

OPLEIDING RESTAURATIEVAKMAN MODERNE BOUWCHEMIE

Module Balkkopherstel

Yves Vanhellemont, Willem Van Peer, Nathalie Vernimme (eds)



OPLEIDING RESTAURATIEVAKMAN
MODERNE BOUWCHEMIE

Module Balkkopherstel

Yves Vanhellemont, Willem Van Peer, Nathalie Vernimme (eds)



COLOFON

Opleiding restauratievakman moderne bouwchemie

Module Balkkopherstel

Editors: Yves Vanhellemont (WTCB), Willem Van Peer, (FVB) en Nathalie Vernimme (Onroerend Erfgoed)

Auteurs basistekst: Sven Ignoul (Triconsult) en Yves Vanhellemont (WTCB)

Technische ondersteuning: Kris Brosens en Sven Ignoul (Triconsult)

Naleescomité: Kris Brosens (Triconsult), Hilde De Clercq (KIK), Andries Deknopper (Monumentenwacht Vlaams-Brabant), Wim Dombrecht (Rewah), Filip Moens (FTB-Remmers), Sander Peters (Verstraete & Vanhecke), Dionys Van Gemert en Danny Versees (FTB-Remmers)

Lay-out: Els Jacobs (Onroerend Erfgoed)

Omslagfoto: controle van de bekisting en de wapening, alvorens op te gieten met herstelmortel © Triconsult

Deze module kwam tot stand door een samenwerking tussen het WTCB (Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf), het KIK (Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium) en het ingenieurs- en studiebureau Triconsult

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	7
1.1	WAAROM MOET HOUT HERSTELD OF VERSTERKT WORDEN?	7
1.2	AANPAK VAN HERSTELLINGEN, VROEGER EN NU	13
1.3	BEROEPSKENNIS	16
1.4	OPSOMMING VAN DE COMPETENTIES	18
2	BEOORDELING VAN DE TOESTAND VAN HOUT	21
2.1	INLEIDING	21
2.2	EENVOUDIGE TECHNIEKEN	21
2.2.1	Visueel	21
2.2.2	Prikken	23
2.3	SCHIMMEL- EN ZWAMCULTUREN	24
2.4	VOCHTMETINGEN	24
2.5	KERNBORINGEN	26
2.6	METING VAN DE MECHANISCHE WEERSTAND (RESISTOGRAM)	27
3	VERZEKEREN VAN DE STANDZEKERHEID TIJDENS DE HERSTELWERKEN	29
3.1	WAAROM SCHOREN?	29
3.2	HET ONDERSTIPPEN	29
3.3	OPHANGING AAN KETTINGEN	33
3.4	BIJKOMENDE STABILITEITSWERKEN	34

4	BALKKOPRESTAURATIE	35
4.1	INLEIDING	35
4.2	DIVERSE MANIEREN OM DE STANDZEKERHEID BIJ BESCHADIGDE BALKKOPPEN TE HERSTELLEN	38
4.2.1	Injectie met kunstharsen	40
4.2.2	Creatie van een nieuw steunpunt voor de balk	40
4.2.3	Balkkopherstel door houtvervanging	42
4.2.4	Balkkopherstel door insnoering	43
4.3	BALKKOPRESTAURATIE	44
4.3.1	Demonteren van de vloerbekleding	44
4.3.2	Demonteren van omliggend metselwerk	45
4.3.3	Losmaken van ankers	47
4.3.4	Verwijderen van aangetast hout	49
4.3.5	Preventieve en curatieve behandeling van hout met biocides	50
4.3.6	Wapening	54
4.3.7	Bekisting	61
4.3.8	Het herstel van de balkkop met houtrestauratiemortel	65
4.3.9	Nabehandeling	68
5	OPLIJMEN VAN DRAGENDE BALKEN	73
5.1	INLEIDING	73
5.2	METHODES OM HET DRAAGVERMOGEN VAN STRUCTUREN TE VERHOGEN	73
5.3	OPLIJMEN VAN PLATEN	80
5.3.1	Materialen	81
5.3.2	Ankers	82
5.3.3	Voorbereiding van de ondergrond	84
5.3.4	Voorbereiding van de op te lijmen platen	86
5.3.5	De uitvoering van de verlijming van de uitwendige wapening	87

1 INLEIDING

1.1 WAAROM MOET HOUT HERSTELD OF VERSTERKT WORDEN?

Hout is sinds menscheugenis een bijzonder populair bouw materiaal. De redenen hiervoor zijn divers.

- ▷ Hout is een relatief duurzaam materiaal: het is **nagroeibaar** en in grote hoeveelheden in ons leefmilieu aanwezig. Het moet niet ‘geproduceerd’ worden (wat bijvoorbeeld wel bij baksteen en mortels het geval is). De milieubelasting van hout is ook laag want het is biologisch volledig afbreekbaar, en het is een manier om koolstof te stockeren, zodat het niet als koolstofdioxide (CO₂) in de lucht zit.
- ▷ Als hout niet aangetast wordt (door bijvoorbeeld vocht, insecten of fungi) dan heeft het een **lange levensduur**.



FIGUUR 1: zwamaantasting

- ▷ Hout kan - in vergelijking met harde bouwmaterialen zoals natuursteen - **gemakkelijk verwerkt** worden. Zo is het mogelijk om zowel eenvoudige, als complexe draagstructuren met hout op te trekken.
- ▷ Hout is **relatief licht**, ten opzichte van steenachtige materialen of metalen. Het was in het verleden het meest praktische materiaal om dakconstructies mee op te trekken. Hout heeft immers een relatief geringe massa. De houten balken vormen daarom een eerder lage belasting voor het onderliggende gebouw. Dit en de grote sterkte van het hout zorgt ervoor dat de constructie stabiel blijft onder schokken of windbelasting. Houten constructies zijn in historische gebouwen dan ook ruim aanwezig.



FIGUUR 2: dakstructuur van de abdij van Park
© Triconsult



FIGUUR 3: dakstructuur van het kasteel van Horst © Triconsult

- Hout is - afhankelijk van de boomsoort - een **sterk materiaal**. Het heeft ook de mogelijkheid om in zekere mate trekkrachten en buigtrekkrachten op te vangen, hetgeen bijvoorbeeld veel minder het geval is bij steenachtige materialen die betrekkelijk snel breken als je ze aan trek of buiging blootstelt. Kort gesteld heeft dit te maken met de ‘vezelachtige’ structuur van hout, het zijn die vezels die voor de opname van trekkrachten kunnen zorgen.



FIGUUR 4: dakstructuur van de Tiendenschuur, abdij Herkenrode © Triconsult

De meest voorkomende schade die we aan hout zien, is:

- **Brandschade.** Hout is een brandbaar materiaal, dat paradoxaal genoeg ook lang stand houdt in geval van brand. Het duurt immers even vooraleer hout zodanig verkoold is, dat het zijn dragende functie niet meer kan vervullen. Als vuistregel kan je aannemen dat er bij brand per minuut een millimeter hout verkoolt. De verkoling van de buitenste houtlagen zorgt nadien wel voor een isolerend effect zodat het verder verkolen/verbranden van het dieper gelegen hout vertraagd wordt. Dat geeft de gebruikers van een gebouw meer tijd om het bij brand te verlaten, wat bijvoorbeeld veel minder vanzelfsprekend is bij gebouwen met een metalen of betonnen draagstructuur. Maar ook als hout niet volledig opgebrand wordt, verliezen de houten balken toch een deel van hun sectie bij brand, waardoor ze nadien verstevigd of vervangen dienen te worden.
- **Schade door insecten.** Het zijn in het bijzonder de larven van diverse soorten insecten die het hout aantasten. Je kunt insectenschade vaststellen door de aanwezigheid van uitvliegopeningen (openingen waarlangs de volwassen insecten wegvliegen), soms is het ook hoorbaar dat er vraatzuchtige larven aan het werk zijn. Let wel: als je uitvliegopeningen ziet, wil dit niet noodzakelijk zeggen dat de insecten nog actief zijn. Het is best mogelijk dat het om een oude aantasting gaat, die gestopt is, of die in het verleden succesvol werd behandeld.



FIGUUR 5: schimmelaantasting van een balkkop
© Triconsult



FIGUUR 6: voorbeeld van een aangetaste balkkop
© Triconsult

➤ **Schade door zwam.** Dit komt voor indien:

- Er voldoende vocht is (een vochtgehalte dat boven 20% ligt en een lokale relatieve luchtvochtigheid van boven 65% en dat gedurende lange tijd).
- De temperatuur tussen 4 °C en 40 °C ligt (ideaal voor de ontwikkeling van een zwam).
- Er voldoende organisch materiaal aanwezig is voor vertering.

Hout in vochtige gebouwen (bijvoorbeeld door lekken of opstijgend grondvocht, of regendoorslag in gevels) voldoet vaak aan deze voorwaarden. De zwam verteert het hout, waardoor het aan sterkte verliest. Er bestaan verschillende soorten zwammen, maar ze hebben allemaal organisch materiaal nodig om te groeien. Soms zie je een zwamlichaam op een muur. Dat duidt er op dat er ergens in de buurt hout of ander organisch materiaal aangetast wordt, want metselwerk kan onmogelijk als voedingsbron fungeren. De zwam kan immers, via zijn zwamdraden, over relatief grote afstanden aanzienlijke schade aanrichten. Overigens is het ook zo dat, als je een zwam ziet, er al veel schade door schimmels is veroorzaakt: zwammen zijn de laatste fase van een schimmelaantasting. Maar realiseer je dat de schade die een zwam aanricht, veel erger is dan die van schimmels.



FIGUUR 7: voorbeelden van weggerotte balkkoppes
© Triconsult

- **Mechanische schade.** Het hout is dan zelf niet aangetast, maar kan zijn dragende functie niet meer goed vervullen. Dat is bijvoorbeeld het geval bij balken die te ver zijn doorgebogen, of als het hout gespleten is, waardoor de balk niet meer als één massief blok kan werken.

Grote doorbuigingen, zwammen en schimmels kunnen optreden als het hout (te) vochtig is. We zien deze fenomenen dan ook meestal opduiken in gebouwen die gedurende een korte (uitgebleven onderhoud) of langere tijd verwaarloosd zijn geweest. De schade kan dan optreden door binnenregenen, of door muren die vochtig zijn geworden door bijvoorbeeld lekkende dakgoten, of doorslaande regen bij metselwerk dat in slechte staat is.

De balkkoppen zijn extra gevoelig voor vocht dat gemakkelijk binnendringt in het zogenaamde ‘kopse’ hout; dit zijn de uiteinden van de balken die afgezaagd zijn in een vlak dat loodrecht op de vezelrichting van het hout staat.

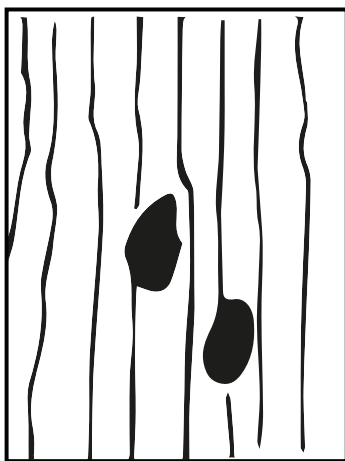
Het vocht dat in de balken dringt, zorgt voor een verlies aan sterkte, en kan ervoor zorgen dat de structuur vervormt. Bovendien zorgt het aanwezige vocht ervoor dat het hout gevoelig wordt voor biologische aantastingen (insecten, schimmel, zwam) en daardoor nog meer sterkte gaat verliezen. Van zodra het uiteinde van zo’n balk te veel sterkte heeft verloren en de balkkop het ganse gewicht van de structuur niet meer kan dragen, zal de constructie (lokaal) instorten.



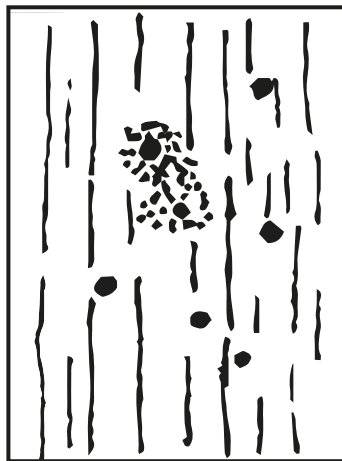
FIGUUR 8: zwamaantasting © Triconsult

Het precieze herkennen van de verschillende schade-oorzaken is een zaak voor specialisten. Een heel goede inleiding kan je vinden in verschillende brochures van Monumentenwacht Vlaanderen [MONUMENTENWACHT]. Specifiek verwijzen we naar de brochure over ‘Biologische aantasting van hout’.

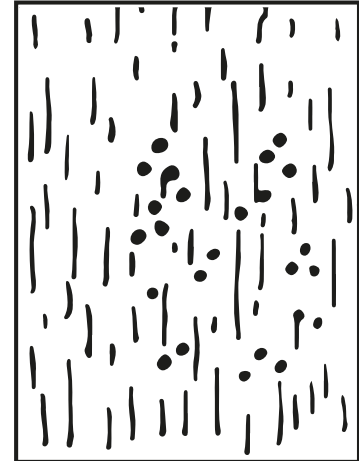
Er bestaan diverse soorten insecten die het hout kunnen aanvreten. Sommige insectenaantasting bevindt zich aan het houtoppervlak en is vrij goed zichtbaar, andere zit dieper en kan je maar moeilijk waarnemen. Ook bij schimmels en zwam is het vaak niet gemakkelijk te zien door welk soort organisme het hout aangetast is. Er bestaan trouwens ook diverse soorten ‘rotting’ van het hout, elk met hun eigen uitzicht.



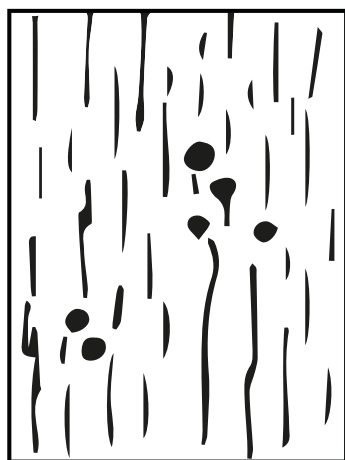
Huisboktor
(*Hylotrupes Bajulus*)



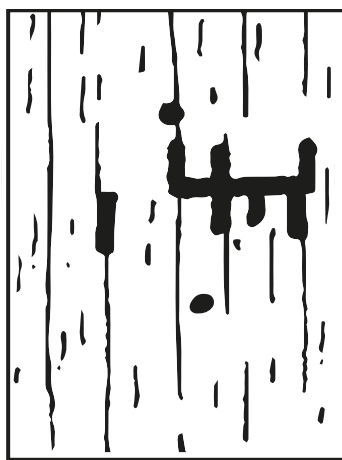
Kleine Klopkever
(*Anobium Punctatum*)



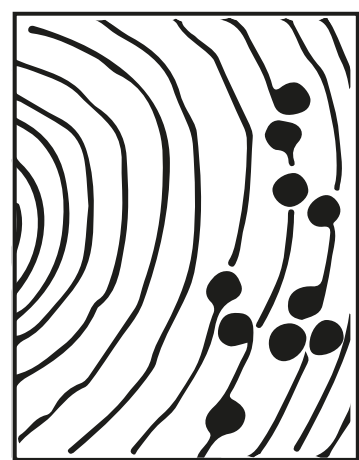
Boorkever
(*Lyctus*)



Grote Klopkever
(*Xestobium Rufovillosum*)



Ambrosiakever
(op zaagvlak)



Paalworm
(*Teredo Navalis*)

FIGUUR 9: verschillende soorten uitvliegaten



FIGUUR 10: uitvliegopeningen, (rechts) van de grote klopkever

We hebben een aantal indicaties gegeven om het soort aantasting te herkennen. Op zich zegt dat nog niets over de kwaliteit van het overblijvend hout. Daarom geven we verder in de tekst ook een aantal methodes waarmee de sterkte van het hout gemeten kan worden. Indien de sterkte teveel is afgenomen, dan dient er ingegrepen (herstel/vervanging) te worden. Het inschatten van het resterende draagvermogen van de houten balk is werk voor een studie bureau of architect. De krachtswerking op vloeren of in houten spanten kan je niet zomaar ‘inschatten’. Een volledige inventaris van biologische aantasting van hout kan je vinden in [VEROUGSTRAETE].

1.2 AANPAK VAN HERSTELLINGEN, VROEGER EN NU

Sinds lang worden onvoldoende sterke houtstructuren hersteld of verstevigd door:

- ▷ Het toevoegen van meer steunpunten, het extra verankeren van de structuur of het toevoegen van meer verbindingen tussen de samenstellende elementen van de structuur.
- ▷ Het volledig vervangen van een houten onderdeel door een ander houten onderdeel.
- ▷ In uitzonderlijke gevallen werden de houten structuren vervangen door of aangevuld met structuren in beton of metaal.

Bij restauratie van erfgoed blijft de basisgedachte dat behoud komt vóór vervanging. Dat wil zeggen dat een balk met een beschadigde balkkop bij voorkeur niet meer in zijn geheel zal vervangen worden. Men zal ernaar streven om het draagvermogen van de bestaande balk te herstellen, en tegelijk zoveel mogelijk van het oorspronkelijke materiaal te behouden. Als de balk zichtbaar blijft, dan zou het bovendien ook niet esthetisch zijn om de historische balk te vervangen, dat zou er ‘te nieuw’ uitzien.



FIGUUR II: volledige vervanging van houten spanten door metalen spanten in de Sint-Pieterskerk in Leuven

Ook als enkel de balkkop gerestaureerd wordt, en de rest van de balk intact blijft, zal men er steeds naar streven om zo respectvol mogelijk met het historische uitzicht en het materiaal om te gaan, zodat de herstelling zo weinig mogelijk in het oog springt. Men zal trachten om, indien mogelijk, de ‘buitenheid’ van de beschadigde balkkop te behouden, en hem enkel aan de binnenkant te herstellen.

Dergelijke herstellingen kunnen uiteraard enkel binnen de grenzen van wat nog toelaatbaar is met betrekking tot veiligheid. Balken zijn immers structurele elementen, en hun eerste taak is om de stabiliteit van het gebouw te garanderen. Je kan soms niet anders dan een drastische en zichtbare ingreep uitvoeren, om ervoor te zorgen dat het gebouw voldoende stabiel blijft.

Maar ook dan zijn er dikwijls mogelijkheden om de oorspronkelijke balk toch te behouden. Dat kan bijvoorbeeld door uitwendig versterkingen op de balk aan te brengen. Dat is een heel zichtbare ingreep, die wel toelaat om het oorspronkelijke materiaal te behouden. Het kan ook minder zichtbaar. We zullen verder zien dat zo'n versterking ook aan de bovenkant van de balk aangebracht kan worden, waar ze minder zichtbaar is, en bovendien verborgen kan worden onder de vloerbedekking.

