

RESTAURATIE VAN BUITENMUREN

Na lange blootstelling aan zure regen of andere agressieve klimaatomstandigheden gaan vele steenachtige materialen verpoederen, omdat uit het blootgestelde oppervlak het bindmiddel aangetast wordt of uitloopt, soms tot enkele tientallen millimeters diep. De standzekerheid wordt daardoor niet in gevaar gebracht, maar architectonische vormen gaan verloren, zodat de esthetische uitdrukking van het bouwwerk sterk vermindert.

STEENVERSTEVIGING

Hilde De Clercq (1), Eddy De Witte (1), Rolf De Bruyn (2) & André Pien (2)

(1) Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium (KIK)

(2) Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf

1 KORT HISTORISCH OVERZICHT

Door middel van een versterkende behandeling [9] geeft men het oppervlak van verweerde steenachtige

materialen een nieuwe samenhang en voldoende stevigheid, zodat verdere aftakeling gestopt wordt. Sinds het begin van de jaren zestig worden daartoe vooral producten gebruikt, die ethylsilicaat bevatten.

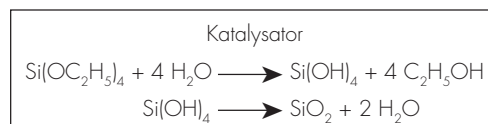
Toch zouden ook andere producten, zoals bijvoorbeeld sommige kunstharsen, een goed versterkend effect kunnen hebben zonder schadelijke nevenverschijnselen te vertonen. In het laboratorium werden de gunstige eigenschappen van sommige kunstharsen reeds eerder vastgesteld [4, 6]. Tegenwoordig wordt het gebruik van versterkende kunstharsen ook overwogen bij de restauratie van beschermde monumenten [5].

De eigenschappen van ethylsilicaten en kunstharsen voor oppervlakteversterking werden met elkaar vergeleken in het onderzoeksprogramma "Restauratie van buitenmuren : typologie en procedures". Van dit project werden het opzet en enkele onderzoeksresultaten reeds eerder in dit tijdschrift toegelicht [1, 2, 3, 10].

2 WAT ZIJN ETHYL-SILICATEN ?

Verpoederende materialen worden meestal versterkt met producten die ethylsilicaat bevatten.

Ethylsilicaat is een organosiliciumverbinding die, in aanwezigheid van vocht en van een aangepaste katalysator, kan hydrolyseren en polycondenseren. Dergelijke reactie geeft aanleiding tot amorf siliciumdioxide, dat voor het versterkend effect zorgt, en ethanol, dat verdampt (afbeelding 1).



Afb. 1 Omzetting van ethylsilicaat tot amorf siliciumdioxide.

Voor steenversterking wordt in de handel over het algemeen geen zuiver monomeer ethylsilicaat aangeboden, maar een mengsel van het monomeer met een vooraf gecondenseerde fractie, die bestaat uit di-, tri-, tetra- en pentameren.

2.1 OPLOSMIDDELHOUDENDE EN OPLOSMIDDELVRIJE PRODUCTEN

Tot 1993 brachten de fabrikanten enkel oplosmiddelhoudende steenversterkers in de handel. Een bepaalde hoeveelheid oplosmiddel bleek immers gunstig, onder andere om het gebruiksklare product een voldoende lage viscositeit te geven, zodat een goede indringing in verschillende soorten ondergronden mogelijk was. Daarom werd de actieve stof meestal verdund met ongeveer 25 % oplosmiddel zoals *white spirit* of aceton met methylethylketon.

In het huidige artikel worden de belangrijkste bevindingen van de versterkingsproeven samengevat ten behoeve van de uitvoerders van deze behandelingen. We willen hen overtuigen van de noodzaak proeven uit te voeren vóór elke ingreep. We vestigen er tevens de aandacht op dat de bekomen resultaten enkel betrekking hebben op de geteste materialen en producten. De besluiten dienen geïnterpreteerd te worden in het raam van de beschikbare literatuur over dit onderwerp.

