støv antas hovedsakelig å komme fra bygge-/anleggsarbeidene i Bjørvika.

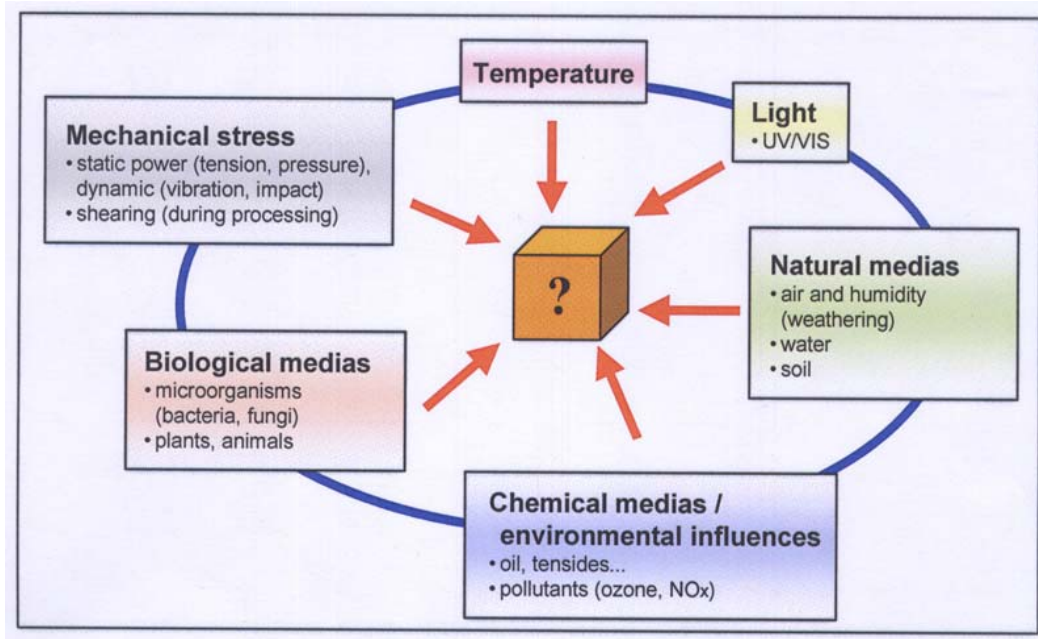
I faglitteraturen er det godt dokumentert at polyakrylater endres over tid og at de påvirkes av lys (sollys) og temperaturforhold med mer. Det er også vanlig at kopolymere plaststoffer kan få gule til brunaktige farger over tid ved aldring (”aging”).

Det er verdt å merke seg at selv om det her er benyttet fluor-akryl kopolymer så er det lite, knapt påviselig, fluor i prøvene av belegget. Dette kan reflektere at materialet har endret karakter. Fluor er ”fjernet”, ved nedbrytning av de kjemiske fluor-bindingene og avrenning?

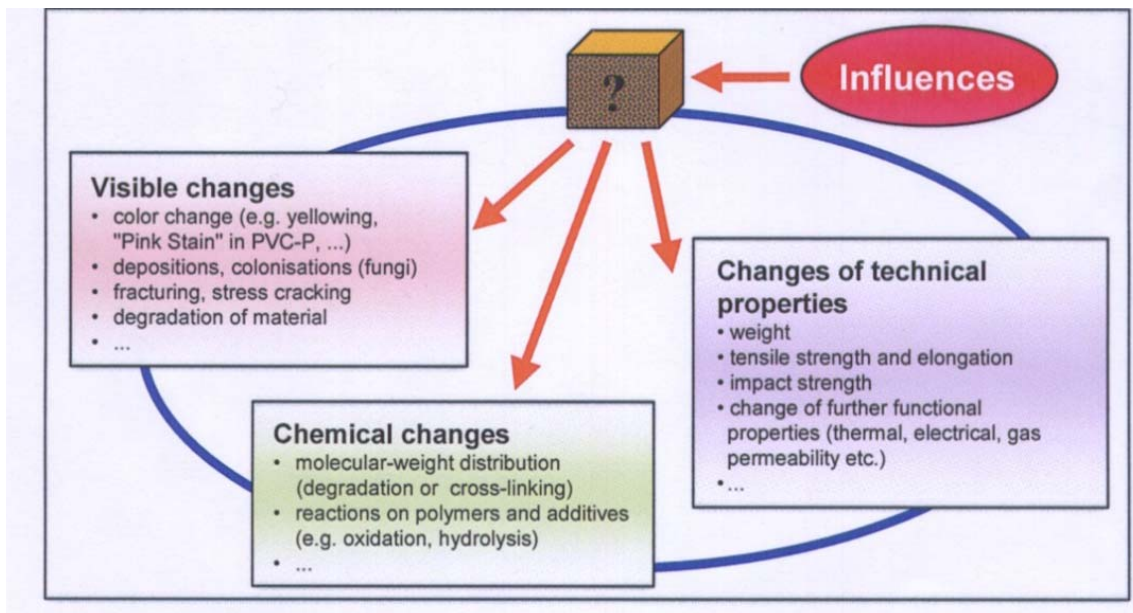
## 6 Diskusjon - Polymere forbindelser, speselt fluor-akryl-kopolymer