Samengevat:

☞ *De herstelling van houten balken dient met het grootste respect voor het oorspronkelijke materiaal te gebeuren. Er wordt zo weinig mogelijk vervangen. Enkel aangetast, onherstelbaar beschadigd hout, mag verwijderd worden, in de mate dat het absoluut noodzakelijk is om het draagvermogen van de balk voldoende te kunnen herstellen.*

1.3 BEROEPSKENNIS

In dit deel wordt aangegeven welke kennis je allemaal nodig hebt om balkkopherstel te kunnen uitvoeren.

Kennis van gereedschappen en hulpmiddelen

Kennis van de werking, de toepassingsmogelijkheden, de bediening, de veiligheidsvoorschriften en de onderhoudsvoorwaarden van het gereedschap

- stoomgenerator
- lage- en hogedrukreiniger
- afzuigapparatuur
- spatel
- verfroller
- spons
- sproeiapparaat
- airlesspomp
- (diamant)boormachine
- kettingzaag
- hamer
- beitel
- brander
- staalborstel
- mortelmixer
- truweel
- schoren
- injectie-apparatuur
- eventueel diagnose-apparatuur, zoals resistograaf en cilinderboor

Kennis van montage van ladders, stellingen en ondersteuning

- de basisregels voor de (de)montage van eenvoudige steigers, ladders en steunarmen
- het geschikte materiaal om te stutten en te schoren

Kennis van het gebruik van afschermmaterialen

- voor stellingen
- voor niet te behandelen objecten of materialen

Kennis van grondstoffen

Kennis van de verschillende soorten grondstoffen, eigenschappen, samenstelling, bewaarsvoorwaarden, het gebruik en de toepassingsmogelijkheden van

- reinigingsmiddelen (granulaten, pasta's, water)
- restauratiemortel (muur, hout)
- injectiemiddelen
- biocides

Kennis van artefacten en hun historische achtergrond

Kennis van

- aangetast en gezond metsel- en/of houtwerk
- de structuur van de te behandelen constructies
- de historische bouwmethodes
- de te vrijwaren waardevolle stukken

Kennis van planlezen

Kennis van het lezen van

- overzichtsplannen
- werktekeningen
- detailtekeningen
- materiaalstaten

Kennis van rekenen

Kennis van

- optellen, aftrekken, delen en vermenigvuldigen
- de berekening van lengte, breedte, hoogte, oppervlakte

Talenkennis

Lezen en schrijven van de Nederlandse taal

Kennis van kwaliteitszorg

Kennis van bedrijfs- en productspecifieke kwaliteitsnormen

Kennis van veiligheid

Kennis van

- persoonlijke en collectieve beschermingsmiddelen
- veiligheidsvoorschriften (o.a. voor de specifieke grondstoffen)
- een ergonomisch verantwoorde houding
- de eventueel nodige verkeerssignalisatie
- het gebruik van nutsvoorzieningen (elektriciteit, water, ...)

Kennis van het milieu

Kennis van

- de principes van gescheiden afvalverwerking en recyclage
- de geldende milieunormen

1.4 OPSOMMING VAN DE COMPETENTIES

Hieronder wordt weergegeven wat de taken, deeltaken en bijhorende competenties zijn voor een restauratievakman moderne bouwchemie die balkkoppen wil herstellen.

Plannen en organiseren van het eigen werk

Ontvangen en analyseren van de opdracht, hetzij schriftelijk, hetzij mondeling via architect, projectleider of ploegbaas

- kunnen lezen en schrijven
- kunnen begrijpen van de opdracht
- kunnen ter plaatse de opdracht inschatten
- kunnen lezen van plannen of werktekeningen
- kunnen opmeten

Ontvangen en kennis nemen van de planning

- kunnen lezen en schrijven
- kunnen interpreteren van de planning

Organiseren van de werkplek

Stellingen en ladders installeren

- kunnen (de)monteren van eenvoudige steigers, ladders en steunarmen
- kunnen inschatten of de steiger beantwoordt aan de vereisten van de uit te voeren taken (bijv. draagvermogen, gewicht van de last, stabiliteit van de ondergrond)

Afschermen van de stelling

- kunnen op een correcte manier aanbrengen van afschermingsmaterialen voor stellingen

Vrijmaken van de werkplek

- kunnen met zorg demonteren van planken vloeren, parket en schrijnwerk om de achterkant te bereiken

Afschermen en beschermen van niet te behandelen objecten of onderdelen

- kunnen voorzien of en hoe er schade kan ontstaan
- kunnen op een correcte manier aanbrengen van deze afschermmaterialen voor niet te behandelen objecten of onderdelen

Voorzien van de nodige grondstoffen en materieel

Klaarzetten van de nodige grondstoffen en materieel met betrekking tot de opdracht

- kunnen vaststellen welke grondstoffen en materieel nodig zijn
- kunnen gebruiksklaar installeren van de grondstoffen en het materieel (product toevoegen, leidingen leggen)

Bewaren van de grondstoffen en materieel volgens de voorschriften en omstandigheden

- kunnen toepassen van de bewaringsvoorschriften en het inschatten van de mogelijke gevolgen van een gebrekkige bewaring

Voorbereiden van de balk(en)(kop) ter bevordering of herstelling van de stabiliteit

Schoren van de balk

- kunnen analyseren van de situatie
- kunnen beoordelen van het draagvermogen van de steunpunten
- kunnen plaatsen van de schoren

Vrijmaken van de balk(kop) van het omringende metsel- en/of houtwerk

- kunnen weggappen van het hout- en/of metselwerk
- kunnen ontmantelen van de vloerbekleding met de nodige omzichtigheid, rekening houdend met het hergebruik ervan
- kunnen verwijderen van het aanwezige anker

Verwijderen van het aangetaste en verzwakte hout

- kunnen onderscheiden van aangetast en gezond hout
- kunnen weggappen van het aangetaste en verzwakte hout
- kunnen wegzagen van een volledig aangetast gedeelte indien nodig
- kunnen controleren van het aangrenzende hout door enkele proefboringen

Preventief behandelen van het resterende hout met biocides

- kunnen aanbrengen van de respectievelijke producten met een kwast, een rol of sproeiapparaat volgens de richtlijnen van de fabrikant (concentratie, wijze van aanbrengen, beschermmaatregelen)
- kunnen voorbevochtigen van de ondergrond indien noodzakelijk
- kunnen rekening houden met de omgevingsomstandigheden (temperatuur, vochtgehalte)
- er zich van bewust zijn dat men bezig is met gevaarlijke producten
- beschermende kledij dragen

Herstellen van de balkkop

Plaatsen van eenvoudige bekisting

- kunnen bepalen van de chronologische volgorde van de montage- en demontagewerken
- kunnen monteren van de bekisting

Plaatsen van de bekisting in dezelfde houtsoort

- kunnen bepalen van de chronologische volgorde van de montage- en demontagewerken
- kunnen monteren van de bekisting in dezelfde houtsoort

Aanbrengen van wapening in het gezonde gedeelte van het hout

- kunnen boren van gaten
- kunnen inbrengen en vastzetten van de wapening met lijm

Aanmaken van de houtrestauratiemortel

- kunnen volgen van de richtlijnen van de fabrikant
- kunnen mengen van poeder, vloeistof en kleurpigment in functie van de ondergrond

Aanbrengen van de houtrestauratiemortel

- kunnen vullen van de bekisting met de restauratiemortel
- gepast kunnen reageren bij lekken tijdens de uitharding van de mortel (stoppen van het lek, reinigen van de gelekte mortel)

Behandelen van het nieuwe hout in functie van het originele balkhout door onder andere te profileren en te kleuren bij een blijvende bekisting

- kunnen nastreven van een esthetische afwerking van de blijvende bekisting

Terugplaatsen van het anker

- kunnen boren van gaten
- kunnen positioneren van het anker

Reinigen van de herstelde balkkop (verwijdering epoxyresten)

- zandstralen
- reinigen met een staalborstel
- reinigen met aceton
- afbranden resten epoxy
- afbijlen resten epoxy

Oplijmen van dragende balk(en)

Afschuren van het te gebruiken staal en/of hout

- kunnen zorgen voor een effen oppervlak van het te gebruiken staal en/of hout

Plaatsen van ankers in de balken

- kunnen boren van gaten in de balken
- kunnen plaatsen van verankeringsstaven met lijm
- kunnen respecteren van de nodige wachttijd om staven met lijm te laten uitharden

Aanbrengen van lijm op de balken

- kunnen aanmaken van lijm
- kunnen gebruik maken van een pleistermes of truweel
- kunnen werken volgens de richtlijnen van de fabrikant

Opspannen van staal of hout op de balken

- kunnen werken met vijzels en lijmknachten (lijmtangen)

2 BEOORDELING VAN DE TOESTAND VAN HOUT

2.1 INLEIDING

Om een doeltreffende hersteltechniek of reparatie voor te kunnen schrijven, is het belangrijk om de juiste oorzaak van de schade aan het hout te achterhalen. Het herstellen van het hout is immers niet voldoende: ook de schade-oorzaak zelf dient weggenomen te worden.

Daarnaast is het ook belangrijk om de grootte van de schade goed in te schatten. Zo zal de meting van de hoeveelheid hout die weggenomen moet worden, bepalend zijn voor het draagvermogen dat de rest van de balk zal hebben, en voor de wapening die geplaatst moet worden voor de herstelling.

2.2 EENVOUDIGE TECHNIEKEN

2.2.1 Visueel

Met een visuele inspectie kan je al een beeld krijgen van de omvang van de schade, en de soort schade die er optreedt.

De aanwezigheid, de hoeveelheid en de vorm van uitvliegopeningen kan een aanwijzing zijn voor een mindere of meerdere vorm van houtaantasting door insecten. Aan de vorm en de grootte van de uitvliegopeningen kan je vaak ook zien om welk soort insect het exact gaat. Nu is het zo dat de aanwezigheid van uitvliegopeningen op zich geen directe aanwijzing is voor actieve aantasting. Het is immers perfect mogelijk dat het gaat om een vroegere aantasting, die in het verleden reeds succesvol werd behandeld. Om na te gaan of een insectenaantasting nog ‘actief’ is, kan je volgende eenvoudige technieken toepassen:

- De handigste en zekerste manier: papier (Japans papier, maar gewoon printpapier is ook goed) kleven op de balken. Dat gaat prima met eenvoudige behangerslijm, zo kan je nadien ook alle lijmresten eenvoudig verwijderen. Let op: als er waardevolle schilderijen aanwezig zijn, dan is dit toch eerder werk voor specialisten.

Hou er rekening mee dat de insecten enkel uitvliegen in de zomer, en dus enkel dan gaatjes zullen maken in het papier. Indien er na de uitvliegperiode (de zomer en het vroege najaar) gaatjes zitten in het papier, dan weet je dat er nog larven aan het werk zijn in de balken. Ze moeten immers, na de verpopping, een gaatje maken in het papier om te kunnen ontsnappen.

- Sommige vretende insectenlarven maken zwakke geluiden, die je dus kan horen indien er niet teveel omgevingsgeluid is. Eventueel kan je een stethoscoop gebruiken om de larven beter te horen. Het is belangrijk om op te merken dat, als je niets hoort, je daaruit niet mag besluiten dat alles veilig is. Larven zijn immers niet altijd aan het eten. Soms is het ook zo dat enkel de volwassen insecten geluid maken.
- Je kan ook alle stof op, rond en onder de balken zorgvuldig verwijderen. Als je na een tijdje opnieuw stof onder de uitvliegopeningen in de balk ziet (afkomstig van de houtvraat van de insecten), dan is er kans dat de aantasting nog actief is. Dat stof kan later geanalyseerd worden. Het bevat immers de uitwerpselen van de larven, aan de hand waarvan het soort insect kan bepaald worden.

Let op: soms gaat het om oud boormeel dat door trillingen uit de uitvliegopeningen valt. En soms zal boormeel ook wegwaaien door de wind. Dus het is beter om de methode van het boormeel niet als enige aanwijzing te gebruiken.

- Kijk zeker ook naar de tips in de brochure “Biologische aantastingen in hout” van Monumentenwacht, die bevat nog meer aandachtspunten [MONUMENTENWACHT].

Het constateren van de kenmerken van diverse types rot (kubische of bruinrot, witte rot) behoort tot de mogelijkheden, die op de aanwezigheid van bepaalde fungisoorten kunnen wijzen.

De aanwezigheid van schimmel of zwam kan natuurlijk ook op een directe manier geconstateerd worden, als ze zichtbaar zijn.



FIGUUR 12: kubische of bruine rot © Triconsult

Bij een visuele inspectie kan het nodig zijn om plaatselijk metselwerk of pleisterwerk te demonteren. Vaak is hout, dat achter metsel- en pleisterwerk verborgen zit, nog erger aangetast dan de zichtbare delen. Het demonteren van metselwerk dient uiteraard zorgvuldig te gebeuren, met het oog op de latere wederopbouw van het metselwerk, met zoveel mogelijk dezelfde stenen.

2.2.2 Prikken

Met behulp van een metalen priem kan je ook iets dieperliggende houtaantasting vaststellen (door te 'prikken'). Dat kan van belang zijn, aangezien er insecten zijn die net onder de oppervlakte van het hout hun gangen graven. Aan het oppervlak ziet het hout er dan heel normaal uit, maar als een priem plots doorschiet kan je snel de dieperliggende aantasting constateren. Het is een 'primitieve' versie van twee andere diagnosetechnieken (zie 2.5 en 2.6). Deze methode is geen universele methode, en vooral nuttig om de aanwezigheid van de boktor in naaldhout aan te tonen.



FIGUUR 13: prikken van hout © Triconsult

2.3 SCHIMMEL- EN ZWAMCULTUREN

De aanwezigheid van schimmels en zwammen, en de bepaling van de soort, kan nagegaan worden door het laten opzetten van kweekjes van stalen die op het hout worden genomen. Op die manier wordt een duidelijker vruchtlichaam verkregen, waardoor de bepaling van het soort zwam of schimmel beter kan gebeuren. Dit kan nodig zijn omdat de bestrijdingswijze voor diverse soorten zwam of schimmel niet steeds dezelfde is. Zeker het verdelgen van de huiszwam is complex, vergeleken met het verdelgen van andere soorten zwam.

Met een determinatie van het soort zwam of schimmel komen we ook meer te weten over de vochtbron die aan de basis ligt van de schimmel- of zwamgroei. Sommige schimmels groeien immers in veel nattere omstandigheden dan andere. Zo kan je dus nagaan of de vocht oorzaak bijvoorbeeld een lekkende dakgoot is, wat gepaard gaat met veel vocht, of eerder een condensprobleem, waar veel minder vocht bij komt kijken.

Het spreekt voor zich dat dit soort van onderzoeken door gespecialiseerde laboratoria gedaan dient te worden.

2.4 VOCHTMETINGEN

De ernst van de vochtbelasting kan ook nagegaan worden met een directe vochtmeting op het hout. Dergelijke metingen kan je eenvoudig uitvoeren met elektrische vochtmeters, die de elektrische weerstand van het hout meten. Die eigenschap verandert immers als hout vochtiger wordt.

Je gebruikt hiervoor dezelfde elektrische vochtmeters die ook vaak toegepast worden om vocht in metselwerk te meten. Metingen in metselwerk zijn soms onnauwkeurig, wegens de aanwezigheid van zouten in metselwerk. Bij hout speelt dat veel minder mee, dus je mag ervan uitgaan dat een elektrische vochtmeting op hout behoorlijk betrouwbaar is. De meting wordt bepaald door de houtsoort: hou daarom zeker rekening met de informatie hierover in de bij de toestellen meegeleverde tabellen.

Het vochtgehalte van het hout dient ook steeds gerelateerd te worden aan de omgevingsvochtigheid. Hout is een zeer hygroscopisch materiaal, waarvan het vochtgehalte stijgt als het luchtvochtgehalte stijgt. Een hoge vochtigheid van het hout is daarom bijvoorbeeld meer alarmerend indien het luchtvochtgehalte laag is.

Let op:

☞ *Met elektrische vochtmetingen meet je vooral vocht aan de oppervlakte van het hout, dus vocht dat diep in de kern zit kan je nog steeds niet waarnemen.*



FIGUUR 14: vochtmeting © Triconsult

2.5 KERNBORINGEN

Indien de aanwezigheid van uitvliegopeningen of schimmels wordt vastgesteld, moet onderzocht worden hoe de aantasting van het hout in de diepte eruitziet. Met behulp van een cilinderboortje kunnen cilinders, met een diameter van 15 mm, uit houten balken worden geboord. Zo kan vastgesteld worden wat de staat van het hout is in de dieper gelegen delen van de balk. Dat is een belangrijke meting, want het is best mogelijk dat de aantasting heel diep zit, maar aan de oppervlakte niet zichtbaar is.

Omgekeerd is het ook mogelijk dat een aantasting enkel zeer oppervlakkig is, maar niet diep gaat. Het is in zo'n geval best mogelijk dat een aantasting er ernstig uitziet, maar dat de stabiliteit van het gebouw helemaal niet in gevaar is.

Het nadeel van deze meting is dat er een kleine hoeveelheid hout verloren gaat. De meting dient daarom altijd gericht en met de grootste zorg uitgevoerd te worden: niet teveel boringen, maar voldoende boringen om een goede diagnose te kunnen stellen.



FIGUUR 15: uitvoering kernboring (links) en twee kernboringen (rechts) © Triconsult

2.6 METING VAN DE MECHANISCHE WEERSTAND (RESISTOGRAM)

De meting van de mechanische weerstand wordt uitgevoerd met een resistograaf. Het uitvoeren van de meting is relatief eenvoudig eens je een goede kennis van het toestel hebt. Het bepalen waar er moet gemeten worden, en de interpretatie van de resultaten laat je over aan specialisten.