Onder invloed van het groeiende milieubewustzijn vindt men de jongste jaren steeds meer oplosmiddelvrije producten in de handel. Door gebruik te maken van lagere fracties aan vooraf gecondenseerd ethylsilicaat kan toch een voldoende lage viscositeit gegarandeerd worden.

2.2 VERSTEVIGEND EFFECT

Het verstevigend effect van een behandeling met ethylsilicaten kan nagegaan worden met behulp van een microzandstraalapparaat of door middel van een continuboring (afbeelding 2). Het wordt in belangrijke mate bepaald door de hoeveelheid siliciumdioxide, die in de ondergrond gevormd wordt, door de indringdiepte van het product en door de poriënstructuur van het behandelde materiaal.

Vanzelfsprekend hangt de opgenomen hoeveelheid af van de wijze van aanbrengen en van het aantal "lagen". Meestal wordt een behandeling tot "ogenblikkelijke verzadiging" voorgeschreven. Het product wordt op de gevel aangebracht met een kwast, een rol of, beter nog, met een sproeiapparaat (*spray-flow*). De snelheid van aanbrengen wordt zo aangepast, dat er lopers van enkele tientallen centimeters gevormd worden.

Omdat de verstevigende werking van ethylsilicaten beperkt is, volstaat een behandeling in een enkele arbeidsgang meestal niet. Vaak

moet het product twee, drie of meer keren aangebracht worden. Het aantal behandelingen hangt af van de aard en de verwerking van de ondergrond enerzijds, en van de eigenschappen van het verstevigende product anderzijds. Men spreekt dan van een behandeling in verschillende lagen, ook al dringt het product in de ondergrond en worden er geen echte "lagen" aan het oppervlak gevormd.

Bij eenzelfde aangebrachte hoeveelheid is de concentratie van het product een goede maat voor de hoeveelheid gevormd siliciumdioxide. Ook al hebben veel gebruiksklare producten bij aanvang een hoge concentratie, het drogestofgehalte ligt meestal maar tussen 25 en 50 %. Aangezien bij de hydrolyse en condensatie een groot gedeelte van de ethylsilicaatmoleculen afgesplitst wordt en het gevormde ethanol verdampst (zie de reactievergelijking in afbeelding 1, p. 3), blijft immers slechts een fractie van de hoeveelheid aangebrachte versteviger in de ondergrond achter.

De condensatiegraad van de versteviger is bepalend voor de viscositeit van het product, en daardoor ook voor de indringdiepte. Op een breukvlak van het behandelde materiaal kan de indringdiepte rechtstreeks gemeten worden met behulp van een indicatorvloeistof van het type dithizone [11] of door middel van een zuurbelastingsproef.

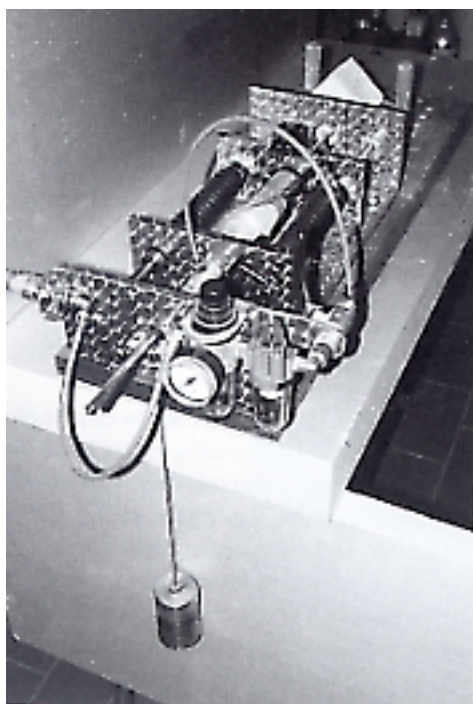
Het verstevigend effect blijkt het grootst te zijn op materialen met een ruim aandeel middelgrote poriën. Het siliciumdioxide wordt immers vooral gevormd in de poriën met een diameter tussen 0,010 en 0,030 mm (10 en 30 μm). Grofporeuze materialen kunnen maar moeilijk verstevigd worden. In zeer fijnporeuze materialen dringen de producten moeilijk in en vertoont het gevormde siliciumdioxide een groot aantal krimpscheuren.

