

# **SBR-handboek Constructieve veiligheid van gevels**

v2 (3 maart 2011)

M.J.P. van Leeuwen

## **8 Verlijmde gevelbekleding**

### **8.1 Verlijmde verbindingen voor constructieve toepassingen**

8.1.1 Mechanische belasting van de lijmverbinding

8.1.2 Beheersen van het applicatieproces

### **8.2 Sterkte en veiligheid**

8.2.1 Eisen aan de lijmverbinding

8.2.2 Bezwijkvormen

8.2.3 Sterkte van de lijmverbinding

### **8.3 Oorzaken van falen**

### **8.4 Applicatierichtlijn**

### **8.5 Verlijmingsproces**

### **8.6 Achterconstructie**

### **8.7 Gevelplaten**

### **8.8 Lijmsysteem**

8.8.1 Lijm

8.8.2 Houtverduurzaammiddel

8.8.3 Cleaner, washer of reiniger

8.8.4 Hechtprimer

8.8.5 Tape

8.8.6 Oppervlakteverbeteraar

### **8.9 Beoordelen van bestaande bouw**

## 8 Verlijmde gevelbekleding

Sinds 1987 worden in Nederland, zowel in nieuwbouw als bij renovatie, bij geventileerde gevelconstructies gevelplaten verlijmd op een verticaal regelwerk. Een dergelijk systeem – dat vooral in Noord-Europese landen vaak voorkomt – is door de jaren steeds verder ontwikkeld. Om te waarborgen dat het verlijmen tot een veilig en een duurzaam resultaat leidt moet het lijmsysteem aan twee voorwaarden voldoen:

- het moet geschikt zijn voor de toepassing;
- het moet op een juiste manier worden verwerkt en aangebracht.

Bij een geventileerde gevelconstructie wordt op de achterconstructie eerst mechanisch een thermische isolatielaag bevestigd en daarna de gevelbeplating met tussen het isolatiemateriaal en de gevelbekleding een ruimte (luchtsouw) van minimaal 20 mm met een natuurlijke ventilatie ('schoorsteeneffect'). Door het opwarmen van de gevel wordt ook de lucht in de luchtsouw warmer, de warme lucht stijgt omhoog waardoor aan de onderzijde koelere lucht wordt ingezogen. Hierdoor ontstaat een situatie waarbij de klimatologische omstandigheden zowel vóór als achter de gevelplaat nagenoeg gelijk zijn. In een geventileerd gevelsysteem staat de ruimte tussen de isolatielaag en de gevelbekleding dus in contact staat met de buitenlucht.

Het beheersen van de temperatuur en van de luchtvochtigheid in de luchtsouw is van groot belang voor een geventileerde gevelconstructie. Het functioneren van dit systeem hangt volledig af van de optredende luchtcirculatie. Het is dus belangrijk dat obstakels in deze luchtsouw – zoals verankeringen, onregelmatige oppervlakken en vuil – worden vermeden. Daarnaast moet er aan de onder- en de bovenkant van het gevelvlak voldoende mogelijkheid zijn om lucht door te laten, respectievelijk om aan te zuigen. Per strekkende meter gevelbreedte bij een gevelvlak met een hoogte tot 1 meter moeten de ventilatie-openingen een doorsnede hebben van minimaal 50 cm<sup>2</sup>. Bij grotere afmetingen van het gevelvlak is een doorsnede van minimaal 100 cm<sup>2</sup> vereist.

In Nederland is de techniek van natuurlijke ventilatie – het uit elkaar halen van de binnen- en de buitenlaag van de gevel (spouwmuur) – al langer bekend. Oorspronkelijk was deze wijze van gevelbekleding min of meer bedoeld om uitsluitend de buitenmuren beschermen tegen atmosferische invloeden zoals regen en thermische uitzetting. Door de ontwikkeling van verschillende technieken en opbouwmethoden – alle gebaseerd op hetzelfde principe van geventileerde gevelconstructies – zijn in de afgelopen decennia nieuwe architectonische toepassingen bedacht. Gevels kunnen nu ook worden samengesteld met traditionele materialen zoals hpl (high pressure laminated, bijvoorbeeld Trespa) en

vezelcementgebonden gevelplaten, natuursteen, hout, terracotta, porcellanato (voornamelijk onverglaasde tegels) en metalen plaatmaterialen.

### **Verlijmde gevelbekleding**

Deze uitgave is mede tot stand gekomen om het technisch inzicht te verhogen van geveltypen met een verhoogd risico die specifiek zijn genoemd in de rapportage van VROM-Inspectie. De in dit hoofdstuk besproken type verlijmde gevelbekleding wordt echter in deze rapportage niet genoemd. Echter het relatief nieuwe karakter van deze bevestigingstechniek is aanleiding geweest een en ander te verduidelijken. Op basis van de beschikbare technologische kennis en ervaring is het namelijk goed mogelijk om voor gevelbeplating verlijming als verbindingstechniek toe te passen.

Benadrukt moet worden dat het succesvol toepassen van deze verbindingstechniek nadrukkelijk afhangt van een juiste detaillering, een gedegen voorbereiding en kwalitatieve bewaking van het applicatieproces. Daarnaast is een optimale coördinatie en het tijdig oplossen van probleemsituaties van belang, waardoor de kans op foutief handelen 'op de steiger' wordt voorkomen. Alleen dan is de kwaliteit van verlijmde gevelbekleding gewaarborgd. Ook moeten de kwalitatieve controles op de bouwplaats niet worden veronachtzaamd!

### **8.1 Verlijmde verbindingen voor constructieve toepassingen**

Een gelijmde verbinding wordt gemaakt door een vloeibaar materiaal (lijm) aan te brengen tussen twee te verbinden elementen (substraat). De verbinding ontstaat na uitharding van de lijm; het substraat wordt daarbij meestal niet aangetast. Een constructieve lijmverbinding is een verbinding die op kracht wordt belast.

De meest relevante voordelen van gelijmde verbindingen in de bouw ten opzichte van andere bevestigingstechnieken zijn:

- de mogelijkheid om verschillende materialen te verbinden;
- de mogelijkheid om zeer dunne substraten te verbinden;
- een betere controle van maattoleranties;
- het maken van niet-zichtbare aansluitingen;
- de doorsnede van het substraat blijft gelijk (geen verzwakking door boorgaten).

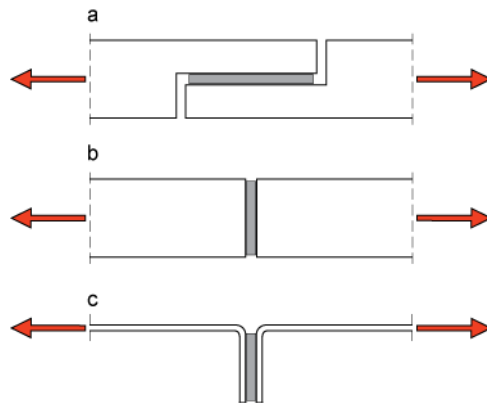
Bij het ontwerp van een constructieve lijmverbinding doorloopt de constructeur een initiële, een conceptuele, een optimalisatie en een validatie-fase. In elk van deze fasen spelen de volgende aspecten een belangrijke rol:

- selectie van een lijmsysteem;
- constructief ontwerp;
- ontwikkeling of introductie van een productie- of verlijmingsproces.