FIGUUR 16: opmeting van een resistogram © Triconsult

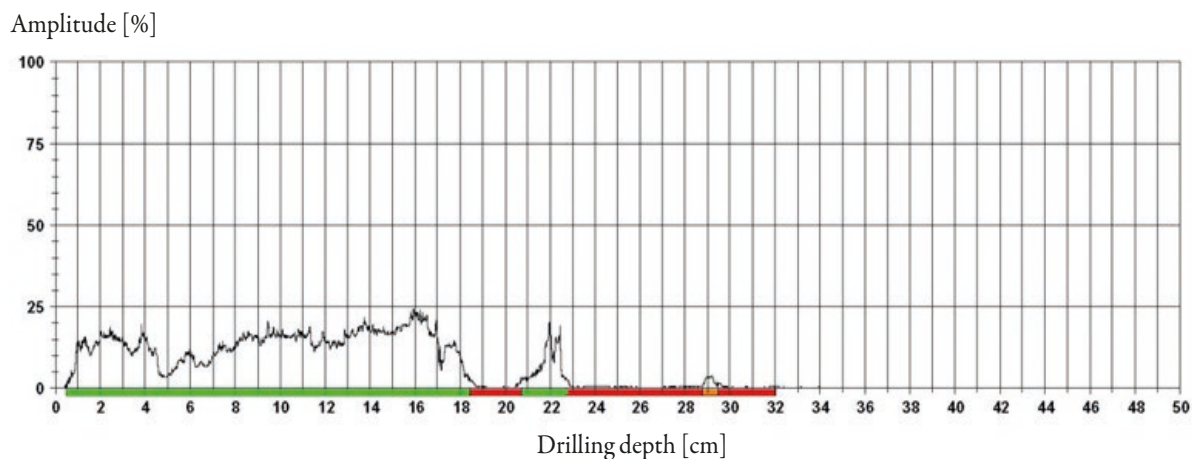
Bij de meting van de mechanische weerstand wordt een dunne naald in het hout gedraaid. Tijdens dit inboren tekent het toestel de draaiweerstand op die de naald ondervindt. Als het hout gezond is, dan zal deze naald een grote weerstand ondervinden om dieper door te dringen. Is het hout evenwel aangetast, dan zal de naald gemakkelijker in het hout worden geboord. De meting wordt grafisch weergegeven in functie van de diepte van de naaldpunt in het hout. Op die manier bekom je een resistogram, dat de samenhang van het hout, in functie van de geboorde diepte weergeeft.

Afhankelijk van de benodigde kracht waarmee de naald in het hout wordt geboord, kunnen we dus afleiden in hoeverre het hout aangetast is. Je kan dan bijvoorbeeld ook zien tot op welke diepte de aantasting optreedt en waar er holtes of rot zijn, waardoor je de ernst van de schade kan inschatten.

Net zoals een kernboring is een meting met een resistograaf belangrijk om een goed beeld te krijgen van de ernst en de uitgebreidheid van de aantasting. Vaak zit de aantasting immers

dieper, en kan je aan de oppervlakte van het hout niet zien of er een aantasting is. Omgekeerd is het ook mogelijk dat een schijnbare ernstige aantasting toch niet zo erg is, indien de aantasting vooral aan de oppervlakte van het hout zit.

Deze meting is te beschouwen als semi-destructief, of eventueel zelfs als niet-destructief. Het gat dat door de naald wordt gemaakt is immers bijzonder klein.



FIGUUR 17: voorbeeld van een resistogram, wringkracht in functie van de diepte: groen=goed hout en rood=aangetast hout © Triconsult

Samengevat:

- ☞ *Aan de oppervlakte kan je heel wat schade zien met het blote oog.*
- ☞ *Met eenvoudige middelen, zoals prikken, kan je ook schade onder het hout-oppervlak vaststellen.*
- ☞ *Een volledige diagnose van de toestand van hout is echter specialistenwerk.*

3 VERZEKEREN VAN DE STANDZEKERHEID TIJDENS DE HERSTELWERKEN

3.1 WAAROM SCHOREN?

Houten balken zijn dragende elementen: ze zijn verantwoordelijk voor (minstens een deel van) de stabiliteit van het gebouw. Bij een balkkopherstelling dient een deeltje van de houten balk weggenomen te worden. Met andere woorden: je verkleint tijdelijk het draagvermogen van de balk. Er bestaat op dat moment een risico dat de balk zal bezwijken. Dit is behoorlijk gevaarlijk en ook te vermijden vanuit het standpunt van maximaal behoud van de bouwmaterialen.

Tijdens herstelwerken zal één steunpunt van de balk dus tijdelijk weggenomen worden, en daarom is het nodig om bijkomende steunpunten voor de balk te voorzien. Dat kan in de praktijk op twee manieren gebeuren: via onderstippen (of onderstempelen, of onderstutten), en via ophanging aan kettingen of draagbanden.

3.2 HET ONDERSTIPPEN

Bij het onderstippen wordt een extra 'kolom' onder de balk geplaatst, die het volledige gewicht van de balk dient te dragen van zodra de balkkop wordt weggenomen. Dat wil dus ook zeggen dat er aandacht besteed dient te worden aan het draagvermogen van de vloer onder de stip! Niet elke vloer is bestand tegen het extra gewicht dat een onderstipping met zich meebrengt. Onderstippen bovenop een gewelf is ook geen goed idee.

Het is uiteraard belangrijk dat de stip geplaatst wordt op een plaats onder de balk waar deze zeker compleet gezond is. Anders loop je het risico dat, bij het wegnemen van het beschadigde hout, de stip opgesteld staat onder een zone van de balk die niet genoeg draagvermogen meer heeft. Dan kan de balk alsnog verzakken. Indien een balk onderstipt wordt, dien je zeker te zijn dat de balk voldoende stabiel blijft als de balkkop wordt verwijderd. Normaal gezien heeft een balk twee opleg- of bevestigingspunten, en blijft hij stabiel. Je kan bij het onderstippen een wig gebruiken om een betere aansluiting met de balk te verzekeren.



FIGUUR 18: onderstippen met wig © Triconsult

Indien één van die opleg- of bevestigingspunten wordt verwijderd, en de balk wordt enkel ondersteund door een stip, dan is het mogelijk dat de balk in horizontale richting gaat bewegen of zelfs kantelen. Deze beweging wordt verhinderd als er ook nog horizontale verbindingen met andere balken zijn, zoals een plankenvloer. Indien dergelijke horizontale verbindingen niet aanwezig zijn, moet je extra horizontale beveiliging aanbrengen.

De stip is vervaardigd uit metaal, dat behoorlijk hard is in vergelijking met hout. Tussen de stip en de te herstellen balk breng je daarom best houten blokken aan, die verhinderen dat de stip een indrukking zal veroorzaken in de balk.

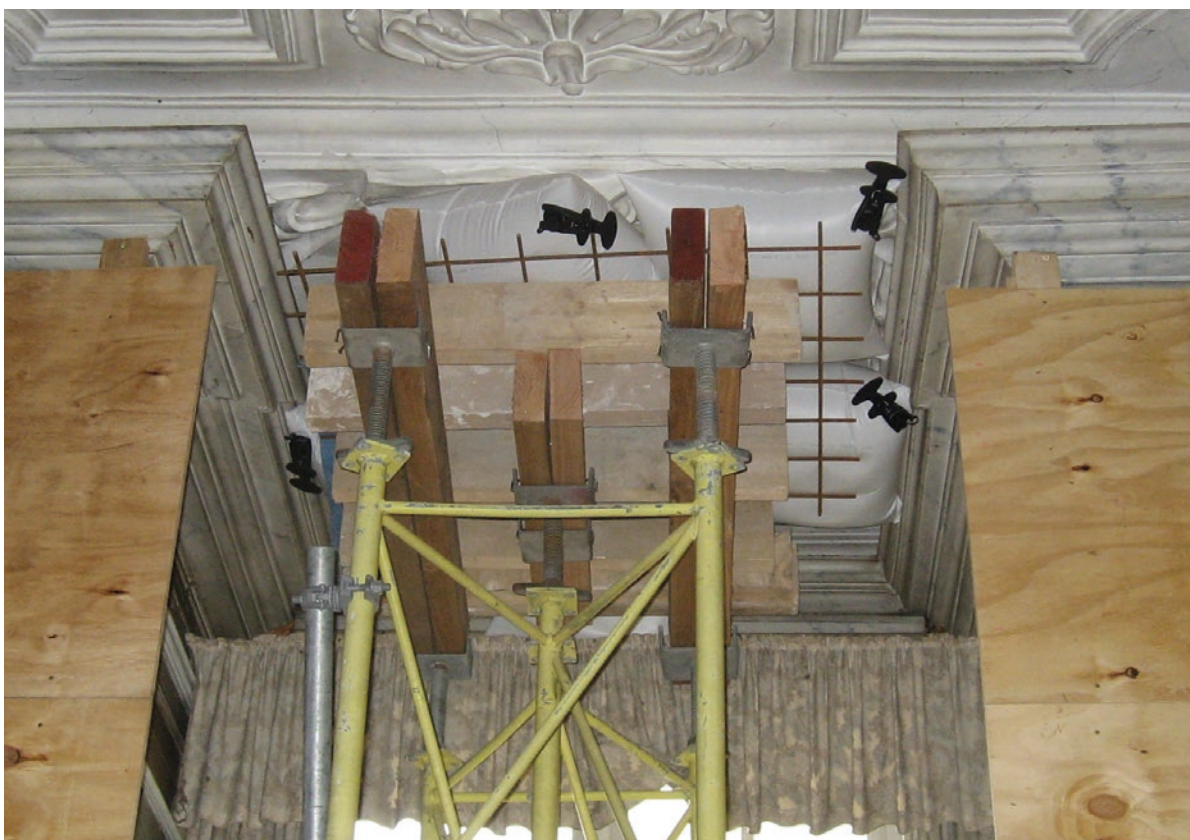


FIGUUR 19: onderstippen met houten blokken © Triconsult

Let op:

☞ *Indien de balken aan de onderkant voorzien zijn van waardevolle decoratieve of historische afwerkingen, dan dient een extra veiligheid aangebracht te worden om ervoor te zorgen dat de geconcentreerde kracht tussen de stip en de afwerkingslaag verzacht wordt.*

Een extra veiligheid kan ook door het aanbrengen van luchtkussens tussen de stip en de balk. Die luchtkussens kunnen bijvoorbeeld gemaakt zijn van polyethyleenfilm. Ze zijn commercieel beschikbaar, en worden vooral gebruikt voor het beschermen van vracht die in containers of per vliegtuig vervoerd worden. Je brengt het kussen leeg aan tussen het steunpunt (voorzien van een plank of metalen rooster) en de te beschermen historische afwerking. Vervolgens wordt het luchtkussen met perslucht opgeblazen, en wordt het ventiel afgesloten. Op die manier heeft het



FIGUUR 20: gebruik van luchtkussens, bij schoring van balken met waardevolle afwerkingen © Triconsult

kussen de exacte vorm aangenomen van de te beschermen afwerking, en wordt deze maximaal ondersteund en beschermd.

Soms wordt, in plaats van luchtkussens, ook gebruik gemaakt van drukvast polystyreen of polyurethaan. Dit is bruikbaar indien de onderkant van de balk een vlakke afwerking heeft.



FIGUUR 21: schoring met tralieliggers © Triconsult

3.3 OPHANGING AAN KETTINGEN

Het is mogelijk om een balk, waarvan de kop zal verwijderd worden, op te takelen aan een ketting. In dat geval heb je een stabiel steunpunt nodig dat hoger ligt dan de balk die gerepareerd moet worden.



FIGUUR 22: schoring door ophanging aan kettingen © Triconsult

Het is uiteraard wel nodig dat de ketting aan dit stabiel ophangingspunt bevestigd kan worden. De balk moet rondom 'vrij' zijn: de ketting moet om de balk gelegd kunnen worden. Het is dus vereist dat de vloer, bevestigd op de balk, verwijderd kan worden, én dat er ook geen plafondbekleding onderaan de balk bevestigd is.

3.4 BIJKOMENDE STABILITEITSWERKEN

Vaak fungeert een balk niet enkel als de drager van een vloerconstructie, maar vormt hij ook een verstijving in een grotere structuur. Balken tussen twee muren zorgen er ook voor dat deze muren bij mekaar gehouden worden. Balken in een dakspant kunnen ook als trekelement fungeren die de spatkrachten van het dak opvangen.

Bij al deze voorbeelden geldt dat de verwijdering van hout uit de balk ertoe leidt dat de balk die stabiliserende functie tijdelijk niet meer kan vervullen. In zo'n geval moet een tijdelijk vervangement worden aangebracht om de ganse structuur toch stabiel te houden tijdens de werken. Dat kan door het aanbrengen van tijdelijke trek-elementen, bijkomende schoringen voor muren, ...

Het past niet in het bestek van deze module om al deze gevallen op te sommen. Het berekenen van zo'n bijkomende versteviging wordt best aan een ingenieur of studiebureau overgelaten. Maar ook bij 'gewone' schoringen is het toch aangeraden dat een architect of studiebureau bekijkt of de schoring wel voldoende is.

Aandachtspunten:

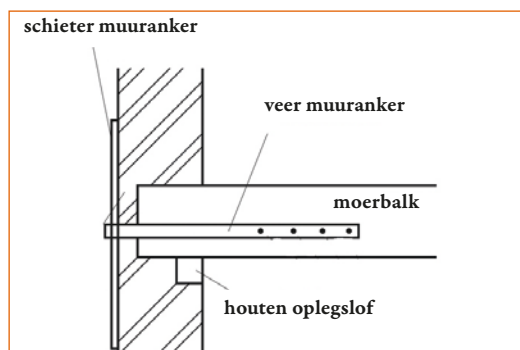
-  *Het schoren van de balk is belangrijk voor de veiligheid op de werf, maar ook voor het maximale behoud van de bestaande structuur.*
-  *De balken dienen, in de mate van het mogelijke, op hun plaats te blijven tijdens de herstelling.*
-  *Neem voldoende 'marge' op de schoring: beter teveel schoren dan te weinig.*
-  *Plaats de schoring op de juiste plaats: de ondersteuning plaatsen onder beschadigde of te verwijderen delen is gevaarlijk en niet zinvol.*
-  *Let op dat de materialen bij het schoren niet beschadigd worden.*

4 BALKKOPRESTAURATIE

4.1 INLEIDING

De restauratie van balkkoppen is ongetwijfeld de belangrijkste en meest voorkomende herstelling die bij houten draagstructuren uitgevoerd wordt. Dat heeft twee redenen:

- De balkkop vormt de verbinding tussen de houten structuur (dakspant, vloerconstructie) en de rest van het gebouw. Deze verbinding is cruciaal voor de standzekerheid van de structuur, en verdient derhalve ook bijzondere aandacht. We willen er hier op wijzen dat balken ook een cruciale rol kunnen vervullen in de stabiliteit van het metselwerk waarin ze opgelegd zijn: balken zijn immers meestal aan het metselwerk verbonden met metalen ankers. Die zitten meestal op de zijkanten van de balk genageld (dit deel van het anker noemen we de ‘veer’), en verdwijnen dan in het



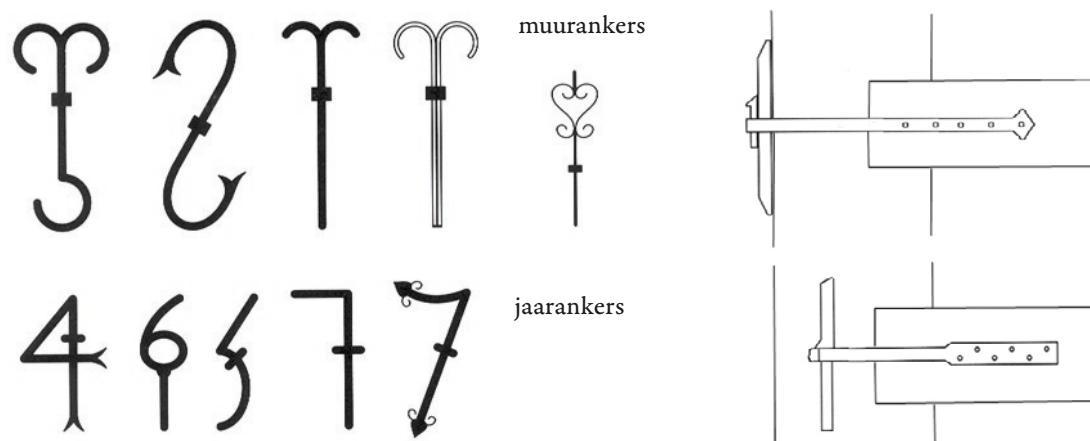
FIGUUR 23: delen van een balkkop en anker



FIGUUR 24: vrijgemaakt, maar initieel ingemetseld, anker © Triconsult

metselwerk. Het einde van het anker kan in een hoek staan (zo wordt het ingemetseld). Soms lopen ankers ook doorheen de ganse muurdikte tot aan de andere kant van het metselwerk, waar ze eindigen in een ‘oog’, waardoorheen een metalen wig zit die soms decoratief vormgegeven is. Dit deel noemen we de ‘schieter’. De functie van deze ankers is om de balk goed te bevestigen aan het metselwerk. Maar tegelijk zorgt deze verankering er ook voor dat de metselwerkmuren aanzienlijk stabiel

zijn. De balken vormen elementen die de metselwerkstructuur verstijven (door de vermindering van de kniklengte van het metselwerk).



FIGUUR 25: (links en rechts) types ankers

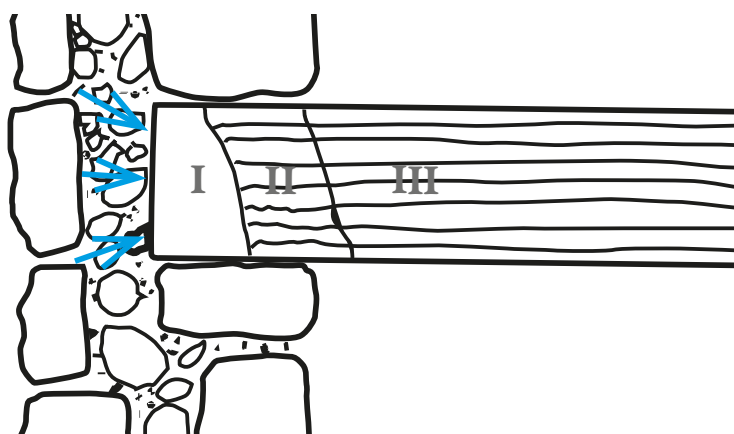
- Balken die in metselwerk opliggen, komen makkelijker in aanraking met vocht. Indien het om buitengevels gaat, dan gaat het om koudere muren, waar de kans op condensatie hoger is.



FIGUUR 26: muurankers © Triconsult



Daarenboven kunnen gevels te lijden hebben onder doorslaande regen, of worden ze vaker nat door lekkende dakgoten of defecte regenwaterafvoerpijpen. Het risico op aanwezigheid van vocht is dus al groter. Bovendien dringt dit vocht langs de kopse kant ook nog eens makkelijker binnen in het hout. Het balkeinde is immers loodrecht op de richting van de vezelrichting van het hout (kops hout) afgezaagd. Via deze weg kan vocht relatief gemakkelijk indringen in de balk. Dit is derhalve ook het deel van de balk dat het snelst zal aangetast worden door schimmels, zwam of insecten, aangezien het op die plaats sneller nat zal worden.