Akrylater er organisk kjemiske forbindelser som brukes både i ulike belegg, ulike typer maling, ved konservering og i de senere år til beskyttelse av stein i bygninger og monumenter. I disse sammenhenger er akryl kopolymere forbindelser, inkludert ”*fluor acryl copolymers*” de senere år studert i detalj av forskningsgrupper innen polymer-, kolloid- og nanokjemi. Polymere forbindelser anvendt på steinmateriale er det fortsatt lite kunnskap om.

Bruken av polymere forbindelser for beskyttelse av stein i monumenter, bygninger og anlegg startet på 1960 tallet, men studier av og kunnskapen om de komplekse og multiple interaksjonene mellom stein og polymer er først studert i detalj de siste 10-15 år. Ulike forskergrupper har arbeidet med problemstillinger knyttet til overflatebehandling av steinmateriale ved organiske polymerforbindelser. Disse studiene er hovedsakelig utført etter 2000. I Italia har kjemikere studert fluor-akryl-kopolymere anvendt på italiensk marmor, Carrara og S Giuliano marmor (Poli and Toniolo, 2006; Poli et al 2004,2006) Polymere organisk kjemiske forbindelser er utsatt for varierende grad av ”stress” under ulike forhold. Dette er oppsummert i en artikkel av . Affolter (2008?) i rapporten ”*Long-Term Behaviour of Thermoplastic Materials*”. Figurene på de neste sidene er fra denne rapporten. I listen over litteratur (side 22-24) er det også flere andre arbeider som omhandler problemet med aldring av polymere forbindelser.



**Figur 15.** Stress påvirkning på polymere forbindelser omfatter autooksidasjon: termooksidativ (T, O<sub>2</sub>) og fotooksidativ aldring (hv, T, O<sub>2</sub>), motstand mot kjemisk nedbrytning, biodegradering (fra Affolter, 2010)