Om een gelijmde verbinding met succes toe te passen moet de constructeur dan ook een gedegen kennis hebben over deze drie aspecten.

### 8.1.1 Mechanische belasting van de lijmverbinding

Om twee platen met lijm te verbinden beschikt de constructeur over een bijna oneindig aantal mogelijke oplossingen. Figuur 8-1 geeft een globale indeling van de mechanische belastingen die kunnen voorkomen in gelijmde constructies.



Figuur 8-1 De belangrijkste belastingen op een gelijmde verbinding: (a) afschuiving, (b) trek, en (c) pel.

Bij het ontwerp is het belangrijk te weten welke belastingen er optreden gedurende de levensduur. In elk geval moeten spanningspieken worden vermeden, die veelal worden veroorzaakt door een te lage elasticiteitsmodulus van de te verlijmen materialen, door een te geringe dikte van deze materialen en door starre lijmlagen. Gevelbekleding moet altijd worden gemonteerd op een vertikaal regelwerk, waardoor de lijmverbinding in de lengterichting altijd wordt belast op afschuiving (eigen gewicht) en op trek (windzuiging).

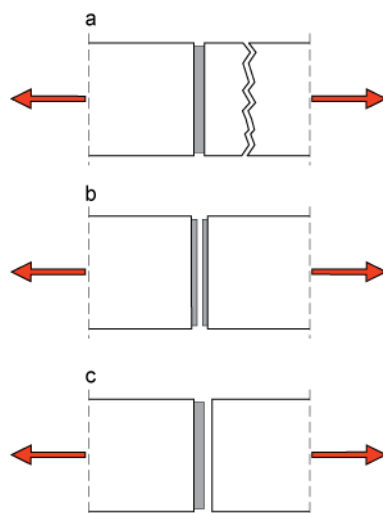
De belangrijkste 'mechanische' belastingen die op een gelijmde verbinding werken zijn:

- statische kortduurbelasting: niet-variërende belasting, die incidenteel aangrijpt voor een korte tijd;
- impactbelasting: grijpt slechts aan voor een fractie van een seconde, waarbij de respons van de materiaaleigenschappen duidelijk anders is dan voor een statische belasting;
- statische langeduurbelasting: grijpt gedurende langere aan, waardoor de gelijmde verbinding kan gaan 'kruipen';
- vermoeiingsbelasting: wisseling van de spanning in de tijd, waardoor in de lijmlaag scheuren kunnen ontstaan die in de tijd verder groeien.

Daarnaast moet de constructeur ook rekening houden met de omgevingscondities. Daarbij is te denken aan wisselende temperatuur, regenwater, vochttransport door de constructie en UV-straling. Door deze 'omgevingsbelasting' kan de sterkte van een gelijmde verbinding afnemen. Voor het ontwerp is het belangrijk de grootte van de 'omgevingsbelasting' te kennen of de mogelijkheden te kennen om de achteruitgang in sterkte te reduceren.

Onder invloed van de 'mechanische' en de 'omgevings'-belastingen zal een gelijmde verbinding op één van de volgende manieren bezwijken (figuur 8-2):

- a. in één van de substraten;
- b. in de lijmlaag (cohesief bezwijken), waarbij het bezwijken zal initiëren op de plaats waar het ongunstigste spanningsbeeld optreedt;
- c. op het grensgebied tussen de lijm en het substraat (adhesief bezwijken), waarbij het ook mogelijk is dat een tussenlaag – bijvoorbeeld een coating op een substraat – bezwijkt.



*Figuur 8-2 Bezwijken van een gelijmde verbindingen: (a) in het substraat, (b) in de lijmlaag (cohesief), (c) op het grensgebied tussen lijm en substraat (adhesief).*

### **8.1.2 Beheersen van het applicatieproces**

De meeste aandacht bij toepassing van lijmverbindingen richt zich op de keuze van het meest optimale lijmsysteem en op het beheersen van het applicatieproces. Immers voor het succesvol toepassen van een gelijmde verbinding moet de juiste combinatie van lijm en voorbehandeling worden gekozen in relatie tot het substraat en de omgevingscondities. De applicatie is daarin een belangrijke schakel. Het niet juist opvolgen van de lijmprocedures of het niet in de hand hebben van de omgevingscondities kan uiteindelijk leiden tot een onbetrouwbare lijmverbinding.

Voor constructieve toepassingen moet de constructeur aantonen dat de gelijmde verbinding de erop werkende belastingen kan weerstaan gedurende de gehele levensduur. Goede richtlijnen en een toetsing via

een statische berekening zijn dan ook onontbeerlijk voor het ontwerp van een betrouwbare lijmverbinding. BRL 4101-7 biedt handvatten voor het toetsen van de lijmverbindingen, terwijl BRL 4104 zich richt op het applicatieproces.

### **Duurzame veiligheid**

Uit onderzoek naar de duurzaamheid kan – zoals overigens voor vele producten en toepassingen het geval is – uit wetenschappelijk oogpunt vooralsnog niet zonder meer worden afgeleid dat de duurzame veiligheid gedurende de in de NEN 6702 genoemde periode van 50 jaar gewaarborgd is.

Door een aantal maatregelen in acht te nemen kan toch invulling worden gegeven aan de wettelijke eis omtrent duurzame sterkte van het Bouwbesluit 2003, afdeling 2.1. Deze maatregelen zijn bijvoorbeeld:

- het strikt toepassen in een door certificering geborgd proces van de uitvoeringsvoorwaarden met een verplichte goedkeuring van de details van een bouwwerk door de leverancier van de lijm;
- het tijdens de verwerking uitvoeren van proeven op de hechtsterkte;
- het hanteren van een materiaalfactor voor het beoordelen van de sterkte van de constructie om rekening te houden met de onzekerheden;
- het regelmatig inspecteren van de gerealiseerde constructie en het nemen van gepaste maatregelen in geval van gebleken onvoldoende sterkte.

## **8.2 Sterkte en veiligheid**

Bij elk ontwerp moet de constructeur aantonen dat de sterkte van een constructie de erop werkende belastingen met een bepaalde veiligheidsmarge overtreft. Het verschil tussen de sterkte en de belasting is een maat voor de betrouwbaarheid van de constructie. Voor een uniforme beoordeling, maakt de constructeur gebruik van richtlijnen en rekenregels. Het doel van de constructeur is om op basis van een analyse tot een uitspraak te komen of het beschouwde ontwerp betrouwbaar (veilig) genoeg is.

### **8.2.1 Eisen aan de lijmverbinding**

Bij een gelijkde verbinding stelt de constructeur eerst een specificatie van eisen op:

- welke materialen moeten worden verbonden (stijfheid, oppervlakte conditie, thermische uitzetting, temperatuur, stabiliteit);
- wat is de functie van de verbinding (constructief, bevestigen (eigen gewicht), afdichten, borgen);
- wat is het type verbinding (overlap, stuik of kops, hoek);
- welke veranderingen zijn gedurende de te verwachten levensduur acceptabel (afname sterkte, elasticiteit);

- wat is de belasting (trek, druk, schuif, afpel, statisch, continu, dynamisch);
- wat zijn de omgevings- en gebruikscondities (temperatuur, vocht, corrosief, chemisch, UV);
- heeft de verbinding een specifieke functie (geleidbaarheid, geometrische stabiliteit, afdichting);
- wat zijn de afmetingen en de vorm van de verbinding (lijmoppervlak, vlakheid, toleranties, dikte lijmril);
- productie-aspecten, met name:
  - het ontwerp en de lijmkeuze moeten zijn afgestemd op de keuze van het applicatieproces;
  - vereiste processen, zoals oppervlaktebehandelingen en uithardingcondities;
  - omgevingscondities;
  - kwaliteitsbewaking.