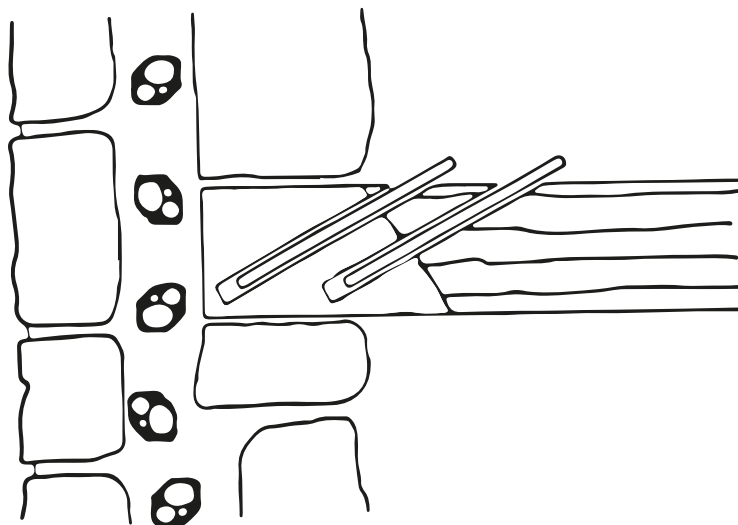


FIGUUR 27: waterindringing preferentieel in het kopse hout.

I=weggerot hout, II=aangetast hout en III= gezond hout

4.2 DIVERSE MANIEREN OM DE STANDZEKERHEID BIJ BESCHADIGDE BALKKOPPEN TE HERSTELLEN

De balkkoprestauratie (zie deel 4.3 en verder) is de meest gebruikte. Hierbij wordt het beschadigde hout verwijderd, en vervangen door een polymeer (een epoxymortel) met wapeningen. Er wordt dan gesproken over een ‘balkkopprothese’.



FIGUUR 28: schema van een balkkopprothese met wapeningsstaven



FIGUUR 29: balkkopprothese bij een zolderbalk. Ook de aansluitende 'kreupele stijl' werd op dezelfde wijze hersteld. © Rewah

Op een vergelijkbare manier worden zo ook beschadigde, meer ingewikkelde ‘knopen’ in houten structuren hersteld, men spreekt dan van een ‘knooppuntprothese’. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van de volgende figuren. Het principe is essentieel hetzelfde als de klassieke

balkkopprothese, maar de uitvoering is wat ingewikkelder. Het is belangrijk om de vroegere ‘scharnierende’ verbinding zo goed mogelijk te benaderen met de nieuwe prothese.



FIGUUR 30: wapening in roestvrij staal, voor een knoopprouthese © Triconsult



FIGUUR 31: wapening in glassvezelversterkt polyester, voor een knoopprouthese © Triconsult



FIGUUR 32: wapening in glassvezelversterkt polyester, voor een knoopprouthese, na opgieten met kunsthars © Fortius

Polymeerchemische herstellingen van hout zijn momenteel de vaakst toegepaste methode, maar het is zeker niet de enige manier om balkkoppren te herstellen. We geven hier kort een aantal andere methodes aan die gebruikt werden of worden.

4.2.1 Injectie met kunstharsen

Bij injectie met kunstharsen werden een groot aantal injectiegaten in het hout geboord. In deze gaten werden injectienippels geplaatst. Via deze nippels werd vervolgens onder druk een kunsthars (typisch een epoxyhars) geïnjecteerd. Dit hars diende door te dringen in alle holtes en scheuren die in het hout zaten. Daar kon het uitharden, en zodoende alle losse delen en vezels, weer aan mekaar 'lijmen'. Het hout kreeg op die manier opnieuw de samenhang die gezond hout heeft.

Het is een techniek die heel erg lijkt op de injectie ter bevordering van de stabiliteit van metselwerk [VANHELLEMONT²]. Bij metselwerk zien we heel vaak de toepassing van deze techniek. De versteviging van hout wordt vandaag evenwel niet meer op deze manier uitgevoerd. De belangrijkste reden hiervoor is dat de kwaliteitscontrole van de injectie niet eenvoudig is. Men kan niet goed nagaan of de injectie wel goed is verlopen. Gezien de cruciale rol van de balken in de stabiliteit van de structuur, is men dan ook afgestapt van deze techniek.

4.2.2 Creatie van een nieuw steunpunt voor de balk

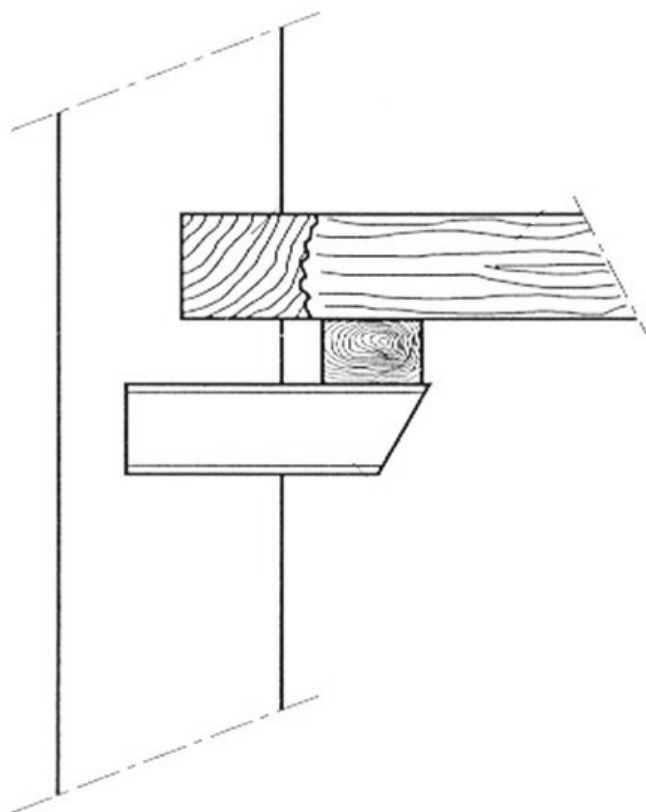
Een beschadigde balkkop kan de krachten, uitgeoefend op de balk, niet meer goed doorgeven aan de rest van de structuur. Het versterken van de balkkop is dan ook een logische, en de meest toegepaste manier, om de structuur te herstellen.



FIGUUR 33: balk met beschadigde balkkop, die op een nieuw betonnen steunpunt ligt © Laboratorium Reyntjens

Een alternatieve benadering kan zijn om een nieuw steunpunt te vervaardigen voor de balk. Het gaat dan om een steunpunt dat ‘uitkraagt’ (een ‘console’): het steekt uit de muur, tot onder een deel van de balk dat gezond is.

Op die manier kan de balk de krachten alsnog aan de muur overdragen.

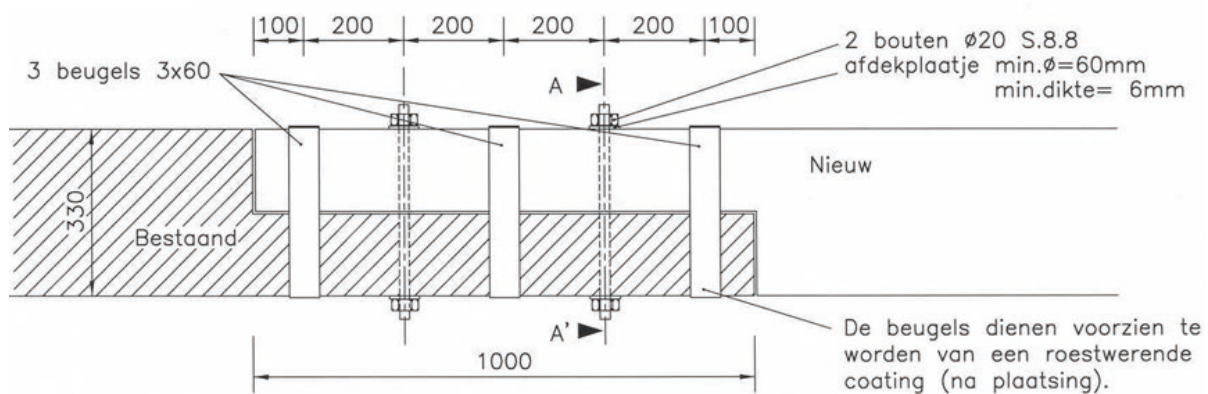


FIGUUR 34: schema van een extra steunpunt voor een balk met aangetaste balkkop

Dergelijke nieuwe steunpunten kunnen vervaardigd worden uit hout, beton of metaal. Het belangrijkste nadeel van deze techniek is dat ze heel zichtbaar is: zo'n bijkomend steunpunt is niet te verbergen. De techniek wordt daarom vooral toegepast bij structuren die niet echt zichtbaar zijn, of waar de zichtbaarheid minder belangrijk is, bijvoorbeeld in dakconstructies. Een bijkomend nadeel van de creatie van nieuwe steunpunten ('consoles') is dat er bijkomende buigende krachten op het metselwerk worden uitgeoefend, dat daarvoor mogelijks onvoldoende draagkrachtig is. Het bijplaatsen van een steunpunt is daarom een ingreep die niet lichtzinnig toegepast mag worden, maar bestudeerd dient te worden door een stabiliteitsingenieur.

4.2.3 Balkkopherstel door houtvervanging

Balkkoppen kunnen ook hersteld worden zonder polymeren. Het beschadigde hout wordt daarbij vervangen door nieuw hout. Het beschadigde hout wordt dan eerst weggehaald, en het resterende balkgedeelte wordt mooi afgezaagd in een regelmatige vorm. Vervolgens wordt een nieuw stuk hout vervaardigd, dat precies past in het hout van de overgebleven balk. Dit nieuwe houten deel wordt niet enkel verlijmd aan het oude hout, maar bovendien extra bevestigd met bouten. Deze bouten worden in veel gevallen aangevuld met metalen beugels zodat de krachtwerking in de verbinding hersteld is (voor het opnemen van zowel de normaalkrachten, dwarskrachten als buigende krachten).



FIGUUR 35: voorbeeld van een schema van balkkopherstel door vervanging van hout, met beugels. Dit is enkel een voorbeeld, afhankelijk van het geval zijn de afmetingen anders



FIGUUR 36: balkkopherstel door vervanging van hout, met metalen beugels © Triconsult

4.2.4 Balkkopherstel door insnoering

Het kan gebeuren dat het hout van de balk niet rot is, maar dat de balk gespleten is waardoor de balk niet draagkrachtig genoeg meer is. In dit geval is het mogelijk om de ganse balk te behouden door hem in te snoeren. Dit is geen nieuwe techniek. Insnoeren werd en wordt uitgevoerd door het aanbrengen van metalen beugels omheen de balk, maar dat is niet altijd esthetisch aanvaardbaar.

Een elegantere methode bestaat eruit om de spleten te injecteren met een epoxylijm. Als bijkomende veiligheid worden de balkkoppes rondom omwikkeld met een in epoxylijm gedrenkt koolstofvezel-versterkt laminaat.

Let op:

☞ *Belangrijk bij kalkkopherstel door insnoering is dat het hout niet geheel ingepakt wordt, zodat vochttransport mogelijk blijft.*

Het injecteren van de scheur, en het vervolgens insnoeren van de balk met koolstofvezelversterkt laminaat, is een relatief eenvoudige methode die nauw aansluit bij de techniek van het opkleven van dergelijk laminaat (zie verder).



FIGUUR 37: insnoering met een metalen beugel © Laboratorium Reyntjens



FIGUUR 38: insnoering met een in epoxy gedrenkt koolstofvezelversterkt laminaat © Triconsult

4.3 BALKKOPRESTAURATIE

4.3.1 Demonteren van de vloerbekleding

Alvorens de balk goed te kunnen inspecteren en te herstellen, dient de eventueel aanwezige vloerbekleding boven de te behandelen balk gedemonteerd te worden. Meestal gaat het over planken, soms ook over parket, en heel soms kan je zelfs terracotta of natuurstenen vloeren op een houten balklaag aantreffen.

- Het demonteren van de vloerbekleding dient zorgvuldig te gebeuren. Meestal is het immers de bedoeling dat de bekleding nadien zoveel mogelijk herbruikt wordt. Allerlei destructieve technieken, die het werk zouden kunnen versnellen, zijn doorgaans niet toegelaten. Het verwijderen van nagels is een belangrijke oorzaak van schade aan de vloerelementen. Het is daarom best om de nagels te laten zitten, en aan de zijkant, tussen de plank en de balk, door te zagen of door te slijpen. De resten van de nagel kunnen, nadat de plank helemaal is gedemonteerd, uit de plank verwijderd worden door deze uit te drijven (hetgeen beter is dan de nagels uit te trekken).
- Ook het losmaken van de planken is vaak een delicaat werk. Vaak zijn planken met een tand-en-groef verbinding aan mekaar bevestigd. Het loswrikken van planken kan daardoor heel wat schade veroorzaken aan de randen van de planken, zeker indien de rand van de groef dun is (wat bijvoorbeeld kan voorkomen bij vloeren die in het verleden opgeschuurd zijn geweest). In dergelijk geval kan men bijvoorbeeld van één plank de tand afzagen, waarna deze verwijderd kan worden zonder de naastliggende planken te beschadigen. De volgende planken kunnen dan verwijderd worden door ze (nadat de nagels zijn doorgezaagd of –geslepen) horizontaal weg te trekken. Het doorzagen van de tand van een plank kan gebeuren via de spleet tussen twee planken, met een dunne zaag (minder dan een millimeter dik).
- Bij het demonteren dienen alle gedemonteerde elementen goed genummerd te worden, en dient hun precieze plaats aangeduid te worden op een plan, teneinde ze nadien op exact dezelfde manier terug te kunnen leggen. Het is immers mogelijk

dat de afmetingen en vorm van de verschillende onderdelen van een bevloering exact hetzelfde lijken, maar het toch niet zijn: heel kleine afwijkingen in grootte en vorm kunnen ertoe leiden dat je een vloerbekleding niet meer kan terugleggen als je de stukken van de bevloering omwisselt.

4.3.2 Demonteren van omliggend metselwerk

Aangezien de aangetaste zone van balken meestal in het metselwerk zit, dient ook dit gedeelte te worden om goed toegang te krijgen tot de balk. Bovendien is dit soms noodzakelijk om een anker goed te kunnen demonteren (zie 4.3.3).

De demontage van het omringende metselwerk dient met de grootste zorg te gebeuren: ook hier is het immers de bedoeling om de stenen zoveel mogelijk te herbruiken. Een volledige recuperatie van de oorspronkelijke bakstenen is echter vaak niet mogelijk, aangezien er dikwijls een aantal bakstenen sneuvelen bij het wegnemen ervan.

Het zorgvuldig recupereren van natuursteen is zo mogelijk nog belangrijker. Indien er natuursteen aanwezig is, dient deze tijdens de demontage ook genummerd te worden, en moet de plaats aangeduid worden op een plan. Natuursteen dient, na hermitselen, op exact dezelfde plaats teruggeplaatst te worden.

Voor de baksteen is het terugplaatsen op de identieke plaats meestal minder cruciaal, tenzij het gaat om baksteen met een bijzondere decoratieve functie.

Wel dient er op gelet te worden dat bakstenen, die oorspronkelijk aan de binnenkant van het gebouw zaten, daar na hermitselen ook weer terecht komen. En hetzelfde geldt voor de bakstenen aan de buitenkant van het gebouw. Dus je kan de bakstenen best ook stockeren volgens de plaats waar ze zich oorspronkelijk bevonden.

Je haalt best zo weinig mogelijk metselwerk weg. Net genoeg om de balk rondom bereikbaar te maken. Doorgaans is het een ruimte van 25 cm rond de balkkop die vrijgemaakt dient te worden.

Indien mogelijk laat je best de gevelstenen, aan de buitenkant van de gevel, zitten:

- de gevelstenen zitten niet in de weg om de herstelling uit te voeren. Sterker nog, ze kunnen helpen om de herstelling gemakkelijker uit te voeren, aangezien ze een ‘natuurlijke’ wand van de toekomstige te vervaardigen bekisting vormen (zie 4.3.7).
- als het metselwerk niet gedemonteerd wordt, hoeft het ook niet gereconstrueerd te worden, en dat komt de authenticiteit van het gebouw enkel maar ten goede.
- Er dient wel een voorziening te worden getroffen opdat het metselwerk niet aan de balk verlijmd wordt. Dat gebeurt door het aanbrengen van een folie (polystyreen of polyethyleen) tussen het metselwerk en de balk, alvorens de herstellmortel aan te brengen (zie 4.3.8). Zo’n folie zorgt er ook voor dat er geen mortel over het metselwerk kan lopen, hetgeen onverwijderbare vlekken zou veroorzaken.

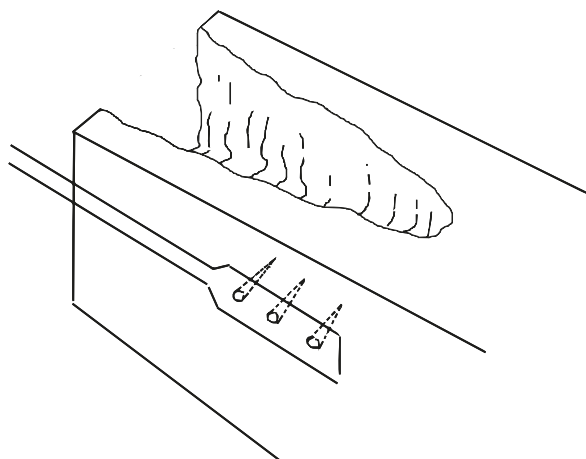
Het demonteren van de steen gebeurt op dezelfde manier als wanneer men metselwerk wil restaureren [VANHELLEMONT²]:

- Inslippen van de voeg indien nodig. Soms is de voeg zodanig verweerd dat inslijpen niet nodig is, en dat je de mortel direct met de beitel kan verwijderen (zie volgend punt). Bij het inslijpen moet men bijzonder voorzichtig zijn voor de stootvoegen, aangezien het onvoorzichtig inslijpen hiervan aanleiding kan geven tot schade aan de boven- en onderliggende bakstenen.
- Zo diep mogelijk weghalen van de mortel met een beitel of pneumatische beitel.
- Normaal gezien moet je dan in staat zijn om de bakstenen één voor één uit het metselwerk te halen.

Het is doorgaans zo dat je enkel naast en boven de te herstellen balk het metselwerk moet demonteren. In principe kan ook het metselwerk onderaan de balk weggehaald worden, zolang de balk maar goed geschoord is (zie hoofdstuk 3 Verzekeren van de standzekerheid tijdens de herstelwerken). Vaak wordt het metselwerk onder de balk niet weggenomen, omdat het niet nodig is.

4.3.3 Losmaken van ankers

Het losmaken van de ankers dient enkel te gebeuren indien het noodzakelijk is! Verderop zullen we zien dat, bij het verwijderen van het beschadigde hout van de balk, er zoveel mogelijk wordt getracht om de buitenkant van de balk te laten zitten. In die gevallen kan je er ook naar streven om het anker (inclusief de bevestiging met nagels) aan de balk te laten vastzitten.