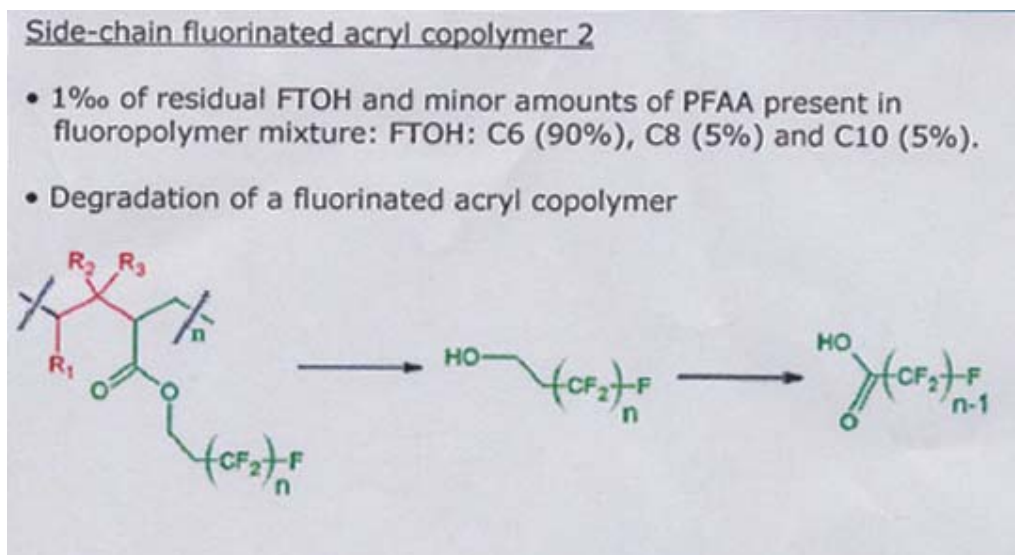


**Figur 16.** Effekt av stress på polymerer. Varig statisk stress fører til nedbrytning av materialet (fra Affolter, 2010).

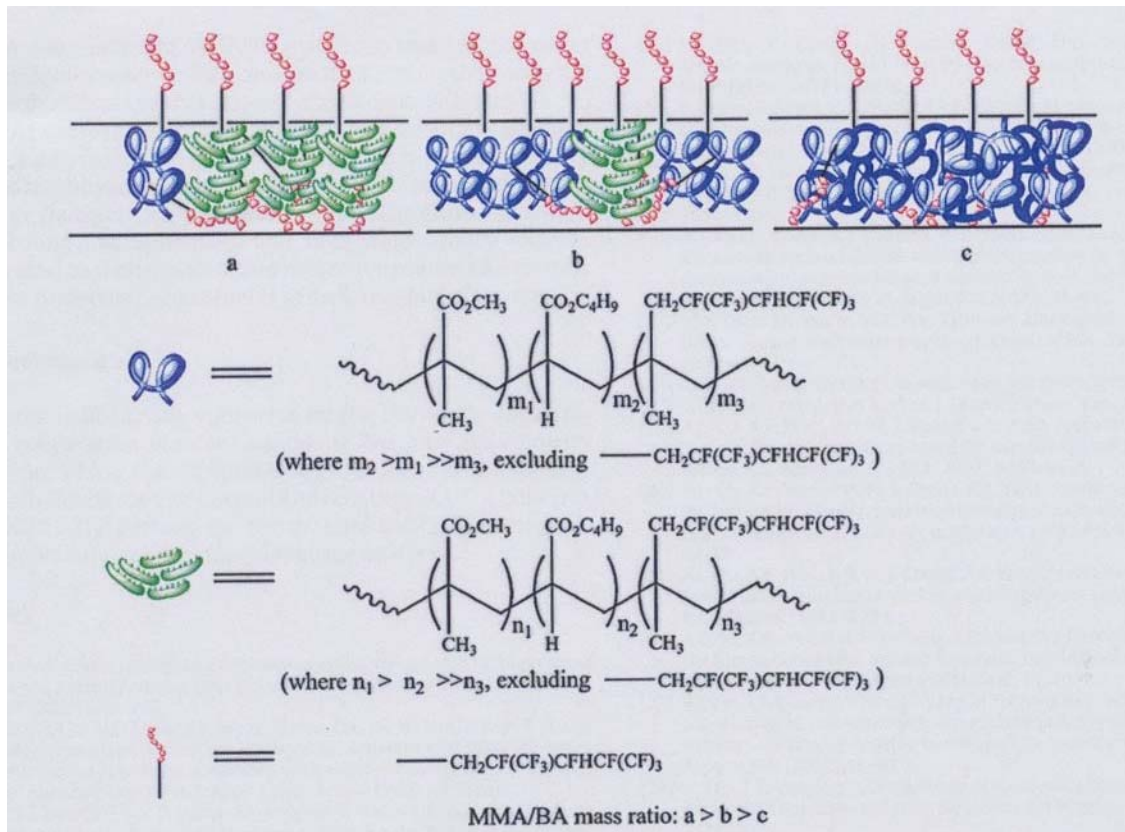
**Tabell 2.** Effekter av fotooksidativ aldring på termoplastisk materiale (fra Affolter, 2010).

Criteria	PE, PP	PS	PMMA	PVC	POM	PA	PET	PC
yellowing	X	XX	XX	XX		X		XX
surface cracks chalking	X	X			XX			
tensile strength and elongation	XX		X	X		XX	XX	
impact strength	X	X	XX	X	XX	X	X	X
Bending strength		X			X		X	

XX = main criterion, X = auxiliary criterion



**Figur. 17** .Nedbrytningen av fluor-akryl-kopolymere kan skje ved at store molekylar brytes opp (fra Eschauzier et al. 2012).