Op basis van deze specificatie is dan eenduidig vast te stellen:

- welke eisen er aan de verbinding worden gesteld;
- welke gebruiksomstandigheden of invloeden de sterkte van de verbinding beïnvloeden: adhesief (grensvlakken) en cohesief (lijm);
- hoe het productieproces verloopt, waardoor de reproduceerbaarheid in eigenschappen en kwaliteitsbeheersing kan worden bereikt.

### **8.2.2 *Bezwijkvormen***

Aan de hand van de in paragraaf 8.2.1 genoemde eisen beoordeelt de constructeur welk theoretisch rekenmodel het beste geschikt is om de spanningsanalyse te maken voor de te ontwerpen lijmverbinding. De keuze van het rekenmodel hangt af van:

- de te verwachten bezwijkvorm;
- welke materiaaleigenschappen van belang zijn en hoe deze worden bepaald.

Vervolgens kan de constructeur de karakteristieke sterkte van de gelijmde verbinding berekenen en toetsen aan de gestelde eisen en voorschriften. Een gelijmde verbinding kan op drie manieren bezwijken (zie figuur 8-2). Voor elk van deze bezwijkvormen wordt aangegeven hoe de sterkte moet worden getoetst, zie ook het schema van figuur 8-3. De lijmverbinding kan worden voorgesteld als een keten, waarvan de zwakste schakel de sterkte bepaalt. Er zijn drie schakels te onderscheiden, te weten:

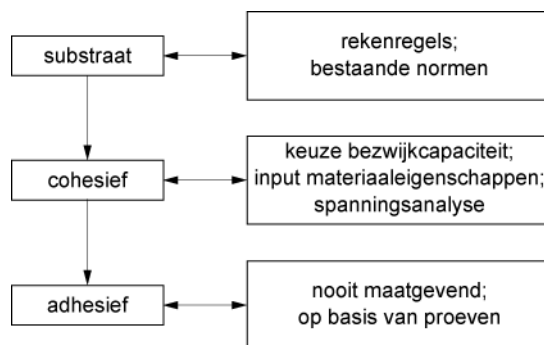
- adhesie-sterkte tussen de uitgeharde lijmlaag en het eerste lijmvlak;
- cohesie-sterkte van de uitgeharde lijmlaag zelf;
- adhesie-sterkte tussen de uitgeharde lijmlaag en het tweede lijmvlak.

Bij een nadere beoordeling van de kwaliteit van een lijmverbinding moet de kwaliteit van deze drie schakels bekend zijn. Om tot een kwalitatief

goede lijmverbinding te komen, moet er sprake zijn van kwaliteitsbeheersing door het uitvoeren van passende werkwijzen en maatregelen. Daarbij wordt gestreefd naar een kwaliteit die slechts binnen aanvaardbare grenzen varieert, afhankelijk van de economische en veiligheidsconsequenties in geval van het falen van de verbinding. Passende werkwijzen en maatregelen moeten zijn vastgelegd in gekwalificeerde procedures.

Om de continuïteit van de kwaliteit te garanderen moet een controle op de naleving van de procedures worden uitgevoerd. Voor het (tussen aanvaardbare grenzen) bepalen van de adhesie-eigenschappen moet een keuring van de lijmverbinding en van de te verlijmen substraten worden uitgevoerd.

De gelijkde verbinding onderscheidt zich van een mechanische verbinding doordat de sterkte pas tot stand komt tijdens het productieproces en daarom moet de sterkte altijd (!) tevoren worden beproefd en gekwalificeerd. Bij pasgemaakte lijmverbindingen van twee materialen hangt de sterkte af van de eerder genoemde drie factoren (schakels).



Figuur 8-3 Bezwijken van een substraat.

- Substraten. De mogelijkheid dat een van de substraten bezwijkt is aan de hand van de NEN-EN 1990 (NEN 6700), de NEN-EN 1991 (NEN 6702) en de BRL 4101-serie eenvoudig te toetsen. Aanvullende rekenregels zijn dan ook niet noodzakelijk.
- Cohesief bezwijken. Aanzienlijk gecompliceerder is het bezwijken van de lijmlaag. Ondanks uitgebreid onderzoek bestaat er nog geen sluitende theorie die het bezwijkmechanisme van de lijmlaag kan voorspellen. Voor het opstellen van rekenregels is het echter niet zo heel belangrijk om te beschikken over een correcte beschrijving van het cohesieve bezwijkmechanisme. De cohesiesterkte van de uitgeharde lijmlaag hangt onder meer af van:
  - de lijm in de aanbrenghoestand, bijvoorbeeld de mengverhouding;
  - de uithardingcondities, zoals vocht, temperatuur, luchtvochtigheid, druk en uithardingstijd.



Veel belangrijker is het om een theoretisch model beschikbaar te hebben, waarmee een redelijke voorspelling van de sterkte is te geven. (De minimale sterkte wordt uit proeven bepaald en vervolgens met een materiaalfactor verlaagd.) Het theoretisch model moet tendensen kunnen voorspellen. De invloed op de sterkte van bijvoorbeeld een andere lijm, een groter overlappende en een ander substraat moet in overeenstemming zijn met wat in proeven wordt gevonden. Eventuele afwijkingen in het model kunnen met een modelfactor worden opgevangen

De karakteristieke sterkte moet worden vastgesteld met een geschikt rekenmodel. De rekenregel van het model moet zodanig zijn dat de uitkomst overeenkomt met een onderschrijdingskans van 5%, zodat de vereiste betrouwbaarheid wordt gehaald.

- Adhesief bezwijken. Ook voor het bezwijken van de lijmverbinding op het grensvlak tussen de lijm en het substraat zijn nauwelijks theoretische modellen voorhanden. Een belangrijke oorzaak daarvoor vindt zijn oorsprong in de vliegtuigbouw, waar ontwerpers het standpunt innemen dat deze bezwijkvorm nooit mag optreden. Zolang er geen goede modellen bestaan voor adhesief bezwijken, wordt aangeraden om deze ontwerpfilosofie ook te hanteren voor bouwconstructies.

Bij het beoordelen van een lijmsysteem op adhesief bezwijken kan de constructeur zich niet baseren op bekende informatie. De keuze van de lijm in combinatie met het substraat en de voorbehandeling is voor een ontwerp namelijk zo specifiek, dat zelden alle gegevens voor het gekozen systeem bekend zijn. Ook de wijze van productie en de omgevingscondities spelen een belangrijke rol. De constructeur moet zich per situatie ervan overtuigen dat adhesieve breuk niet optreedt. Dit kan uitsluitend met behulp van proeven.

### **8.2.3 Sterkte van de lijmverbinding**

De adhesie-sterkte van de lijm op de beide lijmvlakken is het resultaat van:

- de eigenschappen van het lijm materiaal in de toestand bij aanbrengen, bijvoorbeeld de viscositeit;
- de toestand van de oppervlakken, bijvoorbeeld al of niet verontreinigd of geoxideerd, temperatuur, vochtigheid op het moment van aanbrengen van de lijm.