FIGUUR 39: je mag enkel het beschadigde hout weghalen. Als de ankers in goed hout bevestigd zijn, dienen de ankers ter plaatse te blijven.

Indien je het anker toch dient te verwijderen omdat er teveel hout zal weggenomen moeten worden, dan dient dit zorgvuldig te gebeuren, om het anker nadien terug te kunnen gebruiken. Bij het volledig losmaken van het anker worden, in de mate van het mogelijke, de smeedijzeren nagels gerecupereerd. Soms wordt overgegaan op het gebruik van draadstangen om het anker nadien opnieuw te bevestigen.

We willen hier benadrukken dat de ankers een dubbele functie hebben:

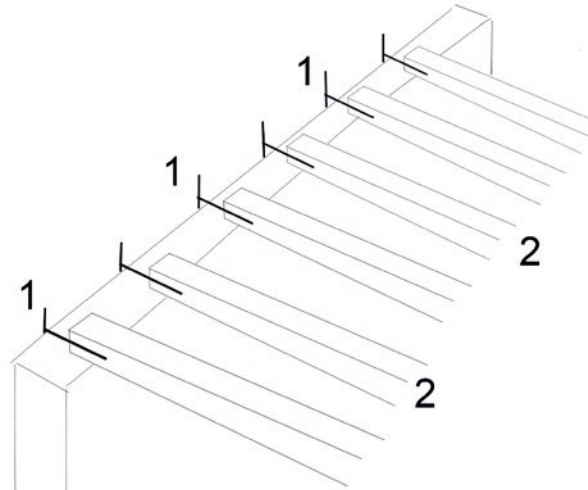
- De balken aan het metselwerk vastmaken.
- Ervoor zorgen dat de balken stabiliserend werken op het metselwerk.

Wanneer de balken goed geschoord zijn, is de stabiliteit van de balken zelf alvast verzekerd. Maar ook het metselwerk dient stabiel te blijven tijdens de werken! Daarom is het aangeraden om, indien er meerdere balkkoppen hersteld moeten worden, niet tegelijk alle ankers van die balken los te maken. Je kan bij voorkeur in twee fasen werken:

- In de eerste fase herstel je alle oneven balken (dus de eerste, de derde, de vijfde, enz.). De stabiliteit van het metselwerk wordt dan verzekerd door alle balken met een even nummering.

- Na de totale voltooiing van de herstelling van de 'oneven' balken (herstel van de balk, aanbrengen van het anker, het herstel van het metselwerk, steeds rekening houdend met de uithardingstijd van de houtherstelmortel en de metselmortel), kan je hetzelfde doen met de even balken. Op dat moment wordt de stabiliteit van het metselwerk verzekerd door de reeds herstelde balken.

FIGUUR 40: je mag niet alle ankers tegelijk losmaken. In fase 1 maak je de helft van de ankers los. Vervolgens herstel je de betrokken balkkoppen en breng je de ankers opnieuw aan. Dan volgt fase 2, waarbij de andere helft van de balkkoppen op een gelijkaardige wijze wordt aangepakt.



Soms is het evenwel praktischer om alle balken tegelijk aan te pakken. In die gevallen kan het nodig zijn om het metselwerk bijkomend te stabiliseren, door het aanbrengen van bijvoorbeeld zijdelingse stutten, of het aanbrengen van tijdelijke trek-elementen. Het is aangeraden om het ontwerp en de berekening van dergelijke tijdelijke constructies over te laten aan een studie bureau of architect.

Samengevat:

 Zowel de vloerbekleding, metselwerk en ankers worden, indien nodig, zorgvuldig gedemonteerd met het oog op de latere terugplaatsing.

Daarom moet je dus zo min mogelijk destructief te werk gaan: slopen, wegzagen, slijpen of hakken moet zoveel mogelijk vermeden worden. Enkel aangetast hout mag verwijderd worden.

4.3.4 Verwijderen van aangetast hout

Het verwijderen van hout gebeurt met een kettingzaag, met een beitel of met een bijl.



FIGUUR 41: verwijderen van aangetast hout met een beitel © Triconsult

Het verdient de voorkeur om zoveel mogelijk hout te laten zitten, zeker het hout aan de buitenkant van de balkkop, ook al is dit hout al aangetast. Met de kettingzaag wordt de balk dus uitgehold, maar blijven de bodem en de zijkanten van de balk zitten. De 'wanden' die je aan de buitenkant van de balk laat zitten, moeten minstens 25 mm dik zijn.

Op die manier vorm je een bekisting, waarin de polymeermortel nadien gestort kan worden. Het voordeel van deze werkwijze is dat het uitzicht van de balk na de herstelling ongewijzigd is gebleven, en je geen lelijke naden ziet.



FIGUUR 42: verwijderen van aangetast hout met een kettingzaag © Triconsult

FIGUUR 43: balkkop met verwijderd beschadigd hout, waarbij de buitenkant van de balkkop aanwezig blijft © Triconsult

Er dient voortdurend beoordeeld te worden of er voldoende hout is weggehaald. Dat kan snel gebeuren door met een priem in het hout te prikken. Indien dit te gemakkelijk gaat, moet er uiteraard meer hout worden verwijderd.

Let bij het wegzagen van het hout steeds op de positie waar de schoring is geplaatst. Als blijkt dat je boven de schoren het hout bent aan het wegnemen, dan dient de balk een bijkomende schoring te krijgen, die een onbeschadigd deel van de balk dient te ondersteunen.

Bij balkkoppen die in hun geheel (ook de zijwanden) echt te sterk zijn aangetast wordt de ganse kop weggezaagd.

4.3.5 Preventieve en curatieve behandeling van hout met biocides

Inleiding

Afhankelijk van het type aantasting van het hout, is het aangeraden om elk spoor van schadelijke organismes te doden. Dat is niet enkel om het gezonde hout een bijkomende bescherming te geven (preventief), maar evenzeer om resterend aangetast maar nog stevig hout gezond te maken (curatief). Je kan immers nooit helemaal zeker zijn dat je werkelijk al het aangetaste hout hebt verwijderd. En bovendien, indien je een balkkopprothese wil vervaardigen met de buitenkant van de balk als verloren bekisting, dan bevat die buitenkant met grote zekerheid nog sporen van de aantasting, die zich weer kunnen ontwikkelen als je deze niet doodt.

De producten die gebruikt moeten worden, zijn afhankelijk van het soort aantasting. Insecten, schimmels en zwammen werden vroeger gedood met bijvoorbeeld lindaan, pentachloorfenol of benzeenderivaten. Hout dat hiermee werd behandeld, was nadien ook beschermd tegen nieuwe aantasting. Deze producten werden destijds met succes toegepast, maar ze zijn tegenwoordig verboden, want ze blijven nadien ook gevaarlijk voor de bewoners of gebruikers van de gebouwen. Je vindt de tegenwoordig toegepaste producten bij fabrikanten voor bouwchemicaliën:

- We onderscheiden de producten op basis van het soort organisme dat ze bestrijden:
 - * fungiciden: conazoles (azaconazole, propiconazole, ...)
 - * insecticiden: permethrines (cypermethrine, deltamethrine, ...)
 - * bactericiden: gauternaire ammonia, ...

- Bij fumigaties ('vergassen' van organismes) worden nog andere producten gebruikt, maar aangezien deze techniek hoogst zelden wordt toegepast in gebouwen, gaan we er hier niet verder op in.

Je kan insecten ook doden door het hout op te warmen tot boven 80°C. Dat is milieuvriendelijker, maar aanzienlijk moeilijker in uitvoering. Bovendien heeft deze opwarming geen preventief effect en is latere aantasting niet uit te sluiten. Meestal wordt deze methode dus niet toegepast.

Een volledige inventaris van methodes en producten voor de behandeling van aantastingen kan je vinden in [VEROUGSTRAETE, RACM¹, RACM²]. Specifiek voor de behandeling van schimmel-aantasting verwijzen we naar [DINNE].



FIGUUR 44: behandelen van hout met een biocide © Triconsult

Vorbereiding van de ondergrond – omgevingsomstandigheden

Je brengt deze producten pas aan zodra al het gedetecteerde aangetast hout is verwijderd. Dat is de beste garantie dat het product overal in nog mogelijks aangetaste zones doordringt. Vooral het product aangebracht wordt, dient het hout zuiver gemaakt en ontstoft te worden.

Het hout dient bij voorkeur droog te zijn. Nat hout kan immers niet zoveel product absorberen wat de behandeling minder efficiënt maakt. Zeker bij werven in buitenlucht dien je het hout dus van tevoren te beschermen, zodat het kan drogen en niet meer nat wordt.

Aanbrenging en veiligheidsmaatregelen

- Biocides kunnen zowel met een rol of kwast aangebracht worden, als op het te behandelen oppervlak gesproeid worden (niet vernevelen!). Deze producten zijn giftig, hetgeen logisch is, aangezien het doel is om organismen te doden. Daarom dien je uiterst voorzichtig te zijn bij de toepassing, zeker als je het product versproeit. In buitenlucht dien je een bijkomende bescherming aan te brengen, zodat het product niet kan wegwaaien. Maar ook binnen in een gebouw is het van het grootste belang dat je voorzichtig te werk gaat, met handschoenen, een masker en veiligheidsbril.
- Bij het aanbrengen volg je steeds nauwgezet de aanbevelingen van de fabrikant. Ook wat betreft het aantal bevloeiingen of behandelingen. Deze zullen de uiteindelijke efficiëntie bepalen van het product, en zijn indringdiepte.



FIGUUR 45: boren van gaten in metselwerk voor de injectie van metselwerk met een biocide (links). Injecteren van metselwerk met een biocide, in een boorgat (rechts) © Triconsult

- In geval van aanwezigheid van huiszwam is het nodig om naast het hout ook het omringende metselwerk te behandelen. Dit metselwerk bevat grote hoeveelheden sporen van de zwamaantasting. De sporen van deze organismes zullen, na de balkkopherstelling, de balkkop niet meer aanvallen. Maar hun aanwezigheid kan op termijn toch leiden tot aantasting van andere houten elementen in het gebouw. Met de behandeling van het metselwerk, dood je ook deze sporen. Er dient

nagegaan te worden of het behandelingsproduct geschikt is om te injecteren in metselwerk. Maar door de moeilijkheidsgraad van dit werk (injectie in metselwerk is altijd onzekerder dan behandeling van hout) wordt dit doorgaans aan specialisten overgelaten. Meer info hierover vind je in [RACM¹]. Na het injecteren van metselwerk wordt het product doorgaans ook nog eens op de oppervlakte van het metselwerk aangebracht.

Aandachtspunten:

-  *Een behandeling met biocides moet zo compleet mogelijk gebeuren: beter teveel hout en metselwerk behandelen, dan te weinig.*
-  *De aanbrenging gebeurt voornamelijk aan de oppervlakte van de te behandelen materialen. Soms wordt voorgeschreven om het te injecteren.*
-  *Hou er rekening mee dat dit giftige stoffen zijn: zorg ervoor dat de producten niet kunnen wegwaaien of wegdruppelen naar elders. Een bescherming van de werkplaats kan nodig zijn.*
-  *Bescherm ook jezelf zoveel mogelijk, met persoonlijke beschermingsmiddelen zoals beschermende kledij, handschoenen, masker en veiligheidsbril.*

4.3.6 Wapening

Waarom wapening gebruiken?

Hierboven werd reeds vermeld dat hout een vezelachtige structuur heeft, en dat dit verantwoordelijk is voor de grote treksterkte die hout heeft. De polymeren die we gebruiken om het hout te herstellen, hebben een hoge druksterkte, maar in principe ook een zekere treksterkte. Op die treksterkte wordt doorgaans slechts in beperkte mate gerekend.

We rekenen ook best niet op de hechtsterkte die er bestaat tussen de polymeerherstelling en het hout, hoewel die in principe niet slecht mag zijn. In de polymeerherstelling dient daarom wapening geplaatst te worden. De werking van die wapening is gelijkaardig aan de wapening in beton: de wapening dient in de eerste plaats om dwarskrachten en trekkrachten in de balk op te nemen, aangezien het onveilig is om hiervoor op het beton zelf te rekenen. Soms dient de wapening ook om scheer- of drukkrachten op te nemen, maar dat komt niet zo vaak voor.

Materialen

Volgende materialen kunnen gebruikt worden om de balkkopprothese te wapenen:

- **Staal.** Bij gebruik van dit materiaal is het belangrijk om het staal, vooraleer het ingelijmd wordt in de balken, te voorzien van een epoxylaag en vervolgens onmiddellijk in te strooien met zand.
 - * De epoxylaag heeft een zeer specifieke bedoeling: men merkt in de praktijk dat, indien deze niet wordt aangebracht, er een microscheurtje ontstaat tussen de epoxyherstelling en het staal. Aangezien staal een goede geleider is en aangezien de wapening in contact staat met koude muren, bestaat er een risico dat er in de fijne scheur tussen het staal en de epoxy, condens ontstaat. Daardoor kan het staal beginnen corroderen en op lange termijn de herstelling in gevaar brengen. Hout bevat trouwens zuren die dergelijke corrosie nog kunnen versnellen. De epoxycoating fungeert dus als een roestwerende beschermingslaag voor de staaf.
 - * Het instrooien van de epoxylaag met zand heeft dan weer als specifieke bedoeling om de hechting tussen de wapeningsstaaf en de epoxyherstelling te vergroten.

- **Glasvezelversterkte polyesterstaven.** De glasvezels in deze staven zorgen voor de treksterkte, het polyester is het bindmiddel tussen de glasvezels. Dergelijke staven kunnen niet met moffen verlengd worden, hetgeen in de praktijk vaak toch nodig is. Het is immers niet steeds mogelijk om te werken met overlapping van staven. Maar aan de andere kant hebben deze staven het voordeel dat ze niet kunnen corroderen. Als deze staven gebruikt worden, dan moeten ze opgeruwd worden: de hechting tussen polyester en epoxy is immers erg slecht, een gladde polysterstaaf kan daarom veel te gemakkelijk uit de epoxymortel getrokken worden.
- **Roestvast staal.** Bij dit staal bestaat er geen risico tot corrosie van het materiaal. Bovendien kan je het materiaal als draadstang verkrijgen, waardoor je ook moffen kan gebruiken om de staven te verlengen.



FIGUUR 46: glasvezelwapening verlijmd in de balkkop (links) en wapening in roestvast staal (rechts) © Triconsult

Het maken van de gaten voor de wapening.

De wapening moet bevestigd worden in het nog resterende stuk van de balk. Het deel dat uit de balk steekt, wordt nadien in de herstmortel ingebed. Na uitharding van de herstmortel fungeert de wapening dan als verbinding tussen de herstelling en het oorspronkelijke hout. Langs daar worden dan de krachten overgedragen.

Vijf parameters zijn hierbij van belang:

- **Aantal staven.** Hoe meer staven, hoe meer kracht er opgenomen kan worden (op voorwaarde dat ze juist geplaatst zijn).
- **Exacte plaats** van de wapening. Die wordt normaal gezien bepaald door de architect of een studiebureau. Je dient je nauwkeurig te houden aan die gegevens: het vermogen van een wapeningsstaaf om een kracht op te nemen, hangt immers af van de exacte plaats in de balk. Indien er bijvoorbeeld trekkrachten onderaan de balk optreden (wat gebeurt als er een buigkracht op de balk wordt uitgeoefend), dan dient de wapeningsstaaf ook onderaan de balk aangebracht te worden, opdat ze die trekkracht kan opnemen.



FIGUUR 47: maken van een schuin boorgat © Triconsult

- **Exacte oriëntatie van de staaf.** Indien voorgeschreven is dat ze schuin aangebracht dient te worden, dan is het niet de bedoeling dat ze horizontaal wordt ingeboord, of omgekeerd, aangezien ook de richting van de staaf bepaalt in hoeverre ze krachten kan opnemen.
- **Lengte van de staaf.** Het is de bedoeling dat de staaf de krachten overdraagt op het hout of op de epoxyherstelling. Hoe langer de staaf, hoe meer kracht er kan overgedragen worden van het ene materiaal naar het andere. Het is dus belangrijk

dat je de lengte, die wordt voorgeschreven, respecteert, en dat het gat voldoende diep wordt geboord.

- **Diameter van de staaf.** Hoe dikker de staaf, hoe meer kracht ze kan opnemen. Ook hier is het dus duidelijk dat je de voorgeschreven dikte van de staaf dient te respecteren. Een te dunne wapeningsstaaf kan resulteren in een te zwakke herstelling.

De wapeningsstaven worden aangebracht in voorgeboorde gaten:

- Boor deze gaten altijd met een boor die een diameter heeft die groter is dan de vereiste staafdiameter! De boordiameter wordt normaal gezien opgegeven door de architect of het studiebureau. Dat zal nadien de bevestiging van de wapeningsstaven vergemakkelijken, en zorgt ervoor dat er voldoende ruimte rondom de staaf is voor de epoxylijm.
- Het schuin inboren van gaten gaat meestal wel vlot. Anders is het indien gaten hori-



FIGUUR 48: haakse boor (links) en voorgeboorde wapeningsgaten (rechts) © Triconsult

zontaal geboord dienen te worden. Een haakse boor kan dit werk vergemakkelijken.

- Indien er horizontale gaten geboord worden, dienen er ook hulpgaten of -kanalen gemaakt te worden: deze dienen voor het opgieten van de epoxy in de horizontale gaten en vergemakkelijken het laten ontsnappen van lucht als de staaf in het gat wordt gebracht (zie verder).
- Na het boren dienen de boorgaten gereinigd te worden, bij voorkeur met perslucht.