**Figur 18.** Mekanismer for migrasjon og anriking av fluorinerte grupper overflaten av et polymerbelegg, en polymerfilm (MMA=methyl metakrylat, BA=butyl-akrylat). Forholdet MMA/BA innvirker sterkt på migrasjonen av fluorkomponentene mot filmoverflaten. (Zhao et al. 2012).

## 7 Konklusjon - Sannsynlig årsak til misfargingen

- Den gulbrune misfargen antas i hovedsak å skyldes endringer av fluor akryl kopolymer forbindelsene ved aldring, i første rekke fotooksidasjon og temperatur.
- Mørk/sorte misfarging på taket går enkelte steder over i den gulbrune. Her er det i tillegg til aldring av polymeren vært tilført forurensningskomponenter, metall og sementstøv fra bytrafikk og byggearbeidene i Bjørvika.
- Er sølv tilsatt fluor-akryl-kopolymeren for å hindre bakterie-, sopp- og muggvekst?
- At misfargingen er ujevn kan ha sammenheng med at væsken ikke er smurt jevnt på.
- Kan mindre grad av misfarging på gesims og vertikale flater skyldes at disse ikke er behandlet med fluor-akryl-kopolymer?
- Det er ikke misfarging på kvartsrike partier noe som kan skyldes at polymeren i liten grad fester seg til/trenger inn i kvarts.
- Det er sterkest misfarging i forsenkninger – kan den flytende kopolymeren ha seget noe før den størknet?
- Sort belegg på taket og partikler i snøen knyttes til eksos fra skipstrafikk og byggearbeider i Bjørvika.

- Før Operaen behandles på nytt, bør gammelt stoff fjernes. Her må kjemikerne kunne komme med egnede metoder. Fra litteraturen kan det se ut som om organiske løsningsmidler kan være en mulighet.
- Før ny overflatebeskyttelse bør stoffet som planlegges benyttet, testes på Carrara marmor av samme type som brukt på Operaen (Bianco Carrara La Facciata)
- Ved SINTEFs testing i 2003-4 hadde Carrara marmor lavest porøsitet og vann-adsorpsjonsevne av samtlige bergarter som ble testet, deriblant 4 ulike typer marmor.
- Det finnes spesialister på området. Disse kan en få god kontakt med ved å invitere dem som gjesteforelesere.

## 8 Anbefalinger/forslag

Det brune belegget er sannsynligvis degraderte fluor-akryl-kopolymer forbindelser og bør fjernes før ny overflatebehandling av marmoren. Organiske løsningsmidler kan muligens benyttes. Dette bør kjemikerne ha kjennskap til.

Det er mange polymerkjemikere som kan mye om polymere forbindelser, inkludert fluor-akryl-kopolymerer, men det er få som har kunnskaper om hvordan disse forbindelsene ”samvirker” med ulike typer stein i bygninger og monumenter. Det er enkelte forskergrupper i Europa som arbeider med beskyttende polymerforbindelser. Under utarbeidelsen av denne rapporten har vi spesielt merket to forskningsmiljøer.

**I Italia** er Professor Tommasso Poli og Dr. Lucia Toniolo blant de fremste. De har forsket på problemstillinger knyttet til fluorakryl-polymere og beskyttelse av stein, spesielt marmor. De er begge polymer- og kolloidkjemikere. Lucia Toniolo er nå den mest aktive av disse. Hun er involvert i arbeidet med polymer-beskyttelse av marmor. Hun er ansatt ved den Polytekniske høyskolen i Milano, og arbeider bl.a med beskyttelse av marmor i katedralene i Milano og Firenze. Hun har sammen med Poli og andre kolleger, publisert flere arbeider om emnet. Det ser ut som om Poli, som tidligere arbeidet mye i med marmor, de siste årene har dreid sin aktivitet mot trematerialer

*Dr. Lucia Toniolo*

President Centre for the Conservation and Promotion of Cultural Heritage presso Politico di Milano

Associate Professor Dipartimento de Chimica, Materiali ed Ingegneria Chimica ”G. Natta” Politecnico di Milano

Edificio 7, via Mancinelli 7, 20131 Milano, Italia

Tel. + 39-02-23993042 lucia.toniolo@polimi.it

**I Sveits** er det en stor industri orientert forskningsaktivitet med topp utstyrsfasiliteter ved Interstate University for Applied Sciences and Technology i Buchs, Sveits. Forskningsaktiviteten ledes av Professor Samuel Affolter.