De sterkte van de lijmverbinding is in zijn geheel hangt af van de volgende factoren:

- kwaliteit van de substraten (gevelplaat en achterconstructie);
- toestand van de substraten voor wat betreft de voorbehandeling zoals ontvetten, schuren, stralen en etsen;

- wijze van uitvoering van het lijmproces, zoals de druk, de uithardingstijd en de uithardingstemperatuur;
- gebruikte lijm;
- toestand van de lijm, zoals de mengverhouding en de tijd waarbinnen de lijm is aan te brengen;
- nabehandeling;
- naadvorm, zoals de spleetbreedte en de overlap;
- ontwerp;
- wijze van belasten.

Al deze variabelen moeten in een gekwalificeerde applicatieprocedure worden beschreven om een betrouwbaar werk af te leveren, afhankelijk van de gestelde eisen en de klasse van het werk. Om de adhesieve - en cohesieve sterkte en duurzaamheid van de lijmverbindingen te blijven garanderen, moet er worden gecontroleerd op de naleving van de applicatieprocedure.

### **8.3 Oorzaken van falen**

Uit onderzoek blijkt dat faalkosten in de bouw voornamelijk worden veroorzaakt door fouten in het bouwproces en door een slechte detaillering; (ook bij geschroefde of genagelde gevelbekleding).

Aantasting van het houten regelwerk is dan meestal het gevolg. Het is daarom van belang dat alle betrokkenen partijen voldoende kennis en kunde bezitten en dat wordt voorkomen dat fouten in de detaillering én in het bouwproces worden gemaakt.

De grootste valkuil bij een lijmverbinding is 'nonchalance', omdat lijmen zo eenvoudig lijkt. Het maken van een lijmverbinding vereist echter deskundigheid: de verwerker (applicateur) van de lijm moet niet alleen voldoende kennis hebben van de lijm zelf, maar ook van de condities waaronder de lijm kan worden aangebracht, de hoeveelheid lijm die moet worden aangebracht en van de 'open tijd' van de lijm (de tijd waarbinnen de lijm kan worden aangebracht en huidvorming optreedt ofwel nog niet begint te verharden). De verwerker moet bovendien altijd de verwerkingsrichtlijn volgen van zowel de plaat- als de lijmfabrikant.

Een belangrijke oorzaak van een falende lijmverbinding is de inwerking van vocht in de gevelplaat en/of de achterconstructie. Daarom is voor een duurzame constructie altijd voldoende ventilatie – met andere woorden: een adequate detaillering – noodzakelijk! Ventilatie zorgt er onder meer voor dat:

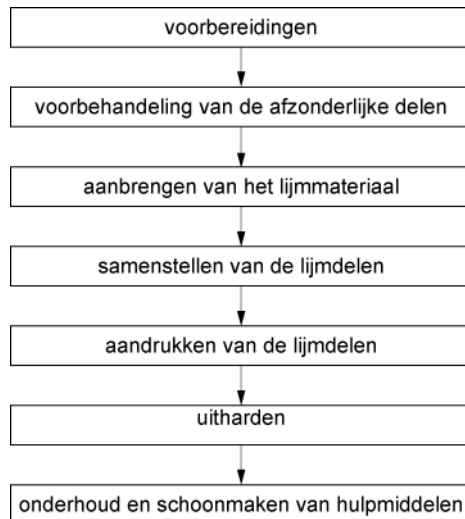
- de achterconstructie kan drogen, waardoor aantasting (houtrot) of corrosie wordt vermeden;
- er geen grote temperatuurverschillen tussen de voor- en achterzijde van de gevelpanelen optreden;
- uitzetting en krimp van de achterconstructie en de gevelplaten wordt beperkt.

Houtachtige materialen in de gevelplaat en/of in het regelwerk zetten uit bij onder invloed van vochtopname. Daardoor ontstaat houtrot en scheurt het regelwerk in de lengterichting. Hierdoor kan de gevelbekleding vervormen en kunnen grote spanningen ontstaan op de lijmverbinding. Deze spanningen kunnen met name aan de randen van de gevelplaten dusdanig hoog oplopen dat de gelijmde gevelplaat uiteindelijk lokaal onthecht van de achterconstructie.

Onvoldoende ventilatie achter de gevelplaat leidt derhalve tot het kromtrekken van de gevelplaten. Daarbij komen de hoeken en de randen naar voren, terwijl het middengedeelte meestal nog vlak is. In eerste instantie wordt de elastische lijmril opgerekt, zonder dat de lijmverbinding het begeeft. Pas daarna komt met name bij de hoeken en randen de lijm los van de gevelplaat of van regelwerk. Een meting van de relatieve vochtigheid aan de achterzijde én aan de voorzijde van de gevelplaat toont meestal direct aan dat er sprake is geweest van onvoldoende ventilatie.

#### 8.4 Applicatierichtlijn

Bij het opzetten van een productieproces voor een gelijmde verbinding doet de constructeur er verstandig aan de te volgen applicatieprocedure te volgen. Het uitgangspunt daarbij is de algemene werkwijze bij het lijmen die in een aantal stappen is te onderscheiden. Figuur 8-4 geeft een overzicht.



*Figuur 8-4 Algemene werkwijze bij het lijmen.*

Bij de voorbereiding worden de benodigde materialen (plaatmateriaal, achterconstructie en lijm) besteld en zo nodig op maat gemaakt. Het is belangrijk de benodigde voorbewerkte materialen vuil- en vochtvrij op te slaan en beschadigingen te voorkomen. Voor het opslaan van de lijm zijn mogelijk voorzieningen nodig om de houdbaarheid te garanderen. Let er

op om altijd de verwerkingsrichtlijnen van zowel de producent van de lijmproducten als van de te verlijmen substraten te volgen!

De voorbehandeling van de afzonderlijke delen moet zodanig worden uitgevoerd dat deze zonder problemen zijn te verlijmen. Zorg voor een zo droog mogelijk opslag van de gevelplaten: de te verlijmen ondergronden moeten volkomen droog zijn. Reinig tevens de gevelplaten grondig door het verwijderen van zand, schilfers en oliën: de ondergrond moet geheel vrij zijn van olie, vet, vuil en stof!

Bij het lijmen is het van belang de omgevingscondities goed onder controle te houden. Belangrijke parameters daarbij zijn de temperatuur, de relatieve luchtvochtigheid, de eventuele windbelasting en het vuilvrij zijn van de te lijmen oppervlakken. Per lijmvlak wordt de voorgeschreven hoeveelheid lijm aangebracht.

Het is belangrijk dat bij het samenbouwen van de lijmdelen de delen goed ten opzichte van elkaar worden geplaatst.

Voor het uitharden van de lijm moet de aangegeven duur voor het bereiken van de aanvangsterkte worden aangehouden. Het volledig belasten van de gelijmde delen kan pas plaatsvinden ná de tijdsduur die de fabrikant daarvoor aangeeft.