Het inlijmen van de wapening

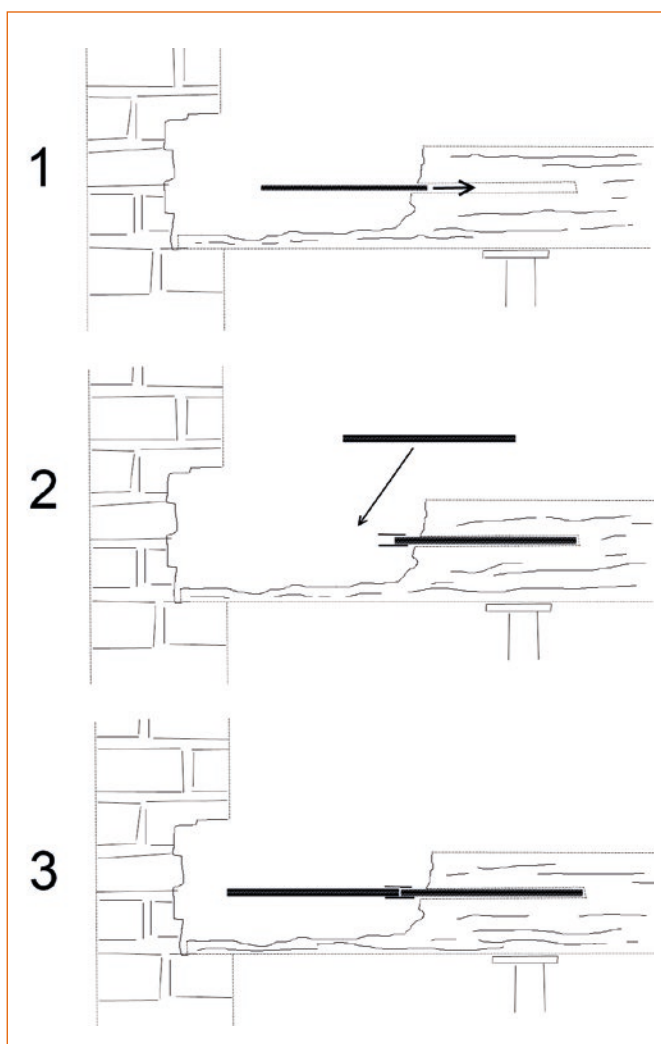
De wapening wordt ingelijmd met epoxygebonden lijmen. Raadpleeg hiervoor steeds de documentatie die de lijmfabrikant opgeeft, en respecteer de mengverhoudingen tussen het hars en de verharder. Probeer ook zoveel mogelijk de omgevingsomstandigheden die de fabrikant vermeldt, te respecteren, teneinde een optimale verlijming te bekomen.

Het hout dient droog te zijn, de boorgaten ontstof, en de temperatuur ligt ideaal tussen 15°C en 20 °C (hangt af van het gebruikte product). In deze omstandigheden bedraagt de hardingstijd van de lijm minder dan een dag. De temperatuur mag zeker niet lager dan 5°C liggen!

De lijm kan opgegoten of geïnjecteerd worden in het boorgat.

- Bij gaten die schuin naar onder lopen kan je de lijm langzaam opgieten, zodat die dan automatisch terechtkomt in het diepste deel van het boorgat, zonder lucht in te sluiten.
- Voor horizontale gaten kan het nuttig zijn om een indikkingsmiddel te gebruiken, om de lijm visceuzer ('dikker') te maken. Op die manier zal de lijm niet uit het gat lopen. Breng de lijm dan aan met een injectiespuit. Deze dient zo diep mogelijk in het gat (eventueel verlengen met een kunststofslang) gebracht te worden om insluitsels van lucht te vermijden. Tijdens het injecteren van de lijm kan je langzaam de injectiespuit terugtrekken.
- Een andere manier om een horizontaal gat te vullen met lijm is door gebruik te maken van een vooraf geboord hulpkanaal (zie boven).

Vervolgens kan de wapeningsstaaf helemaal in het gat worden gebracht met een draaiende beweging. Soms is er rond de te herstellen balkkop niet voldoende ruimte (tengevolge van andere balken of muren) om een voldoende lange staaf in het gat te schuiven. In dat geval dient een mofverbinding toegepast te worden. Van zodra de staaf diep genoeg in het boorgat is ingebracht, kan de mof worden aangebracht. Op de mof kan vervolgens een nieuwe staaf aangebracht worden om aldus een grotere effectieve staaflengte te bekomen.



FIGUUR 49: toepassing van een mof bij inbrengen van lange wapeningsstaven indien er niet voldoende ruimte is



FIGUUR 50: staven met mof, voordat ze in het boorgat worden ingelijmd © Triconsult

Het is belangrijk dat de staven ingelijmd worden, en niet zomaar in het gat worden geklopt! Soms zie je immers dat men gaten boort die exact dezelfde diameter hebben als de wapeningsstaven, waarna vervolgens de wapeningsstaven worden ingehamerd.



FIGUUR 51: staven met mof, nadat ze in het boorgat werden ingelijmd © Triconsult

Dat heeft twee grote nadelen:

- De kans is groot dat je, ergens halfweg, de staaf niet verder meer krijgt. Op die manier steekt de staaf niet diep genoeg in de balk, en kan de overdracht van de krachten tussen de staaf en de balk niet goed gebeuren.
- Hout ‘werkt’. Dat wil zeggen dat het, met schommelingen in de relatieve luchtvochtigheid, een beetje kan uitzetten, of inkrimpen. Het zou dan kunnen dat de wapeningsstaaf op een gegeven moment minder stevig vastgeklemd wordt in de balk, en dat ze er uitgetrokken kan worden.

Het gebeurt dat, nadat de staven ingelijmd zijn, ze extra steun dienen te krijgen van schroefjes of nagels in de bekisting. Die zorgen ervoor dat de staven op hun plaats blijven tijdens het storten van de herstelmortel.

Aandachtspunten:

- ☞ *Het bepalen van de hoeveelheid wapeningsstaven, hun lengte en hun richting, is een berekening die je aan een architect of studiebureau dient over te laten.*
- ☞ *Het is van belang dat je de richtlijnen van deze specialisten heel nauwgezet opvolgt, want dat zal het uiteindelijke draagvermogen van de balk bepalen. Normaal gezien moet je de volgende informatie krijgen opdat je de wapening goed kan aanbrengen:*
 - * *de inboordiepte*
 - * *de staafdiameter*
 - * *de te gebruiken materialen*
 - * *de plaats en de richting van de staven.*
- ☞ *De staven worden altijd in voorgeboorde gaten ingelijmd. De diameter van deze gaten moet groter zijn dan de staafdiameter.*
- ☞ *Wat zeker niet mag is de staven inkloppen (zonder verlijmen) in een boorgat met dezelfde diameter als de ankerstaaf.*

4.3.7 Bekisting

Aangezien de restauratiemortel enigszins vloeibaar is, is het nodig dat er een bekisting wordt aangebracht, om de mortel op zijn plaats te houden totdat deze uitgehard is.

De restauratiemortels zijn epoxygebonden. Epoxy is een materiaal dat bijzonder goed hecht op hout. Een houten bekisting zal dus meestal een verloren bekisting zijn: ze moet ter plaatse blijven als de herstelling is uitgevoerd. Daarmee moet rekening gehouden worden bij het vervaardigen van de bekisting.

- Indien de bekisting nadien toch weggenomen dient te worden, wordt ze ingesmeerd met paraffine, of bekleed met kunststof folie. De herstellmortel zal dan niet hechten op het hout, waardoor de bekisting, na het uitharden van de mortel, weggenomen kan worden.

- Indien men de wanden van de balkkop heeft behouden, dan is de bekisting al aanwezig. Indien evenwel alle hout van de balkkop verwijderd diende te worden, dan zal een nieuwe bekisting uitgevoerd moeten worden. Deze wordt vervaardigd in hetzelfde hout als de balk. De bekisting dient ook zo aangebracht te worden dat de vezelrichting van het bekistinghout dezelfde is als die van de balk. Ook moet de bekisting dan in hetzelfde vlak als de bestaande wand van de balk worden aangebracht, om te vermijden dat de herstelling dikker is dan de balk.

FIGUUR 52: controle van de bekisting en de wapening, alvorens op te gieten met herstmortel © Triconsult



- Enkel indien het uitzicht van de herstellende balk verborgen zit en niet van belang is, doet het materiaal van de bekisting er ook niet toe. De bekisting kan dan bijvoorbeeld ook van spaanplaat vervaardigd worden. Of er wordt een bekisting gebruikt die, na uitharding van de epoxymortel, volledig weggehaald kan worden.
- Indien men de hechting van de houten bekisting op de uitgeharde mortelmasse nog wil vergroten, kan men eventueel overgaan op het aanbrengen van talrijke nageltjes (in roestvrij staal) aan de binnenkant van de plank, die nadien als bekisting wordt gemonteerd.
- De nieuwe bekisting dient nauw aan te sluiten bij het resterende hout van de balk, om te vermijden dat de epoxymortel door lekken naar buiten druip, en de balk of andere delen van het gebouw bevuilt. De mortel laat vlekken na die niet eenvoudig te verwijderen zijn. De bekisting wordt aangebracht met behulp van lijmkneden (lijmtangen).



FIGUUR 53: glasvezelwapening en bekisting. Merk rechts de nagels in de bekisting op. Deze zorgen voor een betere hechting met de epoxymortel © Triconsult

- Alle naden tussen planken, en tussen plank en balk, dienen zo goed mogelijk gedicht te worden met mastiek, en eventueel geparaffineerd, om ze zo lekdicht mogelijk te krijgen.
- Zorg voor een voldoende ondersteuning van de bekisting! Als de epoxymortel in de bekisting wordt gegoten kan deze een aanzienlijk gewicht vertegenwoordigen. Als de bekisting niet voldoende ondersteund is, kan ze openbarsten.
- Om te vermijden dat er teveel herstelmortel in en op het metselwerk terecht komt, en om te vermijden dat het metselwerk ‘verlijmd’ wordt aan de herstellende balkkop, is het aangewezen om in het gat in het metselwerk een polystyreen- of polyethyleenfolie te plaatsen. Dat gaat een stuk makkelijker als je dit doet alvorens de wapening aan te brengen.
- Je bouwt de bekisting pas op nadat de wapening is aangebracht. De bekisting kan het boren van de gaten, en het inlijmen van de wapening, erg bemoeilijken. Het aanbrengen van de polystyreen- of polyethyleenfolie in het balkgat in het metselwerk kan je eventueel nog doen voor het inlijmen van de wapening.
- Indien er een wand van het oorspronkelijke hout als bekisting wordt genomen, dan is het van belang om deze aan de buitenkant te bekleden met klei of latexrubber. Op die manier stop je gaatjes (bijvoorbeeld uitvliegopeningen van insecten) en scheurtjes dicht, zodat er geen mortel meer uit kan lekken.



FIGUUR 54: polystyreenfolie tussen het metselwerk en de nog op te gieten balkkop, om hechting van de balkkop aan het metselwerk te vermijden
© Triconsult

- Eventueel kan nu ook het ontroeste en behandelde anker al opnieuw aangebracht worden: daarbij kunnen de gerecupereerde smeedijzeren nagels gebruikt worden. De nagels steken op die manier in de lege ruimte die nadien met de herstelmortel opgegoten wordt. Zo worden ze ‘bevestigd’ in de balkkopprothese. Vaak wordt evenwel het anker pas aangebracht nadat de balkkopprothese is uitgehard. In dat geval dient een andere werkwijze gevolgd te worden (zie 4.3.9. behandelen en terugplaatsen van het anker).

Aandachtspunten:

- ☞ *De herstelling dient zo onzichtbaar mogelijk te zijn. In de mate van het mogelijke behoud je dus de buitenkant van de oorspronkelijke balk.*
- ☞ *Indien dat niet kan, dan moet de bekisting zo worden gemaakt dat ze zo nauw mogelijk aansluit bij de balk, uit dezelfde houtsoort bestaat, en dat de vezelrichting van het bekistingshout hetzelfde is als dat van de balk.*
- ☞ *De bekisting dient zo goed mogelijk aan te sluiten bij de balk om lekken te voorkomen.*
- ☞ *Met bijkomende hulpmiddelen (ondersteuning, lijmkleem) dient de bekisting stabiel gehouden te worden: deze moet in staat zijn om het gewicht van de nog niet uitgeharde houterstelmortel te kunnen dragen.*

4.3.8 Het herstel van de balkkop met houtrestauratiemortel

De producten die worden gebruikt voor houtrestauratiemortels bevatten drie componenten:

- het epoxyhars zelf
- een verharder
- een inert vulmateriaal (granulaat), hetgeen ervoor zorgt dat het volume te gebruiken epoxyhars kan verminderd worden, want dit is vrij duur. Bovendien zorgt het vulmateriaal voor een verlaagde krimp en voor een grotere stijfheid van de herstelling.

Het is aangeraden om deze drie componenten bij dezelfde fabrikant te bestellen, aangezien de fabrikant zijn product heeft geoptimaliseerd volgens een eigen samenstelling.

- De voorgeschreven onderlinge verhoudingen dienen gerespecteerd te worden. Sommige fabrikanten leveren dit aan in voorgedoseerde verpakkingen, wat in principe vergissingen zou moeten uitsluiten.
- De samenstelling van de huidige herstelmortels is veelal geoptimaliseerd zodat grote volumes ineens opgegoten kunnen worden, zonder dat er teveel warmte wordt geproduceerd bij het uitharden. Maar ga toch steeds goed na wat de fabrikant voorschrijft bij de maximale hoeveelheid aan te maken en aan te brengen herstelmortel. Er bestaan immers herstelmortels die toch heel veel warmte produceren bij het uitharden. Als je dan teveel herstelmortel hebt aangebracht, dan bestaat het risico dat de mortel, door zijn eigen hitte, verbrandt.
- Vooraleer je begint met het mengen van de mortel, controleer je goed of de omgeving van de balkkop beschermd is met plastic folies en waar nodig vastgemaakt met stevige tape (vinyltape bvb). De mortel is immers heel moeilijk verwijderbaar.



FIGUUR 55: menging van de restauratiemortel © Triconsult

- De mortel wordt gemengd met een handmixer (een gelijkaardig apparaat dat ook voor het mengen van pleister wordt gebruikt). Probeer goed in te schatten hoeveel mortel je nodig hebt, zodat je niet teveel aanmaakt. De mortel hardt immers relatief snel uit, en overschotten kunnen niet gerecupereerd worden. Bij 15°C kan je de mortel gedurende ongeveer een uur nog gieten en bewerken. Als het warmer is, hardt de mortel sneller uit.
- Met deze mortel wordt de bekisting tot aan de rand gevuld, en vervolgens geëgaliseerd met bijvoorbeeld een houten blok.



FIGUUR 56: storten (links) en egaliseren (rechts) van de restauratiemortel © Rewah en Triconsult

- De mortel is normaal gezien volledig uitgehard na ongeveer 24 uur. Als er niet wordt gewerkt met een verloren bekisting, kan deze dan ook weggehaald worden.



FIGUUR 57: resultaten zonder verloren bekisting. Rechts een herstelling waar de nieuwe balkkop een overdikte heeft ten opzichte van de oorspronkelijke balk © Triconsult

- Epoxy is een hardnekkig goedje, dat niet zo eenvoudig te verwijderen is van gereedschap. Nog niet helemaal uitgeharde epoxy kan je verwijderen met aceton of MEK (methyl-ethyl-keton). Uitgehard epoxy kan verwijderd worden met een brander, of eventueel door het gebruik van methyleenchloride. Epoxyharsen verwijderen gebeurt best buiten. De gezondheidsrisico's zijn immers groot. Wees dus voorzichtig, adem de solventen niet in, en draag steeds beschermende kledij en andere noodzakelijk persoonlijke beschermingsmiddelen als je het toepast.

Aandachtspunten:

- ☞ *Respecteer altijd de voorschriften van de fabrikant van de herstelmortel. De mengverhoudingen van hars, vulstoffen verharder, de maximale verwerkingstijd, en de omgevingstemperatuur en –vochtigheid zullen bepalen in welke mate de herstelling de krachten op de balk zal kunnen opvangen.*
- ☞ *Gebruik het goede gereedschap (geschikte mengstaaf en machine) om te mengen: de herstelmortel is immers vrij stug, maar dient toch goed gemengd te worden voor een goede verharding. Dat kan enkel met het juiste gereedschap.*
- ☞ *Wees voorzichtig met de mortel, en mors zeker niet. Zorg voor een goede bescherming van de omgeving.*



FIGUUR 58: resultaat met eikenhouten verloren bekisting, aangesloten door middel van een liplas aan de oorspronkelijke balkgesloten aan de balk
© Triconsult

4.3.9 Nabehandeling

Van zodra de mortel is uitgehard, en de herstelde balkkop op een goed stabiel stuk metselwerk ligt, kan de schoring van de balk weggenomen worden.

Indien, bij de voorbereidende werken (zie 4.3.2) ook het metselwerk onder de balkkop werd gedemonteerd, dan dient dit uiteraard eerst hermitseld te worden, alvorens de schoring weg te nemen.

Behandelen van de verloren bekisting

Een verloren bekisting zal altijd zichtbaar blijven, ook als exact hetzelfde hout werd gebruikt, en ook als de richting van de houtvezel van de bekisting dezelfde is als die van de balk. Toch dient er zoveel mogelijk naar gestreefd te worden om de verloren bekisting op het hout van de balk te laten lijken.



FIGUUR 59: resultaten met een eikenhouten verloren bekisting © Rewah



Na uitharding van de epoxymortel, en het wegnemen van de steunen voor de bekisting, dient dus nog het volgende gedaan te worden:

- Bewerken van de bekisting, door middel van beitel en schuren, om de profilering van de balk door te trekken in de bekisting. Als de houten balk bijvoorbeeld afgeronde hoeken heeft, dan wordt dit doorgetrokken naar de bekisting.
- Bijkleuren van de bekisting, door middel van een beits. Hou er rekening mee dat je zelden een exacte gelijkenis met het oorspronkelijk hout zal kunnen bekomen.



FIGUUR 6o: bijgeprofileerde (afgeronde hoeken) en bijgekleurde verloren bekisting © Triconsult

Hermetselen van het metselwerk rondom de balkkop

Het hermitselen gebeurt

- met een mortel die zoveel mogelijk aansluit bij de mortel waarmee het gebouw oorspronkelijk werd opgetrokken. Dat mortelrecept dient achterhaald te worden.
- zoveel mogelijk met de bakstenen van het weggenomen metselwerk. De stenen komen in de mate van het mogelijk opnieuw terecht op hun oorspronkelijke plaats.

Belangrijk is vooral dat stenen, die aanvankelijk aan de binnenkant van het gebouw zaten, niet aan de buitenkant terechtkomen, en omgekeerd.

De bakstenen dienen van tevoren ontdaan te worden van mortelresten, en zuiver gemaakt te worden.

Het herbruiken van zwaar beschadigde of verweerde bakstenen is uiteraard niet wenselijk. Recuperatiebaksteen van andere gebouwen kan dan gebruikt worden.

Het is aangewezen om na te gaan of de herbruikte bakstenen geen zouten bevatten [VANHELLEMONT²]. Indien nodig, dient toch andere baksteen gebruikt te worden, of dienen de zouten uit de baksteen verwijderd te worden door spoeling.

Soms dient een houten verdeelplaat (een oplegslof) onder de balkkop ingemetseld te worden. Dat is vooral van belang indien de balkkop zich vlak boven een gevelopening bevindt: de verdeelplaat zorgt er dan voor dat de kracht van de balkkop op het onderliggende metselwerk, verspreid wordt over een groter oppervlak. De dikte en breedte van de plank dient voldoende groot te zijn, anders kan de kracht niet goed worden overgedragen op het metselwerk. De stabiliteitsingenieur dient te melden hoe groot en dik de oplegslof dient te zijn.