*Prof. S. Affolter*

Head of Polymerics Group,

Institute of Micro and Nanotechnology,

Interstate University of Applied Sciences of Technology

Buchs NTB,

Werdenbergstrasse 4, CH 9471 Buchs SG, Sveits. Tel: +41-81-7553 414

[Samuel.affolter@ntb.ch](mailto:Samuel.affolter@ntb.ch), [www.polymeric.ch](http://www.polymeric.ch) [www.ntb.ch/polymer](http://www.ntb.ch/polymer)

### Anbefaling /forslag:

Statsbygg bør i forbindelse med vedlikeholdsopplegget for operaen søke den beste ekspertisen som finnes. Kompetanse i polymerkjemi, kolloid- og nanokjemi er viktig i denne sammenheng.

Kontakt med polymerkjemiske forskere som arbeider med marmor kan lett oppnås ved å invitere, for eksempel

- 1) Dr. Lucia Toniolo til Oslo for å gi en gjesteforelesning om beskyttelse av marmor ved polymere forbindelser. Dette kan gjerne organiseres i samarbeid med Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo. I regi av Statsbygg kan en slik gjesteforelesning følges opp ved en befarings på Operaen og etterfulgt av et møte der problemstillingene kan drøftes og råd søkes vedrørende det videre opplegget for beskyttelse og renhold av operataket.
- 2) Tilsvarende kan Prof. S. Affolter eller en av hans kolleger, inviteres til å gi en forelesning om hvor den organiske kjemien, spesielt polymerkjemien, nå står i forhold til å designe polymerer spesielt tilpasset marmor og annen bygnings- og monumentstein.

Fra Naturhistorisk museums side vil vi gjerne bistå om gjesteforelesninger er av interesse. Snøhetta og andre arkitekter, vil kanskje også ha en interesse av et slikt arrangement.

## 9 Litteratur

Affolter, S. 2010: Long-Term Behaviour of Thermoplastic Materials. Report, Institut für Mikro und Nanotechnologie, MNT, Interstatliche Hochschule für Technik NTB, Buchs, Schweiz, 21 pp.

Interstate University of Applied Sciences of Technology Buchs NTB, Institute of Micro and Nanotechnology, Head of Polymerics Group, Werdenbergstrasse 4, CH 9471 Buchs SG, Sveits. Tel: +41-81-7553 414

[Samuel.affolter@ntb.ch](mailto:Samuel.affolter@ntb.ch), [www.polymeric.ch](http://www.polymeric.ch)

[http://www.ntb.ch/fileadmin/Institute/MNT/pdf/NTB\\_MNT\\_Polymeric](http://www.ntb.ch/fileadmin/Institute/MNT/pdf/NTB_MNT_Polymeric)

Bai, R., Qiu, T.\*, Duan, M., Ma, G., He, L.F. and Li, X.\*2012 : Synthesis and characterization of core-shell polysilsesquioxane-poly(styrene-butyl acrylate-fluorinated acrylate) hybrid latex particles. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 396, 251-257.

College of Materials Science and Engineering State Key Laboratory of Organic-Inorganic Composites, Key Laboratory of Carbon Fiber and Functional Polymers, Ministry of Education, Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, PR China.

\*Corresponding authors: tel: 86 10 64419631; fax: +86 10 64452129; e-mails:

[quiteng@mail.buct.edu.cn](mailto:quiteng@mail.buct.edu.cn) (T.Qui), [lixu@mail.buct.edu.cn](mailto:lixu@mail.buct.edu.cn) (X. Li)

Bongiovanni, R., Malucelli, G., Sangermano, M. and Priola, A\*. 1999: Properties of UV-curable coatings containing fluorinated acrylic structures. *Progress in Organic Coatings* 36, 70-78.

Dipartimento di scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica, Politecnico di Torino, c.so Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, Italy.