2.3 NEVENVERSCIJNSELEN

Ter herinnering : het verstevigend effect van ethylsilicaat is niet zeer groot en vaak is een behandeling in verschillende opeenvolgende "lagen" noodzakelijk om een merkbaar resultaat te bekomen. Toch worden deze producten vrij algemeen gebruikt om verweerde natuursteen of baksteen te consolideren. De kans op nevenverschijnselen zou immers onbestaand of uiterst klein zijn.

Inderdaad, na behandeling behoudt de ondergrond zijn open poriënstructuur en het im-

Afb. 2
Toestel voor de hardheidsmeting door continuboring.





Afb. 3 "Lopers" na behandeling met ethylsilicaten.

pregneren met ethylsilicaten maakt de poriën-wanden niet hydrofoob. Capillaire wateropname en droogsnelheid van het materiaal worden bijgevolg nauwelijks beïnvloed door de behandeling.

Tot voor kort werd beweerd dat het aanbrengen van ethylsilicaten het uitzicht van de materialen niet veranderde en dat de duurzaamheid van de behandeling uitstekend was. Volgens de vakliteratuur van de jongste jaren echter zou het gevormde siliciumdioxide toch verouderen [8], zodat met de tijd het verstevigend effect zou verminderen.

Ook de invloed op het uitzicht blijkt soms veel groter te zijn dan men aanvankelijk dacht. Al blijft het verschijnsel eerder uitzonderlijk, toch vertoonden in de voorbije jaren enkele gevels storende verkleuringen, vlekken of lopers na behandeling met ethylsilicaten. Meestal betekent dit dat het verstevigingsmiddel onvoldoende in de ondergrond ingedrongen is, zodat het amorfe siliciumdioxide aan het steenoppervlak gevormd werd.

Waarom ethylsilicaten soms onvoldoende indringen en aanleiding geven tot verkleuringen, vlekken of lopers, is nog niet exact geweten. Toch kan men momenteel stellen dat het verschijnsel voorkomt indien :

- ◆ de ondergrond weinig poreus is
- ◆ de ondergrond zeer vochtig is op het ogenblik van de behandeling
- ◆ de tijd tussen opeenvolgende behandelingen te kort is
- ◆ het verstevigende product van onder naar boven wordt aangebracht, en aldus telkens over een reeds behandeld en "ogenblikkelijk verzadigd" gedeelte vloeit
- ◆ het verstevigende product een te hoge viscositeit heeft

- ◆ een minder geschikte katalysator de hydrolyse- en polycondensatiereactie te snel laat verlopen.

Het lijkt dan ook zeer waarschijnlijk dat een combinatie van verschillende nadelige factoren aan de basis ligt van de vastgestelde verschijnselen.

3 KUNST-HARSEN

Om verpoederende steen te verstevigen, kunnen theoretisch heel wat verschillende harsen gebruikt worden : acrylaat, methylmetacrylaat, polyurethaan, epoxy, ... Elk hars kan bovendien in verschillende verdunningen gebruikt worden.

Maar niet elk hars in elke verdunning geeft een even goed resultaat. Daarom werd, vóór het eigenlijke vergelijkende onderzoek, een beperkt proefprogramma afgewerkt om de meest geschikte harshoudende verstevigers te selecteren. Na de verkennende proeven werden volgende preparaten grondiger onderzocht :

- ◆ een acrylaathars met één component, met een drogestofgehalte van 11 % en opgelost in een alifatisch oplosmiddel
- ◆ een polyurethaanhars met één component, met een drogestofgehalte van 15 % en opgelost in methylethylketon
- ◆ een epoxyhars met twee componenten, met een drogestofgehalte van 10 % en opgelost in methylethylketon
- ◆ een oxydo-reactief kunsthars met één component, met een drogestofgehalte van 10 % en opgelost in methylethylketon.