### ***Implementatie in de bedrijfsvoering***

Het implementeren van een lijmproces in een productie-omgeving vraagt om een geheel andere instelling dan bijvoorbeeld bij een lasproces. Het vereist een grote discipline in het naleven van applicatieprocedures, het omgaan met gereedschappen, de voorbehandeling van de te lijmen onderdelen en het omgaan met de lijm zelf. Om ervaring op te doen met het lijmproces is het raadzaam dit eerst op kleine schaal toe te passen. Belangrijk is dat het personeel goed is opgeleid en bekend is met het lijm proces. Specifieke cursussen kunnen daarbij van groot nut zijn. Helaas bestaan er, behalve hetgeen in (concept) BRL 4104 is omschreven, momenteel (nog) geen algemeen geaccepteerde procedures om het personeel te certificeren, zoals bij het lassen. De producenten van de diverse lijmsystemen streven er echter naar om op een zo kort mogelijke tijd het lijmproces en applicatiepersoneel, in aansluiting op de productie onder een eventueel ISO 9002 certificaat, ook te certificeren. Om die reden geven zij ook voor de verschillende doelgroepen cursussen en beschikken TNO/Hechtingsinstituut ook verschillende opleidingsmogelijkheden.

## **8.5 Verlijmingsproces**

Om te controleren of in de praktijk de voorgestelde werkwijze wordt gevolgd is kwaliteitsbewaking noodzakelijk. Voor het bewaken van de omgevingscondities is het zinvol de temperatuur en de luchtvochtigheid regelmatig te registreren. Andere zaken die onderdeel vormen van de kwaliteitsbewaking zijn de controle op de te gebruiken materialen, de

houdbaarheid van de opgeslagen lijm, de maatvoering, de uitvoering van de oppervlaktebehandeling en het lijmproces. Hierbij bestaat er een directe relatie met de te volgen werkwijze.

Het implementeren van een lijmproces vereist een grote discipline in het naleven van applicatieprocedures, het omgaan met gereedschappen, de voorbehandeling van de te verlijmen onderdelen en het omgaan met de lijm zelf. Om ervaring op te doen met het lijmproces is het raadzaam dit eerst op kleine schaal toe te passen. Belangrijk is dat het personeel goed is opgeleid en bekend is met het lijmproces.

Zowel de verwerker als de toezichthouder moeten de detaillering en de te volgen processen kennen, beheersen en bewaken. Bovendien moeten ze ingrijpen wanneer van de voorgeschreven werkwijze wordt afgeweken.

### **Verwerkingsrichtlijn**

De verwerkingsrichtlijn van de lijmleverancier bevatten alle gegevens die voor een correcte verwerking van het lijmproduct van belang zijn, met name:

- wijze van voorbehandelen van zowel de achterconstructie als van de gevelbeplating;
- hoeveelheid aan te brengen lijm;
- klimatologische omstandigheden waaronder de toepassing van het lijmproduct verantwoord is (bij stormachtige weer kort na de applicatie moeten er bijvoorbeeld maatregelen worden genomen wanneer de lijm nog niet is uitgehard);
- aan te houden droogtijden;
- aan te houden maten en afstanden hart-op-hart van de draag- of achterconstructie, waarbij ook rekening wordt gehouden met de voorschriften van de fabrikant van de te verwerken plaat;
- reinigen van overtollige lijmresten.

### **8.6 Achterconstructie**

Evenals bij een mechanische bevestiging, bepalen de opbouw en de kwaliteit van de achterconstructie bij het verlijmen van gevelplaten voor een belangrijk deel de duurzaamheid van de totale gevelconstructie.

De achterconstructie is één van de belangrijkste elementen met betrekking tot de applicatie. Uiteindelijk bestaat de gevelconstructie uit verschillende elementen:

- ondergrond (achterconstructie of muur);
- isolatiemateriaal;
- bouwkundige constructie;
- beplating.

De opbouw van de achterconstructie kan variëren en hangt af van de volgende factoren:

- materiaal van de bouwkundige constructie (beton, kalkzandsteen, baksteen);
- aluminium achterconstructie;
- gewicht van de beplating;
- afmeting van de aluminium achterconstructie;
- positie van de gevel ten opzichte van de horizon;
- ligging van het gebouw: wel of niet aan zee;
- windbelasting;
- hoogte van het gebouw.

Bij de naden tussen de platen en ter plaatse van de kozijnopeningen zijn er kleine openingen aanwezig waardoor er water kan intreden naar de luchtspouw. Er moet van uit worden gegaan dat de luchtspouw en de bevestigingsconstructie gedurende langere tijd met water worden belast. Vooral door capillaire naden tussen onderlinge bouwdelen (tussen gevelplaat en stijl of tussen rubber en stijl) blijft de vochtbelasting lang aanhouden.

Dit betekent dat de materialen die in de spouw aanwezig zijn, duurzaam bestand moeten zijn tegen waterbelasting. Dit betreft de platen zelf, de bevestigingsconstructie en de bevestigingsmiddelen.

Omdat geveltimmerwerk voortdurend blootstaat aan weer en wind, is risicoklasse 3 volgens NEN-EN 335-1 (Duurzaamheid van hout en op hout gebaseerde producten – Definitie van risicoklassen van biologische aantasting – Deel 2: massief hout) van toepassing.

Bij risicoklasse 3 is regelmatige blootstelling aan vocht aanwezig. Bij plaatgevels kan echter vocht worden opgesloten tussen plaat en bevestigingsconstructie, waardoor zeer langdurige vochtbelasting optreedt. Geadviseerd wordt daarom bij hoogbouw (> 15 m) rekening te houden met risicoklasse 4, permanente blootstelling aan vocht.

In die gevallen dat een houten bevestigingsconstructies in plaatgevelconstructies wordt toegepast moet het hout duurzaamheidsklasse I of II zijn, of moet het hout worden verduurzaamd of gemodificeerd. Let op, verduurzaamd hout kan alleen worden toegepast in situaties waarbij het hout slechts incidenteel met water wordt belast. Omdat het hout niet tot in de kern is verduurzaamd, kan houtrot optreden rondom de schroef.

Het toepassen van diverse houtsoorten met een duurzaamheidsklasse I of II leidt tot andere risico's. Sommige houtsoorten (zoals Bankirai) zijn gevoelig voor kromtrekken en scheurvorming, hetgeen de vlakheid van de gevel en mogelijk ook de bevestiging niet ten goede komt. Andere houtsoorten hebben agressieve inhoudsstoffen die kunnen leiden tot corrosie van bevestigingsmiddelen (zoals Western Red Cedar), leiden tot onthechting van een lijmverbinding, leiden tot ernstige vervuiling van de gevel (zoals Merbau) en/of zijn te hard of zacht voor een goede bevestiging met schroeven (zoals Bangkirai en Western Red Cedar).

### **8.6.1 Voldoet een vuren houten regelwerk aan de eisen inzage weerstand tegen brandoverslag?**

Als basiseis geldt voor alle constructieonderdelen die grenzen aan de buitenlucht dat deze tenminste moeten voldoen aan brandvoortplantingsklasse 4 volgens de NEN 6065 of Eurobrandklasse D volgens NEN-EN 13501-1.

Bij hogere gebouwen heeft branduitbreiding via de buitenzijde van gevels speciale aandacht, omdat de brandweer vanaf een bepaalde hoogte niet meer kan blussen. Daarom is op het deel boven 13 m hoogte de zwaardere eis van brandvoortplantingsklasse 2 of Eurobrandklasse B van toepassing. Datzelfde geldt voor het onderste geveldeel van gebouwen bij het aansluitende terrein wegens 'vuurtje stoken'.

Een gevel waarin openingen aanwezig zijn en waarbij brandoverslag via de gevel kan plaatsvinden moet volgens de NEN 6068 voldoen aan brandvoortplantingsklasse 2 ofwel Eurobrandklasse B.

Achter de gevelbeplating wordt een veelal vurenhouten regelwerk toegepast. Als onderdeel van de constructie kan deze bepalend zijn voor de brandvoortplantingsklasse, immers deze wordt bepaald door een samenstel van materialen over een dikte 15 cm. te testen. Volgens de tabel brandvoortplantingsklasse hout voldoet vurenhout niet aan brandvoortplantingsklasse 2 c.q. Euroklasse B, maar wel aan brandvoortplantingsklasse 4, c.q. Euroklasse D.

Een gevelconstructie waarbij convectieve warmteoverdracht kan plaatsvinden via de spouw is zonder aanvullende maatregelen niet geschikt als gevelconstructie waarachter zich meerdere brandcompartimenten bevinden. De aansluitingen van de gevel met de verdiepingvloer, in de loze ruimte of spouw, moet ter hoogte van de verdiepingvloer altijd brandwerend worden dichtgezet!

Het is derhalve essentieel dat materiaalgebruik en gevelconstructie, teneinde een snelle uitbreiding en het grote destructieve resultaat van brand te voorkomen, op een doordachte wijze wordt uitgevoerd. Het ontbreken van brandcompartimenten, het toepassen van vurenhouten regelwerk in de luchtspouw en de grote hoeveelheid lucht die daar doorheen kan (schoorsteen effect) dragen bij aan een snelle brandontwikkeling dat moet worden voorkomen.

Daarom wordt aanbevolen om bij het ontwerp en de bouw het materiaalgebruik in de gevelconstructie zorgvuldig te beoordelen en materialen toe te passen die duurzaam voldoen aan brandvoortplantingsklasse 2. Om die reden wordt geadviseerd het regelwerk uit te voeren in aluminium.

Eenzelfde aandacht behoeft de detaillering waarbij de horizontale brandcompartimering moet worden doorgezet in de gevelconstructie.

In figuur 8-5 is in het kort de te volgen werkwijze voor het verlijmen van gevelplaten weergegeven.

- 1 Ontwerp**
  - detaillering
  - toetsing bouwregelgeving
  - beoordeling optredende belasting
- 2 Keuze type gevelbekleding**
  - kunstvezelcement, gebonden – HPL
  - polyester, gebonden – keramiek
  - geëmailleerd gehard glas – natuursteen
- 3 Keuze type achterconstructie**
  - hout – omegaprofiel
  - aluminium – damwandprofiel
- 4 Bevestigingsmethode: verlijmen**
  - lijm – houtverduurzaamiddel
  - tape – primer
  - cleaner – voegprofiel
- 5 Theoretische toetsing constructie**
  - vaststellen of de hiervoor genoemde detaillering en materiaal- en bevestigingskeuze valide zijn
- 6 Voorbereiding uitvoering**
  - opslagcondities lijmproducten en gevelplaten
  - houdbaarheid lijmproducten
  - weersverwachting
  - bepalen temperatuur, relatieve vochtigheid en dauwpunt
- 7 Achterconstructie**
  - positie en afmetingen regelwerk
  - vlakheid en houtvochtgehalte regelwerk
  - ventilatie
- 8 Aanbrengen lijmsysteem**
  - eventueel schuren van de te verlijmen gevelplaat
  - reinigen van de te verlijmen gevelplaat en/of achterconstructie
  - tape verticaal ononderbroken aanbrengen
  - aanbrengen lijmril van minimaal 8x8 mm
- 9 Bevestigen gevelplaat**
  - schutfolie van de tape verwijderen
  - gevelplaat positioneren
  - binnen 10 minuten gevelplaat aanbrengen
  - eventueel afstandblokjes gebruiken
- 10 Keuring en controle gereed product**
  - opstellen onderhouds- en inspectieplan met daarin vermelden van aandachtspunten, wijze van onderzoek en aan te houden frequentie

*Figuur 8-5 Stappenplan voor het verlijmen van gevelplaten.*

## 8.7 Gevelplaten

Er bestaat een groot verscheidenheid aan te verlijmen plaatmaterialen. De eigenschappen van deze plaatmaterialen lopen echter nogal uiteen, waardoor het noodzakelijk kan zijn om bij het verlijmen speciale voorzorgsmaatregelen te treffen. De primaire functie van de gevelbekleding is het beschermen van het gebouw tegen atmosferische



invloeden. Daarnaast heeft de gevelbleiding ook nog een esthetische functie. Het te gebruiken gevelmateriaal moet in beginsel aan de volgende eisen voldoen, afhankelijk van de regelgeving, de optredende belastingen en de wensen van de opdrachtgever:

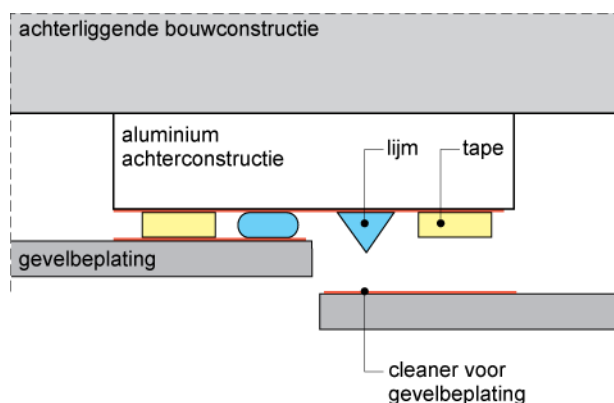
- hoge bestendigheid tegen mechanische en thermische invloeden;
- watervast;
- onbrandbaar;
- vrij zijn van fysische en esthetische veranderingen;
- windbestendig;
- makkelijk te installeren;
- makkelijk in onderhoud.

Daarnaast kan gewicht en de afmeting van de panelen een rol spelen, afhankelijk van het gekozen materiaal. Overigens voldoen lang niet alle plaatmaterialen voor gevels aan deze eisen. Zowel in nieuwbouw als bij renovatie vervult een gevelbekleding verschillende functies, te weten:

- thermisch en akoestisch isoleren;
- vormen van een regendicht scherm;
- omhullen van het gebouw op een esthetisch verantwoorde wijze;
- overdragen van optredende belastingen op de massieve achterconstructie.

## 8.8 Lijmsysteem

Figuur 8-6 geeft schematische horizontale doorsnede over een gelijmde gevelbevestiging. Let er bij het ontwerp van de doorsnede op dat er voldoende ventilatie aanwezig is.



Figuur 8-6 Horizontale doorsnede over een verlijmde gevelconstructie.

Een lijmsysteem bestaat uit verschillende componenten, die samen zorgen voor een goede verlijming van de gevelplaat. Een juiste voorbehandeling van de lijmvlakken is altijd noodzakelijk voor een optimale hechting: een lijmverbinding kan uitsluitend functioneren wanneer de oppervlakken grondig zijn gereinigd en eventueel zijn voorbehandeld. De te verlijmen substraten moeten altijd schoon, droog en vrij van oliën en vetten zijn. Loszittende delen moeten worden verwijderd.

De samenstelling van een lijmsysteem hangt af van de kwaliteit van de toegepaste materialen (de gevelplaat, de achterconstructie en de lijm met eventuele hulpstoffen) en de wijze van samenvoegen van de verschillende substraten en het lijmsysteem. Een lijmsysteem bestaat uit de volgende componenten:

- lijm;
- houtverduurzaammiddel;
- cleaner, washer of reiniger;
- hechtprimer;
- tape;
- oppervlakteverbeteraar.

### **8.8.1 Lijm**

De lijm zorgt na uitharding voor de elastische verbinding tussen de substraten. De elasticiteit van de lijm hangt af van twee factoren:

- samenstelling van de lijm;
- dikte van de lijmril.

- Samenstelling van de lijm. De hardheid van de lijm (aangegeven door het Shore-A getal) bepaalt het vermogen om krimp en uitzetting van de gevelplaat op te vangen. Over het algemeen geldt dat hoe elastischer de lijm is, des te lager de maximale sterkte is. Om te voorkomen dat de lijm wél een hoge elasticiteit heeft, maar niet sterk genoeg is om het gewicht van de gevelplaat te dragen, eist (concept) BRL 4101-7 een minimale sterkte van de lijm. Deze richtlijn bevat ook een methode om de elasticiteit te bepalen bij een 3 of 5 mm dikke lijmril. De elasticiteit bepaalt uiteindelijk welke afmetingen van de gevelplaat in de praktijk mag worden toegepast. Bij een hogere elasticiteit van de lijm mogen dus ook gevelplaten met een grotere afmeting worden toegepast, mits de sterkte van de lijm dat toelaat.
- Dikte van de lijmril. Hoe groter de dikte van de lijmril is, des te meer beweging de lijm kan opvangen. De dikte van de lijmril kan echter niet onbeperkt worden vergroot.

### **8.8.2 Houtverduurzaammiddel**

Er wordt geadviseerd geen onbehandeld blank vurenhout te gebruiken voor de achterconstructie. In het geval toch onbehandeld blank vurenhout wordt toegepast moeten de houten onderdelen welke in direct contact staan met een (mogelijke) vochtbelasting, rondom worden behandeld met een houtverduurzaammiddel, dat zwart kleurt. Het middel biedt bescherming tegen het indringen van vocht, chemicaliën en zuren op plaatsen waar het hout in aanraking komt met beton, staal of metselwerk. Een houtverduurzaammiddel is géén hechtprimer en kan dus vooraf worden verwerkt. De verlijming van de plaatmaterialen kan dus op elk gewenst moment plaatsvinden, rekening houdend met de voorgeschreven

droogtijd. Een houtverduurzaamiddel mag echter nooit op de achterzijde van gevelplaten worden aangebracht.

Wanneer er een achterconstructie van verduurzaamd hout wordt toegepast kan voor verkrijgen van een zwarte naad tussen de gevelplaten – om esthetische redenen – een houtverduurzaamiddel aan de voorzijde van het verticale regelwerk worden aangebracht. Een andere mogelijkheid is om zwarte, geanodiseerde voegprofielen te gebruiken. Een houtverduurzaamiddel mag ook nooit worden aangebracht op geverfd hout, multiplex, aluminium en op andere metalen.

### **8.8.3 Cleaner, washer of reiniger**

Het (al of niet) toepassen van een cleaner is situatiegebonden. Een cleaner, washer of reiniger is een reinigingsmiddel om de achterzijde van de gevelplaat en/of de voorzijde van de aluminium achterconstructie te behandelen. Het verwijdert olie, vet, achtergebleven vuilresten en andere onzuiverheden en prepareert de oppervlakken voor het lijmproces.

Bij gevelplaten zit er op de achterzijde (de te verlijmen zijde) soms nog een residu (stof) uit het productieproces afkomstig van lossingsmiddelen of van folies om de gevelplaat te beschermen.

- Lossingsmiddelen. Bijvoorbeeld HPL-platen worden vervaardigd door meerdere platen – soms wel veertig of tachtig stuks tegelijk – onder hoge druk te persen. Om na het persen de platen van elkaar te kunnen halen wordt er tussen de platen, op het plaatoppervlak, van te voren een lossingsmiddel aangebracht. Dat is meestal vet of op een product op basis van siliconen.
- Folies. Bij sommige merken HPL-platen wordt een beschermfolie op de voor- en/of achterzijde aangebracht om de plaat te beschermen tegen beschadigen en kromtrekken. Bij het verwijderen van de folie kan een laagje (residu) van de folie op de plaat achterblijven. De gevelplaat moet dan eerst licht worden opgeschuurd en vervolgens worden gereinigd voordat er kan worden verlijmd.

### **8.8.4 Hechtprimer**

Een hechtprimer wordt aangebracht op het oppervlak en verbetert over het algemeen de hechtbaarheid van het substraat en fungeert als een 'chemische brug' tussen het substraat en de lijm. Hechtprimers bestaan over het algemeen uit een reactief chemisch middel dat in een oplosmiddel wordt gedoseerd. Dit oplosmiddel verdampt na het aanbrengen, waarna het actieve middel achterblijft. Deze, veelal agressieve middelen 'etsen' het te verlijmen oppervlak, zodat de lijm goed kan indringen. Dit leidt tot een verandering van het oppervlak van het substraat waardoor er een kratervormige structuur ontstaat die plaats biedt aan de mechanische 'vernetting' van de lijm. De lijmverbinding moet om die reden altijd binnen de opgegeven tijd na het aanbrengen van de primer worden tot stand gebracht!

De resultaten van een behandeling met een hechtprimer varieert van substraat tot substraat en de keuze en het is belangrijk bij elke applicatie de juiste hechtprimer te kiezen. Het al of niet toepassen van een hechtprimer hangt af van de situatie en wordt in de verwerkingsrichtlijn van lijmproducenten geregeld.

### **8.8.5 Tape**

Tape bestaat uit een gemakkelijk indrukbare foamlaag met aan twee zijden een zelfklevende lijmlaag en heeft twee functies, namelijk als afstandhouder en als eerste aanhechting van de gevelplaat.

- Afstandhouder. De tape is in de meeste gevallen 3 mm dik. Bij het aanbrengen van de gevelplaat ontstaat er zo een minimale lijmlaagdikte van 3 mm tussen de gevelplaat en het achterliggende regelwerk. Deze vereiste lijmlaagdikte is nodig om de elasticiteit van de lijm te kunnen garanderen die nodig is om het krimpen en uitzetten van de gevelplaat ten opzichte van de ondergrond te kunnen opvangen.
- Eerste aanhechting van de gevelplaat. De tape is nodig, omdat deze zorgt voor een tijdelijke aanvangsverbinding. Bij het aanbrengen van de gevelplaat tegen de gevel is de lijm namelijk nog niet uitgehard en daardoor nog niet sterk genoeg om de plaat te kunnen dragen. Na maximaal 24 uur uitharding bezit de lijm voldoende sterkte en verliest de tape zijn functie.

### **8.8.6 Oppervlakteverbeteraar**

Een oppervlakteverbeteraar zorgt er voor dat de oppervlaktestructuur van voornamelijk poreuze materialen wordt verbeterd, zodat er vervolgens op verlijmd kan worden. De te gebruiken oppervlakteverbeteraar moet altijd zijn afgestemd op het lijmproduct.

## **8.9 Beoordelen van bestaande bouw**

Ook een gevelbekleding moet op een juiste wijze worden onderhouden, bij voorkeur door het opstellen van een inspectie- en onderhoudsplan. Wanneer er sprake is van onvolkomenheden in het ontwerp en/of de uitvoering openbaren deze onvolkomenheden zich meestal al in eerste drie jaren na oplevering, zo leert de praktijk. Een eerste beoordeling van de gevelbekleding moet daarom één kalenderjaar na de oplevering plaatsvinden. De gevelbekleding is goed te 'bewaken' door bijvoorbeeld de meest kritische gevelzijden van het gebouw visueel – of met endoscopisch onderzoek of zelfs met destructief onderzoek – te inspecteren. Destructief onderzoek met de mogelijkheid tot herstel is bijvoorbeeld mogelijk door met een snijdraad één of meerdere gevelplaten los te snijden en visueel vast te stellen of er waarneembare veranderingen zijn opgetreden. Hierbij moet niet alleen worden gelet op de lijmverbinding, maar ook op de achterconstructie en moet de gevelplaat worden beoordeeld op verkleuringen, vervormingen,

corrosievorming, scheurvorming in de lijm en op scheurvorming/onthechting tussen de lijm en de bevestigde substraten. Bij een eerste visuele controle zijn de volgende aandachtspunten van belang.

- Is er sprake van loszittende delen bij één of meerdere gevelplaten? Controleer met name de hoeken van de gevelplaten.
- Is er sprake van grote vervormingen van de gevelplaat, zoals hol of bol trekken tussen de verschillende regels van de achterconstructie.
- Is er sprake van scheurvorming of breuken in de gevelplaat.
- Is 's ochtends door condensvorming de structuur van de achterconstructie op de gevelplaat zichtbaar. Dit kan wijzen op onvoldoende ventilatie.
- Zijn er voldoende ventilatieopeningen in het gevelvlak. Veel vocht achter de gevelpanelen wijst op onvoldoende of een geblokkeerde ventilatie.

Wanneer één van de hiervoor genoemde gebreken wordt geconstateerd is nader onderzoek nodig – met een endoscoop of via destructief onderzoek – om vast te stellen of er mogelijke sprake is van:

- geblokkeerde ventilatie (door bijvoorbeeld uitzakkende isolatie of opbollende dampremmende folie);
- foutieve, of op de verkeerde plaats aangebrachte lijmrijs;
- deformatie van het gevelpaneel;
- onvoldoende dikte van de lijmlaag;
- scheurvorming in de lijmrijs;
- onthechting van de lijmverbinding aan het regelwerk en/of de gevelplaat;
- corrosie of houtrot aan de achterconstructie;
- afwijkingen in temperatuur en vochtigheid.

Een andere mogelijkheid is het controleren van de sterkte van de lijmverbinding van een al gemonteerde gevelplaat door het aanbrengen van een gelijkmatig verdeelde belasting via een vacuümzuiginstallatie. Deze installatie bestaat uit twee rijen van elk drie vacuümzuigers met een diameter van ongeveer 300 mm ter plaatse van de achterconstructie. De in te stellen proefbelasting hangt af van de locatie, de gebouwhoogte, de windvormfactor en de materiaalfactor volgens NEN 6702.

### Literatuur

1. Sjef Kickken, "Vademecum Houtachtige en andere Plaatmaterialen voor de bouw", SDU uitgevers, Den Haag 2006, ISBN 90-12-11699-6
2. Prof.ir Nico Hendriks / ir. Inge Blom, "NBD-BDA GevelReeks", SDU Uitgevers, Den Haag 2005 ISBN 90-12-11230-3.

3. Ir. IJ. J van Straalen / Prof. Ir. F. Soetens / Ing. C.C.J. Kaasschieter, "6.7 Gelijmde verbindingen voor de bouw", Vereniging FME, Zoetermeer 1999
4. Werkgroep voorlichtingspublicatie, "VM 86 Lijmen", Zoetermeer 1991, Vereniging FME
5. Werkgroep voorlichtingspublicatie, "VM 89 Keuren van lijmen en lijmverbindingen", Zoetermeer 1992, Vereniging FME
6. Ir. S.E.E. de Winter, "Successen met Lijmen" Centrum voor Lichtgewicht constructies, TU-Delft TNO
7. Ir. IJ. J van Straalen, "Plakken of construeren?", TNO Bouw
8. College van Deskundigen, "BRL 4104, Aanbrengen van gevelbeplatingen met behulp van lijmsystemen", SKH, Wageningen 2003
9. S. J. van Driesten, "Lijmen in de carrosseriebouw", TU Delft/Hechtingsinstituut Delft 1996
10. "10 jaar hechtingsinstituut en de ontwikkeling van lijmen", Delft 2000, TU Delft/Hechtingsinstituut,
11. Eberhard baust, "Praxishandbuch Dichtstoffe", IndustrieVerband Dichtstoffe, Düsseldorf 1995
12. "Primaire Lijm Applicatie Cursus (PLAC)", SHR, Wageningen 2002
13. College van Deskundigen, "BRL 4101 (hele serie), SKH/SKG, Wageningen
14. College van Deskundigen, "BRL 0601 Houtverduurzaming" SKH, Wageningen 2006
15. "Lijmen is een kunst voor iedereen", Hechtingsinstituut Delft 2004
16. "Lijmen in de Bouw, Bouwen aan de Toekomst", Universiteitsdrukkerij, Hechtingsinstituut 1992
17. dr. Hans Poulis, "Lijmverbindingen, belangrijke facetten van het ontwerpproces" Lastechniek, december 2008
18. Harm Iking, "Lijmen kan concurrentie aan met lassen, solderen, schroeven, bouten en klinknagels", Metaal magazine 1, 2007
19. Werkgroep Mechanisch verbinden en lijmen, "Praktijkaanbeveling mechanisch verbinden en lijmen", Nederlands Instituut voor Lastechniek, 1998
20. Jannes C. Jagt, "Leerzame ervaringen met gelijmde verbindingen", Bond van Materialenkennis, Sectie Hechting, Eindhoven 2000
21. Prof. Dr. Ir. Mick Eekhout, "Lijmen tussen efficiency en imago", Lezing constructief lijmen van metalen in de bouw, TU Delft 1999
22. VROM Helpdesk, "Referentieperiode bij sterkteberekeningen", Bouwregels in de Praktijk 9, 2008
23. J.G. Dame, "Achterconstructie bepaalt duurzaamheid gevel", Bouwbesluit in de Praktijk 10, 2004
24. J.G. Dame, "Duurzaam veilige gevels door monitoring" Bouwwereld 12, 2006

25. Rapport Onderzoeksraad voor de Veiligheid, “Veiligheidsproblemen met gevelbekleding”, Den Haag 2006
26. Common Understanding of Assessment Procedure (CUAP).  
“Prefabricated compressed mineral boards with organic or inorganic finish and with specified fastening system” ETA request no. 04.04/12, Brussel 2008
27. European Technical Approval “ETA-07/0141”, Brussel 2007
28. General Template for Guidance, “GNB-CPD position paper from SH02 – Reaction to fire testing”, Brussel 2007
29. European Commission, “Guidance Paper F: Durability and the construction products directive”, Brussel 2004
30. Prof. ir Nico Hendriks, “Bouwen is geen wetenschap”, afscheidscollege Eindhoven 2005
31. Tweha, the bonding people, “Kwaliteit Handboek”, Eersel 2001
32. Tweha, the bonding people, “Cursus Tweha Academy”, Eersel 2011
33. Team Brand Onderzoek VNOG, “Rapport Brandonderzoek Vensterschool Gravenburg Groningen” Brandweer Regio Groningen 2010