Indien gewenst kan er een luchtspleet naast en boven de balkkop behouden blijven, zodat het risico op condens op en in de balk afneemt. De balk kan dan ‘ademen’ en eventueel vocht in de balkkop blijft dus niet opgesloten. Dat is enkel nuttig indien er nog hout in het metselwerk zit. Indien het deel van de balkkop in het metselwerk vooral uit epoxyherstelling bestaat, dan is zo’n luchtspleet minder zinvol.

Aangezien het goed maken van zo’n luchtspleet vrij lastig is, brengt men vaak in de plaats hiervan een kunststof folie aan tussen de balkkop, en het her op te metselen metselwerk.

Tegelijkertijd met het hermitselen van het metselwerk dient het anker aangebracht te worden (zie hieronder). Dit dient mee ingemetseld te worden in de gevel.

Indien er metselwerk onder de balkkop hermitseld dient te worden, dan dient de mortel eerst uit te harden, alvorens de schoring van de balkkop weg te nemen. Die hardingstijd is ongeveer een maand. Maar dit komt eigenlijk nauwelijks voor: metselwerk onder de balkkop wordt meestal niet gedemonteerd. En als het toch gebeurt, dan wordt er bij het hermitselen een oplegslof onder de balkkop geplaatst, alvorens het metselwerk opnieuw op te metselen. Die zorgt dan voor steun voor de balkkop zolang de metselmortel nog niet is uitgehard.



FIGUUR 6I: hermetselde zone rond de balkkop, met vernieuwde balkslof © Triconsult

Behandeling en terugplaatsen van het anker

De ankers, ongeacht of ze weggenomen werden of ter plaatse bleven, dienen ontroest te worden. Meestal gebeurt dat door ze lokaal op te schuren, of door te zandstralen. Bij dit laatste moet je wel opletten dat het omringende metselwerk niet beschadigd wordt. Na het ontroesten wordt een roestbindende coating op het anker aangebracht, die voor een blijvende bescherming van het anker zorgt.

Weggehaalde ankers dienen teruggeplaatst te worden met behulp van de gerecupereerde smeedijzeren nagels of met bouten uit roestvrij staal, of met roestvrije draadstangen. Deze worden ingelijmd in de herstellde balkkop. De lengte en de diameter van de bouten is van belang, aangezien zij de krachten van het metselwerk zullen overdragen naar de balkkop. De lengte en diameter dienen dus vooraf opgegeven te worden door de architect of het studiebureau.

De procedure is zoals gebruikelijk:

- Inboren van gaten die iets groter zijn dan de diameter van de bout of draadstang.
- Aanbrengen van epoxylijm.
- Inbrengen van de bouten of draadstang, doorheen de gaten in het anker, in het boorgat van de balk.

Nadat de balkkopprothese is gemaakt, kan je bij het aanbrengen van het anker geen gebruik maken van de gerecupereerde smeedijzeren nagels: deze zijn immers niet geschikt om genageld te worden in een reeds uitgeharde epoxy mortelmassa, die veel te hard is.

De ankers dienen vaak nog onder mechanische spanning gebracht te worden. Indien dat niet gebeurt, dan is het mogelijk dat het metselwerk en de balken nog té grote bewegingen kunnen maken.

- Het onder spanning brengen gebeurt vaak door het verwarmen van de ‘veer’ van het anker met een vlam, zodat deze uitzet. Van zodra de veer voldoende warm is, wordt de ‘schieter’ door het oog van de veer aangebracht. Als de veer terug afkoelt krimpt deze in, en drukt de schieter stevig tegen het metselwerk. Op die manier komt het anker onder spanning, en vormen de balk en de muur een stevig geheel. Let op: zowel hout (zeker als het oud en verweerd is) en epoxy zijn erg warmtegevoelig en brandbaar, dus dit werkje moet met de grootste omzichtigheid worden uitgevoerd!
- Een andere manier om het anker onder spanning te brengen is door gebruik te maken van spieën of een spievormige schieter.

FIGUUR 62: het metselwerk toont een bestaand anker waarbij de schieter reeds aanwezig is. Dit is geen goede manier: zo kan het anker niet onder spanning worden gezet.



Samengevat:

Hoewel het om een ‘nabehandeling’ gaat, is het goed uitvoeren ervan van groot belang om een goede herstelling te bekomen: de nabehandeling gaat immers niet enkel over de esthetiek, maar ook over de kwaliteit van de herstelling:

- ☞ Het uitzicht van de verloren bekisting dient zo goed mogelijk aan te sluiten bij dat van de oorspronkelijke balk.*
- ☞ Het metselwerk dient identiek aan de oorspronkelijke situatie opgemetseld te worden. Het dient in staat te zijn om alle krachtswerkingen op te nemen, van zodra de schoren voor de balk zijn weggenomen.*
- ☞ Het anker dient beschermd te worden tegen roesten, en dient de krachten tussen de balk en het metselwerk over te dragen.*

5 OPLIJMEN VAN DRAGENDE BALKEN

5.1 INLEIDING

Het oplijmen van metalen platen, houten balken, of koolstofvezelversterkte laminaten, op bestaande houten balken, gebeurt omwille van verschillende redenen:

- ▷ Door verwerking, aantasting of optreden van barsten kan de balk draagkracht verloren hebben, die hersteld dient te worden.
- ▷ Vaak wordt het trillingsgedrag van oude structuren als oncomfortabel ervaren. Het oplijmen van platen (in hout of metaal) kan ervoor zorgen dat de intensiteit van die trillingen afneemt.
- ▷ Indien men een bepaalde ruimte een andere functie wil geven, is het mogelijk dat de vloer niet draagkrachtig genoeg is om een verhoogd gewicht te dragen. Een bibliotheek of een archief vertegenwoordigt bijvoorbeeld een heel groot gewicht, en dat kan je niet zomaar op een oude vloer plaatsen zonder die te verstevigen.
- ▷ Het is natuurlijk ook gewoon mogelijk dat men destijds een gebouw niet goed ontworpen heeft, en dat een balk van in het begin al problemen heeft opgeleverd voor de stabiliteit. Om ervoor te zorgen dat de situatie niet verergert, kan het aangewezen zijn om een versterking aan te brengen.

5.2 METHODES OM HET DRAAGVERMOGEN VAN STRUCTUREN TE VERHOGEN

Het oplijmen van platen is een bekende manier om structuren te ‘verzwaren’, zodat hun draagkracht verhoogt. Het is een manier die het oorspronkelijke materiaal respecteert (de oorspronkelijke balk wordt niet weggehaald), en de impact op het uitzicht van de balk is relatief klein, of zelfs onzichtbaar afhankelijk van het soort materiaal dat je gebruikt en de plaats waar je het aanbrengt. Maar het is zeker niet de enige manier om houten structuren steviger te maken.

Je kan extra structurele elementen toevoegen: bijkomende houten balken of kolommen waardoor de structuur meer kracht kan opnemen. Het spreekt vanzelf dat dat een heel zichtbare ingreep is. Je oorspronkelijke structuur blijft dan wel helemaal intact.



FIGUUR 63: versterking van een houten structuur door het aanbrengen van externe structurele elementen
© Triconsult

Tegenwoordig zien we eerder volgende methodes:

- Via metalen trek-elementen kan je balken opspannen: aan de uiteinden van de balk wordt een metalen trek-element bevestigd, en dat wordt, mits een afstandhouder die in het midden van de balk wordt gemonteerd, opgespannen. Niet alleen het trek-element komt zo onder een grote trekspanning te staan, maar ook de

houten balk zelf, waardoor hij minder zal vervormen en grotere krachten kan opnemen. Het metalen trek-element zal de trekkrachten in de balk opnemen, terwijl de houten balk zelf vooral drukkrachten te verduren krijgt (waar hout beter tegen bestand is). Deze ingreep behoudt de oorspronkelijke structuur quasi volledig (op enkele boorgaten na). Maar de ingreep is ook heel zichtbaar, alhoewel de toegevoegde structuur op een elegante manier vorm te geven is. Deze is meestal van metaal, en daardoor slanker en minder zichtbaar.



FIGUUR 64: externe stalen trekker op een gording, om de gording op te spannen
© Triconsult



FIGUUR 65: verstijving van een structuur met metalen windverbanden (A), detail (B) © Triconsult

- Om een minder zichtbare versterking te creëren, kunnen er platen (staal, koolstofvezellaminaat) ingefreesd worden in de balk. De balk wordt eerst gestut, waarna er een gleuf wordt ingefreesd. Met epoxylijm wordt er vervolgens een versterkende plaat in de balk verlijmd. Na uitharding van de lijm kan de steun weggenomen worden, en is de balk verstijfd. Het nadeel van deze methode is wel dat je beschadiging veroorzaakt aan de oorspronkelijke materialen.



FIGUUR 66: infrezen van een balk voor inlijming van platen (links) en ingelijmde plaat in een ingefreesde opening in een balk (rechts) © Triconsult

- Soms doet men iets wat sterk aan balkkoprestauratie doet denken: men holt de balk uit, brengt wapening aan (voldoende om de balk sterker te maken dan hij al was), en



FIGUUR 67: polymeerchemische herstelling van balken: uitholling van de balk (links) en uitgeholde balk (rechts) © Triconsult

stort vervolgens de balk vol met epoxymortel. In principe is dit een ingreep die, van onder bekeken, totaal onzichtbaar is. Maar je neemt wel aanzienlijke hoeveelheden oorspronkelijk materiaal weg, wat problematisch is in de monumentenzorg.



FIGUUR 68: polymeerchemische herstelling van balken: wapening in de balk (links) en balk met opgegoten restauratiemortel (rechts) © Triconsult

- Gespleten balken kunnen, zoals dat ook bij balkkopherstel kan gebeuren, geïnjecteerd worden met epoxylijm, opgespannen met bouten en omwikkeld met koolstofversterkte laminaten (zie 4.2.4.). Dit is een zeer conserverende methode, maar opnieuw eentje die heel zichtbaar is.



FIGUUR 69: omwikkelen of insnoeren van een balk © Triconsult

- Een variant van de hieronder besproken oplijming van platen, is het opstorten van een zelfdragende betonplaat met opleg in het metselwerk. De balken worden dan bovenaan voorzien van verticale wapeningsstaven (deuvels), die een stuk uit de balk steken om een goede verbinding met de betonvloer te maken. De betonvloer wordt bekist en gewapend met voldoende wapening. Alvorens het beton te gieten dienen de houten balken wel gestut te worden. Vervolgens kan het beton gestort worden. Na uitharding kunnen de balkstutten weggenomen worden, en zullen de balken en het beton als één stijf geheel bewegen. In de monumentenzorg is dit geen aangewezen techniek.
- Minder ingrijpend dan het opstorten van een betonvloer is het vergroten van de doorsnede van de balken. Daardoor wordt de balk draagkrachtiger en zal hij minder doorbuigen. Men doet dit door de balk bovenaan te voorzien van ankers en bekisting. De bekisting wordt vervolgens volgestort met herstmortel.



FIGUUR 70: opgieten van een bijkomende epoxybalk: aanbrenging bekisting en nieuwe kindbalken (A), aanbrenging verticale ankers in de bovenzijde van de oude balk (B), gieten van de epoxy-mortel (C) en ten slotte egaliseren van de epoxymortel (D) © Triconsult

- Een ingrijpender variant hiervan is het totaal vervangen van een onderdeel van een balk, door een ander houten stuk. Het nieuwe stuk hout wordt exact op maat gevormd, zodat het perfect het ontbrekende stuk hout kan vervangen. De krachtenoverdracht gebeurt door wapeningsstaven, die ingelijmd zijn in ingefreesde sleuven. Ook hier is het problematisch dat je veel oorspronkelijk materiaal wegneemt, maar bovendien is de herstelling ook goed zichtbaar.

Deze oplossingen zullen vaak niet aangewezen zijn in een monument. Ook het berekenen van al deze oplossingen is geen eenvoudige zaak, en dient te gebeuren door een ervaren studiebureau of architect. De krachtwerking op een houten structuur, zeker als die ingewikkeld is, is niet zomaar ‘in te schatten’.



FIGUUR 71: houtvervanging: zij aanzicht (A), infrezen sleuven om de wapening aan te brengen (B), ingefreesde sleuven met wapening, bovenaan (C), ingefreesde sleuven met wapening, onderaan (D) © Triconsult

Samengevat:

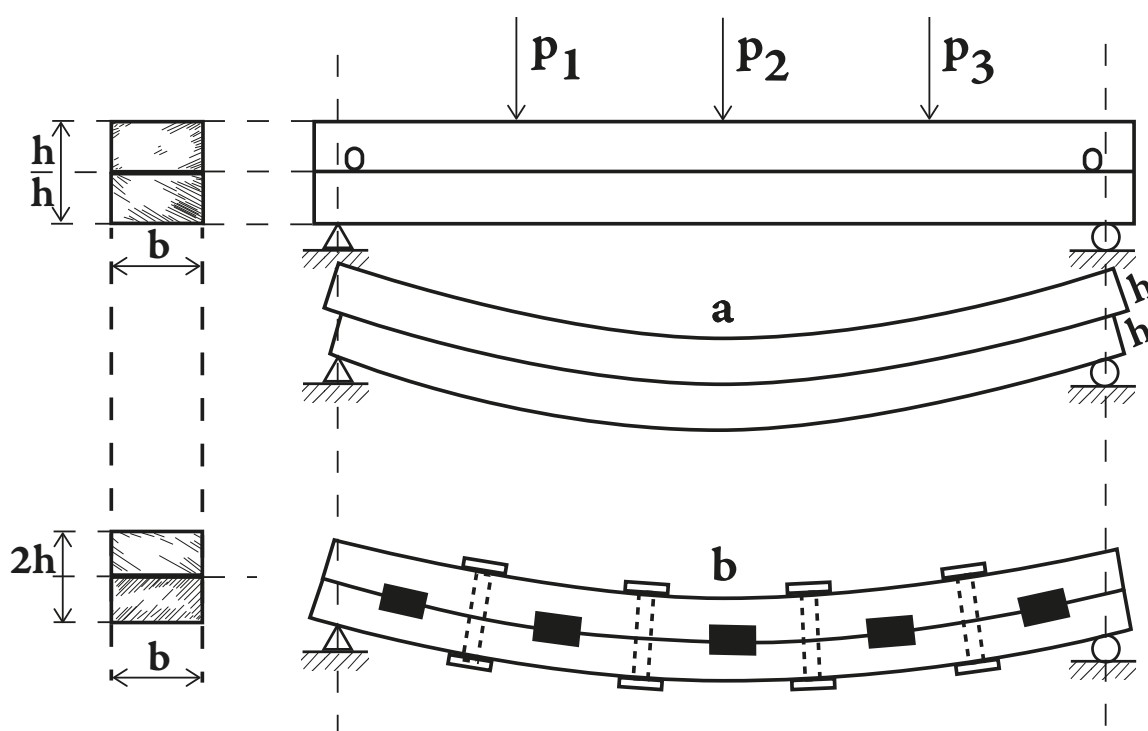
- ☞ *Er bestaan heel wat manieren om houten structuren te versterken. Van oudsher doet men dat reeds door het aanbrengen van bijkomende structurele elementen (balken of kolommen) of het aanbrengen van bijkomende ankers. Soms gebeurt dat nu nog steeds, maar meestal worden andere methodes gehanteerd. Zo worden balken opgespannen door er uitwendige trek-elementen op aan te brengen, of bijvoorbeeld door het infrezen van platen in de balk. Het nadeel van veel methodes is dat ze ofwel heel zichtbaar zijn, ofwel minder respectvol zijn met betrekking tot de oorspronkelijke materialen.*
- ☞ *Het oplijmen van platen is een vaak toegepaste methode die het oorspronkelijke materiaal quasi volledig intact laat, en vaak ook onzichtbaar is (oplijmen aan de bovenkant van de balk).*
- ☞ *De uiteindelijke keuze voor een techniek laat je best over aan een architect of een studiebureau.*

5.3 OPLIJMEN VAN PLATEN

Het oplijmen van stalen platen of profielen, koolstofvezelversterkte laminaten of houten balken (of een ander stijf materiaal), heeft als doel om de buigstijfheid van een balk te vergroten. Als een balk te fel doorbuigt onder belasting, dan kan die doorbuiging verminderd worden door de doorsnede van de balk te vergroten.

Het nieuwe element dient evenwel stevig op de oorspronkelijke balk te worden geplaatst: de twee balken mogen niet over mekaar schuiven, anders is de balk helemaal niet verstijfd (zie figuur 72).

Het nieuwe element wordt dus aan de oorspronkelijke balk verlijmd: dit zal het schuiven verhinderen, zodat de oude balk en het nieuwe element samenwerken om de vervorming op te nemen. De langsschuifspanningen (afscheerspanningen) in het grensvlak tussen de oude balk en het nieuwe element worden door de lijmlaag opgenomen, maar deze grens kan nog versterkt worden met ankers of deuvels.



FIGUUR 72: doorbuiging van de combinatie van twee balken, zonder verlijming en ankers (a), en met verlijming en ankers (b)

5.3.1 Materialen

De materialen die worden toegepast bij het oplijmen van wapening zijn de volgende:

- Staal.** Reeds met een geringe dikte kan een aanzienlijke verstijving worden gecreëerd. Staal is immers een materiaal dat ongeveer 20 maal stijver is dan hout. Het staal kan zowel aan de boven- als aan de onderzijde van de balk verlijmd worden. Als je het metaal aan de bovenkant plaatst, komt het onder druk te staan. De kans bestaat dan dat de metalen plaat uitknikt. Hiervoor is het vereist dat er knikverstijvers worden aangebracht. Dit zijn bouten die op regelmatige afstand tot in de houten balk worden ingelijmd.
- Hout.** Eikenhout of gelamelleerd hout. Aangezien dit materiaal een stijfheid heeft die ongeveer gelijk zal zijn aan die van de balk zelf, moet je al een behoorlijke dikte aanbrengen om de ganse structuur voldoende te verstijven of te verstevigen. Indien dergelijke (over)dikte niet gewenst is, is het aanbrengen van staal of laminaat een betere keuze.



FIGUUR 73: stalen plaat opgelijmd op de bovenkant van een houten balk, met knikverstijvers © Triconsult

- **Koolstofvezelversterkt laminaat.** Dit materiaal heeft een grote treksterkte, en is bovendien bijzonder dun. Aangezien het geen drukkrachten kan opnemen (daarvoor is het té dun) wordt het in de praktijk enkel aan de onderkant van de balken aangebracht: daar heb je immers de trekkrachten, en dit materiaal neemt dat soort van krachten prima op. Het is een materiaal dat de balk niet verstijft: als er dus een doorbuigingsprobleem is (een balk die te hard doorbuigt) dan is het oplijmen van koolstofvezelversterkt laminaat geen goede oplossing. In de praktijk wordt deze oplossing daarom slechts sporadisch toegepast.

5.3.2 Ankers

Doel van de ankers

Ankers, die loodrecht op de platen worden ingeboord, hebben verschillende functies:

- Ze verzorgen een bijkomende hechting tussen de oorspronkelijke balk en het nieuwe opgelijmde materiaal: ze kunnen meehelpen om de schuifspanningen tussen de oude balk en het nieuwe materiaal op te nemen (zie 5.3.). Het is enkel aan de uiteinden van de balk dat dergelijke ankers nodig zijn. Daar krijg je immers piekspanningen die niet meer door de lijmlaag alleen opgenomen kunnen worden.
- Bij het gebruik van stalen platen aan de bovenkant van een balk, zal deze plaat onder drukspanning komen te staan als de balk doorbuigt. Een slank element zoals

een stalen plaat, kan dan uitknikken. Die krachten kunnen behoorlijk groot zijn, en de stalen plaat kan losgetrokken worden van de houten balk als de plaat enkel verlijmd is. De ankers dienen dan ook als ‘knikverstijvers’: ze zorgen ervoor dat de stalen plaat, zelfs indien de houten balk doorbuigt, netjes aan het oppervlak van de balk bevestigd blijft. Het is mogelijk om verzonken bouten toe te passen, voor het geval het niet toegestaan is dat er een ‘overdikte’ bovenaan de balk zit.

Materialen en hun bevestiging

Voor de verankering worden bouten uit roestvast staal toegepast. Ze worden, nadat de platen verlijmd zijn, vastgelijmd in het hout met een epoxylijm. Hun lengte en diameter is van belang, en dient van tevoren opgegeven te worden door de architect of het studiebureau: ze zijn immers onderhevig aan dwarskrachten, veroorzaakt door de schuifspanningen tussen de oude balk en de nieuwe opgelijmde versteviging.

Indien de ankers ook als knikverstijving fungeren, dienen ze bovendien voldoende diep in de oude balk ingelijmd te worden: een stalen plaat, die boven op de oude houten balk is verlijmd, en die wil uitknikken, zal de ankers aan een aanzienlijke trekkracht blootstellen. Die dient opgevangen te worden door een voldoende grote diameter van de bout, maar vooral door een voldoende diepe inlijming in de oude balk.

Aandachtspunt:

 *Hou je precies aan de voorgeschreven richtlijnen met betrekking tot de dikte van de platen, de dikte van de ankers, de inboordiepte van de ankers, en de plaats van de ankers. Deze zullen immers bepalen hoe stabiel de balk met de opgelijmde wapening zal zijn.*

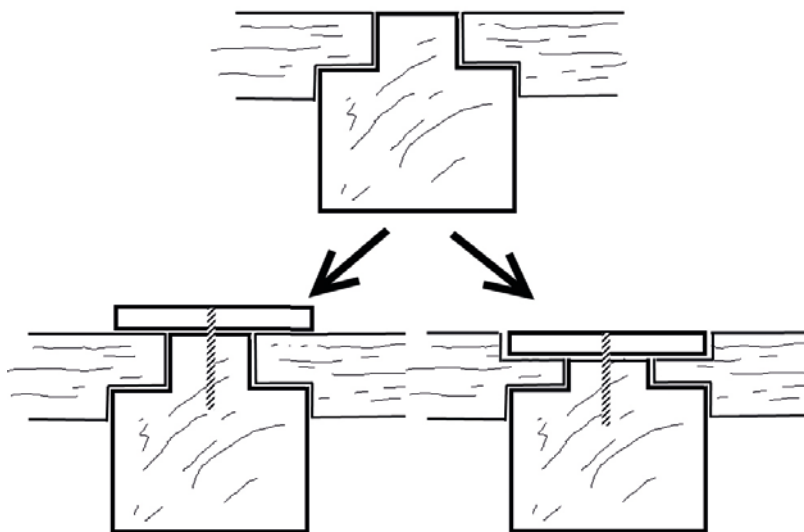
5.3.3 Voorbereiding van de ondergrond

Eventueel wegnemen van hout

De bovenkant van balken dient vaak als oplegpunt voor andere balken: de zogenaamde kinderbalken liggen op de moerbalk, via inkepingen die zowel in de moerbalk als de kinderbalken zijn aangebracht.

Indien er moerbalken bovenaan voorzien dienen te worden van een opgelijmde plaat, dan zijn er twee mogelijkheden:

- De plaat kan bovenop de bestaande moerbalk worden bevestigd. Dit is, vanuit conserverend standpunt, te verkiezen. Al het oorspronkelijke materiaal blijft intact. Het probleem is evenwel dat er dan op de vloer een element met een bepaalde dikte bijkomt, en dat is vaak niet te verantwoorden (bijvoorbeeld als de ruimte in kwestie wordt gebruikt als woon- of werkruimte). De vloer is dan immers niet meer vlak.
- Indien de ruimte in kwestie gebruikt zal worden, dan zal er hout van de moerbalk (en eventueel van de kinderbalken) verwijderd moeten worden door uitfrezen. De zo ontstane uitsparing kan dan gebruikt worden om de opgelijmde wapening netjes in het vlak van de vloer terecht te laten komen. Indien hout van de kinderbalken verwijderd wordt, dient er op gelet te worden dat de resterende houtsectie in staat is om de dwarskrachten, ter hoogte van de oplegging op de moerbalk, te dragen.



FIGUUR 74: oplijmen van een stalen plaat. Dit kan in overdikte op de vloer (links), of gelijk met het vloeroppervlak (rechts)

Uitvlakken van de ondergrond

Het vlak waar de nieuwe plaat opgelijmd zal worden, dient uitgevlakt te worden. Dit zal ervoor zorgen dat het vlak van de balk perfect aansluit bij het oppervlak van het nieuwe aan te brengen element. Dit uitvlakken is vooral van groot belang bij gebruik van houten of stalen platen.

Het egaliseren van de balk gebeurt door het aanbrengen en uitplamuren van een aangepaste gevulde epoxymortel, die wordt aangebracht met truweel of spatel. Het betreft hier een werk dat wel wat tijd in beslag kan nemen. Het is daarom van belang dat er niet teveel epoxymortel wordt aangemaakt. De mortel kan immers maar gedurende ongeveer een uur goed worden gebruikt, dus het is belangrijk om enkel de hoeveelheid mortel aan te maken die je in die tijds-spanne kan verwerken.

Het is zeker niet de bedoeling om een oppervlak te bekomen dat waterpas is. Het lijmvlak mag gerust een zekere helling hebben, zolang het maar vlak genoeg is om een goede verlijming tussen de balk en de hout- of staalplaten te bekomen. De versteviging werkt even goed als de balk een lichte helling heeft.

Boren van de anker-gaten

Nadat de exacte plaats van de anker-gaten is aangegeven, kunnen gaten voor het aanbrengen van de ankers geboord worden. Ook hier dienen de anker-gaten groter geboord te worden dan de diameter van de aan te brengen ankers. Dit is nodig voor een goede inlijming van de ankers in de boorgaten. De boorgaten dienen vervolgens ontstoft te worden met behulp van perslucht.

Ontstoffen van de ondergrond

Vanzelfsprekend zal er enkel een goede hechting tussen de balk en de lijmlaag ontstaan indien er geen stof op het lijmvlak aanwezig is. Alle stof dient dus weggenomen te worden met een stofzuiger of met perslucht.

Samenvatting:

- ☞ *De voorbereiding van de ondergrond zal in belangrijke mate bepalen of de herstelling goed werkzaam is.*
- ☞ *De ondergrond dient voldoende vlak te zijn, opdat een stijve houten of metalen plaat er goed op kan aansluiten. Het kan gebeuren dat er hout dient weggenomen te worden, maar dat dient natuurlijk wel tot een minimum beperkt te blijven.*
- ☞ *De ondergrond dient zuiver te zijn om een optimale hechting van de lijm te bekomen.*
- ☞ *De anker gaten dienen van tevoren geboord te worden, en dit met een diameter die iets groter is dan de diameter van de ankers.*

5.3.4 Voorbereiding van de op te lijmen platen

Algemeen geldt dat alle platen voorzien dienen te worden van voldoende grote boorgaten om nadien de ankers door te kunnen steken. Het lijmvlak van de platen dient eveneens ontstoft te worden.



FIGUUR 75: aanbrenging van de wapeningsplaat
© Triconsult



Stalen platen hebben evenwel een bijkomende bijzondere behandeling nodig:

- Ze dienen gezandstraald te worden: dit reinigt het oppervlak van alle mogelijke onzuiverheden en eventuele corrosieproducten die de hechting van het staal op de houten ondergrond zouden kunnen verslechteren.
- Doorgaans wordt er vervolgens een coating aangebracht op de niet te verlijmen oppervlakken. Die verhindert dat het pas gezandstraalde staaloppervlak opnieuw zou gaan corroderen. De pas gezandstraalde lijmvlakken worden ook beschermd, maar met een folie die nadien eenvoudig te verwijderen is.
- Op de werf wordt deze folie verwijderd, vlak voordat de lijm wordt aangebracht.
- Vervolgens wordt het staal een laatste maal gereinigd (bijvoorbeeld met ammoniak), alvorens de lijm aan te brengen.

5.3.5 De uitvoering van de verlijming van de uitwendige wapening

De lijm voor het verlijmen van de uitwendige wapening is een gevulde epoxylijm. Deze is in voorgedoseerde hoeveelheden te verkrijgen. Het gaat om drie componenten (lijm, verharder,



FIGUUR 76: platen in positie © Triconsult

vulstof) die in de juiste verhoudingen met elkaar gemengd dienen te worden. Indien deze verhoudingen niet worden gerespecteerd, kan de lijm mogelijk te snel of te traag uitharden, en wordt niet de vereiste lijmkracht ontwikkeld.

De lijm dient gevuld te zijn opdat hij niet te zeer zou vloeien. Het is immers de bedoeling dat de epoxylijm in een 'piramide' of 'berg' op de wapeningsplaat wordt aangebracht. Deze aanbren-
ging heeft een zeer specifieke bedoeling: indien de op te lijmen plaat nu aangebracht wordt
op de balk, dan zal de dikkere lijmlaag in het midden van de plaat, zich uitspreiden naar de
randen. Dit verzekert een continue lijmlaag waar geen luchtinsluitels aanwezig zijn, waardoor
een maximale hechtkracht wordt bekomen.

Nadat de uitwendige wapening is aangebracht, dient ze stevig aangedrukt te worden met
behulp van lijmknechten (lijmtangen). Ook is het mogelijk om stutten te plaatsen tussen de
plaat en het bovenliggende plafond, om de plaat stevig op haar plaats te houden.

Vervolgens kunnen de ankers ingelijmd worden met een epoxylijm. Voor gaten bovenaan de
balk kan een gewone epoxylijm gebruikt worden (die mag vloeibaar zijn). De gaten worden
deels gevuld met epoxylijm, en vervolgens worden de ankers met een draaiende beweging
ingebracht, totdat ze helemaal aansluiten met de bovenkant van de opgelijmde plaat.

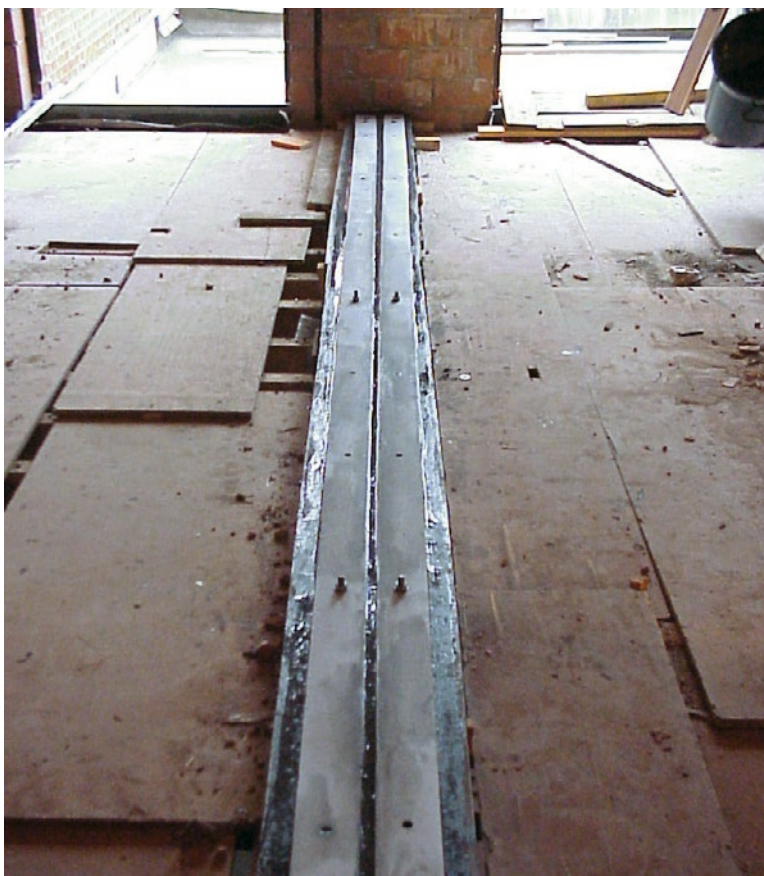


FIGUUR 77: plaat met ingelijmde ankerstaven
© Triconsult

Voor verankeringen aan de onderkant dient een ingedikte epoxylijm toegepast te worden, die wordt geïnjecteerd in het boorgat, waarna het anker al draaiend wordt ingebracht. Deze ankers dienen tijdens de uitharding op hun plaats gehouden te worden met een lijmtang of stut naar de onderliggende vloer.



FIGUUR 78: houten balken met bovenaan een opgelijmde stalen plaat © Triconsult





FIGUUR 79: stalen plaat opgelijmd op de onderkant van een houten balk © Triconsult



FIGUUR 80: stalen plaat opgelijmd op de onderkant van een houten balk, met ankers © Triconsult

Het verlijmen van uitgeharde koolstofvezelversterkte laminaten verloopt analoog aan het verlijmen van staalplaten.

Het verlijmen van niet-uitgeharde koolstofvezelversterkte legsels gebeurt op een andere wijze:

- Met de roller of kwast wordt een dunne laag epoxylijm aangebracht op de onderzijde van de balk.
- Vervolgens wordt het koolstofvezelversterkt laminaat aangebracht.
- Ten slotte wordt met de roller een tweede lijmlaag ingerold, om zodoende het laminaat te impregneren met de lijn en een betere hechting te bekomen.

Alle verlijmingen zouden bij normale temperaturen, rond 15°C à 20°C, na ongeveer 24 uur uitgehard dienen te zijn. In principe kunnen na deze termijn alle hulpstukken (lijmknechten, schoren, vijzels) weggenomen worden. Het is evenwel veiliger om bijvoorbeeld 7 dagen te wachten met het wegnemen van de schoren, wat de fabrikanten van de lijmen doorgaans ook voorschrijven.

Gemorste lijn kan, na uitharding, van het hout worden afgeschuurd.



FIGUUR 8I: ook houten kolommen kunnen versterkt worden door het oplijmen van houten platen © Triconsult

Aandachtspunten:

-  *Controleer, vlak voor het aanbrengen van de lijm, of alle te verlijmen oppervlakken zuiver zijn.*
-  *Verlijm zodanig dat er een continue lijmlaag tussen de balk en de nieuwe wapening zit. Vermijd luchtbelletjes.*
-  *Respecteer de verwerkingstijden van de lijm.*
-  *Hou de te verlijmen elementen, tijdens de harding van de lijm, goed op hun plaats, met lijmtangen of stutten.*
-  *Let op dat je geen lijm morst. Breng zo nodig een bescherming aan rondom de te verstevigen balk. Neem lijmresten zo snel mogelijk weg.*

REFERENTIES

[MONUMENTENWACHT] www.monumentenwacht.be/publicaties. Geraadpleegd op 2/06/2014.

[VEROUGSTRAETE] VEROUGSTRAETE H.P., *Curatieve houtbescherming in gebouwen*, Technische voorlichting 180, WTCB, Brussel, 1990.

[VANHELLEMONT¹] VANHELLEMONT Y., VAN PEER W. en VERNIMME N., *Opleiding restauratie vakman moderne bouwchemie. Module Injecties van metselwerk*, VIOE, Brussel, 2011.

[VANHELLEMONT²] *Opleiding restauratie vakman moderne bouwchemie. Module steenherstel*, Onroerend Erfgoed, in voorbereiding.

[RACM¹] *Schimmels in hout*, Brochure Techniek 21, Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten (RACM), Amersfoort, 2007.

[RACM²] *Insecten in hout*, Brochure Techniek 22, Rijksdienst voor Archeologie, Cultuurlandschap en Monumenten (RACM), Amersfoort, 2007.

[DINNE] DINNE K., *Schimmelsanering*, Technische Voorlichting, WTCB, in voorbereiding.

AANBEVOLEN LITERATUUR

DE CEULENEER A., Zwambestrijding, in: *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie*, Kluwer, Brussel, 2000.

DE CEULENEER A., Insectenbestrijding, in: *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie*, Kluwer, Brussel, 2000.

DE CEULENEER A., Bouwmaterialen, in: *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie*, Kluwer, Brussel, 2000.

DE CEULENEER A., Houtverduurzaming (Hoofdstuk III.), in: *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie*, Kluwer, Brussel, 2000.

SCHUEREMANS L., VAN GEMERT D. en IGNOUL S., Hout. Structureel gedrag, in: *Handboek Onderhoud, Renovatie en Restauratie*, Kluwer, Brussel, 2001.

CERALDI C., MORMONE V. en RUSSO ERMOLLI E., Resistographic inspection of ancient timber structures for the evaluation of mechanical characteristics, in: *RILEM Materials and structures*, Stuttgart, jan. 2001, pag. 59-64.

Polymeerchemische restauratie van houtconstructies, in: *Bouwkroniek*, rubriek techniek, Jette, juli 1982.

LAMBER M., *Restauratie van houten draagstructuren*, eindwerk Provinciale Hogeschool Limburg, departement architectuur, Hasselt, 1997.

ROBSON P., *Structural Repair of Traditional Buildings*, Donhead Publishing Ltd, U.K., Dorset, 1999.

IGNOUL S., VAN GEMERT D. en DEBROUWER D., *Restoration of the church of St. Catharina at Duisburg (B)*, MSR 99, Esslingen, 1999, pag. 1339-1352.

IGNOUL S., VAN GEMERT D. en VAN MEER H., Restrengthening of the 17th century Abbey Barn 'Tiendenschuur' at Herckenrode, Belgium, *International Congress on Urban Heritage - Building Maintenance, Restrengthening of materials and structures*, Zürich, Switzerland, 2000.