De eerste drie harsen worden veel gebruikt in de bouwsector. Het oxydo-reactieve kunsthars daarentegen is niet rechtstreeks beschikbaar in de handel. Van dit prototypemengsel wordt de exacte samenstelling op dit ogenblik nog vertrouwelijk gehouden door de fabrikant.

4 PROEF-PROGRAMMA

Om een objectieve evaluatie mogelijk te maken, werden in het proefprogramma de eigenschappen van de geselecteerde kunstharsen vergeleken met die van twee veel gebruikte verstevigers bestaande uit ± 75 % ethylsilicaat [4], respectievelijk opgelost in methylethylketon en in een alifatisch oplosmiddel.

Daarnaast werd ook een methyl-tri-ethoxy-silaan beproefd met een drogestofgehalte van 10 % en verdund in water. Dit product bevindt zich nog in de ontwikkelingsfase, maar volgens de fabrikant heeft het naast hydrofobere ook versterkende eigenschappen.

De aandacht ging in het bijzonder naar het versterkend effect, de capillaire wateropname en de droogsnelheid van de behandelde proefstukken.

4.1 PROEFSTUKKEN

Om een duidelijk merkbare versterking te bekomen, werden de geselecteerde kunstharsen en ethylsilicaten aangebracht op zo zacht en homogeen mogelijke materialen, zowel natuursteenprisma's als samengeperste poeders.

De natuursteenproefstukken werden verzaagd uit Maastrichtse kalksteen – dit is een zeer zachte kalksteen die bestaat uit gefossiliseerd afbraakmateriaal – en uit Tercésteen, een zachte en homogene oolithische kalksteen uit Frankrijk.

Poedervormige proefstukken kunnen door zeven zeer homogeen gemaakt worden en simuleren een extreme vorm van verwerking door “verpoedering”. Om de invloed van de samenstelling en de poriënverdeling van de ondergrond op het eindresultaat te kunnen meten, werden vier poedertypes gebruikt :

- ◆ fijn kwartspoeder, met korrels van 0,080 tot 0,125 mm
- ◆ grof kwartspoeder, met korrels van 0,125 tot 0,180 mm
- ◆ fijn kalkzandsteenpoeder, gemalen Gobertangesteent met een gekende korrelverdeling, met een groot aandeel korrels kleiner dan 0,125 mm
- ◆ grof kalkzandsteenpoeder, gemalen Gobertangesteent met een gekende korrelverdeling, met een groot aandeel korrels groter dan 0,125 mm.

Vóór de behandeling werden de poedervormige proefstukken in kleine plastic cilinders geperst en samengehouden.

4.2 AANBRENGEN VAN DE PRODUCTEN

Op verschillende proefstukken werden de geselecteerde kunstharsen en ethylsilicaten aangebracht, in respectievelijk één laag, twee lagen “nat in nat” met een tussentijd van ander-

half uur, en twee lagen “nat in droog” met een tussentijd van 6 dagen. Telkens namen de proefstukken gedurende 60 seconden steenversterker op, door capillaire opzuiging langs het proefoppervlak.

Zoals men kan verwachten, nemen de poedervormige proefstukken en de Maastrichtse kalksteen vrij veel product op, vooral bij de eerste laag. Voor het grove kwartspoeder werden waarden tot 22 kg/m² opgetekend. De relatief compacte Tercésteen neemt minder op, meestal slechts 0,5 tot 1 kg/m².

Ook de aard van het versterkende product heeft een invloed op de opgenomen hoeveelheden : bij het acrylaat liggen die gemiddeld tot 50 % lager dan bij de andere producten. De hoogste waarden werden genoteerd met het epoxyhars.

4.3 VERSTERKEND EFFECT

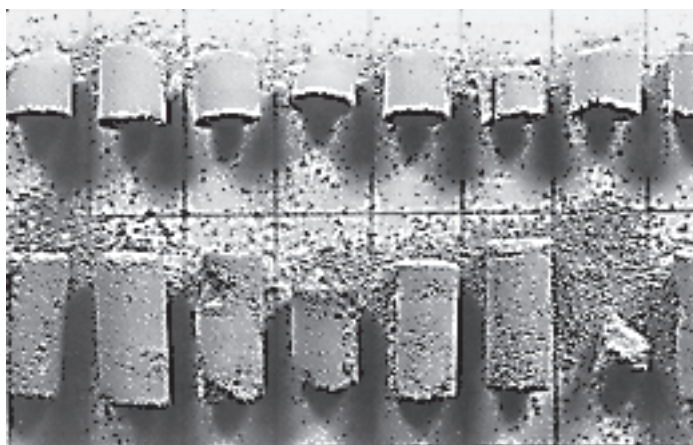
Voor kunstharshoudende producten kan het versterkend effect relatief snel na het aanbrengen van de laatste laag bepaald worden, bijvoorbeeld na 10 dagen. Omdat voor ethylsilicaten de hydrolyse- en polycondensatiereactie vrij langzaam verloopt, wordt voor deze producten en voor het verwante methyl-tri-ethoxysilaan minstens 28 dagen gewacht vooraleer het versterkend effect beoordeeld wordt.

Bij de poedervormige proefstukken gebeurt de beoordeling kwalitatief : zodra ze uit de plastic cilinders verwijderd zijn, kunnen de versterkte diepte en de homogeniteit van de versterking vrij eenvoudig vastgesteld worden (afbeelding 4).

Van de behandelde natuursteenproefstukken wordt door middel van continuboring een hardheidsprofiel opgesteld, dit wil zeggen dat het verloop van de hardheid afhankelijk van de diepte wordt opgetekend (afbeelding 5).

VERSTERKING VAN POEDERVORMIGE PROEFSTUKKEN

In het bijzonder bij kunstharsen blijkt het versterkend effect merkbaar groter voor het kwartspoeder dan voor het kalkzandsteenpoeder. Wellicht absorberen de poreuze korrels van de gemalen Gobertangesteent een gedeelte van het opgenomen product. Er blijft daardoor minder versterkingsmiddel over om de korrels aan elkaar te binden.



Afb. 4 Beoordeling van de poedervormige proefstukken.

Door het aanbrengen van een tweede laag bekomt men steeds een wat betere versterking. Als de tweede laag “nat in nat” wordt aangebracht, dringt het versterkingsmiddel dieper in. Een applicatie van twee lagen “nat in droog” heeft weinig invloed op de indringdiepte, maar het versterkend effect is relatief groter.

Kunstharsen hebben over het algemeen een groter versterkend effect dan ethylsilicaten. De beste resultaten worden bekomen met het oxydo-reactieve kunsthars. Enkel het grove kalkzandsteenpoeder werd beter versterkt met polyurethaan. Het methyl-tri-ethoxysilaan, dat zowel een versterkend als een hydrofoberend effect zou moeten hebben, is onvoldoende doeltreffend voor alle poedertypes.

VERSTERKING VAN NATUURSTEEN-PRISMA'S

Maastrichtse kalksteen neemt veel meer versterker op dan de relatief compacte Tercésteen. Dat heeft vanzelfsprekend een grote invloed op het resultaat : voor bijna alle producten is zowel de indringdiepte als het eigenlijke versterkend effect aanzienlijk groter bij de Maastrichtse kalksteen dan bij de Tercésteen.

Net als bij poedervormige proefstukken blijkt het aanbrengen van een tweede laag “nat in nat” vooral de indringdiepte groter te maken, terwijl een tweede laag “nat in droog” meer invloed heeft op de verharding.