\*Corresponding author: tel: +39115644656; fax: +39 11 5644699 ; e-mail: [priola@fenice.politico.it](mailto:priola@fenice.politico.it)

Columbini, D.<sup>b</sup>, Ljungberg, N.<sup>a</sup>, Hassander, H.<sup>a</sup> and Karlsson, O. J.a,\* 2005: The effect of the polymerization route on the amount of interphase in structured latex particles and their corresponding films. *Polymer* **46**, 1295-1308.

<sup>a</sup>Department of Polymer Science and Engineering, Lund University, P.O. Box 124, SE-221 00 Lund,

<sup>b</sup>Fibre Science and Communication Network, Mid Sweden University, SE-851 70 Sundsvall, Sweden.

Eschauzier, C., Trier, X., Bergström, L., Frömel, T., de Voogt, P. and Knepper, T. P. 2012: Characterization and biodegradation of two technical mixtures of side-chainfluorinated acryl copolymers. *4th International Workshop on Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances – PFAS*, Nov. 7-9, 2012, Idstein Germany. Poster A16

[http://pft.hs-fresenius.de/images/PDF/121101\\_poster\\_final.pdf](http://pft.hs-fresenius.de/images/PDF/121101_poster_final.pdf)

Lin, M.<sup>a,b</sup>, Chu, F.<sup>a</sup>, Guyot, A.<sup>b</sup>, Putaux, J.-L.<sup>c</sup> and Bourgeat-Lami, E.<sup>b,\*</sup> 2005: Silicone-polyacrylate composite latex particles. Particles formation and film properties. *Polymer* **46**, 1331-1337.

<sup>a</sup>Institute of Chemical Products of Forestry, Sinica Academy of Forestry, 210042 Nanjing, China

<sup>b</sup>Laboratoire de Chimie et Procédés de Polymérisation, UMR 140 CNRS-CPE-Lyon, BP 2077, 69616Villeurbanne,France

<sup>c</sup>Centre de Reserche sur les Macromolécules Végtales, UPR 5301 CNRS, BP 53, F-38041 Grenoble

\*Corresponding author: tel: +33 72 43 17 77; fax: +33 472 43 17 68; e-mail: [bourgeat@lcpp.cpe.fr](mailto:bourgeat@lcpp.cpe.fr)

Poli, T. and Toniolo, L. 2006: Ch. 9.3 The challenge of protecting outdoor exposed monuments from atmospheric attack: experience and strategy. Pp. 553-563 *In: S. K. Kourkoulis (ed.), Fracture and Failure of Natural Building Stones Applications in the Restoration of Ancient Monuments, 553-563.Springer Verlag.*

Poli, T., Toniolo, L. and Chiantore, O., 2004: The protection of different Italian marbles with two partially fluorinated acrylic copolymers. *Applied Physics A* **79**, 347-351.

Poli, T., Toniolo, L. and Sansonetti, A. 2006: Durability of protective polymers: The effect of UV and thermal aging. *Macromolecular Symposia* **238**, 78-83

Schmid, M.<sup>a,\*</sup> and Affolter, S.<sup>b</sup>, 2003: Interlaboratory tests on polymers by differential scanning calorimetry (DSC): determination and comparison of oxidation induction time (OIT) and oxidation induction temperature (OIT\*)Test Method Comparison. *Polymer Testing* **22**, 419-428.

EMPA (Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research), Lerchenfeldstrasse 5, CH-9014 St. Gallen, Switzerland

<sup>b</sup>Interstaatliche Fachhochschule für Technik Buchs ( NTB), Werdenbergstrasse 4, CH-9470 Buchs (SG), Switzerland .

Sung, L.-P.<sup>a,\*</sup>, Vicini, S.<sup>b</sup>, Ho, D.<sup>a</sup>, L., Hedhli, L.<sup>c</sup>, Olmstead, C.<sup>c</sup> and Wood, K. A.<sup>c</sup> 2004: Effect of microstructure of fluorinated acrylic coatings on UV degradation testing. *Polymer* **45**, 6639-6646.