Beide natuursteensoorten worden beter versterkt met ethylsilicaten dan met kunstharsen : de indringdiepte is groter en de bereikte versterking gelijkmatiger. De doeltreffendheid



Afb. 5 Hardheidsmeting van de natuursteenproefstukken.

van het waterhoudende methyl-tri-ethoxysilaan is voor beide natuursteensoorten vergelijkbaar met die van ethylsilicaten in oplosmiddel.

4.4 NEVENVERSCHIJNSELEN

Omdat steenversterking per definitie een oppervlaktebehandeling is, die bovendien soms beperkt wordt tot enkele welbepaalde verwerde zones in een gevel, treft men in gerestaureerde buitenmuren zowel behandeld als onbehandeld materiaal aan, zelfs binnen eenzelfde steenblok. Om die reden onder meer dienen de visuele en fysische eigenschappen van het behandelde en het onbehandelde materiaal met elkaar verenigbaar te zijn.

UITZICHT

Tijdens de proeven bleek de steenversterkende behandeling het uitzicht van de materialen niet merkbaar te veranderen, of er ethylsilicaten dan wel verdunde kunstharsen gebruikt werden. Ook in de praktijk blijkt de invloed van dergelijke ingreep op het uitzicht doorgaans verwaarloosbaar.

Verkleuringen of vlekken worden slechts uitzonderlijk opgemerkt. Zowel voor ethylsilicaten als voor verdunde kunstharsen neemt de kans op dergelijke nevenverschijnselen toe, naarmate de uitvoeringsvoorwaarden ongunstiger zijn, zoals reeds vermeld in § 2.3 (p. 4).

VOCHTTRANSPORTEIGENSCHAPPEN

Als de vochttransporteigenschappen van het behandelde materiaal verschillen van die van het onbehandelde materiaal, bestaat het gevaar dat de overgangszone het vochttransport in de ene of andere richting vertraagt. Daardoor kan het vochtgehalte plaatselijk zeer hoog worden, en stijgt de kans op vorstschade, biologische aantasting, ...

Daarom dient een verstevigende behandeling de vochttransporteigenschappen van de steen, in het bijzonder de capillaire waterabsorptie en de droogsnelheid, zo weinig mogelijk te beïnvloeden.

Waterabsorptie

Tijdens de proeven is gebleken dat er, wat betreft de waterabsorptie, weinig verschil is tussen kunstharsen en ethylsilicaten, wanneer slechts een enkele laag aangebracht wordt. Bij het begin van de proef verloopt de capillaire wateropname veel trager dan vóór behandeling, doch de absorptiesnelheid stijgt vrij vlug tot waarden die vergelijkbaar zijn met die van het onbehandelde materiaal.

Bij een behandeling in twee lagen worden grotere verschillen vastgesteld tussen de gebruikte producten :

- ◆ het acrylaat en het polyurethaan verminderen de capillaire wateropname in belangrijke mate
- ◆ voor ethylsilicaten is de vermindering in waterabsorptie middelmatig
- ◆ ondanks de aanwezigheid van hydrofobe methylgroepen in het methyl-tri-ethoxysilaan vermindert de waterabsorptie ook bij dit product niet zeer sterk

- ◆ de invloed van het epoxyhars en van het oxydo-reactieve hars op de waterabsorptie is verwaarloosbaar.

Droogsnelheid

De invloed van de behandeling op de droogsnelheid is over het algemeen klein bij Maastrichtse kalksteen, maar niet onaanzienlijk bij de compactere Tercésteen.

De droogsnelheid van Maastrichtse kalksteen wordt nauwelijks beïnvloed door een behandeling met ethylsilicaten, met epoxy of met een acrylhars. Als daarentegen twee “lagen” polyurethaan of oxydo-reactief hars aangebracht worden, daalt de droogsnelheid aanzienlijk.

Bij de fijnporeuze Tercésteen daalt de droogsnelheid na behandeling met om het even welk kunsthars. De daling is het grootst als twee “lagen” polyurethaan aangebracht zijn. De producten van het type ethylsilicaten presteren hier het best, omdat zij slechts een beperkte invloed hebben op de droogsnelheid.

ONGELIJKMATIGE VERSTEVIGING

Bij de behandeling van natuursteenproefstukken met kunstharsen werd vastgesteld dat deze producten zich niet gelijkmatig verspreiden over de behandelde zone, maar integendeel in overmaat aan het behandelde oppervlak geabsorbeerd en vastgehouden worden. Daardoor ontstaat een ongelijkmatige versteviging, vooral bij het polyurethaan en, zij het in iets mindere mate, bij het epoxyhars. Dit kan aanleiding geven tot een “korst-effect” aan het behandelde oppervlak, en is daarom ongewenst.

NEVENREACTIE VAN HET OPLOSMIDDEL

Bij de harsen (polyurethaan, epoxy en oxydo-reactief hars) die opgelost zijn in methyl-ethylketon, werd tijdens het aanbrengen van een tweede “laag” of vrij snel erna vastgesteld dat de poedervormige proefstukken begonnen te zwellen. De zwelling van de poedervormige proefstukken was het sterkst aan het oppervlak en ging gepaard met scheurvorming. Wellicht wordt dit verschijnsel veroorzaakt door een nevenreactie van het oplosmiddel met het kunsthars van de eerste applicatie, dat reeds in het materiaal aanwezig was.

Afb. 6 Verpoedering.



Dit verschijnsel werd niet vastgesteld op de behandelde natuursteenproefstukken, die een meer vaste ondergrond vormen. Daarom is de kans waarschijnlijk erg klein dat dergelijke schade op een gerestaureerd gebouw zou voorkomen. Toch blijkt hieruit dat bij het ontwikkelen van nieuwe versterkende producten ook aan de keuze van een geschikt oplosmiddel aandacht geschonken moet worden.

BESLUIT

In het hierboven beschreven proefprogramma werden de eigenschappen van enkele zorgvuldig gekozen versterkende kunstharsen vergeleken met die van ethylsilicaathoudende steenversterkers. Behalve naar het versterkend effect ging een bijzondere aandacht naar de kans op nevenverschijnselen.

Uit de proefresultaten blijkt dat er geen universeel product bestaat, dat op elke ondergrond en in alle omstandigheden de beste resultaten geeft. Zowel ethylsilicaten als kunstharsen kunnen voor bepaalde toepassingen een duidelijk versterkend effect hebben, maar bij beide soorten producten bestaat er ook een kans op nevenverschijnselen.

Het versterkend effect van kunstharsen is doorgaans vrij groot. Daardoor wordt het mogelijk de versterkende harsen sterk te verdunnen, zodat de kans op de gekende nevenverschijnselen beperkt blijft en toch nog een duidelijke verharding wordt bekomen. De indringdiepte is echter soms beperkt en het versterkend effect ongelijkmatig voor sommige materialen. Daardoor zou er een harde korst op een verzwakte ondergrond gevormd kunnen worden, en dat is nadelig.

Sommige harsen zoals bijvoorbeeld polyurethaan kunnen de vochttransporteigenschappen van de ondergrond vrij sterk wijzigen. Het lijkt dat een aanvaardbaar compromis tussen een goed versterkend effect en beperkte nevenverschijnselen bekomen zou kunnen worden met een epoxyhars.

Ondanks hun relatief kleinere versterkend effect hebben ethylsilicaathoudende producten, opgelost in keton of in een alifatisch oplosmiddel, enkele belangrijke voordelen. De indringdiepte is doorgaans vrij groot, en de behandelde ondergrond wordt gelijkmatig versterkt. De veranderingen in waterabsorptie zijn nihil (één laag) tot gering (twee lagen) en de droogsnelheid wordt nauwelijks beïnvloed door de behandeling. Omdat echter ethylsilicaten preferentieel opgenomen worden in de poriën met een diameter tussen 0,01 en 0,03 mm, kan de versterking van zeer grofporeuze of zeer fijnporeuze materialen problematisch zijn.

Het onderzoek heeft bevestigd dat precieze richtlijnen voor de keuze en de applicatiewijze van een steenversterkend product niet op voorhand gegeven kunnen worden. Wanneer een versterkende behandeling overwogen wordt bij de restauratie van een beschermd monument, maakt de studie van de verwerking en de behandeling ervan een noodzakelijk deel uit van het materiaaltechnisch vooronderzoek.

Maar ook bij het versterken van verweerde materialen in niet-beschermd gebouwen is een voorafgaande proef op een beperkt oppervlak nodig om, voor een welbepaalde ondergrond en zijn specifieke verweringsgraad, het meest geschikte product en de uitvoeringswijze (in het bijzonder het aantal lagen) te bepalen.

Bij de beoordeling van de proefresultaten zal niet enkel rekening gehouden worden met het bekomen versterkend effect en de gelijkmatigheid van de versterking, maar ook met het voorkomen van eventuele nevenverschijnselen. In het bijzonder zal de aandacht gaan naar de invloed op het uitzicht en op de vochttransporteigenschappen. ■

LITERATUURLIJST

- 1** De Bruyn R., Treckels R. & Vonckx S.
Restauratie van buitenmuren. Gevelafwerking met pleister en verf. Brussel, WTCB-Tijdschrift, nr. 1, 1999.
- 2** De Bruyn R., Venstermans J.
Restauratie van buitenmuren. Brussel, WTCB-Tijdschrift, nr. 4, 1996.
- 3** De Clercq H., de Henau P., De Witte E., De Bruyn R. & Pien A.
Restauratie van buitenmuren : gevelreiniging. Brussel, WTCB-Tijdschrift, nr. 1, 1998.
- 4** De Clercq H. & De Witte E.
Nieuwe consolideringsmiddelen : een kritische benadering. Brussel, studiedag "Natuursteen" (7 mei 1999, Leuven), WTA (Wetenschappelijk-Technische Groep voor Aanbevelingen inzake bouwrenovatie en monumentenzorg), 1999.
- 5** Delgado Rodrigues J., Ferreiro Pinto A.P., Charola A.E., Aires-Barros L. & Henriques F.M.A.
Selection of consolidants for use on the Tower of Belem. Freiburg (D), Aedificatio Verlag, Fraunhofer IRB Verlag, Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen / International Journal for Restoration of Buildings and Monuments, volume 4, nr. 6, pp. 653-666, 1998.
- 6** De Witte E.
Nieuwe consoliderings- en hydrofoberingsmiddelen. Brussel, studiedag "Nieuwe ontwikkelingen in conservatie en renovatie" (15 oktober 1993, Oostende), WTA (Wetenschappelijk-Technische Groep voor Aanbevelingen inzake bouwrenovatie en monumentenzorg), 1993.
- 7** De Witte E., Charola A.E. & Sherryl R.P.
Preliminary tests on commercial stone consolidants. Proceedings of the vth International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne, 1985, pp. 709-718.
- 8** Kollar G., Tonk V. & Zador M.
KSE-Anwendung im Bautenschutz. Köln, Bautenschutz + Bausanierung, nr. 5, 1994.
- 9** Pien A., De Bruyn R., Venstermans J.
Natuursteen in gebouwen. 2. Verwering en behandeling. Brussel, WTCB-Tijdschrift, nr. 2, zomer 1993.
- 10** Schaerlaekens S., De Bruyn R., Van Gemert D. & Schueremans L.
Restauratie van buitenmuren : beoordelen van oud metselwerk. Brussel, WTCB-Tijdschrift, nr. 2, 1999.
- 11** Weber H. & Höhl H.
Verfahren zur Bestimmung der Eindringtiefe von Steinfestigungsmitteln auf der Basis von Kieselsäureester-Verbindungen. Köln, Verlagsgesellschaft R. Müller, Bautenschutz + Bausanierung, nr. 11, 1988.