<sup>a</sup>National Institute of Standards and echnology, Gaithersburg, MD 20899, USA

<sup>b</sup>Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, University of Genoa, Via Dodecaneso 31, 16146 Genoa, Italy

<sup>c</sup>Atofina Chemicals Inc. R&D Center, 900 First Avenue, King of Prussia, PA 19406, USA

\*Corresponding author



Whitmore, P. M. and Colaluca, V. G. 1995: The natural and accelerated aging of an acrylic artists' medium. *Studies in Conservation* **40**, 51-64.

Begges adresse I 1995: Carnegie Mellon University, 4400 Fifth Avenue Pittsburgh, PA 15213, USA

Xu, W.\* , An, Q. F., Hao, L. F., Zhang, D. and Zhang, M. 2013: Synthesis and characterization of self-crosslinking fluorinated polyacrylate soap-free latices with core-shell structure. *Applied Surface Science* **268**, 373-380.

Key Laboratory of Auxiliary Chemistry & Technology for Chemical Industry, Ministry of Education, Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an, Shaanxi 710021, China.

\*Corresponding author (W. Xu): Tel: +86 29861168291; fax: +86 29 86168291 [xwforward@163.com](mailto:xwforward@163.com); [xwforward@hotmail.com](mailto:xwforward@hotmail.com)

Yang, W.<sup>a,b</sup>, Chen, Y.<sup>b,\*</sup>, Han, D.<sup>a</sup> and Zhu, L.<sup>a,\*</sup> 2013: Synthesis and characterization of the fluorinated acrylic latex: Effect of fluorine-containing surfactant on properties of the latex film. *Journal of Fluorine Chemistry* **149**, 8-12.

<sup>a</sup>School of Material Science & Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

<sup>b</sup>Key Laboratory of Bio-Inspired Smart Interfacial Science and Technology of Ministry of Education, School of Chemistry & Environment, Beihang University,

\*Corresponding author tel: +86 010 82317113; fax: +86 010 82317133; e-mail: [chenych@buaa.edu.cn](mailto:chenych@buaa.edu.cn) (Y.Chen), [zhulq@buaa.edu.cn](mailto:zhulq@buaa.edu.cn) (L. Zhu)

Zhao, F.<sup>a,b</sup>, Zeng, X.<sup>a,\*</sup>, Li, H.<sup>a</sup> and Zhang, J.<sup>a</sup> 2012: Preparand characterization of nano-SiO<sub>2</sub>/fluorinated polyacrylate composite latex via nano-SiO<sub>2</sub> acrylate dispersion. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* **396**, 328-335.

<sup>a</sup>College of Materials Science and Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China

<sup>b</sup>Key Laboratory of Ministry of Education for Application Technology of Chemical Materials in Hainan Superior Resources, School of Materials and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China

\*Corresponding author (X. Zeng): tel: +86 20 87114248; fax: +86 20 87114248 (nr?) [psxrzeng@gmail.com](mailto:psxrzeng@gmail.com)

#### Tidligere NHM rapporter/notater/publikasjoner:

Harstad, Andreas Olaus & Roaldset, Elen 2004. Fasadestein til nytt operabygg. Gjennomgang av SINTEF rapporter på testing av ulike typer naturstein til det nye Operabygget i Bjørvika. Rapport til Statsbygg 22-09-2004, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, 29 sider.

Harstad, Andreas Olaus & Roaldset, Elen 2004. Fasadestein til nytt operabygg. Tilleggsnotat til Statsbygg 21.10.2004, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, 2 sider.

Roaldset, Elen & Selbekk, Rune S. 2008. Gjennomgang og vurdering av rapport: "Nytt Operahus, Oslo. Fargeendring av innendørs marmorgulv. Vurdering av årsak og tiltak. – Rapport til SINTEF SBK F07018". Rapport til Statsbygg 28-02-08, Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, 11 sider.

Selbekk, Rune S., Roaldset, Elen, & Berg, Hans-Jørgen, 2007/08. Midlertidig rapport vedtørende misfarging av innendørs gulv ved nytt Operahus, Oslo. Naturhistorisk museum, Universitetet i Oslo, 2 sider.

Selbekk, Rune S., Roaldset, Elen, & Berg, Hans-Jørgen, 2012. Staining og an indoor Carrara marble floor at the Opera House, Oslo, Norway. Pp. 641-647 In Maarten A. T. M. Broekmans (ed.), *Proceedings oof the 10<sup>th</sup> International Congress for Applies Mineralogy (ICAM)*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg