Nederland – Vlaanderen

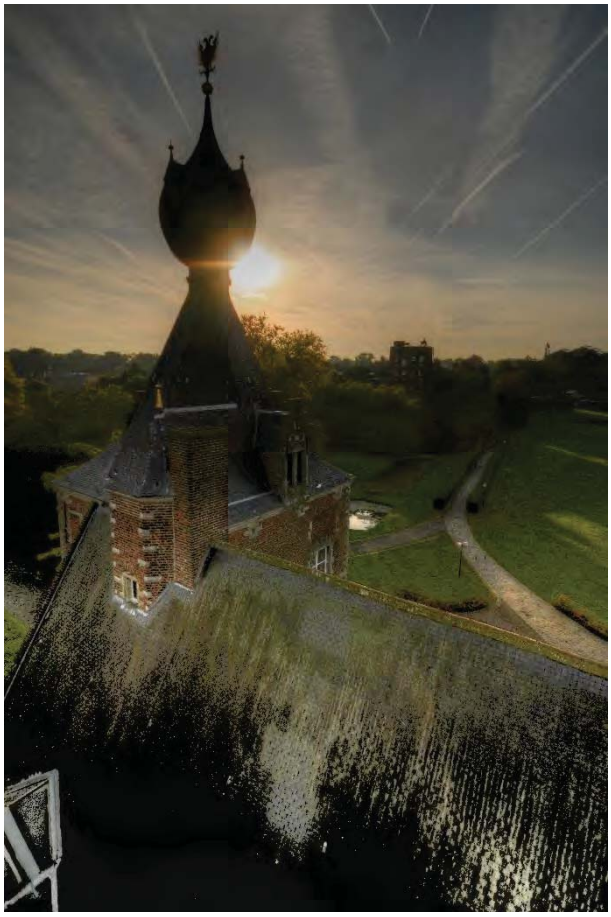
PREVENTIEVE CONSERVATIE
VAN KLIMAAT- EN SCHADEMONITORING NAAR EEN GEÏNTEGREERDE SYSTEEMBENADERING

Leuven 2019

WETENSCHAPPELIJK-TECHNISCHE GROEP VOOR AANBEVELINGEN INZAKE BOUWRENOVATIE EN MONUMENTENZORG

www.wta-nl-vl.org
info@wta-nl-vl.org
KvK: 40398619

PREVENTIEVE CONSERVATIE VAN KLIMAAT- EN SCHADEMONITORING NAAR EEN GEÏNTEGREERDE SYSTEEMBENADERING



Leuven 5 april 2019

Editor:
Els Verstrynge
Bert van Bommel
Nathalie Vernimme
Rob van Hees

NEDERLAND
TU Delft – Faculteit Bouwkunde t.a.v. Wido Quist | Postbus 5043 | NL-2600 GA Delft
T: +31 (0)639251159 | E: w.j.quist@tudelft.nl
Bank: NL31ABNA0427726158

VLAANDEREN
KULeuven t.a.v.Kristine Loonbeek | Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448 | B-3001 Heverlee
T: +32 (0)16321654 E: Kristine.Loonbeek@kuleuven.be
Bank: BE52738027352709

VOORWOORD

Preventieve Conservatie
Van klimaat- en schademonitoring naar een geïntegreerde systeembenadering

Een benadering van Preventieve Conservatie gaat uit van het concept “preventie is beter dan genezing”. Deze benaderingswijze is de laatste decennia succesvol geïntroduceerd in de erfgoedzorg en heeft als belangrijkste voordelen kostenefficiëntie, een betere bescherming van erfgoedwaardes, een tijdige aanpak van problemen en dus minder gevolgschade, een verbetering van de fysieke staat en verlenging van de levensduur van erfgoed, en het betrekken van de gemeenschap bij erfgoedzorg. Daarentegen leidt een reactieve benadering en het uitstellen van kleine interventies vaak tot hogere kosten. Het WTA-PRECOM³OS symposium zal daarom focussen op preventieve conservatiebenaderingen, monitoringstechnieken en methodes om deze tools te implementeren in een geïntegreerde systeembenadering.

De activiteiten rond het WTA-PRECOM³OS symposium worden gespreid over drie dagen, 3-5 april 2019, met een bijeenkomst van Monumentenwacht-organisaties, een internationaal WTA colloquium en een studiedag waarin zowel Nederlandstalige als Engelstalige sprekers aan bod komen. Op de studiedag wordt Preventieve Conservatie benaderd vanuit het standpunt van erfgoedbeheerders, Monumentenwacht, studiebureaus, architecten, overheid en onderzoekers.

Dit symposium wordt samen georganiseerd door WTA-Nederland-Vlaanderen, het Raymond Lemaire International Centre for Conservation (RLICC) en het Departement Burgerlijke Bouwkunde van de KU Leuven, in het kader van het 10-jarig bestaan van de UNESCO Leerstoel “Preventive Conservation, Monitoring and Maintenance of Monuments and Sites (PRECOM³OS)”.

Els Verstrynge
April 2019

Deel 1: Nederlandstalige bijdrages

Van Laar Birgit	**Vernieuwde inspectieverslagen van Monumentenwacht Vlaanderen helpen eigenaars om hun gebouwd erfgoed beter te onderhouden en te beheren**
Faesen Vincent	**Vastgoed in de Vingers met de RVB-BOEI methodiek**
Godts Sebastiaan Hayen Roald	**Onderzoek en preventie van vocht- en zoutschade gerelateerd aan het klimaat in de crypte van de Sint-Baafs-kathedraal te Gent**
Vernimme Nathalie	**De rol van Europese standaardisatie in de disseminatie van systemische (preventieve) conservatie-strategieën**
Deckers Katrien	**Monitoring als afwegingskader en tool in het beheer van het stedelijke patrimonium (stad Leuven)**
Anaf Willemien Schalm Olivier Callier Jan Rochez Maud Verhulst Isolde	**Impact van een verwarmingssysteem op de conservatie van een kerkinterieur**
Van Gorp Michiel Verstrynge Els Oliveira Daniel Silva Rui	**WTA NL-VL studieprijs: Experimental study of the in-plane behaviour of rammed earth walls strengthened with TRM**

Deel 2: Engelstalige bijdrages

S. Della Torre	**Keynote: "A co-evolutionary approach as the theoretical foundation of planned conservation of built cultural heritage"**
R. Kilian	**Keynote: "Preventive Conservation of built heritage in Changing Environments"**
R. van Hees	**Keynote: "MDCS - a system for damage identification and monitoring"**
B. Liu	**"Applying Preventive Conservation in China's Conservation Background"**
N. Van Roy	**"The contribution of preventive maintenance to the quality of built cultural heritage"**
Y. Gao	**"Preventive Monitoring and Study of Insect Damage of Carpenter Bees to Timber Components of Chinese Historic Buildings"**
M. Wu	**"Monitoring of built heritage in China since 1950s: evolution of motivation, practice, perception and strategy based on four case studies"**
R. Moioli	**"Preventive and Planned Conservation: potentialities and criticalities, strategy and tools, lessons learned"**
G. Garcia	**"The role of the University in maintaining vernacular heritage buildings in southern Ecuador"**
P. Izvolt	**"Preventive conservation model applied in Slovakia and building heritage damage monitoring"**
T.C. Ferreira	**"Management & maintenance planning for built heritage. Portuguese case studies focusing on preventive conservation and participatory strategies"**
G. van der Varst	**"Quality of restoration of monuments: the role of Monumentenwacht"**
S. Linskaill	**"The Traditional Buildings Health Check: a new approach to built heritage in Stirling, Scotland"**
L. Cantini	**"Condition assessment and monitoring in Milan Cathedral: putting risk assessment into practice"**

Q. Chun	**“Research on Structural Safety Assessment Method of Chinese Traditional Timber Buildings”**
G. Barsallo	**“Creativity and Diversification of Brick, Susudel (Ecuador)”**
L. Haiping	**“Nip in the Bud: Chinese traditional Preventive Measures Study from the Maintenance Project of Chong-mo-ge Pavilion in Shenyang Palace”**
X. Li	**“From adaptation to Innovation: The Development and Trend of Fire Control in Historic Districts of China (1990-2018)”**
T. Croonenborghs	**“Settlement risk assessment using PSInSar” - the Gepatar Project**
C. Geyer	**“Monitoring of Water contents and Temperatures of historical Walls with interior Insulation in Switzerland”**
A. Drougkas	**“Laser Scanning, Monitoring and Analysis of a Reconstructed Masonry Vault”**
K. Ghazi Wakili	**“Immediate measures to prevent condensation induced damage on the wall frescos of the Ritterhaus Bubikon”**
C. Whitman	**“Energy Retrofit of Historic Timber-Frame Buildings- Hygrothermal Monitoring of Building Fabric”**
S. Dubois	**“Systematic and integrated approach based on innovative technologies for energy efficiency optimization of historical building”**

DEEL 1

VERNIEUWDE INSPECTIEVERSLAGEN VAN MONUMENTENWACHT HELPEN EIGENAARS OM HUN GEBOUWD ERFGOED BETER TE ONDERHOUDEN EN TE BEHEREN

Birgit van Laar
Monumentenwacht Vlaanderen vzw

1. Abstract

Sinds midden 2016 worden de inspectieverslagen van Monumentenwacht in een nieuw jasje gestoken, waarbij vooral de focus in de rapporten verschuift. De inspectiemethodiek *'regelmatige monitoring van de volledige constructie met aandacht voor risico's die de toestand en waarde van het erfgoed bedreigen*' en een bijhorend advies naar eigenaars/beheerders blijft. Nazicht, preventief onderhoud en dringende kleine herstellingen vormen de kern binnen de werking van Monumentenwacht. Het onderscheid met grotere herstellingen of restauratiewerken, doorgaans gespecialiseerde, arbeidsintensievere en dus duurdere ingrepen, is bij eigenaars/beheerders niet altijd duidelijk. Ook de perceptie dat pas gerestaureerde gebouwen geen nazicht en onderhoud nodig hebben, is moeilijk om te buigen. Met de nieuwe rapporten en handige overzichtstabel wil Monumentenwacht eigenaars/beheerders van erfgoed stimuleren om precies dat preventief onderhoud een duidelijke(re) plaats te geven bij het beheer van hun monument. De adviezen worden zo concreet mogelijk geformuleerd. De conditiebepalingen van de staat van het erfgoed worden gebundeld per bouwdeel, maar uitgebreid met een beoordeling van het onderhoud en de risico's op verval. De overzichtstabel waarin af te lezen staat welke adviezen wanneer best uitgevoerd worden, schept een basis voor een onderhoudskalender, overzicht van beheersmaatregelen, een onderhoudslogboek…

2. Inleiding

Niet zozeer het regelmatig inspecteren, dan wel de registratie en rapportage van de bevindingen uit de inspecties van Monumentenwacht zijn de laatste jaren – althans voor het bouwkundig erfgoed in Vlaanderen – geëvolueerd. Om een idee te geven over welke soort inspecties het gaat, wordt eerst kort de werking van Monumentenwacht en meer in het bijzonder van Monumentenwacht bouwkunde toegelicht. Daarna wordt dieper ingegaan op de nieuwe inspectierapporten, hoe die tot stand gekomen zijn en waar de nadruk op ligt, om vervolgens te kijken hoe deze rapporten een aanzet kunnen zijn voor de eigenaar/beheerder om hier verder mee aan de slag te gaan.

3. Monumentenwacht in Vlaanderen

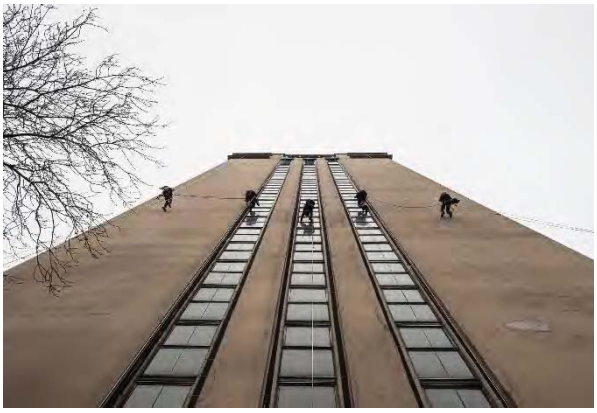
3.1. Ontstaan

Monumentenwacht in Vlaanderen werd begin jaren '90 van de vorige eeuw opgericht naar het Nederlands Monumentenwacht-model met als doel de instandhouding van het onroerend erfgoed in Vlaanderen te bevorderen. De nadruk lag en ligt nog steeds op het stimuleren van preventief onderhoud aan historisch waardevol erfgoed in Vlaanderen. Dat doet Monumentenwacht o.a. door de aangesloten objecten regelmatig te inspecteren, daaraan een inspectierapport te koppelen en advies te verstrekken met betrekking tot duurzaam onderhoud. Aanvankelijk werd enkel het bouwkundig erfgoed in Vlaanderen opgevolgd, later kwamen er ook historische interieurs, varend erfgoed en archeologisch erfgoed bij. Vandaag heeft Monumentenwacht voor elk van deze disciplines één of meerdere specialisten in huis. Dit laat

een integrale erfgoedbenadering toe. Ook voor specifieke categorieën van bouwkundig erfgoed, zoals molens, funerair erfgoed, klein historisch erfgoed zoals veldkapellen, militair erfgoed, … zijn er gespecialiseerde monumentenwachters.

Grafheuvel

Baasrode



Boekentoren (© UGent)

Interieurinspectie

Figuur 1

3.2. Beter voorkomen dan genezen

Van bij de oprichting was de doelstelling van Monumentenwacht gericht op preventief optreden. De missie luidde en luidt nog steeds: ‘beter voorkomen dan genezen’.

Net zoals een auto regelmatig ‘op onderhoud’ gaat met de bedoeling om hem te laten nakijken, waar nodig te smeren en kleine mankementen tijdig te herstellen vooraleer er schade komt aan belangrijke onderdelen, zet Monumentenwacht in op het preventief onderhoud van aangesloten erfgoed door geregeld inspecties uit te voeren. Monumentenwacht gelooft immers sterk dat regelmatig onderhoud omvangrijke of ingrijpende werken kan uitstellen en zelfs vermijden. Op termijn komt zo’n aanpak goedkoper uit en de erfgoedwaarde en -beleving worden zo beter bewaard. De visie ‘beter voorkomen dan genezen’, wordt bij eigenaars, beheerders en overheden algemeen ondersteund.

Beter voorkomen dan genezen Gevolgschade

Figuur 2

3.3. Inspecties bouwkunde

Een 30-tal bouwkundige monumentenwachters voeren per jaar zo’n 1000 inspecties uit. Tijdens zo’n inspectie wordt het gebouw, object of constructie van dak tot kelder en van binnen naar buiten bekeken door een team van monumentenwachters. Alle inspecties zijn in principe visueel – aangevuld met voelen en ruiken – en niet-destructief. Ze hebben daarbij vooral oog voor de kwetsbare en onderhoudsgevoelige plekken. Bij gebouwen is dat in de eerste plaats de waterdichtheid van daken, goten en gevels. Ook de structuur, schrijnwerk, houtaantastingen en allerlei risico’s die het voortbestaan van het erfgoed of de waardevolle onderdelen kunnen bedreigen, komen aan bod.
Een bouwkundige inspectie wordt doorgaans uitgevoerd door een team van 2 bouwkundige monumentenwachters en kan eerder beschouwd worden als een (uitgebreide) quickscan. Gemiddeld neemt een inspectie zo’n 2 uur (voor een woning) tot 1,5 dag (voor een dorpskerk) in beslag. Afhankelijk van de complexiteit van het object, de bereikbaarheid binnen in het object of het gebruik van industriële touwtechnieken, kan de inspectietijd afwijken.

3.4. Doelgroep

Monumentenwacht stelt zich op als dienstverlener en richt zich in de eerste plaats tot eigenaars of beheerders van waardevol erfgoed, ongeacht hun statuut: privépersonen, verenigingen of vennootschappen, kerkfabrieken of openbare besturen… Elke eigenaar of beheerder van waardevol erfgoed in Vlaanderen kan lid worden bij Monumentenwacht. Ze kunnen aansluiten met gebouwen, hun interieurs met kunstvoorwerpen, varend erfgoed en archeologisch erfgoed. Bijna de helft van de 3200 aangesloten leden (eind 2018) zijn privé-eigenaars (particulieren, vennootschappen of verenigingen). Bisdommen en kerkraden vormen de tweede grootste groep. Eigenaars en beheerders zijn die mensen die direct betrokken zijn bij de instandhouding van hun erfgoed, maar ze beschikken niet noodzakelijk

over een ruime technische bagage om problemen op te merken, de ernst ervan in te schatten en de juiste stappen te zetten om de problemen of risico's aan te pakken. Ze beschikken vaak evenmin over de vereiste vaardigheden en uitrusting om zelf een inspectie of onderhoudswerken uit te voeren, vooral op moeilijk bereikbare, maar onderhoudsgevoelige plaatsen.

Nodige uitrusting

Moeilijk bereikbare plaatsen

Figuur 3

Het is aan deze doelgroep dat monumentenwachters hun boodschap willen overbrengen. De bevindingen van de inspectie worden vaak mondeling al kort toegelicht aan het einde van een inspectie, maar een inspectierapport met de nodige adviezen naar behoud en beheer is het belangrijkste instrument om de boodschap over te brengen.

4. Nieuwe rapportagetool en inspectierapporten voor Monumentenwacht Bouwkunde

4.1. Oude en nieuwe inspectierapporten

Tot 2016 werden de toestand en de daaraan gekoppelde adviezen naar toegankelijkheid, onderhoud en kleine herstelwerken genoteerd in een MS-Word-rapport. Deze rapporten van 25 jaar inspecties bevatten een schat aan informatie over de 7000 objecten die aangesloten zijn bij Monumentenwacht. Alleen zijn slechts een zeer beperkt aantal gegevens ingegeven in een databank en zijn teksten moeilijker doorzoekbaar.
Vandaag worden de meeste vaststellingen uit een inspectie niet meer ingegeven in MS-Word, maar in een relationele webbased databank. De databank is op maat ontwikkeld in MySQL en de applicatie (rapportagetool) is geschreven in JAVA. De databank, de applicatie en de belangrijkste documenten worden opgeslagen in Google Cloud. De vernieuwing van de inspectierapporten en rapportagetool brengt dus zowel inhoudelijk als technisch een aantal wijzigingen met zich mee.

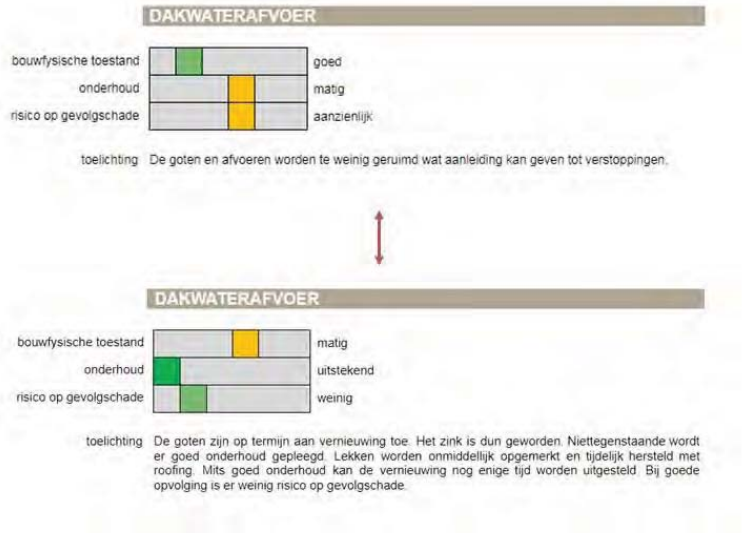
Allereerst is er een omslag in de manier waarop informatie wordt bijgehouden. Alle gegevens worden ingegeven in fiches per object met een aantal invoervelden met keuzelijsten en tekstvelden. Uit deze fiches wordt informatie geplukt voor rapporten in Google Documenten of in Google Spreadsheets. De ingevoerde informatie hoeft niet noodzakelijk allemaal overgenomen te worden in het inspectierapport voor de eigenaar/beheerder. Er is ook plaats om informatie bij te houden voor de monumentenwachters zelf of informatie die nuttig kan zijn bij een volgende inspectie… Voordeel van een webbased systeem is dat het voor alle monumentenwachters en Monumentenwacht-medewerkers toegankelijk is vanop elke locatie waar internet beschikbaar is.
Ten tweede is de focus verschoven van een toestandsbeschrijving van alle onderdelen van het gebouw (met de nodige aanbevelingen) naar een adviezenrapport (met relevante omschrijvingen). Adviezen zijn het belangrijkste onderdeel in de nieuwe rapporten. Hierin vindt de eigenaar/beheerder de essentiële informatie terug om zijn gebouw in goede staat te houden. Bouwdelen die in orde zijn of waar niet onmiddellijk onderhoudswerken aan moeten gebeuren, worden standaard weggelaten uit het inspectierapport voor de abonnee om ballast te beperken.
Ondanks de ‘mind switch’ die de monumentenwachters moeten maken om hun bevindingen te registreren, is er aan de manier van inspecteren niet veel veranderd en voeren ze nog steeds een zo volledig mogelijke inspectie uit van het erfgoedobject.

4.2. Onderdelen in de nieuwe rapportagetool

Bij het herdefiniëren van de rapporten en de rapportagetool, werd uiteraard uitgegaan van de sterktes van de bestaande inspectiemethodiek en inspectieverslagen. Daarnaast werd ook gekeken naar de richtlijnen binnen Europese context. De Nederlandse norm NEN 2767 was een bron van inspiratie, maar op zich niet geschikt om over te nemen wegens te ingewikkeld in gebruik. De conditiebepaling was helemaal uitgesplitst (een euvel in de oude rapportage waar Monumentenwacht vanaf wilde) en te veel gericht op facilitymanagement van ‘standaardgebouwen’ en te weinig gericht op het onderhoud van erfgoed.
De nieuwe inspectietool bestaat uit 5 grote onderdelen die ook in meer of mindere mate terug te vinden zijn in het inspectierapport:
- een administratief luik;
- een conditiebepaling;
- een overzichtstabel – onderhoudskalender die een samenvatting geeft van alle adviezen;
- een adviezenrapport;
- een ID-luik.

Het **administratief gedeelte** bevat de belangrijkste gegevens van het gebouw: een identificatiefoto op het voorblad, adresgegevens van het object en de eigenaar, of het object beschermd is of niet, informatie over de inspectie met de contactgegevens van het inspectieteam en eventueel algemene opmerkingen.
In de oude rapporten krijgt elk in detail besproken onderdeel een quotering goed – redelijk – matig – slecht, waarbij ‘goed’ gedefinieerd wordt als ‘in orde, geen actie nodig’ en ‘slecht’ gekoppeld wordt aan ‘dringende instandhoudingswerken uit te voeren’. De **conditiebepaling** in de nieuwe rapporten is enerzijds sterk vereenvoudigd tot een quotering per overkoepelend bouwdeel en anderzijds opgesplitst in 3 onderdelen: de bouwfysische staat, de onderhoudsstaat en het risico op gevolgschade. Hier is de filosofie gevolgd van de NEN 2767, maar de praktische uitwerking staat hier ver van af, juist door de keuze van vereenvoudiging om niet langer elk onderdeel tot in detail te quoteren. Op deze manier is de 3-ledige conditiebepaling op een schaal van 1 tot 6 met een beknopte toelichting genuanceerder en geeft een preciezer beeld. Zo kunnen goten in een goede bouwfysische staat zijn, maar weinig onderhouden en daardoor sterk vervuild, waardoor het risico op wateroverlast en de daaraan gekoppelde gevolgschade groot is. Anderzijds kunnen verweerde goten die bouwfysisch misschien matig genoemd worden, maar goed onderhouden en goed opgevolgd worden door

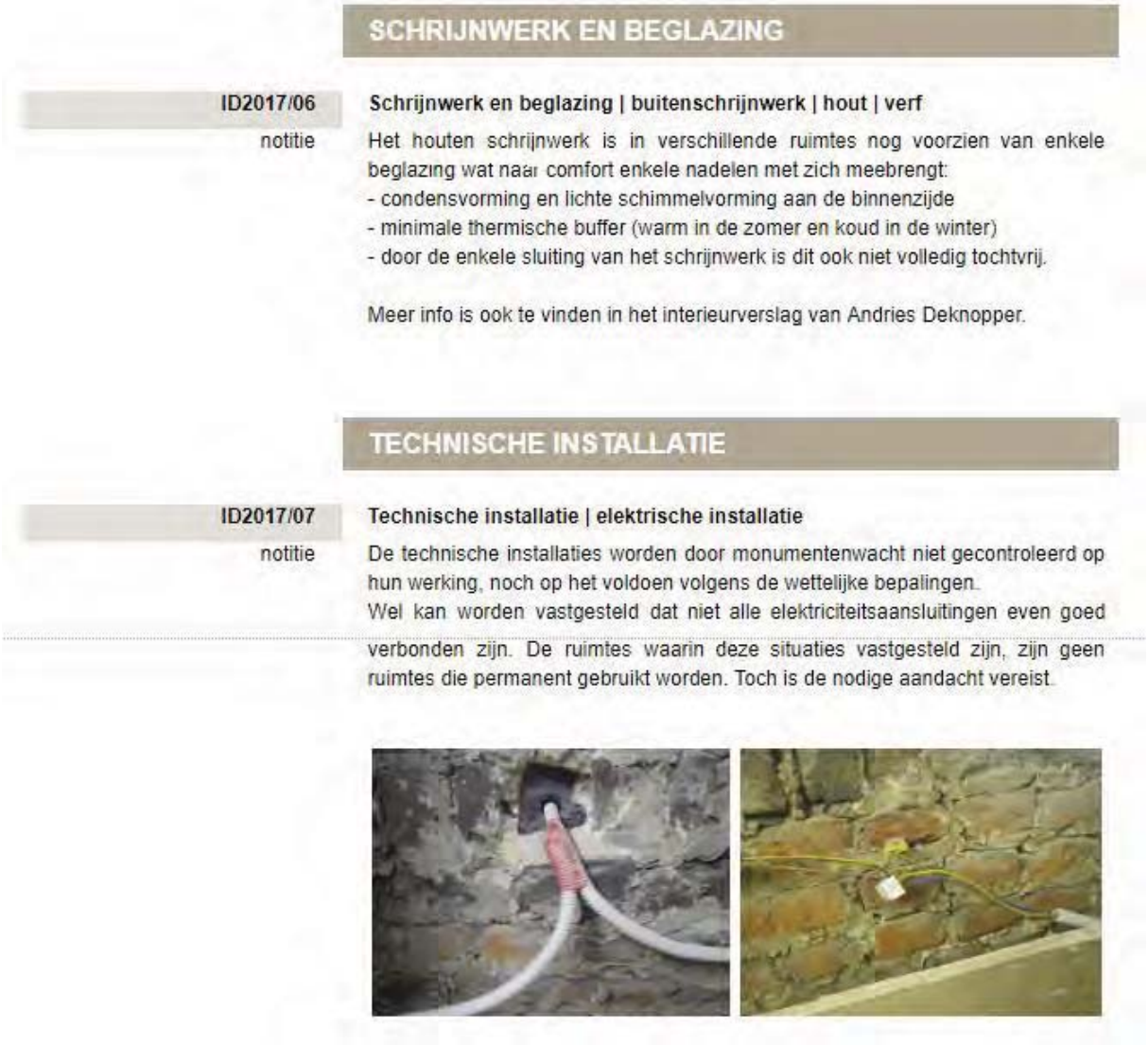
een eigenaar/beheerder, veel minder risico met zich meebrengen op ernstige gevolgschade juist omdat de toestand nauw opgevolgd wordt en er snel op de bal wordt gespeeld bij problemen.



Figuur 4: Conditiebepaling

De conditiebepaling wordt ook losgekoppeld van een prioriteit voor actie; een combinatie die bij de oude rapporten wel eens voor verwarring zorgde. Zo is het herstellen van een lek in de dakbedekking boven een spantvoet of boven een schilderij van Rubens meer urgent dan het herstel van eenzelfde lek in een afdak boven een fietsenstalling. De slechte toestand van een beeld dat gebroken is, maar opgeslagen ligt in een bergruimte en voorlopig niet gebruikt wordt, vraagt niet noodzakelijk een dringende restauratie. In het vorige voorbeeld van de goten (Fig. 4) is ingrijpen het dringendst in de gevallen waar het risico op vervolgschade het grootst is en niet zozeer bij de goten waar de bouwfysische toestand het minst is. De prioriteit blijft in de nieuwe rapporten gekoppeld aan de te nemen adviezen en wordt - in tegenstelling tot de conditie - niet samengevat per bouwdeel. De prioriteit is terug te vinden in elk advies en in de overzichtstabel.

Het **ID-luik of identificatieluik** bevat labels om de onderdelen en de gebruikte materialen aan te duiden. Deze informatie kan per onderdeel aangevuld worden met tekst, referentiefoto's en plannetjes. De informatie in het ID-luik blijft in principe ongewijzigd tussen 2 inspecties, tenzij bij grote restauraties gekozen wordt voor een andere uitvoering of andere materialen. Het is het onderdeel in de tool waarin de bouwdelen beschreven worden, maar er geen uitspraak gedaan wordt over de staat waarin deze verkeren of welke onderhouds- of herstelwerken nodig zijn. In principe vormen deze ID-fiches in de database de basis voor de structuur van een specifiek gebouw en de kapstok om adviezen aan op te hangen of bijvoorbeeld om een checklist te genereren bij herinspectie. Soms kan het nuttig zijn deze ID-fiches op te nemen in het rapport, maar we gaan ervan uit dat deze informatie voor de abonnee vooral nuttig wordt, als zich een probleem stelt of er werken uitgevoerd moeten worden. De relevante info wordt dan overgenomen in een advies. Verder zijn deze gegevens vooral bedoeld voor intern gebruik.



Figuur 5: Voorbeelden in het rapport opgenomen ID

Het **adviezenrapport** is in se het belangrijkste onderdeel van het nieuwe inspectierapport. Hier vindt de eigenaar/beheerder welke onderhouds- of kleine instandhoudingswerken hij best uitvoert en welke onderdelen opvolging of regelmatig nazicht vragen. Hij vindt er ook doorverwijzingen naar restauratiearchitecten bij grotere werken, naar gespecialiseerde studiebureaus, ingenieurs of erfgoedspecialisten voor verder onderzoek of bij complexe problemen, of naar overheidsinstanties voor informatie, bv. over vergunningen en premies. De adviezen worden zo concreet mogelijk opgesteld met zo nodig bijkomende toelichting over de toestand of het advies, richtlijnen naar urgentie en frequentie waarmee de aanbevelingen idealiter uitgevoerd en herhaald worden, een indicatie van hoeveelheden en een type uitvoerder of specialist.

Om de adviezen overzichtelijk voor te stellen, wordt de belangrijkste informatie uit de adviesfiches overgenomen in een **overzichtstabel** en aangevuld in een jaarkalender voor de komende 12 jaar. Bedoeling is om op een overzichtelijk manier weer te geven welke werken dringend zijn en welke nog even kunnen wachten, maar ook welke werken regelmatig herhaald moeten worden om het erfgoed preventief te beschermen tegen verval. Alhoewel architecten en aannemers gewend zijn om met tabellen te werken, is zo'n overzichtstabel in de inspectierapporten van Monumentenwacht en voor een eigenaar/beheerder/leek nieuw. De

eerste reacties op een bevraging bij leden van Monumentenwacht die zowel een nieuw als een oud rapport kregen, tonen aan dat de overzichtskalender geapprecieerd wordt.

DAKWATERAFVOER

A2017/01 **De goten en afvoeren vervangen.**

Dakwaterafvoer | hanggoot | zink

toestand	De goten en afvoeren hebben hun maximale levensduur bereikt. Verschillende plaatsen zijn gescheurd of reeds hersteld.
toelichting advies	Doordat de hanggoten oversteken ten opzichte van de gevels, veroorzaken de lekkende goten geen grote gevolgschade aan het muurwerk. Toch is het aangeraden om de goten te vervangen, samen met de uit te voeren dakwerken. (zie aanbeveling hierboven_A2017/04)
indicatieve hoeveelheid	15 m
prioriteit	Binnen het jaar
frequentie	Eenmalig
uit te voeren door	Dakwerker

vervuilde goot

lekkende goot, naast de gesoldeerde naad

Figuur 6: Voorbeeld advies

code	rubriek | element | materiaal | verkort advies	eenheid	indicatieve hoeveelheid	frequentie	uit te voeren door	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
	Gehele gebouw																
A2017/16	Gehele gebouw | veiligheid | Toren [1]: de toegang tot de torenruimtes en tot het hoogzaal (weggenomen) afsluiten voor onbevoegden.	n.t.b.	-	1x	Schrijnwerker	x											
A2017/12	Gehele gebouw | toegankelijkheid en bereikbaarheid | Toren [1]: het dak en de topbekroning veilig bereikbaar maken.	n.t.b.	-	1x	Specialist	x											
A2017/08	Gehele gebouw | vuil en hygiëne | Toren [1]: de sterk vervuilde torenvloeren opkuisen.	n.t.b.	-	1x	Onderhoudsploeg	x											
A2017/11	Gehele gebouw | toegankelijkheid en bereikbaarheid | Daken [2], [3] en [4]: de zolders en daken veilig bereikbaar maken.	n.t.b.	-	1x	Specialist			x									
A2017/14	Gehele gebouw | toegankelijkheid en bereikbaarheid | Zolders [5] en [6]: de zolders toegankelijk maken.	st.	2	1x	Schrijnwerker			x									
A2017/07	Gehele gebouw | dieren | Aan toren [1]-zuid: de muuropening aan de buitenzijde afschermen met een net.	st.	1	1x	Onderhoudsploeg			x									
A2017/15	Gehele gebouw | alle elementen | afwerking | Het interieur restaureren.	n.t.b.	-	1x	Monumentenwacht restauratie-aannemer			x									
	Dak																
A2017/01	Dak | dakbedekking gehaakt | natuurleien | Enkele blootvernagelde, beschadigde en uitgezakte leien vervangen.	st.	10	1x	Dakwerker	x											
A2017/02	Dak | nok | lood | Dak [2]: het dunne noklood herstellen.	st.	4	1x	Dakwerker	x											
A2017/03	Dak | hoekkeper | lood | Toren [1]-zuidwest: een te kort uitgevoerd loodlokel aan de hoekkeper vervangen.	st.	1	1x	Dakwerker	x											
	Draagstructuur en overspanning																
A2017/05	Draagstructuur en overspanning | diefijzers | ijzer | blauwe hardsteen | Vleugel [6]: het lood met de verankering van de diefijzers aankloppen om het roestproces af te remmen.	n.t.b.	-	5j.	Onderhoudsploeg	x				x			x				
A2017/13	Draagstructuur en overspanning | binnenschrijnwerk | hout | Toren [1]: het vloertje ter hoogte van het hoogzaal curatief laten behandelen (diepte behandeling) tegen grote klopkever.	st.	4	1x	Specialist			x									
A2017/17	Draagstructuur en overspanning | trap | hout | Toren [1]: de houtaantasting van de torentrap opvolgen.	st.	1	3j.	Monumentenwacht			x		x			x			x	
A2017/09	Draagstructuur en overspanning | gevel | voegwerk | Het plaatselijk uitgespoeld voegwerk herstellen met een aangepaste kalkmortel.	n.t.b.	-	1x	Aannemer voegwerken					x							
	Schrijnwerk en beglazing																
A2017/06	Schrijnwerk en beglazing | buitenschrijnwerk | hout | Alle buitenschrijnwerk herstellen, voorbehandelen en schilderen/beitsen.	n.t.b.	-	5j.	Schilder Schrijnwerker			x				x					x

Figuur 7: Voorbeeld overzichtstabel

5. Aan de slag

Het adviezenrapport en de overzichtstabel zijn in eerste instantie een aanzet voor een eigenaar/beheerder om aan de slag te gaan. De adviezen zeggen wat er best gebeurt. De bijkomende informatie bij een advies geeft aan wanneer en door wie een werk kan uitgevoerd worden en geeft een inschatting van de orde van grootte. Op basis van deze informatie kan de eigenaar/beheerder zelf nazicht, onderhoudswerken of kleine herstellingen uitvoeren, zijn technische dienst inschakelen of een aannemer, studiebureau of erfgoedspecialist contacteren. De overzichtstabel is eveneens de basis voor een meerjarenonderhoudsplan met kostenindicatie, een bijkomende dienstverlening van Monumentenwacht.
Voorlopig wordt de overzichtstabel in pdf-formaat bezorgd aan de eigenaar/beheerder als resultaat van een momentopname van een bepaalde inspectie. Op vraag kan de tabel in spreadsheet-formaat bezorgd worden, zodat een eigenaar-beheerder deze verder kan aanvullen en verfijnen als onderhoudskalender, in functie van een beheersplan of als onderhoudslogboek. Hij kan bijvoorbeeld de uitvoerders bij naam aanduiden, extra kolommen voorzien voor verdere opvolging, voor opmerkingen of voor specifieke technische documentatie zoals de gebruikte mortelsoort of de kleurcode voor gebruikte verven.
Beschermde monumenten in Vlaanderen kunnen vanaf 2019 aanspraak maken op een verhoging van de erfgoedpremie met 10% als zij goed onderhoud kunnen aantonen aan de hand van een onderhoudslogboek. Een inspectie van Monumentenwacht met een overzichtstabel kan aan de basis liggen van zo'n logboek. De kruisjes in de overzichtstabel die het jaar aanduiden waarin een onderhoudswerk moet worden uitgevoerd, kunnen vervangen worden door de datum wanneer de werken werden uitgevoerd. Er kan een opmerkingenveld voorzien worden met linken naar de betaalde facturen en eventueel voor- en na foto's die de werken kunnen documenteren.

6. Besluit

De omslag naar een nieuwe vorm van rapporteren is een evenwichtsoefening geweest om verschillende wensen en doelgroepen op elkaar af te stemmen. Met de nieuwe rapporten willen we de boodschap minstens even duidelijk, maar ook toegankelijker overbrengen naar de eigenaars en beheerders. Een eigenaar en beheerder kan uit de rapporten opmaken op welke manier hij de onderhouds- en kleine herstelwerken kan organiseren en welke werken prioritair zijn. Tegelijkertijd wil Monumentenwacht informatie over het object of delen van het object opslaan die niet noodzakelijk in een inspectieverslag opgenomen moeten worden, maar wel nuttig zijn voor een volgende inspectie of voor de opvolging van het object. Het gebruik van een databank maakt het mogelijk om informatie uit te wisselen met overheden, onderzoeksinstellingen en andere erfgoedspelers.
Monumentenwacht hoopt met deze vernieuwde rapporten de eigenaar van gebouwd erfgoed beter te ondersteunen en een hulpmiddel aan te reiken om het preventief onderhoud goed in te plannen en verder op te volgen. De eerste reacties uit een recente enquête zijn alvast positief.

7. Referentie

Stichting Nederlands Normeninstituut, NEN 2767 Nederlandse norm voor conditiemeting.

VASTGOED IN DE VINGERS MET DE RVB-BOEI METHODIEK

Vincent Faesen
Rijksvastgoedbedrijf

1. Over het Rijksvastgoedbedrijf

Het Rijksvastgoedbedrijf (RVB) is de vastgoedorganisatie van en voor de Rijksoverheid en is onderdeel van het ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. Wij zijn verantwoordelijk voor het beheer en de instandhouding van de grootste en meest diverse vastgoedportefeuille van Nederland.

Onze missie is:
Het Rijksvastgoedbedrijf zet vastgoed in voor de realisatie van rijksoverheidsdoelen, in samenwerking met, en met oog voor de omgeving.
Het Rijksvastgoedbedrijf is sinds 1 januari 2016 een agentschap. Hierin zijn de voormalige agentschappen Rijksgebouwendienst, Rijksvastgoed- en ontwikkelingsbedrijf en de Dienst Vastgoed Defensie opgegaan.
Onze portefeuille bestaat onder andere uit gevangenissen, rechtbanken, kazernes, vliegvelden, defensieterreinen, ministeries, havens, belastingkantoren, monumenten, musea en paleizen. Deze gebouwen en terreinen stellen wij ter beschikking voor de realisatie van rijksoverheidsdoelen. Onze deskundige medewerkers formuleren visie en beleid en zorgen voor beheer en onderhoud, aan- en verkoop, nieuwbouw, verbouw en renovatie, ontwikkeling en herontwikkeling.

Foto impressie portefeuille Rijksvastgoedbedrijf

De omvang van de portefeuille en personeel in cijfer uitgedrukt is als volgt;
- ± 11,9 miljoen m^2 BVO
  - ± 6,0 miljoen m^2 BVO Defensie
  - ± 2,3 miljoen m^2 BVO Kantoren
  - ± 3,6 miljoen m^2 BVO Specialties (Hogere raad van rechtspraak, Justitiële inrichtingen, Musea etc.)

- ± 88.000 hectare gronden
  - ± 35.000 ha. Defensie gronden
  - ± 43.000 ha agrarische gronden
  - ± 10.000 ha kroondomeinen
- 2.009 fulltime equivalent
- Omzet ± € 1.125 miljoen
- Werkgebied; Nederland, Duitsland en Nederlandse Antillen

1.1. Organisatie

Het directieteam van het RVB bestaat uit de volgende personen:
- Mr. drs. A.W.H. (Annet) Bertram, directeur-generaal
- F. (Frank) Foreman, directeur Portefeuillestrategie en Portefeuillemanagement (P&P)
- Drs. J.K. (Jürgen) Jongkind RC, directeur Financiën en Bestuursadvisering (F&B)
- Drs. R. (Roger) Mol, directeur Transacties en Projecten (T&P)
- Drs. I.C.M. (Irene) van Munster en drs. N. (Ninke) Lansink Rotgerink , duo-directeur Vastgoedbeheer (VB)

1.2. Duurzaamheid en energie

Bij het beheer van gebouwen en terreinen geeft het Rijksvastgoedbedrijf invulling aan het duurzaamheidsbeleid van de overheid. We kopen duurzaam in en dringen energiegebruik zoveel mogelijk terug. Bijvoorbeeld door efficiënter gebruik van ons vastgoed en optimaliseren van klimaatinstallaties. Nieuwe gebouwen moeten na 2018 energieneutraal zijn. Bij nieuwbouw en herontwikkeling van vastgoed gebruiken we zoveel mogelijk hergebruikte of herbruikbare materialen en grondstoffen.

1.3. Veiligheid

Het Rijksvastgoedbedrijf draagt zorg voor veilige huisvesting en is verantwoordelijk voor veilig bouwen en onderhouden van het vastgoed. We zorgen dat er op bouwplaatsen zo veilig mogelijk wordt gewerkt. Daarnaast ontwikkelen we instrumenten om veiligheidsrisico's bij beheer en gebruik zoveel mogelijk te beperken. Bijvoorbeeld voor brandveiligheid. Deze instrumenten schrijven we ook voor aan onze opdrachtnemers.

1.4. Zakendoen met het Rijksvastgoedbedrijf

Het Rijksvastgoedbedrijf ontwikkelt, bouwt en beheert vastgoed. Daarvoor werken we samen met marktpartijen, zoals bouwbedrijven en architecten. Nieuwe opdrachten besteden we aan via TenderNed [1]. Als grootste vastgoedbeheerder van Nederland hebben we een voorbeeldfunctie. Die rol vullen we in door eerlijke en transparante aanbestedingen en professioneel opdrachtgeverschap. Dat betekent dat wij innovatief en kostenbewust zijn en aandacht hebben voor kwaliteit en maatschappelijke belangen.

1.5. Monumenten bij het Rijksvastgoedbedrijf

Monumenten vormen een belangrijk deel van de vastgoedportefeuille van het Rijksvastgoedbedrijf. De meeste van de monumenten in ons eigendom, zijn in gebruik bij de organisaties van het Rijk. Ons monumentaal erfgoed beheren wij uiterst zorgvuldig. Monumenten die niet (meer) gebruikt worden voor rijkshuisvesting kunnen we verkopen.

1.6. Natuurontwikkeling en natuurbeheer

Het Rijksvastgoedbedrijf beheert en ontwikkelt terreinen van de Rijksoverheid. Soms worden deze terreinen geheel of voor een deel omgevormd tot natuurgebied. Bijvoorbeeld voormalige defensieterreinen. In deze projecten werken we samen met andere overheden zoals gemeenten, provincies en waterschappen. We beheren en ontwikkelen ook natuur in opdracht van andere overheidsorganisaties, zoals voor het ministerie van Defensie.

1.7. Scheepswrakken VOC

Op verschillende plekken in de wereld liggen op de zeebodem resten van vergane schepen van de Verenigde Oostindische Compagnie (VOC) én hun lading. Deze scheepsresten zijn eigendom van het Rijk. Het Rijksvastgoedbedrijf is samen met de Rijksdienst Cultureel Erfgoed (RCE) en het ministerie van Buitenlandse Zaken verantwoordelijk voor deze wrakken en hun lading.

1.8. Vastgoedstrategie

Het Rijksvastgoedbedrijf streeft naar een 'toekomstbestendige portefeuille'. Onze vastgoedportefeuillestrategie beschrijft hoe we dit doel willen bereiken. Voor kantoren is de strategie uitgewerkt in regionale masterplannen. Voor de vastgoedobjecten van Defensie in een herbeleggingsplan.
Meer gedetailleerde informatie kunt u vinden op onderstaande link:
https://www.rijksvastgoedbedrijf.nl/

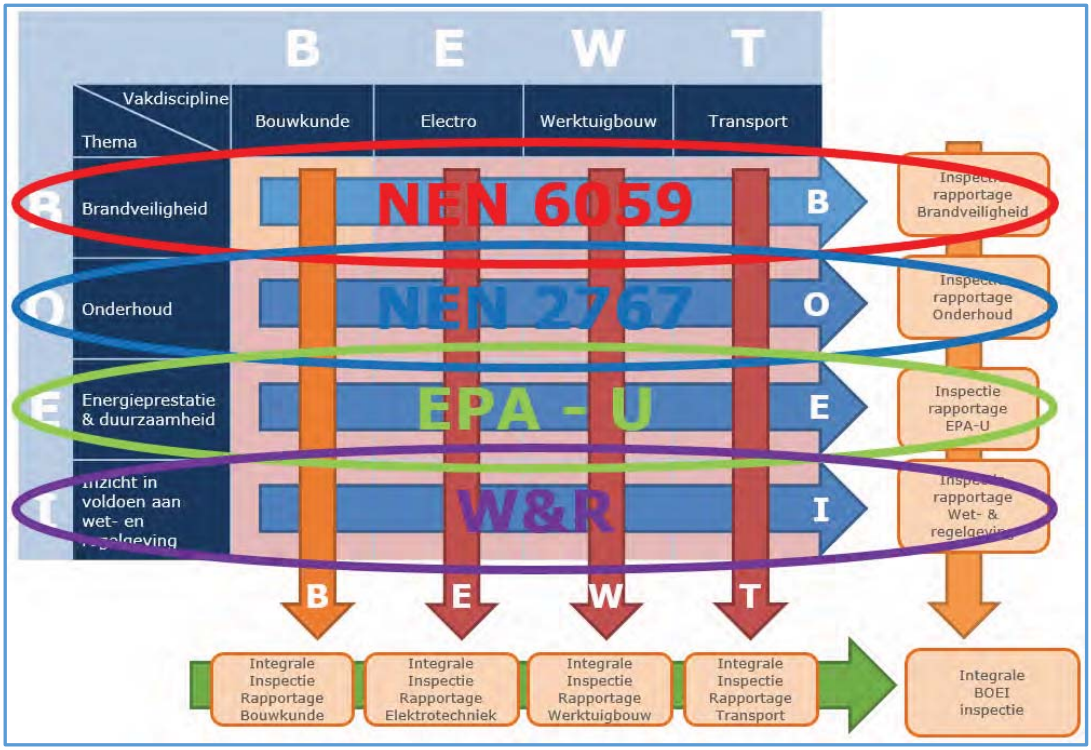
2. Geschiedenis conditiemeting

In de jaren ’50 – ’60 van de vorige eeuw werden voor het eerst beheermodellen ontwikkeld door het Amerikaanse leger voor het beheer en onderhoud van haar materieel op basis van conditiebepalingen. Deze modellen zijn in de ’70 jaren naar Engeland overgekomen om te hanteren bij de ontwikkeling van een conditie meet methodiek voor woningen. In de jaren ’80 heeft het ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer van Nederland op basis van de Engelse conditie meetmethode een concept ontwikkeld voor de Nederlandse markt. Dit concept is door de toenmalige Rijksgebouwendienst (Rgd) omarmd en doorontwikkeld.
Tegelijkertijd met deze doorontwikkeling bleek binnen de Rijksgebouwendienst, ondanks alle inspanningen van toen, dat de onderhoudssituatie van de huisvesting van Rijksambtenaren meer en meer tekortschoot. In 1988 werd een aanzienlijke achterstand in de onderhoudssituatie geconstateerd. Voor bepaalde sectoren, zoals bijvoorbeeld die waar onderhoudsachterstanden zou leiden tot directe schade aan en verlies van cultuurgoederen, werden gelukkig tijdig maatregelen genomen. Desalniettemin zou, als er geen nadere maatregelen werden genomen, de verwachting zijn dat de toestand van de gehele Rijkshuisvestingsvoorraad verder in kwaliteit zou gaan dalen. Hierdoor zou over de gehele linie een onverantwoord niveau worden bereikt.
Ook kwam onder andere de kwaliteit van de arbeidsomstandigheden van de Rijksambtenaren in gevaar waardoor deze haar functies niet meer naar behoren konden uitvoeren. Daardoor zou ook de dienstverlening aan de burgers in gevaar komen.
De Rijksgebouwendienst heeft destijds de tweede kamer van deze zorgwekkende situatie op de hoogte gebracht. De tweede kamer heeft hierop gereageerd door er via een motie nadrukkelijk op te wijzen dat deze problematiek van het onderhoud opgelost diende te worden.

Deze actie heeft ertoe geleid dat in 1994 de *nota Onderhoud Rijkshuisvesting* aan de tweede kamer ter behandeling is voorgelegd. In deze nota werd de totale omvang van de problematiek (ter waarde van 200 miljoen guldens) toegelicht alsook een methode om de onderhoudsvoorraad inzichtelijk te maken aan de hand van de conditiemeetmethode, alsook een risicoanalyse op basis van een gestandaardiseerde aspecten- en prioriteitenlijst. De tweede kamer heeft de nota, de voorgestelde wijzigingen en wijze van verantwoording afleggen geaccepteerd. Vanaf dat moment kreeg de conditie meetmethode een politieke status binnen de verantwoording vanuit de Rijksgebouwendienst naar de tweede kamer.
De Rijksgebouwendienst heeft hierna in samenwerking met marktpartijen gewerkt aan een nationale norm van de conditiemeetmethode, wat resulteerde in de publicatie van de NEN2767 – *conditiemeting deel 1 – Methodiek* en *deel 2 – gebrekenlijsten* in 2006. In 2009 werd deel 3 gelanceerd, de *aggregatie conditiescores tot technische index*.
In navolging hierop hebben Rijkswaterstaat en de toenmalige Dienst Vastgoed Defensie samen in 2010 een uitbreiding op deze norm gemaakt met de delen 4-1 *methodiek conditiemeting Infrastructuu*r en 4-2 *gebrekenlijsten infrastructuur*.

NEN2767
Het doel van de conditiemeting is de vaststelling van de technische toestand van een bouwdeel op basis van waargenomen gebreken op het moment van de inspectie.
De conditie bepaling geschied op basis van ernst, intensiteit en omvang van gestandaardiseerde gebreken.
Vanuit de registratie van deze technische toestand wordt de informatie uit de conditiemeting gebruikt om de volgende (indirecte) toepassingen mogelijk te maken:
Indirecte toepassingen van de NEN 2767-reeks zijn, in willekeurige volgorde:
- *het in beeld brengen van de conditie van een areaal, portefeuille of voorraad aan beheerobjecten in de gebouwde omgeving;*
- *het onderbouwen van een meerjarenonderhoudsplanning en de onderhoudsprogrammering;*
- *het onderbouwen van de aanvragen voor en de verdeling van onderhoudsbudgetten;*
- *het ondersteunen van technisch beheer en beleid;*
- *het gebruik in (resultaatgerichte) onderhoudscontracten;*
- *het op gang brengen en vergemakkelijken van de communicatie over de gewenste conditie.*

Nederland omarmde deze norm en er wordt sindsdien volop geëxperimenteerd met implementatie van de NEN2767 in bedrijfsprocessen en (aanbestedings-) producten.
De Rijksgebouwendienst was in de periode tussen 1994 en 2006 al volop bezig met implementeren en toepassen van inspecties op basis van de concept NEN2767 conditiemeetmethode en het analyseren van de aanverwante risico's. Hiermee kreeg de dienst steeds meer grip op haar vastgoed en de onderhoudsvoorraad kwam met elke opgeleverde inspectie steeds meer onder controle. Dit vergde ook van de gebruikers van het vastgoed veel medewerking maar leidde ook tot kritiek.
Een gebruiker verwoorde haar kritiek als volgt: *de vloerbedekking in mijn pand slijt harder van de kijkers dan van de doeners!*
Met name deze treffende uitspraak heeft de Rijksgebouwendienst aan het denken gezet. Een speciaal team van onderhoudsexperts heeft zich toen gericht op het integraal maken van het totale scala aan inspecties welke door Beheer en Onderhoud werd uitgevoerd. Zij kwamen tot de conclusie dat tegelijkertijd/integraal uitvoeren van inspecties mogelijk is en zou gaan leiden tot een aanzienlijke besparing op het inspectiebudget en aantal begeleidingsuren in het veld met een sterke toename van de kwaliteit en kwantiteit van de informatie.
In 2009 resulteerde het onderzoek in de publicatie van de eerste versie van het handboek Rgd – BOEI, een integrale inspectiemethodiek waarbij meerdere thema's (Brandveiligheid, Onderhoud, Energieprestatie & duurzaamheid en Inzicht in voldoen aan wet- en regelgeving) binnen een vakgebied integraal tijdens een inspectie mee werd genomen.



Figuur 1: Schema integrale BOEI inspectie versus individuele inspecties over thema's en vakgebieden heen [2].

Sinds de introductie in 2009 wordt de Rgd – BOEI methodiek standaard ingezet bij het inspecteren van kantoren en specialties.
De normcommissie van de NEN2767 is na 2010 verder gaan nadenken over haar toekomst. Noemenswaardig is het feit dat in 2015 binnen de normcommissie het besluit is genomen om de conditiemeting – methodiek delen 1 en 4-1 in elkaar op te laten gaan tot een conditiemeting gebouwde omgeving – deel 1: methodiek. De publicatie van dit geharmoniseerd deel voor de gebouwde omgeving heeft in 2017 plaats gevonden. In 2019 is deze versie in het Engels vertaald en wordt er, in samenwerking met diverse Europese landen, met succes gewerkt aan een Europese versie van de NEN2767.

3. Huidige status handboek RVB BOEI?

Na de fusie van de voormalige agentschappen Rijksgebouwendienst, Rijksvastgoed- en ontwikkelingsbedrijf en de Dienst Vastgoed Defensie tot Rijksvastgoedbedrijf (RVB) was het tijd om ook het handboek Rgd – BOEI om te bouwen naar RVB – BOEI. Deze actie betekende dat in eerste instantie de beheervisies van de drie afzonderlijke agentschappen naar een geharmoniseerde beheervisie RVB om moest worden gezet. Zonder deze visie zou het handboek RVB – BOEI geen fundament hebben om op voort te bouwen.
In 2016 werd de Vastgoedportefeuillestrategie Rijksvastgoedbedrijf 2016 – 2021 gepresenteerd en dit was tevens het startschot voor de redactie van het handboek Rgd – BOEI om haar handboek om te gaan bouwen naar het handboek RVB – BOEI.
Het handboek RVB – BOEI bestaat uit 3 delen te weten:

Deel 1: beschrijving van het algemene beleid aangaande vastgoed en infra alsook de beschrijving van de gehele methodiek.

Deel 2: Praktisch handboek met hierin handvatten hoe een gecertificeerd integraal inspecteur vastgoed moet inventariseren, registreren, inspecteren en rapporteren. Voor elk vakgebied is een apart deel 2 vervaardigd. De huidige beschikbare vakgebieden zijn

a) Bouwkunde, b) Elektrotechniek, c) Werktuigbouwkunde, d) Transport en e) Beeldende kunst.

Deel 3: Praktisch handboek met hierin handvatten hoe een gecertificeerd integraal adviseur vastgoed een integrale inspecties om moet zetten, met in acht name van vastgoed- en onderhoudsvisie van een beheerobject, naar een integraal meerjarig instandhoudingsplan.

In 2017 is deel 1 omgebouwd van Rgd – BOEI naar een RVB – BOEI. In het zelfde jaar is de jongste "telg" aan de deel 2 reeks toegevoegd, RVB – BOEI deel 2e – beeldende kunst. Dit laatste handboek wordt gebruik voor de zogenaamde percentage kunst. Deze kunst is tot stand gekomen door een bij wet geregelde verplichting om een deel van het budget van door (semi-)overheid aanbestede werken te reserveren voor beeldende kunst in, op of nabij het aanbestede werk.
Na eerste ervaringen zijn de experts van mening dat deze methode ook bruikbaar kan worden gemaakt voor alle beeldende kunst. Hier wordt onderzoek naar verricht.
Begin 2018 is een aanvang gemaakt met het aanpassen van het handboek RVB – BOEI deel 2a – Bouwkunde en deel 2d – Transport. Tevens wordt gewerkt aan vervaardiging van een aanvulling op de reeks, RVB – BOEI deel 2g - Stedelijk Groen. Deel 2f is gereserveerd voor infrastructurele zaken.

4. Conditiemeting versus monumenten/erfgoedgebouwen

De methodiek van conditiemeting is toepasbaar binnen zowel monumentale als niet monumentale gebouwen. Per slot van rekening kan men van elk enkelvoudig gebrek de ernst, intensiteit en omvang bepalen! Ook kan men hierbij aangeven welke prioriteit er voor het oplossen van het gebrek is alsook welk risico hierdoor kan ontstaan. Tot zover geen probleem. Of de NEN2767 voor een monument (erfgoedgebouw) volledig bruikbaar is wordt regelmatig betwist. In navolgende tekstfragment zal ik twee majeure discussiepunten proberen toe te lichten.

4.1. Majeur punt 1: Aggregatie condities

Zodra men meervoudige in ernst afwijkende gebreken op een en hetzelfde bouwdeel heeft, schrijft de NEN2767 als eerste een aggregatie methode voor op basis van omvang gebrek, percentueel uitgedrukt, ten opzichte van het totale bouwdeel. Middels correctiefactoren wordt de omvang van elk gebrek gecorrigeerd en kan men met een genormaliseerde formule de geaggregeerde technische conditie van het bouwdeel bepalen.
Eis hierbij is echter dat de vervangingswaarden van de onderlinge componenten in verhouding van elkaar staan.
Zodra de onderlinge componenten van het bouwdeel in vervangingswaarde sterk van elkaar afwijken dient men aggregatiemethode twee, op componentniveau, te hanteren.
Voorbeeld: een niet monumentale deur (vervangingswaarde € 75,00) met hang en sluitwerk (vervangingswaarde € 150,00) en een deurdranger (vervangingswaarde € 300,00). Vele beschouwen het bouwdeel deur, inclusief sluitwerk en dranger, als een totaal bouwdeel. De inspecteur constateert gebreken aan meerdere/alle componenten van het bouwdeel deur. De NEN2767 gebruikt voor dergelijke situaties de vervangingswaarde bij een aggregatie. In dit geval wordt eerst de conditie per component bepaald volgens methode een. Daarna worden de onderlinge componenten met inachtneming van de vervangingswaarde en conditie van het component middels de gestandaardiseerde formule behorende bij methode 2 geaggregeerd naar een totale conditiewaarde. Ook in laatste stap worden correctiefactoren gehanteerd.
Voor bepaalde monumentale bouwdelen zijn er geen vervangingswaarde aanwezig daar ze simpelweg niet vervangen mogen worden. Deze aggregatiemethode is dus onbruikbaar voor deze bouwdelen.

De derde en laatste aggregatie methode lijkt op de tweede methode maar wordt gebruikt om een groep van willekeurig gekozen bouwdelen, dus niet componenten, te aggregeren naar een technische conditie. De werking is gelijk aan de tweede methode ware het dat het hier om bouwdelen en niet om componenten gaat! Deze derde methode wordt gebruikt om de totale conditie van gebouwen te bepalen aan de hand van de totale conditie en vervangingswaarde van haar bouwdelen. Deze derde methode wordt bij NEN2767 gebruikers zelden of nooit met succes toegepast daar de uitkomst niets zegt, letterlijk waardeloos is.

4.2. Majeur punt 2: gebrek "verval"

Indien een bouwdeel niet op basis van waar te nemen gebreken of slijtage is te beoordelen en het betreft een aan (niet te beoordelen) slijtage onderhevig bouwdeel, dan kan de conditiescore (in uiterste gevallen, bij wijze van vangnet) worden bepaald op basis van leeftijd/ouderdom. De conditiescore wordt in dat geval bepaald met behulp van een gestandaardiseerde verouderingskromme die geldig is voor alle bouwdelen.
In dergelijke gevallen spreekt de norm over het gebrek "verval" – conditiemeting op basis van theoretische levensduur.
In NEN2767 deel 2 Gebrekenlijst wordt aangegeven voor welke bouwdelen het gebrek "verval" van toepassing is. Voor bepaalde monumentale bouwdelen kan dit gebrek niet van toepassing zijn daar de levensduur van deze bouwdelen oneindig is! De theoretische verouderingskromme is dan namelijk horizontaal!
Maar als we naar de conditiemeetmethode kijken in relatie tot deze bepaalde monumentale bouwdelen, is verval dan ook verplicht gesteld? Nee, de norm laat toe om als gebruiker/opdrachtgever het gebruik van verval wel/niet toe te staan.
Hiermee wordt de flexibiliteit van de conditiemeetmethode duidelijk en moet men als gebruiker leren werken met de NEN2767!

5. Borging kwaliteit handboek RVB-BOEI

Bij de introductie van de eerste editie van het handboek Rgd – BOEI realiseerde de Rijksgebouwdendienst zich dat deze methodiek revolutionair zou zijn. Om deze redenen heeft de Rgd in 2010 meerdere hoge scholen in Nederland benaderd voor de ontwikkeling van een opleiding voor Integraal Inspecteur Vastgoed (IIV) en Integraal Adviseur Vastgoed (IAV). Drie hoge scholen hebben deze uitdaging aanvaard en omgezet in een post HBO opleiding voor beide functies. Inmiddels zijn ongeveer ± 1.000 personen opgeleid tot IIV en ± 800 personen opgeleid tot IAV.
In 2012 heeft de Rijksgebouwendienst onderzocht hoe de kennis en kunde van beide functies onafhankelijk kon worden getoetst en voorzien van een persoonscertificaat. Daarlangs moest de toets voldoen aan de Europese richtlijnen zodat bij Europese Aanbestedingen het certificaat als eis uit kan worden gevraagd. Deze zoektocht heeft geleid naar Hobéon, een adviesbureau voor strategische vraagstukken. Begin 2013 werden de eerste toets aanvragen gehonoreerd en werd er een register aangelegd. Inmiddels zijn er ongeveer 100 personen opgenomen in het register.
Aangezien kennis en kunde vergankelijk is, heeft de RVB in 2016 de drie hoge scholen verzocht langs bovengenoemde opleidingen ook een programma voor permanente educatie op te starten. Doel hiervan is om alle opgeleide integraal inspecteurs / adviseurs vastgoed een mogelijkheid te bieden om de opgedane kennis en kunde te onderhouden. Slechts een hoge school heeft een programma ontwikkeld. In de eerste twee jaren was dit programma exclusief voor RVB medewerkers. In 2018 werd het programma opengesteld voor iedereen die een IIV en/of IAV opleiding heeft gevolgd. Aan het programma nemen nu ongeveer 55 personen deel.
Hiermee is de cirkel rond, handboeken – opleidingen – certificering – permanente educatie, en kan de kwaliteit van het handboek en het gebruik ervan via deze cirkel worden geborgen.

6. De toekomstvisie van RVB BOEI

Binnen Europe en Nederland zijn er vele ontwikkelingen gaande op het gebied van beheer en onderhoud van beheerobjecten. Een greep uit deze ontwikkelingen is:
- Milieu-afspraken over reductie van CO_2 productie / voetafdruk organisatie
- Verduurzamen van bestaande vastgoed
- Ontwikkelingen visie circulaire economie
- Ontwikkelingen visies Building Information Modeling (BIM) (open standaard bouwdeeltype, standard tekeningen etc.)
- Publiek en privaat wettelijke keuringen
- Risico gestuurd vastgoedbeheer
- Verantwoordingsmodeleringen
- Modellen ter voorspelling van faalgedrag
- Bovenstaande punten relateren aan monumenten en beeldende kunst
- Integrale toegankelijkheid
- Verzwaarde veiligheids- en gezondheidseisen
- Eisen verzekeraars en belangenorganisaties
- Etc.

De redactie van RVB – BOEI heeft affiniteiten met alle hierboven benoemde items. Voor elk onderwerp zoeken we de experts op en dagen we ze uit hun bijdrage te leveren aan het beheren, optimaliseren, moderniseren en verbreden van het handboek RVB – BOEI. Uiteindelijk wilt de redactie komen tot een volledige reeks voor de gebouwde omgeving die geschikt is voor al haar gebouwen en terreinen.
Daarlangs stimuleert de redactie van RVB – BOEI opleiders en certificerende instanties om deze ontwikkelingen mee te nemen in hun producten en de kennis over te dragen aan alle cursisten en (gecertificeerde) inspecteurs en adviseurs vastgoed zodat hun kunde verbreed wordt. Hiermee borgt het RVB de kwaliteit en kwantiteit van haar inspecties en instandhoudingsplannen.
Ondanks alle voorspoed is er helaas ook tegenspoed die de ambities van de doorontwikkeling van RVB – BOEI tegenwerken. Enkele van deze tegenwerkende factoren zijn:

Werkdruk: de economie draait op volle toeren en tijd is schaars geworden, zeker voor het beheren van een handboek.

Experts: steeds meer onafhankelijke expert instanties komen in zwaar weer terecht en moeten afslanken of vallen om. Hierdoor verdwijnen experts uit het zicht waardoor de groep steeds kleiner wordt.

Internet: steeds meer kennis wordt binnen gehaald via Internet en wordt beschouwd als de informatiebron. Helaas is de betrouwbaarheid van deze informatie niet constant. Toch blijven veel opdrachtgevers internet als waarheid aannemen.

Budget: veel informatie is te koop, pro Deo delen van kennis en kunde wordt schaars. Hierdoor moet er steeds meer budget vrij worden gemaakt om de kennis bijeen te krijgen.

Pensioen: Binnen het Rijksvastgoedbedrijf maar ook er buiten gaan de komende 10 jaren een groot aantal medewerkers met pensioen. Hierdoor loopt veel kennis en kunde weg. In combinatie met bovenstaande factoren leidt dit er toe dat er geen tijd en budget is voor de overdracht van kennis en gaat deze dus verloren.

Ondanks alles blijft de redactie van het handboek RVB – BOEI positief en blijven ze werken aan haar handboek.
Ter afsluiting wilt de redactie van het handboek RVB – BOEI u dit nog meegeven:
1. Het handboek RVB – BOEI kan u gratis inzien via de volgende link: https://www.rijksvastgoedbedrijf.nl/expertise-en-diensten/r/rgd-boei-inspecties
2. LET OP; het handboek is en blijft een handboek voor het Rijksvastgoedbedrijf en hoeft niet een-op-een toepasbaar te zijn binnen uw organisatie.

7. Literatuur

[1] ***TenderNed.nl*** is een website opgezet in 2010. Het gebruik van de website is verplicht voor het publiceren van aanbestedingen door overheidsdiensten en -ondernemingen sinds april 2013, als gevolg van de invoering van de Aanbestedingswet 2012.
[2] NEN 6059: Beoordeling brandveiligheid bouwwerken – een zuster norm van de NEN2767.

ONDERZOEK EN PREVENTIE VAN VOCHT- EN ZOUTSCHADE GERELATEERD AAN HET KLIMAAT IN DE CRYPTE VAN DE SINT-BAAFSKATHEDRAAL TE GENT

Sebastiaan Godts en Roald Hayen
Koninklijk Instituut voor het Kunstpatrimonium (KIK-IRPA)

1. Abstract

Binnen de context van een haalbaarheidsstudie werd een onderzoek uitgevoerd om het klimaat te verbeteren in de crypte van de Sint-Baafskathedraal te Gent. Door het onaangenaam klimaat in de crypte is een daling van de relatieve vochtigheid en een verhoging van de temperatuur gewenst. Wegens de huidige staat van bewaring van de twaalfde-eeuwse bouwmaterialen, zoals de delaminerende Doornikse steen, de aangetaste muren en het verlies van de vijftiende-eeuwse muurschilderingen, was het noodzakelijk om de vocht- en zoutcontaminatie te onderzoeken met betrekking tot de schadefenomenen bij veranderende klimaatomstandigheden. De resultaten wijzen op de aanwezigheid van opstijgend grondvocht en complexe zoutmengsels. Cycli van kristallisatie-hydratie-oplossing van de zoutmengsels bij veranderende luchtvochtigheid werden aan de hand van computermodellering onderzocht. De resultaten maken het mogelijk om de oorzaken van de schadefenomenen te identificeren en de risico's te bepalen bij een aanpassing van het klimaat. Naast de noodzaak van systematische monitoring werden specifieke adviezen voor de bewaring van de crypte op lange termijn voorgesteld.

Keywords: preventieve conservatie, vocht, zout, klimaat, ECOS

2. Inleiding

Een onderzoek werd uitgevoerd met betrekking tot de conditie van de historische bouwmaterialen en muurschilderingen in de crypte in de Sint-Baafskathedraal te Gent [Ghisdal en Godts, 2018]. De huidige crypte van de Sint-Baafskathedraal strekt zich uit onder de gehele oostpartij van de kerk en kwam tot stand in drie bouwfasen [Vandenabeele, 2002]. De oorspronkelijke, romaanse krocht dateert uit het midden van de twaalfde eeuw en reikte slechts zover als het toenmalige koor. Van deze vierbeukige ruimte bleef enkel het tweebeukige overwelfd middengedeelte bewaard. In het laatste kwart van de dertiende eeuw of het begin van de veertiende eeuw werd deze tweebeukige romaanse kern omsloten door zijbeuken met zijkapellen en door een uitbreiding aan de oostzijde. Op het einde van de veertiende eeuw en in het begin van de vijftiende eeuw zijn ten slotte de vijf straalkapellen toegevoegd [Vandenabeele, 2007]. De grootste concentratie aan muurschilderingen in de crypte is te vinden in de romaanse kern (figuur 1).
Het onderzoek maakt deel uit van een haalbaarheidsstudie om de crypte te integreren in een rondleiding doorheen de kerk, gekoppeld aan een bezoek aan het Lam Gods. Door het onaangename klimaat in de crypte is de wens geopperd om de relatieve vochtigheid en temperatuur aan te passen, alsook de vloer deels te vernieuwen ten behoeve van de toekomstige bezoekers.
Wegens de huidige staat van bewaring van de twaalfde-eeuwse bouwmaterialen, zoals de delaminerende Doornikse steen (figuur 2), de aangetaste muren en het verlies van de vijftiende-eeuwse muurschilderingen (figuur 4), was het noodzakelijk om de vocht- en zoutcontaminatie te onderzoeken met betrekking tot de schadefenomenen bij veranderende klimaatomstandigheden. Naast een bepaling van het vocht- en zoutgehalte werden de klimaatomstandigheden geregistreerd en het gedrag van de zoutmengsels onderzocht. Uit het onderzoeksgeheel worden de oorzaken van de schadefenomenen geïdentificeerd en

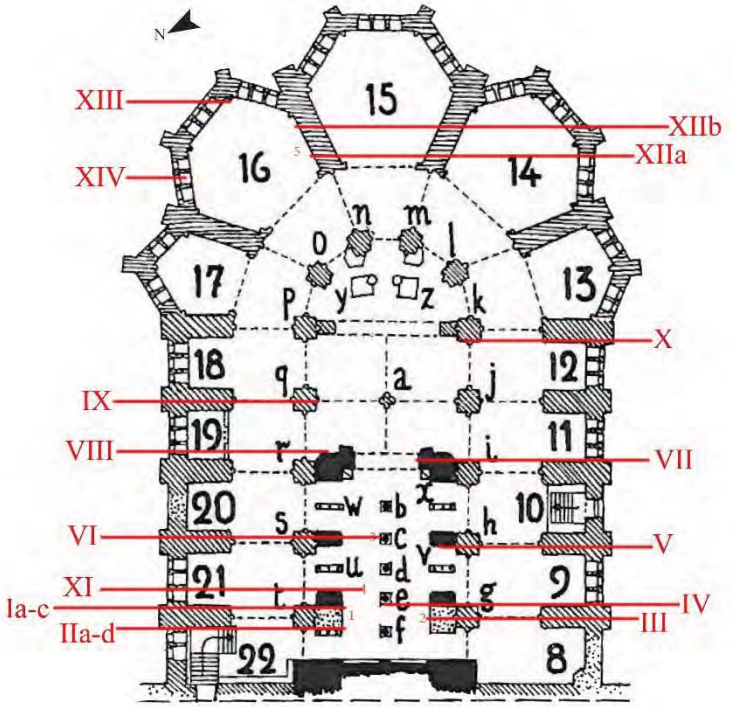
specifieke adviezen afgeleid voor de bewaring van de crypte op lange termijn. Het onderzoek richt zich hoofdzakelijk op de muren in de kern van de crypte die losstaan van het grondmasief.

Figuur 1: De romaanse kern van de crypte

Figuur 2: Delaminerende Doornikse steen

3. Methodiek

Voor het onderzoek naar het vocht- en zoutgehalte werden 66 boorstalen genomen (boorgat tot 6 mm diameter) in veertien zones (figuur 3). Stalen werden genomen van de volledige dikte van de bepleistering en van de baksteen en mortelvoeg op een diepte van 0 tot 2 cm en vervolgens in hetzelfde boorgat van 2 tot 5 cm en 5 tot 10 cm (diepteprofiel). In acht van de veertien zones werden stalen genomen op verschillende hoogtes (hoogteprofiel). Van de stalen werd het actueel en hygroscopisch vochtgehalte en het in water oplosbaar zoutgehalte bepaald. Om schade aan de muurschilderingen te beperken werden de stalen genomen in reeds aanwezige lacunes van de picturale lagen en in de drager onder de bepleistering in het materiaal dat werd aangetroffen, hetzij de baksteen of de voegmaterie.



Figuur 3: Grondplan met aanduiding van de bemonsterde zones

Van de boorstalen werd het actueel vochtgehalte bepaald door weging van het boormeel na droging tot constant gewicht (60 °C). Vervolgens werden de monsters geconditioneerd bij 20 °C en 95 % relatieve vochtigheid ter bepaling van het hygroscopisch vochtgehalte. Uit de resultaten werd het actueel vochtgehalte geïnterpreteerd in termen van “aanwezig vocht”. Het aspect “hygroscopiciteit” heeft betrekking tot het absorberen van luchtvocht, wat grotendeels kan gelieerd worden aan zouten.
Het zoutgehalte werd gedoseerd met behulp van ionenchromatografie (IC, Metrohm). Waarbij het gehalte aan anionen (Cl^-, NO_3^- en SO_4^{2-}) en kationen (Na^+, K^+, Ca^{2+} en Mg^{2+}) werd bepaald (ppm) en vervolgens uitgedrukt in gewichtspercentage (g%) tegenover het gedroogde monster. Met de resultaten van de ionendosering (mol) werd het zoutkristallisatiegedrag gemodelleerd met het programma Runsalt [Bionda & Storemyr 2002; Bionda 2004, 2006], ontwikkeld op basis van het ECOS thermodynamisch model [Price 2000, 2007; Prokos 2008; Steiger et al., 2005]. De output van de Runsalt software maakt het mogelijk het gedrag van kristallisatie, hydratie en oplossing van een zoutmengsel bij veranderende relatieve vochtigheid en temperatuur weer te geven (Larsen 2006; De Clercq 2008; Godts 2014). Het model is in de meestal niet in staat om systematisch de aanwezigheid van een equimolaire

hoeveelheid calcium- en sulfaationen te integreren. In de zeldzame gevallen waarin het model wel gips integreert, kan de fasetransitie van het zoutmengsel afwijken. De voorbereiding van de meetgegevens en de mogelijke problemen met de modellering werden beschreven in Godts, et al. (2017).

Figuur 4: Overzicht van de staalname zone III (doornenkroning), rechts van onder naar boven: zones IIIa, IIIb en IIIc

De relatieve vochtigheid (RV, %) en temperatuur (T, °C) werden in de directe omgeving van de zones geregistreerd op het moment van de staalname (onset, HOBO, temp/RH logger). Daarnaast werd ook de RV en T in de diepte van boorgaten geregistreerd, onmiddellijk na de staalname. Een sonde (Testo dunne vocht en temperatuur voeler met een lengte van 3,5 cm) werd in het boorgat geplaatst op een diepte tussen 3 en 6,5 cm of 1,5 en 5 cm (zie ter illustratie figuur 4 zone IIIb). Vervolgens werd gewacht tot de RV stabiliseerde (max. 15 min.), waarna deze werd geregistreerd (Testo 635-2).

Resultaten van het onderzoek

Een overzicht van de gelichte stalen, de resultaten van het actueel en hygroscopisch vochtgehalte en de ionengegevens zijn integraal opgenomen en te raadplegen in het dossier [Ghisdal en Godts, 2018]. Ter illustratie van de algemene tendensen zijn de resultaten van zone III (de doornenkroning) weergegeven in tabel 1. In deze tabel zijn de actuele (AV) en de hygroscopische vochtgehaltes (HV) hoger dan 5 g% respectievelijk aangeduid in blauw en groen. De stalen met een totaal zoutgehalte vanaf 1 g% zijn in het oranje gemarkeerd. Het totaal zoutgehalte is telkens exclusief het berekend gehalte anhydriet ($CaSO_4$), wat beschouwd wordt als het gehalte aan gips. Tabel 2 geeft de klimatologische omstandigheden (T en RV) in de diepte van het metselwerk van zone III weer.

Tabel 1: Overzicht van de gelichte stalen in zone III (de doornenkroning) en de resultaten van de vocht- en ionengegevens (g%)

Zone Hoogte (cm)	A	Diepte (cm)	AV	HV	Anionen			Kationen				$CaSO_4$	Totaal excl.(*)
					Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}		
IIIa (5)	P	0-2	**7,0**	**13,9**	0,3	1,4	4,0	0,2	0,2	2,0	0,0	5,7	**2,5**
	P/M	2-5	**6,7**	**5,1**	0,1	0,3	0,7	0,1	0,1	0,5	0,0	1,0	0,6
	M	5-10	**8,3**	4,9	0,0	0,2	0,1	0,0	0,1	0,2	0,0	0,1	0,6
IIIb (70-80)	P	0-0,1	**8,1**	**20,0**	0,6	3,2	0,6	0,3	0,1	1,4	0,0	0,8	**5,4**
	M	0,1-2	1,9	**9,6**	0,2	1,0	0,2	0,1	0,1	0,5	0,0	0,3	**1,8**
	M	2-5	1,9	**8,5**	0,2	0,8	0,0	0,1	0,1	0,3	0,0	0,1	**1,4**
	B	0-2	0,3	1,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,4
	B	2-5	0,7	1,3	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,2
IIIc (140)	P	0-2	1,2	2,6	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,3
	P/M	2-5	1,2	1,7	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0.3

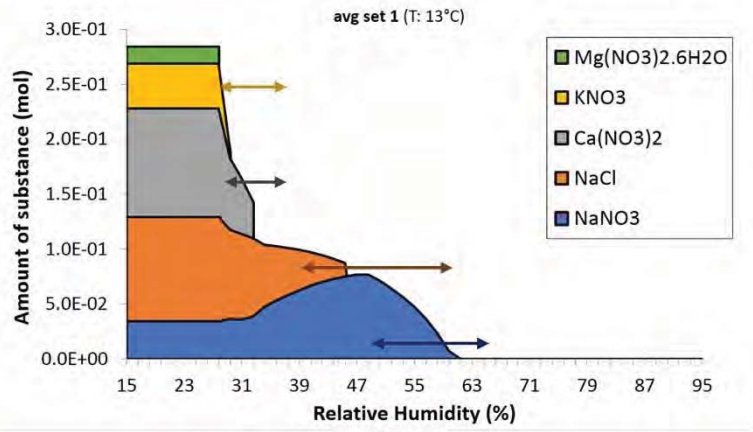
Legende: A: aard van het staal = **M**: Mortelvoeg, **B**: Baksteen, **P**: Bepleistering, **AV:** actueel vochtgehalte (g%), **HV:** hygroscopisch vochtgehalte (g%), **(*)**: totaal exclusief een equimolair gehalte $CaSO_4$

Actuele vochtgehaltes vanaf 5 g% en hoger dan of gelijkaardig aan hygroscopische vochtgehaltes wijzen op de aanwezigheid van een externe vochtbron. Deze situatie doet zich voor in twee van de veertien zones, waaronder in de diepte (5-10 cm) van de mortelvoeg in zone IIIa (tabel 1). Het hoge hygroscopisch vochtgehalte in dergelijke zones wijst op de aanwezigheid van zouten, die mogelijk een bijdrage leveren aan het actuele vochtgehalte. De aanwezige zouten volstaan evenwel niet om het hoge actuele vochtgehalte te verklaren, zodat een externe vochtbron minstens bijdraagt aan de plaatselijke verhoging van het vochtgehalte. Op die wijze worden opstijgend en doorslaand grondvocht geïdentificeerd in muren die in contact staan met het grondmassief, zoals in zone XIV. Hygroscopische vochtgehaltes hoger dan de actuele vochtgehaltes kunnen daarentegen de aanwezigheid van een externe vochtbron overschaduwen, zodat a priori moeilijk kan achterhaald worden welk aandeel van het actuele vochtgehalte afkomstig is van de aanwezigheid van zouten, dan wel van een externe vochtbron. Een deel van de aanwezige zouten kan immers op het moment van de staalname in oplossing zijn. Dergelijke omstandigheden komen voor in zes van de veertien zones, onder andere in de bepleistering van zones IIIa en IIIb (tabel 1). Echter in zone IIIa is het hoge actuele vochtgehalte in de bepleistering gekoppeld aan de duidelijke aanwezigheid van een actieve vochtbron (opstijgend grondvocht) in de ondergrond, die hier zonder twijfel ook het vochtgehalte aan het oppervlak mee beïnvloedt. In zone IIIb, hoger op de muur, is de ondergrond daarentegen droog (< 5 g%), zodat het hier zeer waarschijnlijk is dat het actuele vochtgehalte in de bepleistering eerder door de opgeloste zouten zal bepaald worden. Dieper in de muur wordt eveneens een verhoogd hygroscopisch vochtgehalte waargenomen in combinatie met een – in verhouding – lager actueel vochtgehalte. Hoewel mogelijk een deel van de zouten in oplossing is, wordt de mogelijkheid tot vochtopname uit de omgeving hier sterk beperkt door de diepte waar zich deze zouten zich in de muur bevinden.
Om een correct advies te formuleren werd de relatieve vochtigheid in de diepte van de muren gemeten met een sonde op verschillende hoogtes. In zone III is de relatieve vochtigheid onderaan de muren minstens 94,0 % en neemt af tot 56,5 % op hogere muurdelen (tabel 2). Dergelijk resultaat werd gemeten in alle onderzochte muren en kolommen en wijst op de aanwezigheid van opstijgend grondvocht. Opstijgend grondvocht wordt op sommige plaatsen onderbroken door de aanwezigheid van een Doornikse steen. De steen vertoont een typerend schadefenomeen: delaminatie (figuur 2). Deze schade neemt toe naarmate de steen aanwezig is op lagere muurdelen, wat te wijten is aan enerzijds opstijgend grondvocht en een hoge RV in de crypte. Het schademechanisme van de Doornikse steen werd in detail onderzocht door Fontaine, et al. (2015).

Tabel 2: De klimatologische omstandigheden (T: temperatuur °C en RV: relatieve vochtigheid %) op het moment van de staalname in de diepte van het metselwerk van zone III op verschillende hoogtes (**+**: RV was na 15 min. nog niet gestabiliseerd)

Zone	Hoogte (cm)	RV (%)	T (°C)
IIIc	140	56,5	13,2
IIIb	70	69,8	13,4
IIIa	5	+94,0	15,7

Het totale zoutgehalte in de bepleistering is hoog in de helft van de onderzochte zones met waarden van 1,7 g% tot 5,4 g%. Over het algemeen kan worden gesteld dat de bepleistering zoutbelast is tot een hoogte van minstens 150 cm. De zoutbelasting blijft belangrijk in het metselwerk tot een diepte van minstens 5 cm in acht van de veertien zones. Een algemene trend wordt afgeleid waarbij zouten migreren naar hoger gelegen muurdelen door de aanwezigheid van opstijgend grondvocht en vervolgens worden afgezet aan het droogfront tot maximaal twee meter hoogte. Op grotere hoogte is de schade visueel beperkt, wat een typerend schadepatroon is voor opstijgend grondvocht, zie ter illustratie de schadepathologie in figuur 4 (links). Op een hoogte boven 200 cm, op plaatsen waar het metselwerk onderbroken wordt door een horizontaal geplaatste Doornikse steen en in het gewelf is het zoutgehalte bijgevolg voldoende laag.
De gemiddelde RV en T in de crypte op het moment van de staalname bedroeg 49 % en 13 °C. De standaarddeviatie op elf metingen is respectievelijke 1,5 % en 0,5 °C. Voor de modellering (Runsalt) van de gedetecteerde zoutmengsels werd daarom een temperatuur van 13 °C aangehouden. Hiermee kan vervolgens het gedrag van de zoutmengsels op het moment van de staalname geïnterpreteerd worden. Namelijk welke zouten zijn in oplossing, uitgekristalliseerd of ondergaan een faseverandering? De Runsalt outputs vertonen telkens een gelijkaardig kristallisatiegedrag (figuur 5). Bij het hernemen van de modellering bij een temperatuur van 20 °C kan een verschuiving worden waargenomen waarbij kristallisatie optreed bij een iets lagere RV (≈ -5 %) (niet weergegeven).



Figuur 5: Ecos-Runsalt output, X-as: relatieve vochtigheid (%), Y-as: hoeveelheid zout (mol), kristallisatiegedrag van de aanwezige zouten in het metselwerk bij 13 °C en tussen 15 en 95 % RV, van het gemiddelde ionen mengsel gedetecteerd in zestien stalen. De pijlen geven de spreiding in RV weer waartussen het betreffend zout kan uitkristalliseren, gerelateerd aan de zestien outputs

Uit de modelering (figuur 5) kan worden afgeleid dat kristallisatie optreedt bij drogende omstandigheden tussen 25 en 65 % RV. Boven 65 % RV is het zoutmengsel in oplossing. Op het moment van de staalname (gem. 49 % RV) was ongeveer de helft van de aanwezige zouten uitgekristalliseerd, namelijk natriumnitraat en natriumchloride, terwijl de overige helft nitraatzouten in oplossing was. De constante aanvoer van vocht vanuit de ondergrond in combinatie met luchtvocht speelt hier ook een rol, waardoor de interne RV in de bouwmaterialen schommelt. Op lagere muurdelen blijven de zouten voornamelijk in oplossing terwijl aan het droogfront, meer specifiek aan het oppervlak en op hoger gelegen muurdelen, waar het vochtgehalte grotere variaties kan vertonen, regelmatige kristallisatiecycli kunnen voorkomen.

4. Bespreking en conclusies

Zowat alle muren en kolommen in de crypte zijn onderhevig aan opstijgend grondvocht en de muren die in contact staan met het grondmassief zijn onderhevig aan doorslaand grondvocht. Het zoutgehalte is belangrijk in de bepleistering en in het baksteenmetselwerk tot een diepte van minstens 5 cm. De modellering van de zoutmengsels toont aan dat kristallisatie optreedt bij drogende omstandigheden tussen 25 en 65 % RV, boven 65 % is het zoutmengsel in oplossing. Bij drogende omstandigheden kan bijna de helft van de aanwezige zouten, namelijk natriumnitraat en natriumchloride uitkristalliseren, terwijl de overige nitraatzouten in oplossing blijven tot een RV van ongeveer 35 % bereikt wordt. De constante aanvoer van vocht vanuit de ondergrond veroorzaakt in de bouwmaterialen een hoog vochtgehalte. Op lagere muurdelen blijven de zouten voornamelijk in oplossing terwijl aan het droogfront, meer specifiek aan het oppervlak en op hoger gelegen muurdelen, waar het vochtgehalte grotere variaties kan vertonen, regelmatige kristallisatiecycli kunnen voorkomen.
Met uitzondering van twee locaties in de crypte, met name zone III en kapel 16, kon over het algemeen worden afgeleid dat de ondergrond waarop nog muurschilderingen bewaard zijn een voldoende laag zoutgehalte bevat. Op de pijlers wordt bovendien het opstijgend grondvocht doorgaans onderbroken door de aanwezigheid van Doornikse steen. Echter, daar waar geen natuursteen aanwezig is in de structuur, bestaat een reëel risico dat het vocht alsnog migreert naar hogere muurdelen en dat de muurschilderingen in een later stadium door zouten verder aangetast zullen worden.
Gezien de aanwezigheid van opstijgend grondvocht moet rekening worden gehouden met de mogelijkheid dat het vochtgehalte in de muren en kolommen kan toenemen wanneer de vloer, zoals gepland, wordt vernieuwd. Veel hangt uiteraard af van de materiaalkeuzes die hierin worden gemaakt. In andere zones is eveneens een verdere migratie van zouten en een toename van schade te verwachten door de aanwezigheid van opstijgend en doorslaand grondvocht. Hierbij dient vermeld dat de actieve vochtbronnen eerder beperkt en vermoedelijk periodiek voorkomen. Dit onderzoek heeft dan ook aangetoond dat een evaluatie van de vochtgehaltes een complex gegeven kan zijn bij de aanwezigheid van zouten. Opstijgend grondvocht is niet altijd meetbaar als men enkel actuele vochtgehaltes onderzoekt. Het is slechts door de evaluatie van de combinatie van actueel en hygroscopisch vochtgehalte dat een beter inzicht wordt verkregen in de bijdrage van opgeloste zouten en/of externe vochtbronnen in het vochtgehalte in de bouwmaterialen.
Voor een duurzame conservatie van de crypte werd aangeraden de vochtbronnen te onderbreken. Nadien, na minstens twee maanden van droging, kunnen de bepleistering en de voegen zo diep mogelijk worden verwijderd. Deze wachttijd wordt aangeraden om dieper gelegen zouten de kans te geven om te migreren naar het oppervlak in de bepleistering, die op deze wijze een zelfopofferende functie vervuld. Het verwijderen van de materialen werd aangeraden tot minstens 200 cm hoogte, waar schade zichtbaar is, en dit om migratie van zouten naar hogere muurdelen te vermijden, in het bijzonder op plaatsen waar geen Doornikse steen aanwezig is. Een bufferzone dient echter in ieder geval gerespecteerd te worden

rondom de muurschilderingen waarbij de originele pleister behouden blijft tot 15 cm rond de nog zichtbaar aanwezige schilderingen.
Wat het klimaat betreft is er geen optimale situatie voorhanden. Bij een T van 13 °C en een RV > 65 %, zullen zouten grotendeels in oplossing zijn. Hetgeen vochtvlekken, afschilferende verflagen en schimmelvorming kan bevorderen. Deze omstandigheden vormen, wat betreft enkele muurschilderingen, een risico voor zoutschade. Voor zover de huidige situatie aanhoudt, kan er worden aangenomen dat schade op lange termijn zal toenemen. Alternatief is ook bij lagere RV (< 65 %) de kans op kristallisatie cycli en schade niet uit te sluiten. Er vanuit gaande dat boven vermelde behandelingen worden uitgevoerd, is het risico voor verdere schade aan de schilderingen beperkt. Een RV < 65 % lijkt dan een betere optie. Daarnaast is het aangewezen de RV stabiel te houden voor de optimale conservatie van de Doornikse stenen. Dit laatste ondersteunt nogmaals de noodzaak om de vochtbronnen in de crypte te onderbreken. Als men een warmer klimaat beoogt, bv 20 °C, dient de maximale RV te worden aangepast aan 60 %.
Naast de problematiek van de aanwezige zouten, werd op de muurschilderingen tevens een schimmelaantasting vastgesteld. Hetzelfde probleem stelt zich voor op de vijftiende-eeuwse Calvarietriptiek toegeschreven aan Joos van Wassenhove, alias Justus van Gent, een Vlaams topstuk dat in de kapel van de crypte is opgesteld. Gezien het verleden van schimmelproblematiek is het, naast de problematiek van de zouten, aangewezen om de uiterste grenswaarde voor de relatieve luchtvochtigheid te beperken tot 65 % (maximum). In combinatie met de bewaring van de muurschilderingen en de calvariebergtriptiek werd dan ook geadviseerd om uiterste grenswaarden van 50 % (minimum) en 65 % (maximum) op te leggen voor de relatieve luchtvochtigheid. Voor de temperatuur werden uiterste grenswaarden van 12 en 20 °C opgelegd, met een beperking van de dagelijkse temperatuurvariaties tot maximaal 6 °C.

5. Bibliografie

1. Bionda, D. & Storemyr, P. 2002. Modeling the Behavior of Salt Mixtures in Walls: A Case Study from Tenaille von Fersen, Suomenlinna, Finland. In: T. von Konow, ed. The Study of Salt Deterioration Mechanisms. Decay of Brick walls Influenced by Interior Climate Changes. Helsinki: Suomenlinnan Hoitokunta, 95–101
2. Bionda, D. 2004. Methodology for the Preventive Conservation of Sensitive Monuments: Microclimate and Salt Activity in a Church. In: D. Kwiatkowski & R. Lofvendahl, eds. 10th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, June 27–July 2. Stockholm: ICOMOS Sweden, vol. II, 627–34
3. Bionda, D. 2006. Modeling Indoor Climate and Salt Behavior in Historical Buildings: A Case Study. PhD Thesis, ETH, Zürich
4. De Clercq, H. 2008. Behavior of Limestone Contaminated with Binary Mixtures of Sodium Sulphate and Treated with a Water Repellent. International Journal for the Restoration of Buildings and Monuments, 14(5): 357–64
5. Fontaine. L., Hendrickx, R. & De Clercq, H. Deterioration mechanisms of the compact clay-bearing limestone of Tournai used in the Romanesque portals of the Tournai Cathedral (Belgium). Environ Earth Sci, 2015, 74:3207–3221

6. Ghisdal, M. en Godts, S. 2018. Materiaal-technisch vooronderzoek Gent, Sint-Baafskathedraal (Crypte), 1) Nulmeting van de bewaringstoestand van de muurschilderingen, 2) Onderzoek naar de vocht- en zoutbelasting. Onuitgegeven, raadpleegbaar, Dossiernummer KIK-IRPA: 2018.13816
7. Godts, S., Hayen, R. & De Clercq, H. 2017. Investigating salt decay of stone materials related to the environment, a case study in the St. James church in Liège, Belgium. Taylor & Francis Group, Studies in Conservation, 62/6: 329-342
8. Godts, S. & Hayen, R. 2014. Common Salt Mixtures Database: A Tool to Identify Research Needs. In: H. De Clercq, ed. Proceedings of SWBSS 2014 Third International Conference on Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures. Brussels: KIK-IRPA, Royal Institute for Cultural Heritage Brussels, 185–98
9. Larsen, P.K. 2006. The Salt decay of Medieval Bricks at a Vault in Brarup Church, Denmark. Environmental Geology, 52/2: 375–83
10. Price, C. A. ed. 2000. An Expert Chemical Model for Determining the Environmental Conditions Needed to Prevent Salt Damage in Porous Materials. European Commission Research Report No 11, Protection and Conservation of European Cultural Heritage. London: Archetype Publications
11. Price, C. A. 2007. Predicting Environmental Conditions to Minimise Salt Damage at the Tower of London: A Comparison of Two Approaches. Environmental Geology, 52(2): 369–74
12. Steiger, M. 2005. Salts in Porous Materials: Thermodynamics of Phase Transitions, Modeling and Preventive Conservation. Restoration of Buildings and Monuments, Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Universität hamburg, Germany, 11(6): 419–32
13. Prokos, P. 2008. Equilibrium Conditions of Marine Originated Salt Mixtures: An ECOS Application at the Archaeological Site of Delos, Greece. In: Salt Weathering on Building and Stone Sculptures, SWBSS Proceedings from the First International Conference, 22–24 October 2008. Copenhagen: The National museum of Denmark, 139–48
14. Vandenabeele, L. 2002. Middeleeuwse muurschilderingen in de crypte van de Gentse Sint-Baafskathedraal, onuitg. lic. verh., Universiteit Gent, pp. 23
15. Vandenabeele, L. 2007. Jeruzalem in de crypte. De muurschilderingen in de crypte van de Gentse Sint-Baafskathedraal, Provinciebestuur Oost-Vlaanderen, Gent, pp. 6

DE ROL VAN EUROPESE NORMALISATIE IN DE DISSEMINATIE VAN SYSTEMISCHE (PREVENTIEVE) CONSERVATIESTRATEGIEËN

Nathalie Vernimme

1. Abstract

In 2004 a Technical Committee "TC 346 Conservation of Cultural Property" was installed within the European Committee for Standardization (CEN). The scope of this TC346 is to publish standards on the characterization of materials, the processes, practice, methodologies and documentation of conservation of tangible cultural heritage to support its preservation, protection and maintenance and to enhance its significance. This includes the characterization of deterioration processes and environmental conditions and the products and technologies used for the planning and execution of conservation, restoration, repair and maintenance.
This contribution focuses on the role European Standardization for conservation of cultural heritage plays in the dissemination of systemic (preventive) conservation approaches. Information will be given on the standardization process and how standards can improve the quality of conservation. Also an overview will be provided of the realizations of TC346 (till now 33 EN and 1TS have been published) and more specific some norms relevant to monitoring and preventive conservation will be explained (f.i. EN 16095:2012-Condition recording of movable heritage and EN 16096:2012-Condition survey and report of built cultural heritage). Furthermore a call will be launched to professionals to participate actively in the future creation and use of standards for cultural heritage conservation.

2. Inleiding

Sinds 2004 worden Europese normen ontwikkeld voor de conservatie-restauratie van zowel onroerend als roerend cultureel erfgoed. Dit artikel beoogt in te gaan op het doel en de draagwijdte van (Europese en Nationale) normen, evenals enkele van de reeds ontwikkelde normen die betrekking hebben op preventieve conservatie en monitoring van erfgoed. Het doel is inzicht te verschaffen in wat normering kan betekenen voor een kwalitatieve instandhouding en beheer van ons materieel erfgoed.

3. Normen als instrument voor kwaliteitsgarantie

Een norm of standaard is een document met afspraken, specificaties of criteria over een product, een dienst, een proces of een methode in een bepaald domein. Normen bevatten technische- en kwaliteitscriteria en weerspiegelen goed vakmanschap in domeinen in de industrie, de dienstensector en de overheid. Een norm kan bijvoorbeeld een reeks beschrijvingen of aanbevelingen bevatten. Normen kunnen ook een (test- of meet-) methode omschrijven of vakterminologie vastleggen.
Het hoofddoel van normen is de context te duiden en inzicht te verstrekken aan de gebruiker die een bepaald product, dienst of methode toepast. Wanneer er overeenstemming is met de voorschriften of eisen van een norm, dan kan men er van uit gaan dat het product, dienst of de methode kwaliteitsvol, veilig, betrouwbaar en doeltreffend is. Normen verhogen de uitwisselbaarheid van gegevens in een domein en tussen gebruikers in diverse landen. Ze zijn een bron van actuele vakkennis die aan de basis kan liggen van kwaliteitssystemen met bijhorende certificering. De toepassing van normen kan innovatie in een sector stimuleren. Op deze wijze kunnen normen op termijn zelfs tot economische groei leiden.

Het opstellen van normen gebeurt bij consensus [1] en de normen dienen goedgekeurd te worden door een hiervoor erkend orgaan. Een norm wordt in principe vrijwillig toegepast door alle belanghebbenden in een domein: producenten, klanten, dienstverleners, onderzoekscentra maar ook overheden, enz. Dit neemt niet weg dat de naleving van een norm regelmatig wordt verplicht, namelijk via de verwijzing ernaar in wetten en regelgeving. Ook wanneer normen opgenomen worden in contracten en overeenkomsten worden ze bindend [2].

4. Nationale normalisatie in België en Nederland

Het NBN (Bureau voor Normalisatie) werd opgericht in 1945 en is het officieel erkende Belgische normalisatie-orgaan. Het NBN heeft een Raad van Bestuur samengesteld uit vertegenwoordigers van de federale regering, ondernemings- en werkgeversorganisaties en consumentenorganisaties. Het NBN vertegenwoordigt ook de Belgische belangen in Europese en internationale instanties voor normalisatie. De normalisatie in België verloopt via normalisatiecommissies opgevolgd door een sectorale operator. Er zijn een 25-tal sectorale operatoren. Vandaag worden bijna alle in België gepubliceerde normen op Europees of internationaal vlak opgemaakt. Deze Europese Normen (EN) worden na goedkeuring van de Raad van Bestuur van het NBN gepubliceerd in het Belgisch Staatsblad en daardoor effectief en verplicht als Belgische Norm.
NEN (Stichting Nederlands Normalisatie-instituut) werd opgericht in 1916 door de Nederlandse Maatschappij voor Nijverheid en Handel en het Koninklijk Instituut van Ingenieurs. NEN is een professionele zakelijke organisatie zonder winstoogmerk en het officieel erkende Nederlandse normalisatie-orgaan. De statuten zijn vastgesteld door het bestuur van de stichting na verkregen goedkeuring van de minister van Economische Zaken. NEN beheert ruim 34.000 normen. Dit zijn de in Nederland aanvaarde internationale (ISO, IEC), Europese (EN) en nationale normen (NEN).

5. Europa en normalisatie

De verordening betreffende de Europese normalisatie uit 2012 vormt de belangrijkste juridische grondslag voor de acties die de EU onderneemt in verband met normalisatie. Een Europese Norm wordt gedefinieerd als “een door een Europese normalisatieorganisatie vastgestelde technische specificatie voor herhaalde of voortdurende toepassing, waarvan de naleving niet verplicht is” [3].
De verordening (her)bevestigt de rol van het Europees Comité voor Standaardisatie (CEN) als verantwoordelijke voor de Europese normalisatie in alle domeinen, met uitzondering van elektrotechniek en telecommunicatie waarvoor aparte instanties bestaan.
CEN is samengesteld uit vertegenwoordigers van de 31 nationale normalisatie-instituten van de lidstaten van de EU en van de *European Free Trade Association* (EFTA). De lidstaten dienen verplicht te reageren op alle documenten die ter stemming worden voorgelegd. Zo brengt het NBN op alle verspreide documenten de Belgische stem uit.
Binnen CEN worden Technische Comités (CEN/TC) aangesteld voor de diverse sectoren. Er bestaan meer dan 350 CEN/TC’s die heel uiteenlopende thema’s behandelen. Een Technisch Comité bepaalt haar onderwerpen op basis van een meerjarig werkprogramma, dat opgenomen wordt in een Ondernemingsplan (*Business plan*). Het Ondernemingsplan van een CEN/TC biedt een actueel overzicht van de belangrijke technologische, economische, wetenschappelijke en andere trends binnen de sector die het CEN/TC wenst te behandelen. Voor het opstellen van concrete Europese normen kan een CEN/TC werken met Werkgroepen (*Working Groups -WG*). De leden van een WG zijn experts rond de materie uit de diverse lidstaten en worden ten persoonlijke titel benoemd door de nationale normalisatie-instituten, het CEN/TC zelf of door verenigingen die een samenwerkingsovereenkomst hebben aangegaan met het CEN/TC. Deze experts brengen over de vanuit CEN voorgestelde

documenten advies uit aan hun nationale commissie die tot een eensgezinde gemotiveerde en gedragen stem per land komt.
De ontwikkeling van een Europese norm gebeurt in zes fases en met een doorlooptijd van 3 jaar. De eerste fase is de “Voorstel- en registratiefase”. Een voorstel kan van om het even welke betrokken partij komen. Meestal wordt het voorstel gelanceerd via een nationaal normalisatie-orgaan. Wanneer een voorstel geregistreerd is en er door de CEN-leden positief over gestemd is, wordt het aan een CEN/TC toegewezen die het in het werkprogramma opneemt. Vanaf dit moment, mogen geen nieuwe nationale normen meer ontwikkeld worden voor dit onderwerp, noch mogen bestaande normen gereviseerd worden. Deze regel heeft als doel dat alle energie gericht kan worden op de ontwikkeling van de nieuwe Europese norm. De “Voorbereidingsfase” van de norm kent 2 trajecten. Ofwel is er al een document (bijvoorbeeld een bestaande ISO-norm of nationale norm) voorhanden dat als basis of Werkdocument (*Working Document -WD*) kan dienen voor de nieuwe Europese norm. Ofwel zijn er geen documenten voorhanden en start de *Technical Committee Procedure*, wat inhoudt dat het betrokken CEN/TC of een hiervoor opgerichte werkgroep zelf een Werkdocument opstelt. Eens het CEN/TC een akkoord heeft over de inhoud van het Werkdocument dan wordt het als Pre-norm (PrEN) ter goedkeuring voorgelegd aan de verschillende nationale normalisatie-instituten. (de “Commissiefase”).
Vervolgens start een “Publieke” Onderzoeksfase (*Public Enquiry*) waarbij in elk land de Pre-norm 5 maanden onder belanghebbenden circuleert om hen de kans te geven te reageren. De commentaren worden via de nationale normalisatie-instituten aan het behandelend Technisch Comité voorgelegd. Na behandeling van de commentaren door de Werkgroep, wordt de Prenorm opnieuw naar de CEN-leden doorgestuurd en krijgen de nationale normalisatie-instituten nog 2 maanden om dit ontwerp te valideren (de “Goedkeuringsfase”) met een Formele Stemming (*Formal Vote*). De stem van alle landen weegt niet even zwaar door. Er zijn wegingscriteria afgesproken gelinkt aan de grootte van de populatie van het betreffende land. Duitsland (13%), Turkije (12%), Frankrijk, Italië en UK (rond de 10%) wegen het zwaarst door in de stemming. België en buurland Nederland vertegenwoordigen samen nog geen 5%. Na een positieve stemming, wordt de Prenorm aangenomen als Europese Norm en wordt bekend gemaakt wanneer de publicatie volgt (“Publicatiefase”) en tegenstrijdige nationale documenten opgeheven moeten zijn.
Een norm is volgens een vast stramien opgebouwd en bestaat uit een titel, een voorwoord, soms een introductie met de doelstelling van het document en een omschrijving van het onderwerp, het toepassingsgebied, de belangrijkste bepalingen die het document bevat zoals bijvoorbeeld aanbevelingen, terminologie of een meetmethode; een lijst met referenties naar andere normen en en/of een lijst met termen nodig voor een goed begrip van de voorliggende norm, annexen met aanvullende info en een bibliografie.
Er worden ook andere documenten opgemaakt door CEN, met andere (mindere) draagwijdte dan Europese normen. Technische Specificaties (*Technical Specification - TS*) worden opgemaakt wanneer er niet genoeg consensus is om tot een Europese norm te komen, wanneer de nood aan een norm niet zo hoog is, of wanneer het onderwerp nog in ontwikkeling is of aan (technische) evolutie onderhevig. Het verschil tussen een TS en een EN is dat een TS niet verplicht geadopteerd moet worden door de lidstaten en ze er ook geen tegenstrijdige nationale normen voor hoeven in te trekken. Een TS heeft een geldigheidsduur van 3 jaar met een mogelijke verlenging van 3 jaar. Technische Rapporten (*Technical Reports - TR*) bevatten louter informatieve gegevens, zoals bijvoorbeeld de stand van zaken van het onderzoek rond een bepaald onderwerp of andere interessante informatie die niet geschikt is of te uitgebreid om in een EN of TS op te nemen.

6. Normering over conservatie-restauratie van cultureel erfgoed [4]

In 2004 werd CEN/TC 346 *Conservation of Cultural Property* opgericht op vraag van de Italiaanse nationale organisatie voor normalisatie (UNI). De doelstelling van dit nieuwe Europese Technisch Comité was de standaardisatie in het veld van de conservatie-restauratie

van cultureel erfgoed. Hierbij gaat het zowel over roerend als onroerend erfgoed. Het aandachtspunt kan verschillen van norm tot norm. Sommige normen zijn voor zowel roerend als onroerend erfgoed bedoeld, andere richten zich specifiek tot een type erfgoed. Het comité beoogde de ontwikkeling van standaarden over terminologie en definities, test- en analysemethodes, de ondersteuning van de karakterisering van materialen en schadeprocessen van roerend en onroerend erfgoed en producten en technologieën die gebruikt worden voor het plannen, en uitvoeren van conservatie, restauratie, herstel en onderhoud. Het Ondernemingsplan werd opgemaakt en goedgekeurd door 9 verschillende deelstaten waaronder België en Nederland.
In België werd de coördinatie van CEN/TC 346 door het NBN toegewezen aan het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB) dat als sectoraal operator optreedt voor de meeste bouw gerelateerde Technische Comités.
In Nederland werd de eerste jaren een expert van het Instituut Collectie Nederland (ICN) aangeduid in een aantal werkgroepen, maar er werd en wordt tot op vandaag niet actief ingezet op de ontwikkeling van Europese normen voor erfgoed. Toch zijn al de reeds ontwikkelde normen overgenomen als Nederlandse norm. In Nederland is een alternatief stelsel voor normering ontwikkeld, via de Stichting Erkende Restauratiekwaliteit Monumentenzorg (ERM). De ERM is opgericht om de kwaliteit van het restaureren van monumenten op een breed gedragen kwaliteitsniveau te brengen en te houden. De activiteiten zijn gericht op lokale overheden opdrachtgevers, architecten en aannemers. Zo ontwikkelt de Stichting onder meer uitvoeringsrichtlijnen voor alle relevante onderdelen van het restauratiewerk. Deze richtlijnen geven duidelijkheid over wat goed werk bij het onderhouden en restaureren van onroerend erfgoed inhoudt. Dit is vermoedelijk een reden om niet ook in te zetten op CEN normen.
TC 346 startte in 2004 met 5 thematische werkgroepen [5] die in de periode tot 2012 voor de publicatie van vijftien Europese Normen zorgden. In 2012 en nadien ook in 2015 en 2018, kwam er een revisie van het ondernemingsplan en een aanpassing van de naam van het TC naar *Conservation of Cultural Heritage.*
Het hoofddoel van CEN/TC 346 volgend het recentste ondernemingsplan is het –volgens de noden – *“opmaken van Europese standaarden of andere normatieve documenten die de professionelen zullen helpen in hun conservatie-restauratie werk. De normatieve documenten kunnen betrekking hebben op roerend of onroerend erfgoed, op alle materialen waaruit het materieel cultureel erfgoed is samengesteld, op alle aspecten van de omgeving van materieel cultureel erfgoed die impact kunnen hebben op de conservatie-restauratie ervan en op alle aspecten of fases van het conservatie-restauratieproces (inclusief monitoring).” [6]*
De revisie van het Ondernemingsplan ging gepaard met een nieuwe indeling in Werkgroepen. In plaats van de 5 initiële werkgroepen werden 16 werkgroepen ingesteld waarvan er anno 2019 nog 11 actief zijn. Het betreft :
WG 1 General methodologies and terminology;
WG 2 Characterisation and analysis of porous inorganic materials constituting cultural Heritage (MERGED WITH WG 3 Porous inorganic materials constituting cultural heritage); WG 7 Specifications and measurement indoor/outdoor climate ;
WG 9 Waterlogged wood;
WG 10 Historic timber structures;
WG 11 Conservation process;
WG 12 Showcases;
WG 13 Investigation of architectural finishes – Procedure, methodology and documentation of results;
WG 14 Monitoring of cultural deposit;
WG 15 Exhibition lighting of cultural heritage;
WG 16 Specification for the management of moveable cultural heritage.

Tabel 1: Overzicht gepubliceerde EN en TS binnen CEN/TC346 [7]

Date	Reference	Title
2009-12-09	EN 15801:2009	Conservation of cultural property - Test methods - Determination of water absorption by capillarity
2009-12-09	EN 15802:2009	Conservation of cultural property - Test methods - Determination of static contact angle
2009-12-09	EN 15803:2009	Conservation of cultural property - Test methods - Determination of water vapour permeability (δp)
2010-09-01	EN 15757:2010	Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials
2010-09-01	EN 15758:2010	Conservation of Cultural Property - Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects
2010-09-15	EN 15886:2010	Conservation of cultural property - Test methods - Color measurement of surfaces
2011-08-31	EN 15946:2011	Conservation of cultural property - Packing principles for transport
2011-10-05	EN 15898:2011	Conservation of cultural property - Main general terms and definitions
2011-11-23	EN 15759-1:2011	Conservation of cultural property - Indoor climate - Part 1: Guidelines for heating churches, chapels and other places of worship
2012-08-01	EN 16085:2012	Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules
2012-08-01	EN 16095:2012	Conservation of cultural property - Condition recording for movable cultural heritage
2012-08-01	EN 16096:2012	Conservation of cultural property - Condition survey and report of built cultural heritage
2012-11-14	EN 16242:2012	Conservation of cultural heritage - Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property
2012-11-14	EN 16141:2012	Conservation of cultural heritage - Guidelines for management of environmental conditions - Open storage facilities: definitions and characteristics of collection centers dedicated to the preservation and management of cultural heritage
2013-02-06	EN 16302:2013	Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method
2013-10-02	EN 16322:2013	Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties
2014-03-05	EN 15999-1:2014	Conservation of cultural heritage - Guidelines for design of showcases for exhibition and preservation of objects - Part 1: General requirements
2014-04-30	CEN/TS 16163:2014	Conservation of Cultural Heritage - Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions
2014-09-10	EN 16455:2014	Conservation of cultural heritage - Extraction and determination of soluble salts in natural stone and related materials used in and from cultural heritage
2014-12-17	EN 16581:2014	Conservation of Cultural Heritage - Surface protection for porous inorganic materials - Laboratory test methods for the evaluation of the performance of water repellent products
2015-04-01	EN 16515:2015	Conservation of Cultural Heritage - Guidelines to characterize natural stone used in cultural heritage
2015-07-29	EN 16572:2015	Conservation of cultural heritage - Glossary of technical terms concerning mortars for masonry, renders and plasters used in cultural heritage
2015-08-19	EN 16648:2015	Conservation of cultural heritage - Transport methods
2016-05-04	EN 16782:2016	Conservation of cultural heritage - Cleaning of porous inorganic materials - Laser cleaning techniques for cultural heritage
2016-06-22	EN 16790:2016	Conservation of cultural heritage - Integrated pest management (IPM) for protection of cultural heritage
2016-11-09	EN 16873:2016	Conservation of cultural heritage - Guidelines for the management of waterlogged wood on archaeological terrestrial sites
2017-03-01	EN 16682:2017	Conservation of cultural heritage - Methods of measurement of moisture content, or water content, in materials constituting immovable cultural heritage
2017-04-26	EN 16853:2017	Conservation of cultural heritage - Conservation process - Decision making, planning and implementation
2017-05-17	EN 16883:2017	Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings
2018-01-10	EN 15759-2:2018	Conservation of cultural heritage - Indoor climate - Part 2: Ventilation management for the protection of cultural heritage buildings and collections
2018-02-07	EN 16893:2018	Conservation of Cultural Heritage - Specifications for location, construction and modification of buildings or rooms intended for the storage or use of heritage collections
2018-06-20	EN 17036:2018	Conservation of Cultural Heritage - Artificial ageing by simulated solar radiation of the surface of untreated or treated porous inorganic materials
2018-11-28	EN 17114:2018	Conservation of cultural heritage - Surface protection for porous inorganic materials - Technical and chemical data sheets of water repellent product
2018-12-19	EN 17138:2018	Conservation of Cultural Heritage - Methods and materials for cleaning porous inorganic materials

De doelgroep van de standaarden wordt gevormd door iedereen betrokken bij de erfgoedobjecten die aan bod komen in de standaarden, zoals onder meer eigenaars, stakeholders en gebruikers van cultureel erfgoed (monumenten, musea, archieven, bibliotheken en collecties), even als architecten, erfgoedbewakers, archeologen, ingenieurs, planners, conservatoren-restauratoren, restauratievaklieden, conservatiewetenschappers, energie-adviseurs, nationale overheden, transport- en verzekeringsfirma's.
Er zijn samenwerkingsovereenkomsten afgesloten door TC346 met E.C.C.O. (*European Confederation of Conservator-Restorers' Organisations*); ICOM-CC (*International Council of Museums – Committee for Conservation*); ICOMOS (*International Council on Monuments and Sites*); IFLA (*International Federation of Library Associations and Institutions*); IIC (*International Institute for Conservation of Historic and Artistic Works*); UIA (*International Union of Architects*). Het doel van deze samenwerking is een betere gedragenheid en verspreiding van de ontwikkelde normen in de sector te bekomen.
Vandaag zijn er binnen TC346 Conservation of Cultural Heritage 33 Europese Normen en 1 Technische Specificatie gepubliceerd.
Een aantal van de gepubliceerde normen gaan over terminologie of betreffen algemene richtlijnen over het conservatieproces en de te hanteren deontologie. Deze meer generieke documenten zijn noodzakelijk voor een goed begrip van alle andere reeds ontwikkelde en te ontwikkelen normen binnen TC346, daarom worden ze hieronder kort toegelicht.

EN 15898:2011- Conservation of cultural property-Main general terms and definitions definieert belangrijke algemene termen die een ruime verspreiding kennen binnen de sector conservatie-restauratie van cultureel erfgoed. De definities voor deze termen opgenomen in conventies, charters en ander gezaghebbende bronnen van instanties als ICOMOS, ICOM-CC, ECCO e.a. verschillen soms in nuances, maar soms ook heel sterk waardoor ze niet altijd eenduidig te interpreteren zijn. Consequent gebruik van terminologie in de sector kan ertoe leiden dat heel wat misverstanden of onduidelijke interpretaties wegvallen.
De termen in EN 15898 zijn ondergebracht in 6 categorieën: cultureel erfgoed; conditie; conservatie-restauratie; preventieve conservatie; curatieve conservatie en restauratie; planning en documentatie.
De norm definieert 'preventieve conservatie' als "*maatregelen en acties die als doel hebben toekomstige schade, een verslechtering van de toestand of verlies en tevens iedere invasieve tussenkomst te vermijden of te minimaliseren.*" Gerelateerd aan preventieve conservatie zijn volgende termen opgenomen: periodiek onderhoud (*maintenance*), collectiebeheer (*collection care*), omgevingscontrole (*environmental control*), monitoring (*monitoring*), risico-beheersing (*risk assessment*), en noodsituatiebeheer (*emergency preparedness*). De norm is momenteel in revisie. De publicatie van de geactualiseerde versie wordt in de loop van 2019 verwacht.

Pr-EN 17135 "Conservation of Cultural heritage – General terms for describing the alterations of objects" zal naar verwachting in 2019 gepubliceerd worden. De norm bevat termen die worden gebruikt in het domein van conservatie van erfgoed om de verandering van objecten te beschrijven. Het gaat bewust niet om 'schadebeelden', omdat niet elke verandering noodzakelijk als een schade geïnterpreteerd dient te worden. (vb. patina). De termen zijn ondergebracht in 7 klassen van verandering gebaseerd op (louter) visuele waarneming. Daarbij gaat het om het zichtbare resultaat van de verandering, niet het proces of de vermoede oorzaak waardoor de verandering tot stand kwam. Dit is immers slechts de eerste stap in een diagnoseproces, die nog aangevuld en verfijnd moet worden, aangezien niet alle veranderingen visueel kunnen vastgesteld en benoemd worden. Binnen elke klasse worden de termen gerangschikt van meer algemeen naar meer specifiek, behalve de biologische en chemische veranderingen die alfabetisch worden gerangschikt. De klassen dienen niet te strikt geïnterpreteerd te worden, het gaat louter om een hulpmiddel bij de toekenning van termen. De volgende klassen met termen zijn opgenomen: optische verandering; vervorming; toevoeging van materiaal; materiaalverlies; verlies van cohesie; biologische verandering en chemische verandering.

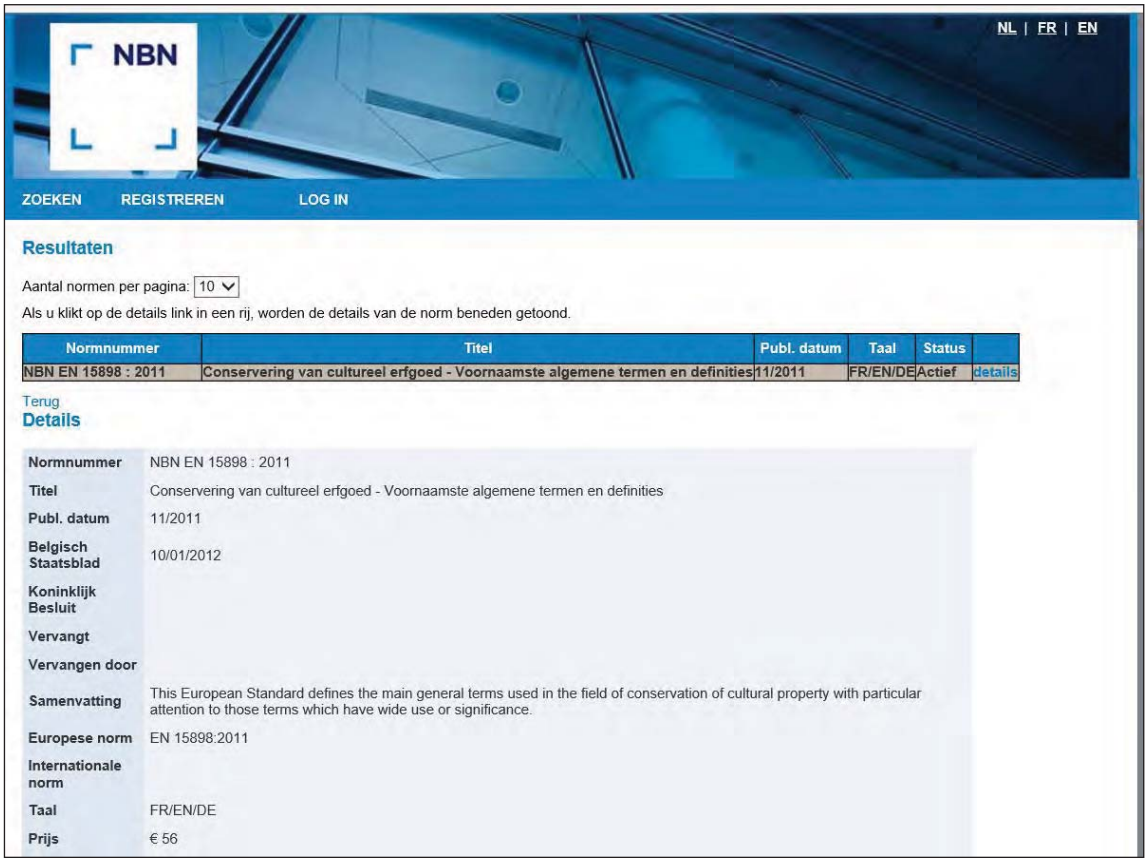


Foto 1: Via de webshop van NBN kunnen normen (in digitaal of gedrukt formaat) aangekocht worden. Screenshot www.nbn.be 26 februari 2019.

EN 16853:2017 Conservation of cultural heritage - Conservation process - Decision making, planning and implementation omvat een analyse en beschrijving van het proces rond de besluitvorming, planning en uitvoering van conservatie-restauratie van materieel erfgoed. Met materieel erfgoed worden zowel individuele objecten, collecties, de gebouwde omgeving, historische en archeologische sites als cultuurlandschappen bedoeld. Het waarderen en identificeren van erfgoed en de competenties nodig om beslissingen of deelbeslissingen in het proces te nemen, zijn niet opgenomen in de norm. De norm beschrijft de volgende componenten van het proces: documentatie en communicatie; ontstaan en omschrijven van het conservatie-restauratieproject; risico-evaluatie en risicobeheer; identificatie, evaluatie en selectie van de conservatie-restauratie opties; implementatie van het conservatieplan en tenslotte: evaluatie en oplevering van het project. Voor elk van de processtappen wordt het doel en de te zetten stappen en eventuele randvoorwaarden gedefinieerd.

EN 16095:2012- Conservation of cultural property-Condition recording of movable heritage omschrijft het doel, het belang en de context waarin een toestandsregistratie van roerend erfgoed gebeurt. Deze Europese standaard kan toegepast worden voor alle types roerend cultureel erfgoed, zowel individuele objecten als volledige collecties. De standaard kan ook gebruikt worden voor (roerende) onderdelen van monumenten of gebouwen. Een conditierapport biedt een overzicht van de toestand van een erfgoedobject volgend op een inspectie en toestandsevaluatie. Het rapport biedt daarnaast ook informatie over de betekenis van een roerend erfgoedobject, het kan technische gegevens bevatten, naast gegevens voortvloeiend uit monitoring of informatie die nuttig kan zijn voor het plannen van toekomstige maatregelen. In de norm wordt een raamwerk geboden voor het opmaken van een conditierapport. Er wordt geen vast format vooropgesteld maar wel eens soort checklist van wat minimaal opgenomen dient te worden om de staat van een object te kunnen registreren.

Een conditierapport bevat ten minste een inleiding, een onderdeel met gegevens over het rapport zelf (wie is de opsteller, datum inspectie en datum rapport, gebruikte methodologie, doel rapport, etc..), een onderdeel betreffende de identificatie van het object, met inbegrip van ontwerper en eigenaar. Vervolgens een onderdeel met een beschrijving van het object, gevolgd door een analyse van de omgeving en de beschrijving van de toestand. Het rapport kan ook een diagnose bevatten of, wanneer dit nog niet mogelijk is, conclusies opnemen betreffende verder te zetten stappen om tot een diagnose te komen. De norm vermeldt tenslotte nog de werkcondities voor de persoon/personen die de conditieregistratie uitvoer(t)/(en), evenals de aanbevolen werkpraktijken en een voorbeeld van een sjabloon voor het opmaken van een conditierapport.

Foto 2: Opname metingen in digitaal conditierapport. © Onroerend Erfgoed 2012

EN 16096:2012- Conservation of cultural property-Condition survey and report of built cultural heritage biedt het alternatief van EN 16095 voor de conditiemeting van onroerend erfgoed. Het gaat over diverse types onroerend erfgoed zoals gebouwen, ruïnes, bruggen en andere opstaande structuren. Het betreft zowel beschermde als niet beschermde gebouwen en structuren met erfgoedwaarde, met uitzondering van archeologische sites en culturele landschappen. Er wordt gesteld dat voor beschermd en/of geïnventariseerd erfgoed specifieke nationale regels voor documentatie en werken uitgevoerd door professionelen kunnen gelden. De norm beschrijft hoe de staat van gebouwd cultureel erfgoed zou moeten beoordeeld, gedocumenteerd, geregistreerd en gerapporteerd worden. EN 16096 kan enerzijds toegepast worden om onderhoudsmaatregelen te bepalen en de noden voor verder onderzoek en diagnose van schade of anderzijds om de vereisten bij aanbesteding en gedetailleerde bestekbepalingen te definiëren. Daarnaast kan de norm toegepast worden als uniforme methode om vergelijkende data te verkrijgen wanneer toestandsonderzoek uitgevoerd wordt bij een groep van gebouwen of afzonderlijke gebouwen in eenzelfde gebied.
De norm voorziet een opbouw van een conditiemeting in 6 fases. De eerste fase is een planningsfase met een onderdeel voorbereiding (identificatie doel; behoefte aan budget , personeel, uitrusting; registratieformat; opdrachtgever conditiemeting) en een onderdeel met verwachte kwalificaties van de onderzoekers, waarbij de aandacht ook naar interdisciplinaire

samenwerking gaat in het geval van complexere onderzoeken. De tweede fase betreft informatie over het onroerend erfgoed en zijn eigenaar, met inbegrip van belangrijke bronnen. De derde fase gaat in op de eigenlijke conditiemeting, gebaseerd op waarneming, onderzoek en registratie tijdens de inspectie. Wanneer tijdens de conditiemeting blijkt dat er behoefte is aan meer informatie, zal dit als een aanbeveling in het conditierapport worden opgenomen. Naast algemene info over de omstandigheden en methoden van de inspectie wordt de conditie beschreven voor elk onderdeel van het object volgens de terminologie opgenomen in *EN 17135 "Conservation of Cultural heritage – General terms for describing the alterations of objects".* Voor elk onderdeel wordt een conditieklasse bepaald, gebaseerd op een beoordeling van de relevante symptomen. Er zijn 4 conditieklassen bepaald : van 'geen symptomen' naar aanwezigheid van 'prominente symptomen'.

Tabel 2: Conditieclassificatie van de onderdelen [8]

Condition class (CC)	Symptoms
CC 0	No symptoms
CC 1	Minor symptoms
CC 2	Moderately strong symptoms
CC 3	Major symptoms

Hieraan gekoppeld wordt in een vierde fase een risico-evaluatie uitgevoerd en worden bijhorende aanbevelingen geformuleerd. Er wordt onder meer rekening gehouden met mogelijke oorzaken van de opgetekende conditie, externe invloeden, verwachte variaties of/en gevolgen, eventuele nood aan verder onderzoek, kans op verborgen schade en te verwachten gevolg voor het historisch belang, externe en omgevingsfactoren en de urgentie van de maatregelen wordt bepaald op basis van 4 urgentiecategorieën. (van 'maatregelen uit te voeren op lange termijn' naar' dringende en onmiddellijk uit te voeren maatregelen') en natuurlijk ook de maatregelen zelf per onderdeel. Het gaat dan om aanbevelingen voor periodiek onderhoud, preventieve maatregelen, herstel of aanbevelingen voor verder onderzoek. Aanbevelingen voor andere interventies kunnen niet geformuleerd worden enkel op basis van een conditiemeting.

Tabel 3: Urgentieclassificatie van de maatregelen [9]

Urgency class (UC)	Urgency
UC 0	Long term
UC 1	Intermediate term
UC 2	Short Term
UC 3	Urgent and immediate

In een vijfde fase worden de bevindingen uit de conditiemeting samengevat in een algemene beschrijving van de conditie en bepaling van een algemene klasse met aangeven van de meest dringende maatregelen, andere aanbevolen maatregelen en eventuele behoeftes voor verder onderzoek.

Tabel 4: Algemene classificatie van de maatregelen [10]

Recommendation class (RC)	Possible measures
RC 0	No Measures
RC 1	Maintenance/Preventive conservation
RC 2	Moderate repair and/or further investigation
RC 3	Major intervention based on diagnosis

De zesde en laatste fase omvat de opmaak van het eigenlijke conditieverslag in 5 secties:
- informatie over het onroerend erfgoed en zijn eigenaar,
- de conditie zoals afgeleid uit de meting
- de risico-evaluatie en aanbevelingen
- de samenvatting
- fotografische, grafische en andere documentatie.

Aangezien monitoring als een zeer belangrijk onderdeel van preventieve conservatie wordt beschouwd door CEN/TC346 is hier een aparte werkgroep rond actief die een reeks Europese normen ontwikkeld heeft om omgevingsvariabelen in het interieur (met inbegrip van tentoonstellings- en bewaarcondities) en het exterieur accuraat te meten evenals normen over de interacties tussen de omgeving en het cultureel erfgoed.

EN 15757:2010- Conservation of cultural property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate- induced mechanical damage in organic hygroscopic materials bevat specificaties om temperatuur en relatieve vochtigheid te bepalen met als doel klimaatgerelateerde schade aan hygroscopische organische materialen te beperken. Die hygroscopische organische materialen kunnen deel uit maken van recente of historische gebouwen (deuren, dakspanten, wandtextiel, etc.) of er voor langere periode in bewaring zijn (boeken, objecten in leder, etc.) .

EN 15758:2010- Conservation of cultural property - Procedures and instruments for measuring temperatures of the air and the surfaces of objects is een norm bestemd voor iedereen die verantwoordelijk is voor de omgeving van cultureel erfgoed, voor de diagnose ervan en voor de conservatie of het onderhoud van gebouwen, collecties of afzonderlijke objecten. EN 15758 omvat aanbevolen procedures om de temperatuur van de lucht en aan het oppervlak van cultureel erfgoedobjecten te meten, zowel in het interieur als in het exterieur. De norm bepaalt ook de minimale eigenschappen van de te gebruiken meetinstrumenten (vb. zwarte bol thermometer; infrarood thermometer; quasi contact thermometer) even als aanbevelingen om tot accurate metingen te komen zodat de veiligheid van de cultureel erfgoedobjecten verzekerd is.

EN 16242:2012 - Conservation of cultural property - Procedures and instruments for measuring humidity in the air and moisture exchanges between air and cultural property is een norm bestemd voor dezelfde doelgroep als EN 15758 hierboven. EN 16242 bevat aanbevelingen voor het uitvoeren van accurate metingen van omgevingscondities en vochtuitwisseling tussen de lucht en cultureel erfgoedobjecten. De standaard omvat richtlijnen voor procedures en instrumenten (vb. dauwpuntmeter; elektronische psychrometer; hygrograaf) om de relatieve vochtigheid van de lucht te meten in het interieur en in het exterieur. Er wordt in de norm beschreven hoe de relatieve vochtigheid gemeten kan worden of hoe deze berekend kan worden aan de hand van de luchttemperatuur, natte- bol-temperatuur en dauwpunttemperatuur.

EN 15759-1:2011 Conservation of Cultural Property - Indoor climate – Part 1: Guidelines for heating churches, chapels and other places of worship behandelt verwarmingsstrategieën en -systemen in gebouwen voor de eredienst (zoals kerken, kapellen, synagogen en moskeeën) ongeacht hun omvang of constructiewijze. Het gaat zowel over gebouwen die cultureel erfgoed zijn als over gebouwen die cultureel erfgoedobjecten huisvesten. Deze norm vormt het eerste deel van een Europese Standaard over het binnenklimaat en biedt een handleiding voor de selectie van verwarmingsstrategieën en verwarmingsinstallaties in gebouwen van de eredienst. Een tweede essentieel deel gaat over ventilatie. De richtlijnen opgenomen in EN 15759-1:2011 gelden zowel voor het inbrengen in een gebouw van een nieuw verwarmingssysteem als voor het vervangen van oude verwarmingssystemen. De voorgestelde verwarmingsstrategieën houden rekening met de vraag naar thermisch comfort van de gebruikers, met de vraag naar verbetering van de klimaatcondities voor de conservering van het gebouw en zijn inboedel of met beide. Het doel is te voorkomen dat het

cultureel erfgoed beschadigd raakt en er tegelijkertijd voor te zorgen dat er een binnenklimaat tot stand komt dat een duurzaam gebruik van deze gebouwen toelaat.
In het proces van selectie zijn de volgende stappen voorzien: een assessment (vaststellen historisch binnenklimaat) van het gebouw volgens het interieur en de collectie; het bepalen van de specificaties voor een geschikt binnenklimaat (rekening houdend met conservatienoden en noden voor thermisch comfort); het bepalen van een aangepaste verwarmingsstrategie; de selectie en het design van het gepaste verwarmingssysteem/ -systemen (in de norm wordt een overzicht gegeven van mogelijkheden met voor- en nadelen); de implementatie van de gekozen strategie en tot slot de evaluatie van de effectiviteit van het gekozen verwarmingssysteem.

Tabel 5: Overzicht verwarmingsstrategieën EN 15759-1 [11]

Basic strategy	**Distribution in space**	**Distribution in time**
No heating		
Conservation heating	General heating Local Heating	Continuous heating Intermittent heating
Heating for thermal comfort	General heating Local heating	Continuous heating Intermittent heating Mixed-mode heating

EN 15759-2:2018 - Conservation of cultural heritage - Indoor climate - Part 2: Ventilation management for the protection of cultural heritage buildings and collections is het tweede deel van een Europese standaard die handelt over het binnenklimaat van cultureel erfgoed. Dit tweede deelt dient samen met het eerste deel toegepast te worden wanneer er verwarmingsstrategieën en verwarmingsinstallaties geselecteerd worden voor onroerend erfgoedgebouwen en -collecties. De standaard behandelt binnenklimaatcondities en ventilatiestrategieën, maar niet de technische uitrusting ervoor. Het doel van de standaard is de bewaringstoestand van cultureel erfgoedgebouwen en de collecties te verbeteren en een duurzaam gebruik ervan mogelijk te maken. De ventilatiestrategie wordt stapsgewijs bepaald: er wordt gestart met een analyse van de aanwezige ventilatie, de binnenluchtkwaliteit en de risico's ervan voor gebouw en collectie, gevolgd door het omschrijven van het te behalen doel van de interventie; een bepaling van de gewenste binnentemperatuur en vochtgehalte, evenals de drempels voor aanwezige gassen; de voorbereiding van aanbevelingen om de ventilatie beter te beheren, de implementatie van deze aanbevelingen en de evaluatie van enerzijds de effectiviteit ervan en anderzijds de impact op gebouw en collectie.
Sinds de 2e helft van 2018 is er een nieuwe werkgroep actief met als titel *monitoring of cultural deposit*. De werkgroep heeft als doel de vereisten te specifiëren voor monitoring van de omgeving van culturele depots en de bijhorende documentatie van de staat van bewaring.
Alle overige ontwikkelde normen binnen TC 346, zullen we in het bestek van dit artikel niet bespreken, maar worden hieronder wel kort aangehaald.
Er is een aantal normen ontwikkeld betreffende de karakterisering van materialen waaruit het cultureel erfgoed is samengesteld en test- of analysemethodes voor de evaluatie van de staat van bewaring van het cultureel erfgoed [12].
Een aantal normen werd ontwikkeld rond heel specifieke thematieken, zoals bijvoorbeeld waterverzadigd archeologisch hout, historische timmerconstructies, gevelafwerkingen van erfgoedgebouwen en energie-efficiëntie van historische gebouwen [13]. Rond aangepaste verlichting voor tentoonstellingen met cultureel erfgoedobjecten werd een gemeenschappelijke werkgroep opgericht met *TC 169 Light and Lighting* en werd een TS ontwikkeld [14].

De grootste groep van Europese normen werd gepubliceerd met betrekking tot testmethoden op poreuze anorganische materialen die voorkomen in cultureel erfgoedobjecten. De beschreven methoden kunnen toegepast worden op zowel onbehandelde als (bijvoorbeeld met een verouderingsbehandeling) behandelde poreuze anorganische materialen. Het gaat in deze normen over de testuitrusting, het voorbereiden van monsters, de testprocedure en de manier van weergeven van de testresultaten [15]. Ook is een aantal normen ontwikkeld over de evaluatie van behandelingsmethoden en/of -producten van poreuze anorganische materialen (reinigen, hydrofobering, veroudering) en het testen van deze behandelingen [16]. Eveneens buiten de scope van dit artikel vallen de normen ontwikkeld ten behoeve van de conservatie-restauratie van objecten in collecties (inpakken van objecten, transport, IPM, specificaties voor opslagruimte, richtlijnen voor open opslagfaciliteiten en specificaties voor ontwerp van vitrines) [17].

7. Besluit en oproep tot deelname aan ontwikkeling normen

Na 15 jaar van activiteit van TC346 is al een mooie collectie Europese normen ontwikkeld ten behoeve van de conservatie-restauratie van cultureel erfgoed. De normen zijn meer en meer gekend en worden toegepast door veel professionelen in de sector. De oudste normen zijn ondertussen gereviseerd en in de revisie zijn de ervaringen van erfgoedexperten met het toepassen ervan meegenomen. Vanuit het gebruik van de bestaande standaarden komen tevens voorstellen voor nieuwe normen om hiaten in het normenkader op te vangen. Europese professionelen die met dit normenkader werken hanteren eenzelfde terminologie wat de kennisuitwisseling en kennisgroei ten goede komt. De evaluatie en verfijning van normen wordt ook meegenomen in publicaties en internationale onderzoeksprojecten. Zo werd in het kader van het INTERREG-project DEMI MORE (*Demonstration of Energy efficiency by Measurement and Innovation gives MORE*) dat zich richt op energie-efficiëntie in onroerend erfgoed, een code van goede praktijk opgesteld waarin een integrale aanpak aangemoedigd wordt, onder andere gebaseerd op de Europese normen.
Het Internationaal Energie Agentschap lanceerde dan weer bijvoorbeeld een onderzoeksproject *Task 59 – Deep renovation of historic buildings towards NZEB* met als trekker EURAC waarin o.a. de toepassing van EN 16883 in het werkveld getest wordt, gedocumenteerd en concreet gemaakt [18].
Toch kunnen we nog niet onverdeeld optimistisch zijn over de implementatie van de normen rond conservatie-restauratie, zeker niet in de Lage Landen. Vele ontwerpers en uitvoerders in de sector conservatie-restauratie zijn vandaag niet tot nauwelijks op de hoogte van het feit dat er Europese normen voor de sector uitgewerkt worden. Hierdoor is de doorvertaling naar bestekken en lastenboeken nog minimaal. Ook in het onderwijs wordt nog te weinig de nadruk gelegd op de geldende normen. De inzet vanuit België in het opstellen van de normen voor conservatie-restauratie is gedaald tot een paar mensen in vergelijking met de vertegenwoordiging in de beginjaren. In Nederland is er momenteel zelfs niemand actief binnen de werkgroepen van CEN/TC 346. Hierbij vergeet men dat al deze Europese normen automatisch nationale normen worden en eigenlijk gekend dienen te zijn door professionelen. Een reden voor de lage participatiegraad is dat actieve deelname tijd en geld kost. De leden van een normalisatiecommissie zijn natuurlijke of rechtspersonen die een belang hebben bij de activiteiten van de normalisatiecommissie waarbij ze betrokken wensen te worden en er ook een technische bijdrage aan kunnen leveren. Voor experten vanuit de overheid gaat het om de inzet van tijd naast de reis- en verblijfkosten verbonden aan het bijwonen van de bijeenkomsten van een Werkgroep (2x/jaar) die niet vergoed worden. Experten uit privé-instanties en Universiteiten die wensen mee te werken aan Europese normeringsactiviteiten dienen zich boven op die kosten ook lid te maken van het nationaal normalisatie-orgaan wat een jaarlijkse bijdrage met zich meebrengt.
In andere (voornamelijk grotere) landen zoals Frankrijk, Italië, Duitsland en Engeland bestaan spiegelcomités met een brede vertegenwoordiging van alle belanghebbenden. Zo worden de bemerkingen op de voorgestelde normen met een brede groep voorbereid en ligt de rol van

de expert er in om de visie van zijn spiegelcomité te vertolken tijdens de internationale vergaderingen van de werkgroepen. Dit kan een oplossing bieden voor de bijdrage van Vlaanderen en Nederland aan de normalisatie binnen de sector conservatie-restauratie [19]. Het is immers ons aller verantwoordelijkheid om deze boot niet te missen en bij te dragen aan kwaliteitsbevordering binnen erfgoedzorg.

8. Literatuur

[1] Consensus wordt gedefinieerd als “Algemene overeenstemming, gekenmerkt door de afwezigheid van blijvend verzet tegen wezenlijke punten van een belangrijk deel van de betrokken belangen en door een werkwijze waarbij men tracht rekening te houden met de standpunten van alle betrokken partijen en eventuele meningsverschillen met elkaar te verzoenen” (NBN EN 45020:2009- Normalisatie en aanverwante activiteiten - Algemene termen en definities).

[2] Cfr. artikel 1134 van het burgerlijk Wetboek: “Alle overeenkomsten die wettig zijn aangegaan, strekken degenen die ze hebben aangegaan, tot wet.”

[3] Definitie volgens artikel 2 van de Europese verordening Nr. 1025/2012 van het Europees Parlement en de Raad van 25 oktober 2012 betreffende Europese normalisatie.

[4] Zie ook Vernimme N. “Europese normen voor de instandhouding van erfgoed. Streven naar kwaliteit in de sector conservatie-restauratie.” in Faro, tijdschrift over cultureel erfgoed, 7-2, 2014, p. 55-63.

[5] WG 1 General Guidelines and Terminology, WG 2 Materials constituting cultural property, WG 3 Evaluation of methods and products for conservation works, WG 4 Environment en WG 5 Transportation and packaging methods

[6] https://standards.cen.eu/BP/411453.pdf.

[7] Tabel met overzicht d.d. 22/02/2019 geraadpleegd via https://standards.cen.eu. De Belgische normen voor conservatie-restauratie van cultureel erfgoed zijn online te koop in de webwinkel van NBN http://shop.nbn.be. Het in te geven trefwoord is ‘cultureel erfgoed’. Men kan zowel een gedrukt als een digitaal exemplaar van de normen bestellen. Prijzen schommelen tussen de 35 en de 100 euro per norm.

[8] NBN EN 16096:2012 Conservering van cultureel erfgoed - Conditiebepaling en -verslag van onroerend erfgoed, p. 10.

[9] Cfr. supra, p. 11.

[10] Cfr. supra, p. 12.

[11] EN 15759-1: 2011 Conservation of Cultural Property - Indoor climate – Part 1: Guidelines for heating churches, chapels and other places of worship, p.11.

[12] EN 16085:2012 Conservation of Cultural property - Methodology for sampling from materials of cultural property - General rules ; EN 16572:2015 - Conservation of Cultural Heritage - Glossary of technical terms concerning mortars for masonry, renders and plasters used in cultural heritage ; EN 16455:2014 - Conservation of cultural heritage - Extraction and determination of soluble salts in natural stone and related materials used in and from cultural heritage; EN 16515:2015 - Conservation of Cultural Heritage - Guidelines to characterize natural stone used in cultural heritage; prEN 17187- Conservation of Cultural Heritage – Characterization of mortars used in cultural heritage

[13] EN16873:2016 Waterlogged wood – Guidelines for the management of waterlogged wood on archaeological terrestrial sites; prEN 17121 Conservation of cultural heritage - Historic Timber Structures - Guidelines for the On Site Assessment; prEN 17259 Conservation of Cultural Heritage - Finishes and surfaces of built heritage - Investigation and documentation (APR); EN 16883:2017 - Conservation of cultural heritage - Guidelines for improving the energy performance of historic buildings

[14] CEN/TS 16163:2014 - Conservation of Cultural Heritage - Guidelines and procedures for choosing appropriate lighting for indoor exhibitions

[15] EN 15801:2009 - Conservation of cultural property -Test methods - Determination of water absorption by capillarity; EN 15802:2009 - Conservation of cultural property -Test methods

- Determination of static contact angle; EN 15803:2009 - Conservation of cultural property -Test methods - Determination of water vapour permeability (δp); EN 15886:2010 - Conservation of cultural property - Test methods - Colour measurement of surfaces; EN 16302:2013 - Conservation of cultural heritage - Test methods - Measurement of water absorption by pipe method; EN 16322:2013 - Conservation of Cultural Heritage - Test methods - Determination of drying properties; EN 16682:2017 - Conservation of cultural heritage - Methods of measurement of moisture content, or water content, in materials constituting immovable cultural heritage

[16] EN 16581:2014 - Conservation of Cultural Heritage - Surface protection for porous inorganic materials - Laboratory test methods for the evaluation of the performance of water repellent products; EN 16782:2016 - Conservation of cultural heritage - Cleaning of porous inorganic materials - Laser cleaning techniques for cultural heritage; EN 17036:2018 - Conservation of Cultural Heritage - Artificial ageing by simulated solar radiation of the surface of untreated or treated porous inorganic materials; EN 17114:2018 - Conservation of cultural heritage - Surface protection for porous inorganic materials - Technical and chemical data sheets of water repellent product ; EN 17138:2018 - Conservation of Cultural Heritage - Methods and materials for cleaning porous inorganic materials

[17] EN 15946:2011 - Conservation of cultural property - Packing principles for transport; EN 16648:2015 - Conservation of cultural heritage - Transport methods; EN 16790:2016 - Conservation of cultural heritage - Integrated pest management (IPM) for protection of cultural heritage; EN 16893:2018 - Conservation of Cultural Heritage - Specifications for location, construction and modification of buildings or rooms intended for the storage or use of heritage collections; EN 16141:2012 - Conservation of cultural heritage - Guidelines for management of environmental conditions - Open storage facilities: definitions and characteristics of collection centers dedicated to the preservation and management of cultural heritage; EN 15999-1:2014 - Conservation of cultural heritage - Guidelines for design of showcases for exhibition and preservation of objects - Part 1: General requirements; PrEN 15999-2- Conservation of cultural property - Guidelines for design of showcases for exhibition and preservation of cultural heritage: Part 2 Technical aspects.

[18] Meer info over dit project is hier te vinden: http://task59.iea-shc.org/about.

[19] Geïnteresseerde belanghebbenden die lid wensen te worden van een spiegelcomité voor de werkgroepen 1 of 11 kunnen contact opnemen met de auteur van dit artikel: nathalie.vernimme@vlaanderen.be.

MONITORING ALS AFWEGINGSKADER EN TOOL IN HET BEHEER VAN HET STEDELIJK PATRIMONIUM (STAD LEUVEN)

Katrien Deckers

1. Inleiding

Sinds 2018 heeft de stad Leuven de kaap van de 100.000 inwoners overschreden waarmee ze tot de middelgrote centrumsteden van België behoort. De stad kende de laatste jaren een snelle aangroei van zijn aantal inwoners mede dankzij een doordacht stedelijk beleid dat inzette op verdichting van de stad door de ontwikkeling van verschillende nieuwe stadswijken. Door dit groeiend aantal inwoners is er voor de stad een toenemende vraag ontstaan op gebied van bijkomende infrastructuur zoals zwembaden, sporthallen, gemeenschapscentra, gebouwen voor cultuur, openbare groene ruimten etc. Het stedelijk patrimonium telt op vandaag dan ook 296 gebouwen, waarvan 57 (van de 235 in Leuven) geklasseerd als monument. Het bouw- en exploitatiebudget van het stedelijk patrimonium vraagt een jaarlijkse investering van zo'n tussen 15 miljoen euro (afhankelijk van de lopende grote projecten) waarbij gemiddeld zo'n 5 miljoen euro jaarlijks aan onderhoud en restauratie van de monumenten wordt gespendeerd.

Figuur 1: Museum M (©Toerisme Leuven)

Kenmerkend voor het patrimonium van de stad Leuven, en dit geldt waarschijnlijk voor elke gemiddelde stad, is dat het stadspatrimonium zeer gediversifieerd is. Er zijn de eeuwenoude, meestal iconische gebouwen van de stad zoals het stadhuis, de stadsschouwburg, het stedelijk museum en enkele scholen. Veelal is er een groot aandeel aan utiliteitsgebouwen die in de jaren '70 gebouwd werden als antwoord op nieuwe noden zoals zwembaden, sporthallen, cultuurcentra en bibliotheken. Maar er zijn uiteraard ook recente gebouwen, zoals het museum M, stedelijke scholen of het nieuw stadskantoor. Totaal nieuwe concepten zoals de 'open ateliers voor kunstenaars' of 'maak-en-leerplekken' zijn recente nieuwe functies waar het huidige politieke beleid sterk op wil inzetten en waarvoor bijgevolg nieuwe, geschikte huisvesting gezocht moet worden. Het stedelijk patrimonium is dus niet zo versteend als men zou denken.

Maar hoe kan monitoring nu helpen bij het beheer van dit stedelijk patrimonium? We willen dit graag verduidelijken aan de hand van 2 toepassingen:
- Monitoring als tool voor het onderhoud en patrimoniumbeleid
- Monitoring als afwegingskader en tool voor de keuze, de instelling en opvolging van technische installaties in gebouwen – case van de verwarming van St-Pieterskerk

2. Monitoring als tool voor het onderhoud en patrimoniumbeleid

In het verleden beperkte het onderhoud en herstel van de gebouwen zich wel eens tot ad hoc oplossingen zoeken voor problemen die zich stelden. De stad beschikte niet over een gestructureerd overzicht van de bouwfysische toestand van zijn stadspatrimonium. Met een groeiend patrimonium in zijn portefeuille diende een structurele aanpak zich dan ook op. De stad wenste een patrimoniumbeleid te kunnen ontwikkelen, gebaseerd op objectieve gegevens en hiervoor een meerjaren-onderhoudsplanning op te stellen. Voor het regulier onderhoud wenste de stad een conditiemeting van zijn gebouwen uit te laten voeren zodat een globale visie en planning gemaakt kon worden voor het nodige onderhoud en herstel.

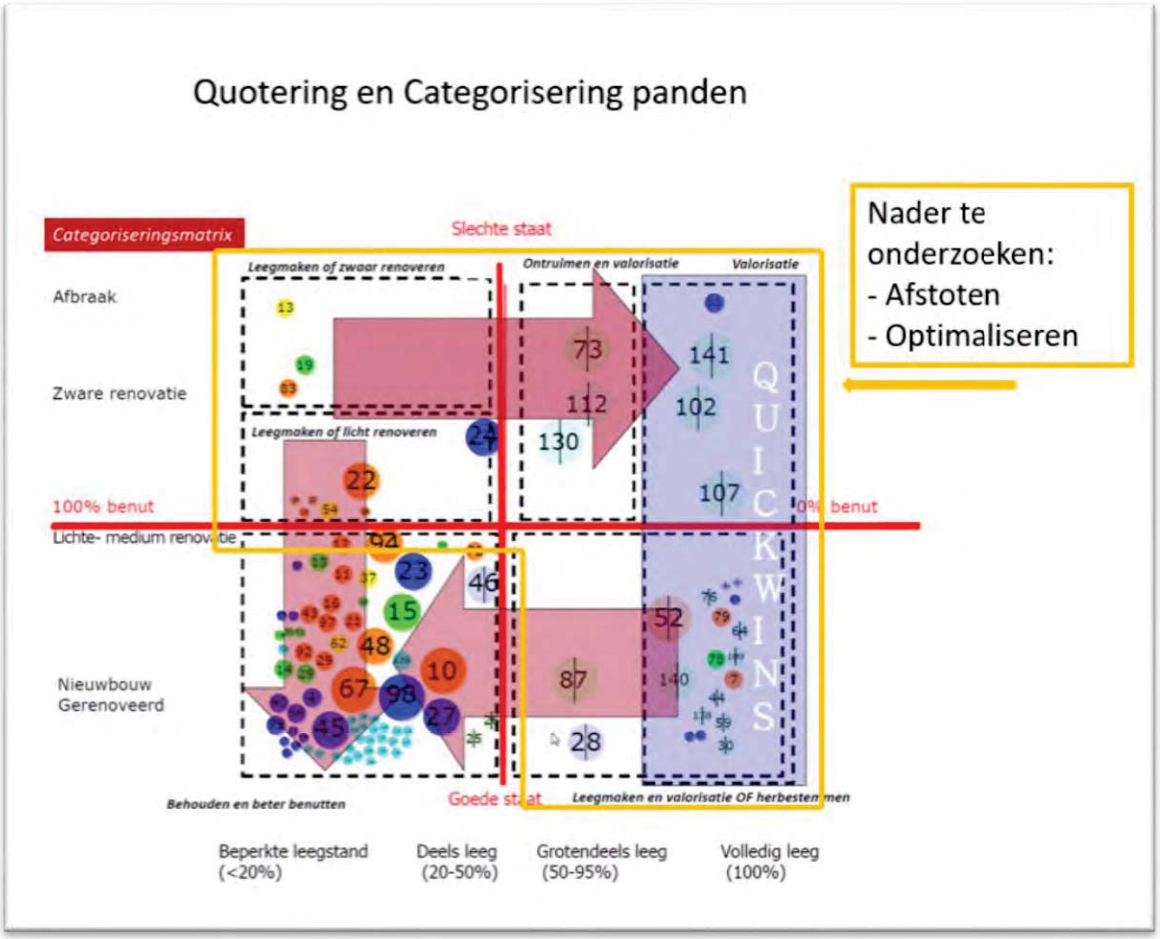
De basis: een inventaris

Gelukkig beschikte de stad reeds over een goede basisinventaris van zijn patrimonium. In deze inventaris heeft elk stadsgebouw een unieke code; elke ruimte binnen een gebouw beschikt over een uniek nummer. Ook van de technische installaties zijn inventarissen gemaakt met opsomming en nummering van al hun onderdelen. Om het beheer van deze gegevens mogelijk te maken heeft de stad het digitaal platform *Planon* aangekocht. Op dit platform worden voor elk stadsgebouw de gegevens (nuttig bij het onderhoud en beheer) verzameld, zoals het bouwjaar, de juridische toestand (eigendom, erfpacht, beschermd monument, …), de m² vloeroppervlakte, de m² dakoppervlak, de (as-built) plannen bouwkunde en technieken, de (technische fiches van) gebruikte materialen, de aanwezige technische onderdelen (luchtgroepen, stookketels, …). Maar hoe gedetailleerd deze inventaris ook is, de bouwfysische toestand van de gebouwen kan hieruit niet afgeleid worden.

De meerjaren-onderhoudsplanning

Van de technische installaties binnen de stadsgebouwen beschikte de stad sinds 2011 wel al over een inventaris met aanduiding van de werkingsstaat van het geheel en zijn onderdelen. In deze zeer nuttige screening werden eveneens de mogelijke energiebesparende maatregelen opgesomd [1]. Een systematische bouwkundige screening van de stadsgebouwen was echter nog nooit gebeurd.
De stad organiseerde daarom een aanbesteding “Conditiemeting, duurzaamheidevaluatie en meer jaren onderhoudsplanning van het patrimonium van de stad Leuven [2]” om zich voor deze taak te laten bijstaan door externe experten. Na onderhandeling met de 4 inschrijvers werd de opdracht gegund aan Freestone nv en werd besloten in eerste instantie te focussen op de meerjaren-onderhoudsplanning. Freestone nv begeleidde de stad Leuven bij dit proces dat volgende doelstellingen had:
- Quoteren van de 56 te onderzoeken gebouwen op basis van volgende criteria:
    - Functionaliteit
    - Bezettingsgraad (opmerking: meting bezettingsgraad is nog in uitvoering)
    - Belevingswaarde
    - Icoonwaarde
    - Technische staat
    - Duurzaamheid
- Begrijpen van de geplande projecten en behoeften per beleidsdomein
- In kaart brengen van de impact op oppervlakten en kosten van deze projecten
- Inventariseren van slecht scorende gebouwen.

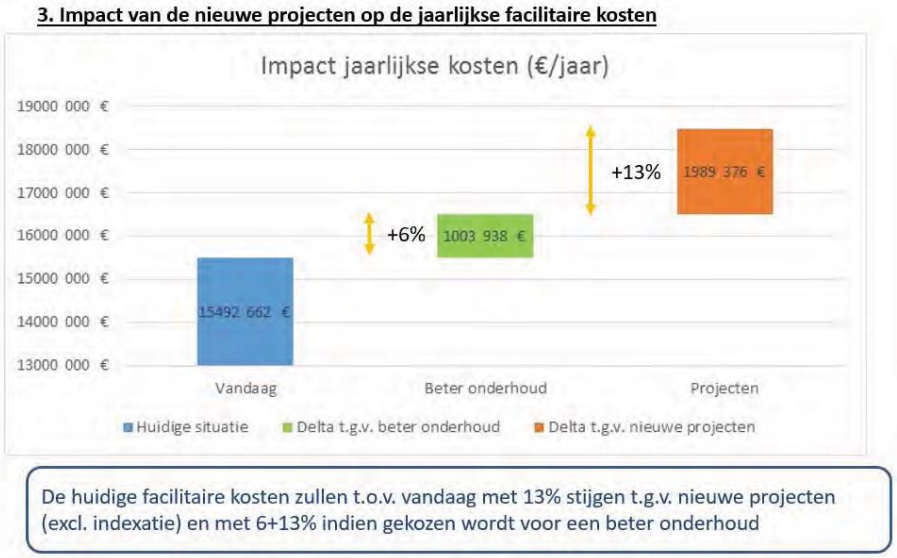
Dit resulteerde samenvattend in volgende grafiek.



Figuur 2: Uit studie van Freestone nv, 2014 – (legende: bollen zijn gekleurd volgens de dienst, grootte bollen volgens de m² van het gebouw)

Interessant aan deze studie was dat bij de screening niet enkel de (te verwachten) bouwfysische toestand van het gebouw in rekening werd gebracht, maar ook factoren als duurzaamheid, bereikbaarheid, functionaliteit en bezettingsgraad. Hoewel de criteria in eerste instantie eerder algemeen leken, verkregen we als resultaat van de studie voor het eerst een duidelijke rangschikking van het patrimonium. Het bijhorend schema (figuur 2) maakte glashelder duidelijk welke gebouwen goed scoorden op alle criteria en dus zeker op peil dienden te worden gehouden door goed onderhoud. Anderzijds bleek een deel van het patrimonium in slechte staat en of slecht benut. Voor deze gebouwen moet een beleidsvisie ontwikkeld worden om te kunnen beslissen waar investeringen zullen gebeuren om het gebouw op te waarderen of welke gebouwen zullen worden verkocht (indien het te laag scoort op alle criteria).
De monumenten binnen het stadpatrimonium scoorden gemiddeld hoog door hun hoge icoon- en belevingswaarde. Niet zelden zijn deze gebouwen ook goed onderhouden en worden ze maximaal gebruikt met een goede algemene score als resultaat. De beslissing om monumenten, op basis van deze screening te verkopen is bovendien niet aan de orde, omdat de stad dit waardevol patrimonium in zijn eigen portefeuille wenst te houden.
Na interviews met de verschillende stedelijke diensten en het bekijken van de verwachte demografische evolutie, konden de nieuwe noden aan stadsgebouwen opgetekend worden en worden omgezet in m². Deze nieuwe noden bleken 12% extra m² te beslaan t.o.v. de bestaande toestand. De financiële impact van deze screening werd uitgerekend aan de hand van verschillende referentieprijzen en leverde volgende resultaten op:

- De jaarlijkse operationele kosten van projecten moeten stijgen met 2,0 Mio € (wat een meerkost van + 13% t.o.v. de huidige investeringskost is)
- De jaarlijkse operationele kosten ten gevolge van beter onderhoud moeten stijgen met 1,0 Mio € (of +6% extra investering)
- Er dient eenmalige investering te gebeuren in nieuwe projecten ten bedrage van 96,4 Mio €
- De eenmalige investering voor de nodige upgrade van de technische staat van het patrimonium bedraagt 32,6 Mio €



Figuur 3: Uit studie van Freestone nv, 2014

Conclusie meerjaren-onderhoudsplanning

De uitgevoerde algemene screening van de gebouwen bleek voor de stad een ideale tool om te starten met de ontwikkeling van een beleid omtrent het onderhoud van zijn patrimonium. De stad beschikt nu immers over goed onderbouwde en objectieve gegevens die bovendien vergeleken werden met andere centrumsteden. Dat er bijkomende (eenmalige) budgetten nodig zouden zijn om te beantwoorden aan de nieuwe noden, was gekend. Dankzij deze studie beschikten we nu ook over concrete richtcijfers op lange termijn. Maar wat de studie vooral duidelijk maakte was dat de stad gedurende jaren te weinig geïnvesteerd had in regulier onderhoud. Er dienen duidelijke beleidskeuzes te worden gemaakt omdat een dringende inhaalbeweging nodig bleek voor een deel van het bestaand patrimonium. Voor deze gebouwen zijn substantiële investeringen nodig om hen terug op peil te brengen en hun levensduur te verlengen. Voor andere gebouwen dient een mogelijke verkoop overwogen te worden.

Het bleek echter niet evident om deze boodschap ook politiek te vertalen. Het vergt een dagdagelijkse inspanning om de politiek te overtuigen om naast de budgetten, nodig voor de grote nieuwbouwprojecten, ook de nodige budgetten te voorzien voor het structureel in stand houden en optimaliseren van het bestaand patrimonium. Ondertussen dateert de screening alweer van 5 jaar geleden en zou deze oefening opnieuw moeten gebeuren. De besprekingen met het nieuwe bestuur hieromtrent zijn opnieuw opgestart.

Bouwfysische inspectie van de monumenten door Monumentenwacht

De gegevens, verzameld in het kader van het meerjaren-onderhoudsplan geven een algemene score per gebouw maar zeggen natuurlijk niet in detail welk onderhoud waar moet gebeuren. Hiervoor zijn gedetailleerde conditiemetingen per gebouw nodig.

Voor de monumenten in stadseigendom heeft de stad deze taak sinds jaren gedelegeerd aan Monumentenwacht. In samenwerking met hen maakt de stad de jaarlijks de nodige planningen op zodat het stadspatrimonium op regelmatige basis geïnspecteerd wordt. Na elke inspectie

beschikt de stad over een duidelijk document dat aangeeft waar welk onderhoud noodzakelijk is met een zeer nuttige indicatie van de dringendheid van de interventie. Sinds enige tijd is dit verslag ook uitgebreid met een heus onderhoudsplan waarbij de verschillende uit te voeren werken duidelijk verspreid in de tijd worden ingepland. De regelmatige bouwfysische screening van de monumenten is dus verzekerd.

Bouwfysische inspectie van de overige gebouwen

Voor de bouwfysische inspectie van de overige gebouwen van de stad was het de initiële bedoeling van de stad om hiervoor een externe firma aan te stellen. Gezien de hoge kostprijs (500.000 euro/5-jaarlijks) heeft de stad momenteel geopteerd om de inspecties van de gebouwen te laten uitvoeren door de eigen dienst preventief onderhoud. Dit is een eerder pragmatische aanpak waarbij de 5 mensen van deze dienst, naast het preventief onderhoud ook een visuele inspectie doen van daken, schrijnwerk, elektriciteit, sanitair en cv. De inspecties gebeuren minstens 2 maal per jaar maar dus zeker niet volgens de norm NEN 2767. Hoewel alle gebouwen in de planning zijn opgenomen en volgens planning worden geïnspecteerd, stellen we vast dat de inspectie soms niet gebeurt voor moeilijk toegankelijke gebouwdelen of delen van daken waar bijvoorbeeld de veiligheidshaken niet gekeurd werden. Een onvolledige inspectie en bijgevolg onvoldoende onderhoud kan natuurlijk leiden tot grote gevolgschade. Samen met de dienst preventief onderhoud trachten we momenteel de niet bereikbare gebouwdelen in kaart te brengen, zodat hiervoor alternatieve inspectie en onderhoud kan voorzien worden. De stad bekijkt verder de mogelijkheid om iemand specifiek voor de bouwfysische gebouwinspecties aan te stellen, zodat een doorgedreven en regelmatige inspectie van de gebouwen verzekerd kan worden in de toekomst. We hopen hiervoor snel over de nodige middelen te beschikken.

Conditiemetingen… wat daarna?

Het spreekt voor zich dat een gedegen en regelmatige inspectie van het patrimonium erg zinvol is. Er moet echter gevolg kunnen gegeven worden aan de geconstateerde gebreken. En daar botst men in de praktijk vaak op verschillende obstakels.

Kleine gebreken trachten we maximaal te laten herstellen door de eigen technische diensten. Hoewel deze mensen voldoende uitgerust zijn kunnen ze, zeker bij beschermde monumenten, het gebrek dikwijls niet zelf herstellen. Op sommige daken van historische gebouwen zijn nog geen ladderhaken aanwezig of vernieuwd volgens de nieuwe norm of de gevraagde techniek is technisch te specifiek (bv. stucwerkplafond). Voor het werken met kalkmortel is ook al de nodige overtuigingskracht nodig (“met cementmortel is dit toch veel sterker, waarom wil je persé met die kalk metselen?”). Onderhoudswerken uitvoeren met eigen personeel is dus een snelle manier voor regulier onderhoud. Voor monumenten is er dikwijls een gekwalificeerde externe uitvoerder noodzakelijk omdat de verschillende ambachten uiteraard niet binnen de stadsdiensten vertegenwoordigd kunnen zijn.

Het ‘onverwijld’ verhelpen van een gebrek blijkt bijgevolg niet zo ‘onverwijld’ als gewenst. Maar gelukkig bestaan hiervoor andere mogelijkheden. Zo kan de stad per discipline zogenaamde raamcontracten afsluiten waarbij de aannemer op afroep en volgens vastgelegd bestek en prijs de werken komt uitvoeren. Een dergelijk raamcontract voor platte daken werkt momenteel prima om aan alle noden voor (eerder recente) daken te verhelpen. De ervaring leert echter dat het niet evident is om onderhoudswerken aan beschermde monumenten via klassieke raamcontracten uit te voeren. Elk monument is uniek en vraagt specifieke materialen of uitvoeringsmethoden. Het gekwalificeerd personeel, nodig om aan historische daken te werken, is ook dikwijls niet gegarandeerd bij een standaard raamcontract aannemer. Een gedegen opvolging van deze werken door de bouwheer is hierbij dus onontbeerlijk om tijdig bij te sturen en de standaard herstelmethoden (plak en kleefmiddelen allerhande) te weren en specifieke restauratietechnieken op te leggen. Voor de toekomst plant de stad werk te maken van specifieke raamcontracten voor monumenten. Als eerste komen de daken aan bod.

Figuur 4: Impact van eenvoudige onderhoudswerken aan het dak van het stadhuis, 30/01/2019

Indien werken te omvangrijk en/of specifiek zijn en dus noch door de eigen diensten, noch door raamcontracten kunnen worden uitgevoerd, rest er maar een mogelijkheid en dit is het werk aan te besteden. Het spreek voor zich dat het aspect 'onverwijld' hierbij helemaal niet meer van toepassing is. Er moet een bestek en raming worden opgemaakt van de werken (1 maand), het college en de gemeenteraad moeten het dossier goedkeuren (1 maand), het dossier moet worden aanbesteed en gegund (minstens 2 à 3 maand). Gesteld dat tijdig de nodige toelatingen en of vergunningen verleend werden en het nodige budget voorzien was in de stadsbegroting betekent dit dus in de praktijk dat een dossier voor dringende onderhoudswerken ten vroegste na 5 maand kan aanvangen. In de praktijk is dit eerder 7 à 8 maand omdat het weer de uitvoering van de werken niet toelaat, er net toevallig een festival in de stad is en de werf niet toegankelijk is, de aannemer niet onmiddellijk kan starten, … etc. Voordeel bij deze werkwijze is uiteraard dat de uit te voeren werken in detail en op maat beschreven kunnen worden. Nadeel bij dergelijke onderhoudswerken is dat de kostprijs hoog oploopt door het hoge aandeel werkmiddelen (stellingen, hoogtewerkers) die moeten worden ingezet voor een (in verhouding) lage kostprijs aan werkelijk uit te voeren werken. De opmaak van dergelijke dossiers, zelfs beperkt, vraagt uiteraard ook weer een aanzienlijke tijdsbesteding voor de architecten monumentenzorg van de studiedienst gebouwen.

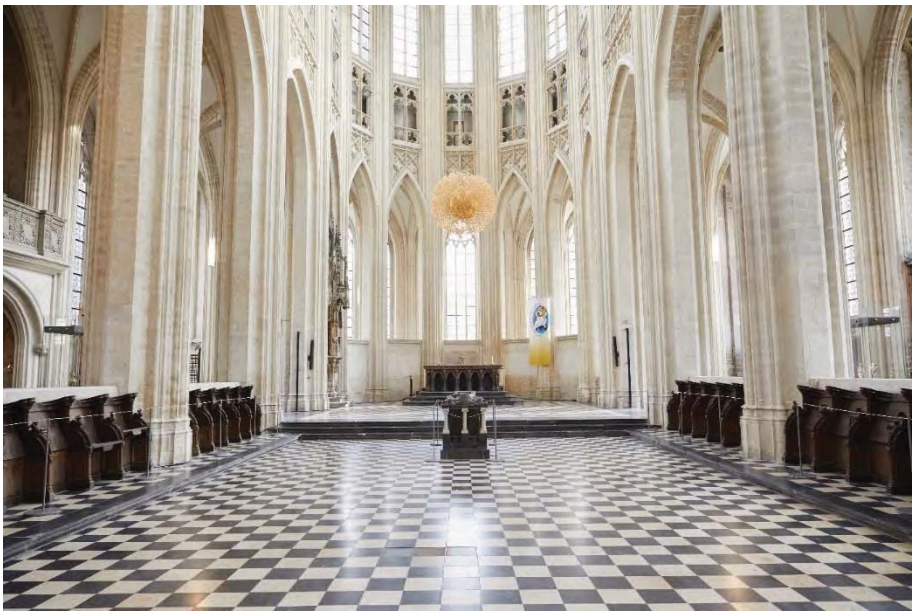
3. Monitoring als afwegingskader voor de keuze van het verwarmingssysteem – case St-Pieterskerk

Context

De St-Pieterskerk is de hoofdkerk van de stad Leuven en samen met het historische stadhuis een van de grootste toeristische trekpleisters van de stad. Naast de waarde van de kerk als hoogtepunt van de zogenaamde Brabantse gotiek, bevat de kerk ook een groot aantal kunstschatten, gaande van 15de-eeuwse schilderijen op houten panelen, 15^{e}-eeuwse beelden, smeedwerk uit de 16de eeuw, textiel, een torenmaquette uit de 16de eeuw en een sacramentstoren uit de 15de eeuw. Maar dit is natuurlijk een kunsthistorische benadering van de kerk en zijn erfgoed. Naast de vieringen in het weekend, is de kerk ook 's morgens dagelijks in gebruik voor de weekdienst voor een kleinere groep gelovigen.

Zeer lang heeft de kerk, net als alle andere kerken, geleefd op het ritme van de seizoenen, zonder enige verwarming. In de jaren 70 trachtte men voor het eerst het comfort van de kerk te verbeteren door een immense luchtverwarmingsinstallatie achteraan de kerk, in de noordelijke westertoren, te plaatsen. Via enkel grote vloerroosters, geplaatst in het noordelijk zijschip, werden er grote volumes warme lucht de kerk ingestuwd. Niet enkel maakte de

installatie een storend lawaai, de kerk werd in sommige zones zeer warm, in andere zones bleef het onaangenaam koud. De vraag naar een verbeterd comfort was hiermee dus geenszins opgelost. Los van de immense rekening van de stookkosten, was het duidelijk dat deze installatie bovendien zeer grote thermische schokken veroorzaakte, die zeer nefast moeten zijn geweest voor het kerkpatrimonium.



Figuur 5: Koor van de St- Pieterskerk te Leuven (©Toerisme Leuven)

Na een 5-tal jaar werd deze verwarming alweer op non-actief gezet en zocht men zijn heil in het plaatsen van mobiele gasstralers. In een deel van de kerk werd een verhoogde vloer in hout geplaatst waaronder een elektrische vloerverwarming de bezoeker enig bijkomend comfort trachtte te geven. Het spreekt voor zich dat het gebruik van dergelijke gasbranders een zeer groot veiligheidsrisico met zich meebracht. Bovendien is de warmte uit deze stralers zeer lokaal waarmee het comfortgevoel niet wezenlijk verbeterd werd.

Nood aan objectieve gegevens

In 2008 besliste de stad als bouwheer dan ook om een studie aan te vatten om de kerk te voorzien van een nieuw verwarmingssysteem. Het aangesteld studiebureau voor de restauratiewerken BOA (nu Arter) nam hiervoor studiebureau R. Boydens als onderaannemer onder de arm. De opdracht bestond erin een evenwicht te vinden tussen de wensen van de kerkfabriek enerzijds, die een aangename 18°C wenste tijdens hun diensten en klaagden over de tocht en koude in de kerk, en de mensen van museum M anderzijds. Deze mensen, die het kunstpatrimonium beheren, wensten de klimaatomstandigheden van de kerk niet te wijzigen uit angst voor mogelijke schade.

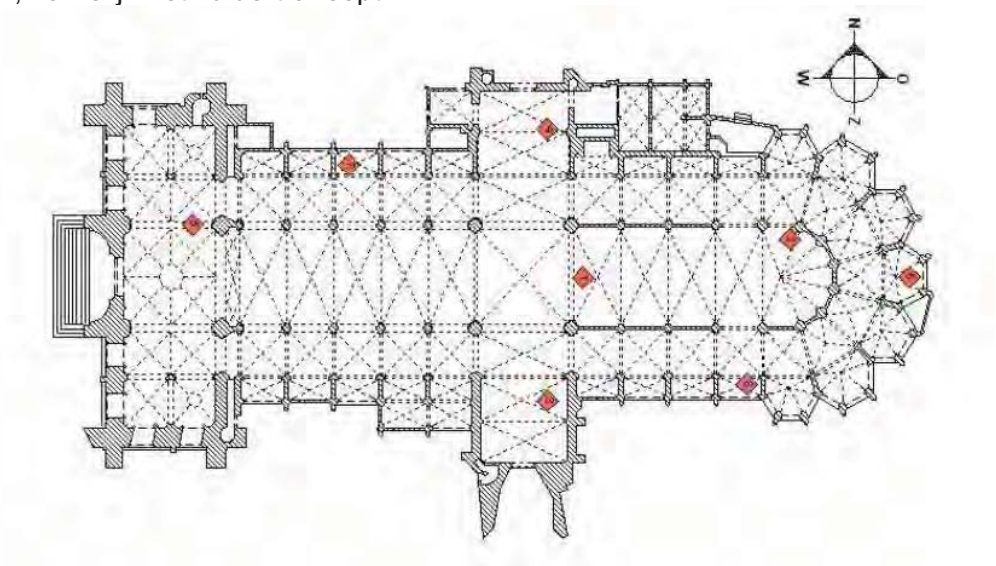
Maar was de kerk wel zou koud als de deken beweerde, en was de vochtigheid wel zo hoog als de mensen van M op specifieke plaatsen gemeten hadden? Het was in elk geval duidelijk dat er nood was aan gedetailleerde objectieve gegevens over het klimaat van de ganse kerk. De monitoring moest een antwoord bieden op volgende vragen:

- Wat is de relatie tussen binnen- en buitenklimaat?
- Hoe vaak worden te hoge relatieve luchtvochtigheden gemeten en is er werkelijk een verhoogd risico op condensatie en schimmelgroei?
- Treden er grote thermische schokken op die schadelijk zijn voor het kunstpatrimonium?
- Treden er perioden op van langdurige droogte die schadelijk kunnen zijn?

Deze objectieve meetgegevens dienden eveneens als basis voor de keuze en ontwerpinstellingen van het verwarmingssysteem, dat hierop diende te worden afgestemd. Bovendien wenste de stad te beschikken over een ‘nulmeting’, de toestand voor de werken,

zodat we tijdens en na de werken de invloed van het nieuwe verwarmingssysteem precies konden analyseren en waar nodig konden bijsturen.

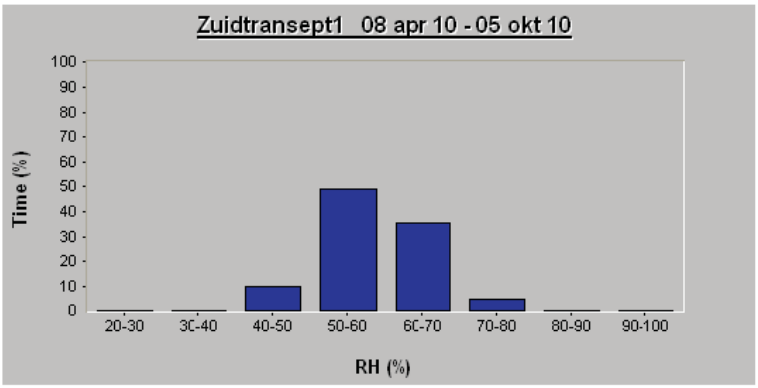
Monitoring
De stad bestelde een monitoring over een periode van 1 jaar en liet zich hiervoor begeleiden door Monumentenwacht en het Koninklijk Instituut Kunstpatrimonium. Monumentenwacht voerde metingen uit van 8 april 2010 tot 5 oktober 2010; het Koninklijk Instituut Kunstpatrimonium voerde aansluitend metingen uit van 15 september 2010 tot 14 maart 2011. In de kerk werden 8 dataloggers op verschillende plaatsen en hoogten (gaande van 1 tot 15 meter) in de kerk opgesteld (figuur 6). Eén datalogger werd in de kerktoren geplaatst om het buitenklimaat te monitoren. Elke datalogger registreerde elk uur de temperatuur en de relatieve luchtvochtigheid. De waarden van de volgende figuren zijn steeds op dezelfde plaats genomen, namelijk het zuidertransept.



Figuur 6: Positie van de dataloggers door Monumentenwacht en KIK

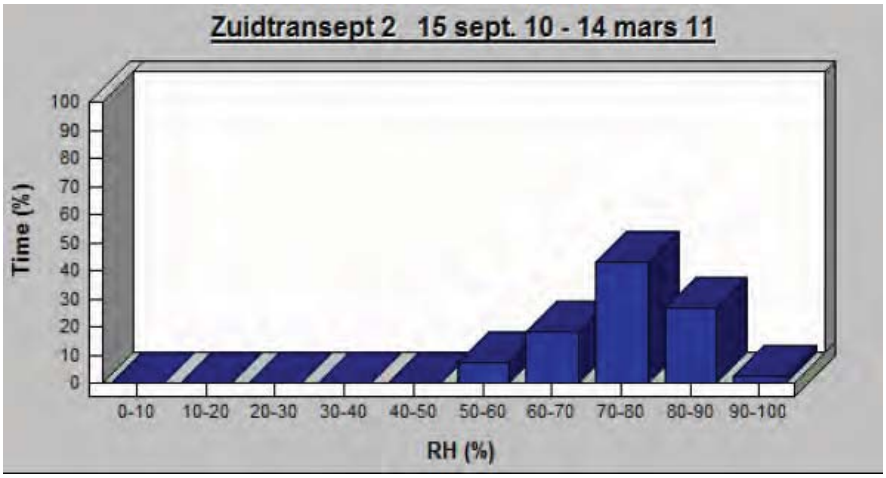
Effect binnen - buiten
Zoals te verwachten bleek dat het binnenklimaat van de St-Pieterskerk in sterke mate bepaald werd door de klimaatcondities buiten, met afgezwakte en enigszins vertraagd effect.
De onderlinge metingen van de dataloggers bleken ook geen sterke verschillen te vertonen, buiten het effect van bijvoorbeeld tijdelijke blootstelling aan zonlicht. De metingen op de begane grond vertoonden geen beduidende verschillen met de metingen op hoogte (5 m). Er konden dus geen microklimaten in de kerk vastgesteld worden op basis van deze metingen.

Relatieve luchtvochtigheid



Figuur 7: Metingen RV in zuidtransept - 8 april 2010 – 5 oktober 2010- Monumentenwacht

In de <u>periode 8 april 2010 tot 5 oktober 2010</u> bedroeg de relatieve vochtigheid buiten gemiddeld 65,4% met maxima van 100% en een minimum van 23,3%. In het binnenklimaat werden in diezelfde periode een gemiddelde RV van 58% geregistreerd met 78% RV (noordelijke zijbeuk) als hoogste en 29% RV (zuidelijk transept, veroorzaakt door de directe blootstelling aan zonlicht) als laagste geregistreerde waarde. De meeste registraties gebeurden in de groep 50% - 60% RV. Een kleiner aandeel van de metingen vertoonde een RV tussen de 60% - 70%. Een beperkt aantal metingen werd geregistreerd in de categorie 40% - 50% RV en 70% - 80% RV. In slechts 14% van de gevallen werd een delta RV van 10% per dag geregistreerd.

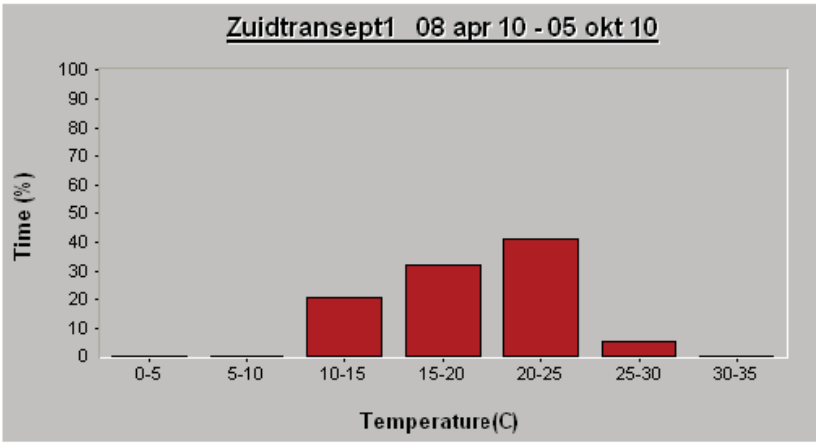


Figuur 8: Metingen RV in zuidtransept - 15 september 2010 – 14 maart 2011- KIK

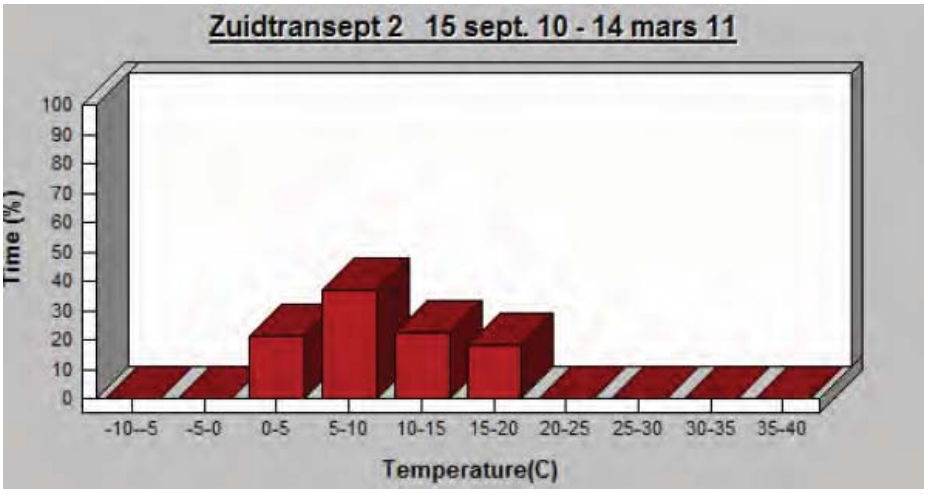
In de periode van <u>15 september 2010 tot 14 maart 2011</u> bedroeg de relatieve vochtigheid buiten gemiddeld 85,1% met maxima van 100% en een minimum van 37,7%. De gemiddelde luchtvochtigheid van het binnenklimaat voor deze herfst- en winterperiode bedroeg 76%, waarbij in het zuidtransept **96,9 %** als absolute maximale waarde en 48,6% als laagste waarde voor de relatieve vochtigheid werden gemeten. De meeste registraties gebeurden in de groep 70% - 80% maar een groot aandeel van de metingen bevond zich ook in de groep 80% -90 %. Een kleiner aantal metingen gebeurde in de groep 60% -70% met beperkte registraties voor 50% -60%. Slechts een zeer beperkt aantal metingen vertoonden schommelingen die hoger lagen dan 10% delta RV per dag.
Wat zijn nu de <u>conclusies</u> wanneer we de door Monumentenwacht (op dat moment) gehanteerde norm gebruiken dat de minimum- en maximumwaarden voor de RV tussen de 45% en 75% moet liggen met een maximale delta RV van 10% per dag? In de lente- en zomerperiode blijken de condities optimaal: er is nooit een RV lager dan 45% en slechts in 0,18% van de metingen is er een overschrijding van 75% RV. Schommelingen van meer dan 10% RV per dag komen niet voor (buiten de lokale en zeer tijdelijke effecten door rechtstreeks zonlicht).
De herfst en winterperiode daarentegen vertoont een veel problematischer beeld. Slechts 16% van de metingen valt binnen deze vooropgestelde norm. De overige metingen vertonen allen waarden tussen 75% en 96,9% RV. We constateren dat de zeer lokale en beperkte stralingsverwarming nagenoeg geen impact heeft op de hoge RV. We merken daarbij op dat er quasi nooit schommelingen zijn van meer dan 10% relatieve vochtigheid per dag, wat dan weer eerder als positief beoordeeld kan worden. Men kan ook vaststellen dat de relatieve vochtigheid zeer plaatselijk en zeer tijdelijk enorm kan variëren door de onmiddellijke blootstelling aan het zonlicht.

Temperatuur
De gemiddelde buitentemperatuur in de <u>lente en zomerperiode</u> bedroeg 16,6°C met 32,9 °C als maximum en 3,1° C als minimum. Binnen in de kerk bedroeg de gemiddelde temperatuur

voor deze periode 19,3 °C met 30,8°C (zuidelijk transept, direct zonlicht) als maximum en 10,5°C (koor) als absolute minimum. De meeste metingen registreren temperaturen tussen de 20°C – 25°C. Een kleiner aandeel situeert zich tussen 15°C – 20°C en 10°C – 15°C. Het aandeel 25°C- 30°C is klein.



Figuur 9: Metingen T° in zuidtransept - 8 april 2010 – 5 oktober 2010- Monumentenwacht



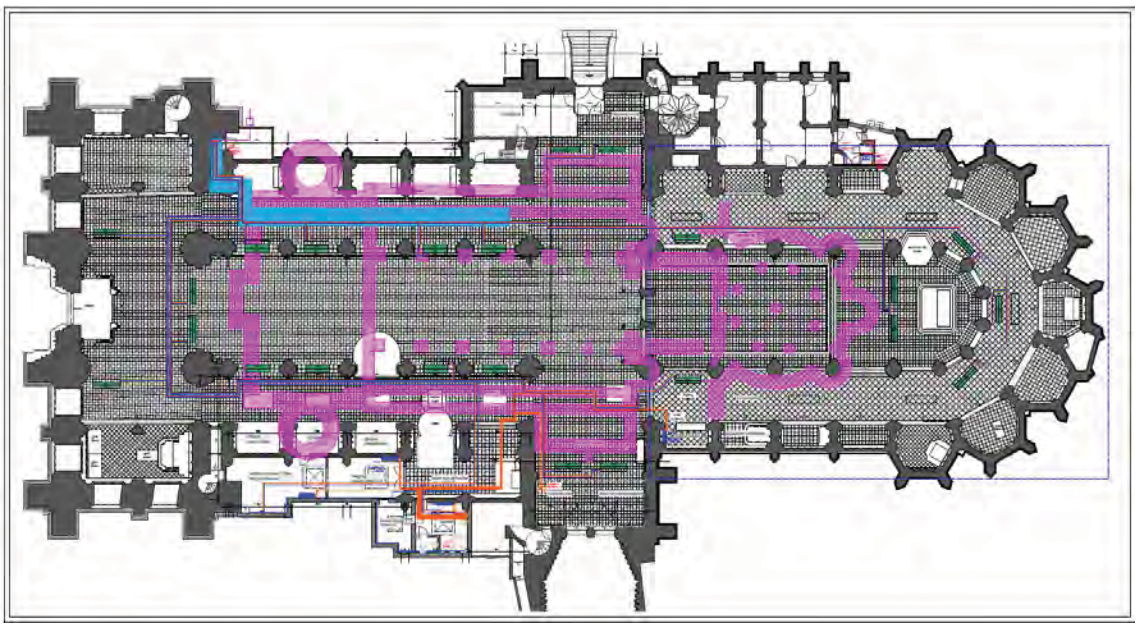
Figuur 10: Metingen T° in zuidtransept - 15 september 2010 – 14 maart 2011- KIK

Voor de herfst en winterperiode bedroeg de gemiddelde buitentemperatuur 6,2°C met – 6,7°C als minimum en 21,8°C als maximaal gemeten waarden. De gemiddelde binnentemperatuur bedroeg in die periode 8,5°C met 1,3°C als laagste temperatuur (gemeten in het koor) en 22°C (gemeten op doksaal) als absolute maximum. De meeste temperaturen werden geregistreerd tussen de 5°C – 10°C. Quasi evenveel temperaturen werden geregistreerd tussen 0°C – 5°C en 10°C – 15°C. Een kleiner aandeel registraties gebeurde tussen 15°C – 20°C.
Wat zijn nu de conclusies voor wat betreft de geregistreerde temperaturen wanneer we rekening houden met de normen van Monumentenwacht: minimum 5°C, maximum 12°C, temperatuurschommeling per dag maximaal 10°C (2°C max. per uur)? In de lente- en zomerperiode worden er quasi geen temperaturen gemeten binnen deze norm, het merendeel van de temperaturen van de herfst en winter vallen hier echter wel perfect binnen. Van groter belang is echter dat er zich in de winter geen temperatuurschommelingen, groter dan 10°C per dag voordoen. In de zomer worden deze waarden echter meermaals overschreden, wellicht als gevolg van de opwarming door de zon door de hoge glasoppervlakten.

Algemene conclusie nulmeting
Het binnenklimaat van de kerk vertoont een identiek verloop als het buitenklimaat, zij het in afgezwakte vorm. De temperatuur in de kerk is in de wintermaanden inderdaad erg laag met een zeer hoge relatieve luchtvochtigheid. In de zomermaanden warmt de kerk snel op door middel van de zonnewarmte. De relatieve luchtvochtigheid is in deze periode van 'museale' kwaliteit. Het kerkpatrimonium krijgt de kans om zich aan deze schommelingen van T° en RV aan te passen, omdat ze zeer geleidelijk verlopen in het ritme van de seizoenen.

Parameters voor het ontwerp van de verwarming
Het ontwerp van het verwarmingssysteem en de instelling ervan werd finaal ingesteld met volgende parameters:
- Geen bruuske wijzigingen in de condities waarin de kunstwerken zich tot op heden bevonden
- Klimaatcomfort voor de kerkgangers verbeteren (de door de kerkfabriek gewenste temperatuur van 18°C werd niet weerhouden)
- Minimale ingrepen in de vloeren en wanden, rekening houdend met de archeologische resten van de romaanse kerk onder het huidige vloerniveau.

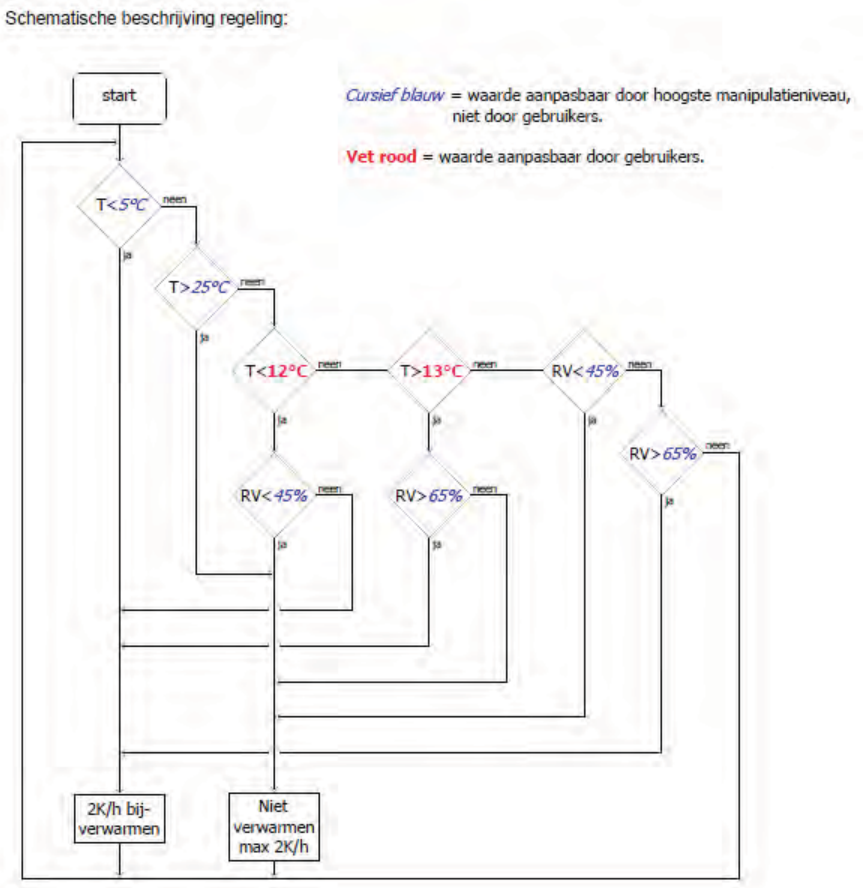
Het verwarmen van de kerk met vloerverwarming werd in overweging genomen maar gezien de grote bouwkundige en archeologische impact niet weerhouden. Lokale verwarming met stoelverwarming werd als onvoldoende comfortabel beoordeeld en dus ook niet weerhouden. Gezien de beperkte bouwkundige en archeologische impact werd er uiteindelijk voor geopteerd de kerk te verwarmen via vloerventiloconvectoren, die oordeelkundig verspreid werden in de kerkruimte. Gevoed door gaswandketels in de stookplaats op een regime van 75°C/50°C blazen de convectoren warme lucht de kerk in op zeer laag debiet.



Figuur 11: Fase 7 en 8A – Technische installaties St-Pieterskerk, Arter met als onderaannemer studiebureau R. Boydens – Legende: roze = romaanse kerk, licht blauw = verwarmingskanaal van 1970. In groen = ventiloroosters met in blauw en rood aanvoer en toevoerleidingen warm water

Rekening houdend met alle randvoorwaarden en wensen werd de verwarming finaal ingeregeld op een basis temperatuur van 12°C met maxima van 15°C voor vieringen. Volgende beveiligingen zijn ingebouwd in de sturing:
- de relatieve vochtigheid bevindt zich tussen 45% en 65%
- de temperatuur mag maximaal 2°C stijgen of dalen per uur
- de temperatuur mag min 5°C en max 25°C bedragen.

De gewenste comforttemperatuur is ondergeschikt aan het relatieve vochtigheidsgehalte in de kerk. 5 binnenvoelers voor temperatuur en 3 binnenvoelers voor RV registreren constant de waarden en sturen de installatie op basis van het berekende gemiddelde. Bij een geregistreerde (gemiddelde) RV lager dan 45% wordt de verwarming automatisch uitgeschakeld. Dit is de enige mogelijke manier waarop de RV kan gestuurd worden, gezien het systeem niet voorziet in een mogelijke bevochtiging van de ruimte (wat meer ingrijpende maatregelen zou vergen). De sturing van het systeem is bovendien beveiligd voor de gebruikers die enkel binnen de veiligheidsmarges de setpoints en tijdsprogrammatie kunnen wijzigen.

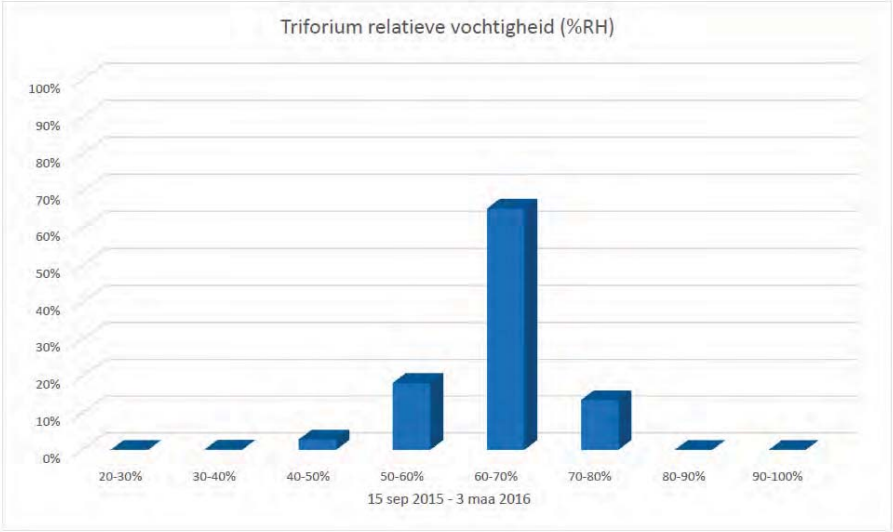


Figuur 12: Uit bestek: Fase 7 en 8A – Technische installaties St-Pieterskerk, Arter met als onderaannemer studiebureau R. Boydens

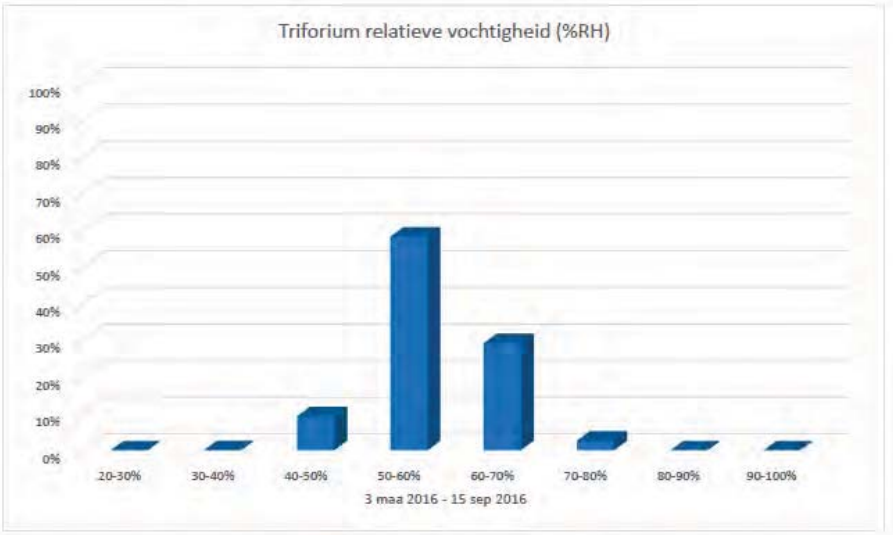
Het spreekt voor zich dat de overgang van een niet-verwarmde naar een verwarmde kerk met de nodige omzichtigheid diende te gebeuren.
Als voorbereiding op de werken werden daarom volgende maatregelen genomen:
- Van alle kunstvoorwerpen werd een conditierapport gemaakt. Dit werd na plaatsing en werking van de verwarming terug geëvalueerd.
- Belangrijke en verplaatsbare kunstvoorwerpen werden overbracht naar museum M
- De overige stukken werden geplaatst in een afgeschermde zone in het koor waar zowel temperatuur als luchtvochtigheid nauwkeurig gestuurd werden door mobiele toestellen.
- Stukken die niet verplaatsbaar waren werden stofvrij verpakt.
- De aannemer moest stofmeters en dataloggers voorzien en verspreid in de kerk opstellen.

Situatie na de werken
Als back up van de sturing van het verwarmingssysteem, kocht de stad zelf de nodige dataloggers aan en bevestigde deze op (ongeveer) dezelfde plaatsen als bij het vooronderzoek door het KIK en Monumentenwacht, namelijk ter hoogte van de preekstoel, achter enkele houten altaren, het edelherentriptiek, op het triforium en het orgel.. Vanop onze burelen kunnen onze ingenieurs technieken in real time de loggers uitlezen. Bij het overschrijden van de grenswaarden genereert het systeem een alarmboodschap aan de ingenieurs. Ze kunnen ter plaatse de toestand verifiëren en tijdig actie ondernemen bij onderbrekingen.

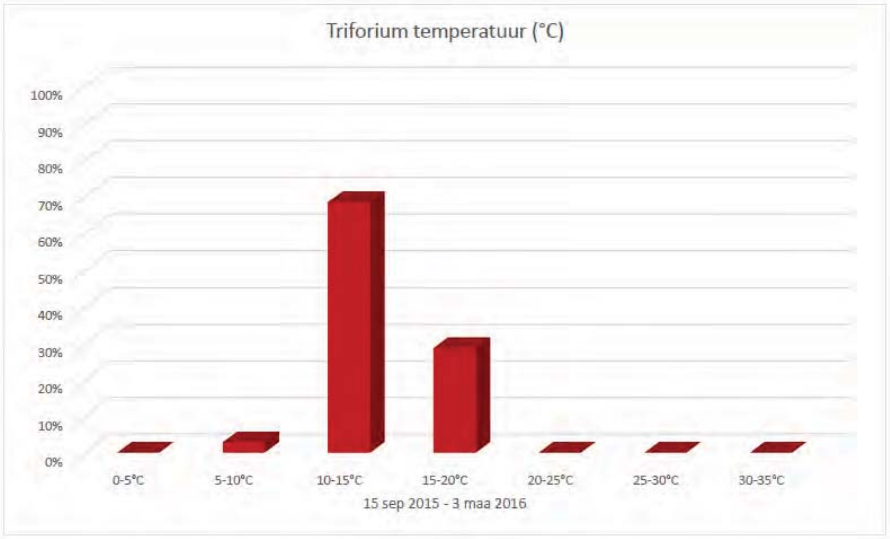
Monitoring na installatie van de nieuwe verwarming
De stad beschikt over waarnemingen, startend van 1 juni 2015 tot op heden. Bij een globale interpretatie van deze monitoring gegevens is het duidelijk dat het binnenklimaat, sinds de installatie van de verwarming veel stabieler is dan voorheen. Voor de periodes wanneer de kerk niet verwarmd wordt (lente en zomer) zijn de waarnemingen uiteraard zeer gelijklopend; de temperatuur bouwt zich gestaag op, de luchtvochtigheid schommelt steeds tussen een ideale 50%- 60%. Het is duidelijk vast te stellen dat vanaf de maand oktober de temperatuur gestaag begint te dalen van ongeveer 20°C tot 12°C. Algemeen gesteld is de temperatuur gedurende de winterperiode zeer constant (tussen 12°- 14°C) waarbij de luchtvochtigheid in de kerk nog steeds optimaal is tussen de 50% - 60%. De winterse maanden februari en maart blijken het meest delicaat wanneer de temperatuur verder daalt naar 11°C - 13°C en de relatieve vochtigheid soms onder de 45% duikt. We zien echter dat een paar keer per jaar het systeem zichzelf enkele dagen moet uitschakelen omdat de relatieve vochtigheid te kritiek wordt. Gedurende deze dagen meten we RV-waarden die tussen de 30% - 35% liggen. Dit is te verklaren door het feit dat de buitenlucht op dat moment uitzonderlijk weinig vocht bevat.



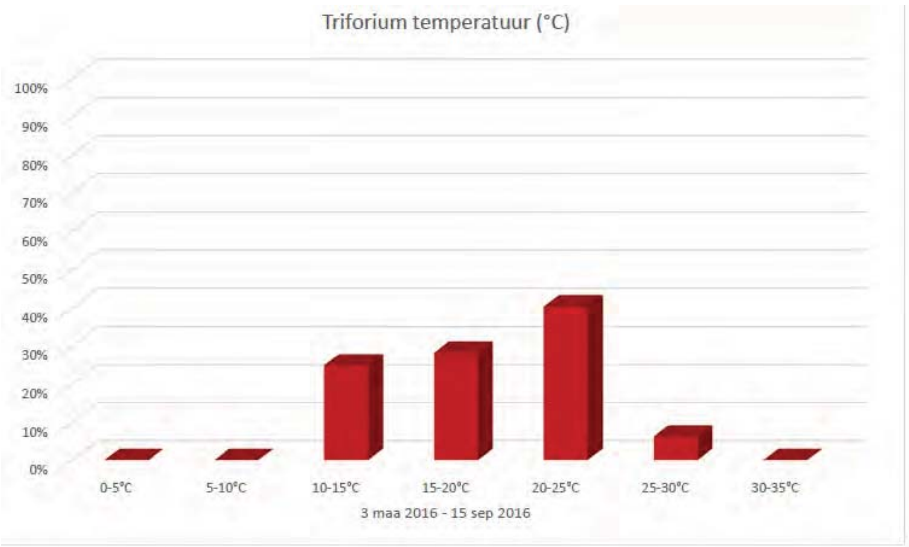
Figuur 13: RV in zuidtransept – 15 sept 2015 – 3 maart 2016, eigen data stad Leuven



Figuur 14: RV in zuidtransept –3 maart 2016 – 15 september 2016, eigen data stad Leuven



Figuur 15: T° in zuidtransept – 15 sept 2015 – 3 maart 2016, eigen data stad Leuven



Figuur 16: T° in zuidtransept – 15 sept 2015 – 3 maart 2016, eigen data stad Leuven

Louter door naar de metingen te kijken is het bovendien duidelijk wanneer het weekend of een feestdag is en de kerk enkele graden wordt bij verwarmd (gemiddelde delta T van 2° à 3°C op 6 uur). Dit veroorzaakt in de meeste gevallen een te verwaarlozen schommeling in de RV van enkele %. Wanneer de basis temperatuur echter reeds zeer laag is (bijvoorbeeld 12°C°) en men verwarmt de kerk met een delta T van 4°C op 6 uur, zien we dat de RV evenredig snel met gemiddeld 8% à 10% zakt, wat vooral in de periode februari – maart soms tot kritieke waarden voor de RV onder 40% leidt.
Na het beëindigen van de verwarmingswerken werden de conditierapporten door hetzelfde team geëvalueerd. Er werd hierbij geen bijkomende schade vastgesteld. Ook tijdens de volgende restauratiefasen van het interieur van de St-Pieterskerk (van 2013 tot op heden) werden systematisch de interieurs met het roerend erfgoed onderzocht en gerestaureerd. Ook bij deze restauratiewerken kon geen bijkomende schade ten gevolge van het verwarmingssysteem worden vastgesteld.

4. Algemene conclusies

De installatie van een nieuw verwarmingssysteem lijkt geen negatieve effecten te hebben op het waardevol kerkpatrimonium, vermits de sturing geregeld wordt in functie van de temperatuur en bijgestuurd wordt op basis van de ingestelde limietwaarden voor relatieve vochtigheid en temperatuur.
De monitoring, die uitgevoerd werd als voorbereiding van deze studie was voor de stad als opdrachtgever erg nuttig, omdat we hierdoor beschikten over objectieve gegevens en allerlei gevoelsmatige argumenten van gebruikers en andere partners uit de beslissingsstructuur konden weren. Het studiebureau kon op basis van deze gegevens een perfecte inschatting maken van de nodige vermogens en instellingen van de verwarmingsinstallatie. Het oordeelkundig meten en gestaag opstarten van de verwarming is eveneens succesvol gebleken.
Het monitoren van de kerk na installatie zorgt voor een optimale opvolging van het klimaat van de kerk en zijn kunstpatrimonium. Zowel de mensen van de studiedienst gebouwen als de mensen van het museum M worden tijdig gealarmeerd bij falen van het systeem, wat een extra veiligheid betekent bovenop de ingebouwde veiligheidssystemen van de verwarming.
Het spanningsveld met de gebruiker van de kerk, die de kerk en zijn waardevolle patrimonium niet als museumstukken maar als religieuze relicten beschouwd, is echter niet opgelost. De kerkgangers ervaren de kerk, ook na installatie van het verwarmingssysteem, nog steeds als te koud. Het is voor het erfgoed echter nefast om hieraan tegemoet te komen en de temperatuur op te drijven. Het bouwen van een goed verwarmde weekkapel (klaar in september 2019) zal hieraan zeer waarschijnlijk een oplossing bieden, alvast voor de weekdiensten.
Het spreekt voor zich dat de stad een dergelijke uitgebreide monitoring niet voor elke kerk (of ander gebouw) kan en wenst uit te voeren. De uitgebreide studie van St-Pieterskerk is verantwoord door de zeer waardevolle kunstwerken van de kerk die de hoogste waakzaamheid omtrent klimaat verdienen. Bovendien was de St-Pieterskerk een interessante eerste case voor de stad waarop men zich kan baseren en waaraan nieuwe vragen voor verwarming van kerken worden afgetoetst.
De stad beschikt met deze monitoring over een schat van gegevens: de data beslaan een periode van april 2010 tot op heden. De gegevens werden tot op heden gebruikt in functie van de beslissingen en sturing van het binnenklimaat. Het is zeker dat men nog zeer veel andere interessante bevindingen uit deze gegevens kan distilleren: effecten van directe zonlicht in de kerk, microklimaten, inertie van het gebouw, … De stad stelt ze dan ook graag ter beschikking voor verder wetenschappelijk onderzoek.

5. Literatuur

[1] Screening van de technische installaties uitgevoerd in 2011 door Sophia-Audit waarbij een gedetailleerde inventaris van de technische installaties, hun actuele conditie- en werkingsstaat en een voorstel voor energiebesparende maatregelen werden geformuleerd.
[2] STAD LEUVEN , Studiedienst gebouwen, *Conditiemeting, duurzaamheidsevaluatie en meer jaren onderhoudsplanning van het patrimonium van de stad Leuven,* onuitg. bestek, 22 oktober 2012.

IMPACT VAN EEN VERWARMINGSSYSTEEM OP DE CONSERVATIE VAN EEN KERKINTERIEUR

Willemien Anaf[1], Olivier Schalm[1,2], Jan Callier[3,4], Maud Rochez[5], Isolde Verhulst[5]
1 Conservatie-Restauratie, Universiteit Antwerpen
2 Hogere Zeevaartschool Antwerpen
3 War Heritage Institute
4 Koninklijke Musea voor Schone Kunsten van België
5 Architectenbureau Karel Breda

Samenvatting

Naar aanleiding van de installatie van een verwarmingssysteem in de Sint-Martinuskerk van Aalst is een uitgebreide meetcampagne opgestart om de impact van deze installatie op het kerkinterieur te evalueren. Hiervoor zijn verschillende omgevingsparameters gemonitord, en is ook het gedrag van hout opgevolgd. Hout is een materiaal dat frequent voorkomt in het kerkmeubilair zoals in het orgel, de biechtstoelen, de monumentale altaren of de (paneel)schilderijen. De verwarmingsinstallatie zorgt voor een gemengde verwarming, d.w.z., een constante achtergrondverwarming (10°C) met tijdelijke temperatuursverhoging tijdens erediensten en evenementen om het comfortniveau te verhogen (tot ± 15°C). De verwarming zorgt voor een vrij gelijkmatige warmteverdeling in de kerk, en ook hoogtegradiënten zijn beperkt. Dankzij de verwarming worden periodes van hoge vochtigheid vermeden, waardoor de kans op schimmelgroei sterk vermindert. Tijdens koude, droge periodes buiten moet echter extra aandacht besteed worden aan de regeling om extreem droge condities in de kerk te vermijden. Negatieve effecten van de verwarming zijn de extremere fluctuaties in relatieve vochtigheid, voornamelijk in de frequentie van enkele dagen tot weken. Deze fluctuaties zorgen voor een groot aantal cycli waarin het hout een sterk krimp- en zwelgedrag vertoont. Dit leidt tot spanningen in het hout, en meer algemeen in elk hygroscopisch materiaal, met daardoor een verhoogd schadepotentieel.

1. Inleiding

Oorspronkelijk was het niet de bedoeling om kerkgebouwen te verwarmen. Het binnenklimaat in kerken werd daardoor hoofdzakelijk bepaald door het buitenklimaat. In de 19de en 20ste eeuw groeiden echter de verwachtingen rond thermisch comfort in kerken. Initieel werd enkel plaatselijk verwarmd met houtkachels, maar vanaf de 20ste eeuw werden volledige verwarmingsinstallaties geplaatst. In de jaren ’60 en ’70 kwam men tot het besef dat deze verwarming vaak tot aanzienlijke schade leidde (Kalamees et al., 2016, Larsen, 2007, Schellen, 2002, Camuffo and Sturaro, 2000). Ook in de Belgische kerken werd schade berokkend door het (onoordeelkundig) gebruik van kerkverwarming, zoals onder andere blijkt uit inspecties van Monumenten en Landschappen (Staatsblad, 2002). Verschillende projecten zoals het ‘Friendly Heating’ project (2002-2005) probeerden op basis van wetenschappelijk onderzoek een geschikt compromis te vinden tussen menselijk comfort, conservatie, energiegebruik en kosten (Camuffo, 2010). Dit project is één van de inspiratiebronnen geweest voor de Europese richtlijn EN15759-1:2011 (*Richtlijnen voor de verwarming van kerken, kapellen en andere gebedsruimten*). Deze richtlijn geeft een stappenplan om tot de meest geschikte oplossing te komen. Wordt er al dan niet verwarmd? Voor thermisch comfort of voor het behoud van het gebouw en haar inhoud? Wordt er gewerkt met een algemene of lokale verwarming? Zal er constant of periodiek verwarmd worden? Na de installatie van de kerkverwarming moet een evaluatie gebeuren. Voor deze evaluatie moeten onder andere

klimaatgegevens van minstens één jaar verzameld en verwerkt worden, en moeten ook inspecties van het gebouw en haar inhoud uitgevoerd worden.
In 2014 startte in Aalst de totaalrestauratie van de Sint-Martinuskerk. Binnen deze restauratie werd ook de installatie van een verwarmingssysteem voorzien. Op vraag van de stad Aalst, het architectenbureau Karel Breda dat verantwoordelijk is voor de restauratie, en de kerkfabriek, is een uitgebreide meetcampagne opgestart om na te gaan wat de impact is van de installatie van het nieuwe verwarmingssysteem op het kerkinterieur, en of een dergelijk systeem de bewaaromstandigheden effectief verbetert. Hiervoor zijn inspecties uitgevoerd en is een uitgebreide meetcampagne opgestart. Hoewel de inspecties en meetcampagne een schat aan informatie vormen betreffende de impact van het nieuwe verwarmingssysteem op het kerkinterieur, bevatten ze geen rechtstreekse informatie over het gedrag van de historische materialen (bv., corrosiesnelheid van metaal, krimp- en zwelgedrag van hout). Om inzicht te krijgen in dat gedrag werd het krimp- en zwelgedrag van een 16de-eeuwse houten kubus opgevolgd. Hout is een materiaal dat frequent voorkomt in het kerkmeubilair zoals in het orgel, de biechtstoelen, de monumentale altaren of de (paneel)schilderijen.
Uit de verzamelde metingen werden een aantal merkers geanalyseerd die toelaten om de impact van het binnenklimaat en dus het verwarmingssysteem op het kerkmeubilair in te schatten. De volgende merkers werden hiervoor gebruikt: (1) identificatie van warmte- en koudebronnen, (2) verdeling van oppervlaktetemperaturen op en rondom een Rubensschilderij, (3) evolutie van omgevingsparameters doorheen de tijd, (4) verschillen in temperatuur en relatieve vochtigheid rondom het orgel, (5) variatie van relatieve vochtigheid in meerdere frequentiedomeinen, en (6) variatie van krimp- en zwelgedrag van 16de-eeuws eikenhout in meerdere frequentiedomeinen.

2. Materiaal en methode

2.1. Sint-Martinus kerk

De Sint-Martinuskerk aan het Priester Daensplein te Aalst is een typisch voorbeeld van Brabantse gotiek. De kerk werd tussen 1480 en 1660 gebouwd en bevat talrijke waardevolle kunstwerken. De restauratie van de Sint-Martinuskerk kadert in een meerjarendossier en loopt nog tot 2027. De exterieurrestauratiefase zal eind 2019 afgerond zijn, waarna het interieur gerestaureerd wordt. Een gigantische opdracht die onder andere de restauratie van 22 monumentale altaren omvat met hierin topwerken van P.P.Rubens (*De Heilige Rochus wordt door Christus aangesteld als patroon der pestlijders*), G. de Crayer, D. Teniers, de sacramentstoren van H. Du Quesnoy de oude en het monumentale Van Peteghemorgel.

2.2. Nieuw verwarmingssysteem

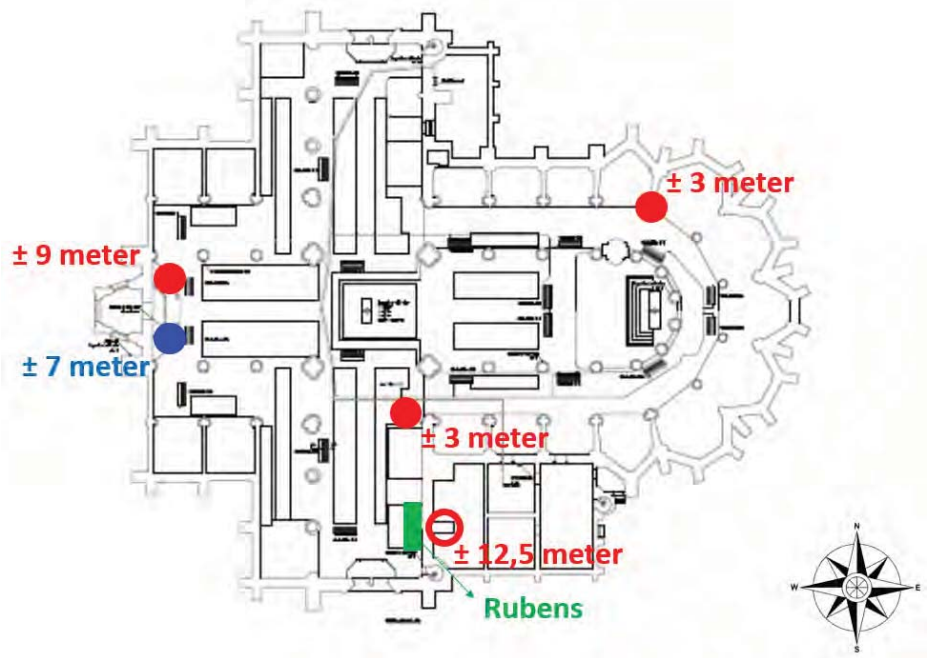
De Sint-Martinuskerk kende in het verleden meerdere periodes met kerkverwarming. In een eerste periode werd de kerk in de winter verwarmd met houtkachels. Getuige hiervan zijn de ronde kacheldoorgangen die in de gewelven aanwezig zijn. Nadien werd een systeem geïnstalleerd met negen warmtewisselaars die de kerk verwarmden via evenveel inblaasroosters verspreid over de kerk. Eén van de inblaasroosters bevond zich onder het orgeldoksaal. De warmtewisselaars werden via het stadsnetwerk en de firma Interstoom gevoed. In 2006 werden de activiteiten van Interstoom afgebouwd en werd de stoomvoorziening naar de kerk stilgelegd. Nadien werd de kerk niet meer structureel verwarmd maar werd wel gezocht naar een nieuw en haalbaar systeem.
Voorafgaand aan de interieurrestauratie van de Sint-Martinuskerk werd een nieuw verwarmingssysteem geïnstalleerd (juni-december 2017), zodat het klimaat en de impact daarvan op het waardevolle interieur op voorhand kon worden opgevolgd. Er is gekozen voor een systeem van luchtverwarming bij lage temperaturen. Dit verwarmingssysteem werd weerhouden omwille van het gecombineerd effect van een verwarming op lage temperatuur,

de gegenereerde stralingswarmte en de mogelijkheid om dit in een gespreide opstelling op vloerniveau te voorzien. Het systeem biedt tevens de mogelijkheid om een beperkte en passieve sturing te doen van de relatieve vochtigheid in het gebouw. Indien nodig, zal het systeem bijkomend verwarmen (binnen de toegestane marge) om de algemene relatieve vochtigheid te verlagen. Anderzijds zal een gevraagde temperatuursverhoging tegengehouden worden indien de relatieve vochtigheid reeds een ondergrens bereikt heeft.
Het verwarmingssysteem bestaat uit een CV-installatie op laag temperatuursregime met condenserende CV-ketels, en warmtestations ingebouwd in de kerkvloer. De warmtestations zijn geprefabriceerde units met ingebouwde verwarmingsbatterijen en ventilatoren. Geïsoleerde kunststof distributieleidingen lopen in twee circuits via sleuven onder de kerkvloer van het technisch lokaal naar de warmtestations. Archeologische opgravingen werden over het volledige traject van de leidingen en warmtestations uitgevoerd. Door een gecombineerde aanpak van de technische installaties werden deze circuits ook benut voor het voorzien van elektrische en andere bekabelingen in dezelfde trajecten.
De warmtestations werken volgens het ventilo-convector principe (ventilator-batterij-filtergietijzeren vloerroosters). Elke unit is een geprefabriceerde compacte en waterdichte aaneengelaste kast in roestvrij staal waarin alle elementen zijn ingebouwd. Coanda mondstukken zorgen voor een gelijkmatige luchtverspreiding over het volledige roosteroppervlak. De warmteafgifte van de batterijen en het toerental van de ventilatoren is modulerend regelbaar in functie van de programmering en ruimtevoelers. De ruimtevoelers bevinden zich tegen de kolommen aan het altaar en het doksaal op een hoogte van ongeveer 5 meter. Op de terugname zijn luchtfilters (klasse G4) aanwezig.
Op 25 januari 2018 is de verwarmingsinstallatie voor het eerst getest, en vanaf 1 februari is het systeem effectief opgestart. Er is gekozen voor een permanente basisverwarming van 10°C. Tijdens erediensten en evenementen wordt de kerk tot maximaal 15°C verwarmd. De opwarming gebeurt geleidelijk met een stijging van 0.5-1°C per uur.

2.3. Meetcampagne

De omgevingsomstandigheden op een bepaalde positie in het gebouw evolueren in de tijd. Bovendien verschillen deze omstandigheden ook van positie tot positie. Twee belangrijke parameters voor de bewaring van erfgoed zijn temperatuur en relatieve vochtigheid. De verdeling van deze parameters wordt in grote mate bepaald door warmtebronnen (bv., verwarmingsroosters, glasramen) en koudebronnen (bv., deuren, glasramen, koude buitenmuren). Om een algemeen beeld te krijgen van de temperatuursverdelingen in de Sint-Martinuskerk werden inspecties met een thermografische camera (FLIR E40bx) uitgevoerd. Er werd gefocust op de seizoensovergangen. De camera visualiseert de temperatuur van materiaaloppervlakken waardoor warmte- en koudebronnen geïdentificeerd kunnen worden. De camera vergaart beelden in het spectrale bereik tussen 7.5 µm en 13 µm. Hiermee kan de camera oppervlaktetemperaturen tussen -20°C en 120°C met een resolutie van 0.045°C meten. Vooral de zone rondom het orgel en het Rubensschilderij werden in detail bestudeerd.
Naast deze temperatuursverdeling in de kerk, zijn op enkele vaste locaties metingen doorheen de tijd uitgevoerd. Het schip, de kooromgang en de kruisbeuken vormen een monovolume van meer dan 10 000 m^3. Binnen dit monovolume werd één meetplaats geselecteerd voor een uitgebreide meetcampagne om de evolutie van omgevingsparameters (hyperlokaal) op te volgen met een eigen ontwikkeld monitoring systeem. Deze meetlocatie mocht niet zichtbaar en toegankelijk zijn voor het publiek, diende wel toegankelijk te zijn voor de onderzoekers, en diende in de nabijheid van een belangrijk erfgoedobject te zijn. Er werd gekozen om het monitoring systeem op het doksaal te plaatsen in de nabijheid van het orgel, op 7 meter hoogte (Fig. 1, blauwe cirkel). Het meetsysteem bestaat uit een centrale datalogger (DataTaker DT85, Thermo Fischer Scientific, Scoresby Vic, Australië) waaraan commercieel verkrijgbare sensoren gekoppeld zijn. In deze publicatie komen de resultaten van volgende parameters aan bod: temperatuur en relatieve vochtigheid (GMW90, Vaisala, Helsinki, Finland), fijn stof (DC1100 Pro Air Quality Monitor, Dylos Corporation, Riverside, CA, USA) en windsnelheid

(HD403TS omni-directional hotwire sensor, Delta Ohm, Soest, Nederland). Om inzicht te krijgen in de temperatuurs- en vochtigheidsgradiënt rondom het orgel werden drie extra dataloggers voor temperatuur en relatieve vochtigheid geplaatst (sensor WS-DLTc van Wisensys die alle data draadloos naar een WS-BU-rs485 station doorstuurt): één op 3 meter hoogte (links van het orgel) en twee op 12.5 meter hoogte (links en rechts van het orgel). Deze loggers sturen hun gegevens eveneens door naar de datataker. Daarnaast werd het krimp- en zwelgedrag van hout continu gemeten. Hiervoor werd een rekstrookje op een 16de-eeuwse eikenhouten kubus met een ribbe van 10 cm gekleefd (PFLW-30-11 rekstrook, Altheris, Leidschendam, Nederland). Deze sensor is aan dezelfde datalogger gekoppeld zodat omgeving en materiaalgedrag simultaan worden gemeten. De datalogger registreert elke 15 minuten het signaal van al deze sensoren. Alle meetpunten worden verzameld in een matrix die gemakkelijk in Excel geopend kan worden voor verdere dataverwerking. Er is continu gemeten gedurende 19 maanden (03/07/2017 tot 29/1/2019). De metingen lopen nog door tot eind maart 2019.
Deze uitgebreide meetopstelling staat tijdelijk in de Sint-Martinuskerk. Om het klimaat permanent op te volgen, werden op 21/08/2018 4 dataloggers voor temperatuur en relatieve vochtigheid (Aranet T/RH sensor, Riga, Letland) geplaatst die elke 10 minuten een meetpunt registreren. Drie hiervan loggen het klimaat van het interieur (Fig. 1, volle rode cirkels), en één meet het buitenklimaat (Fig. 1, holle rode cirkel). De gegevens van deze loggers worden door de aannemer elke 1-2 weken uitgelezen. De loggers geven een beeld van de mate van uniformiteit van temperatuur en relatieve vochtigheid in de kerk.
In het artikel is regelmatig sprake van ‘winterperiodes’. Hiermee worden periodes bedoeld waarin het buiten doorgaans kouder is. Deze winterperiodes komen niet volledig overeen met het seizoen ‘winter’ (21 december-21 maart).



Figuur 1: Meetlocaties. Blauwe cirkel: tijdelijke meetopstelling orgel met uitgebreide waaier aan parameters. Rode cirkels: posities van permanente dataloggers voor temperatuur en relatieve vochtigheid (interieur: vol, exterieur: hol).

2.4. Omzetten van metingen naar luchtkwaliteitsbeoordelingen

Binnen het Belspo-project ‘Airchecq’ is een binnenluchtkwaliteitsindex voor erfgoed ontwikkeld (‘Indoor Air Quality’- of IAQ-index). Het is een index die verschillende relevante omgevingsparameters tot één score samenbrengt. De index is materiaalspecifiek en is

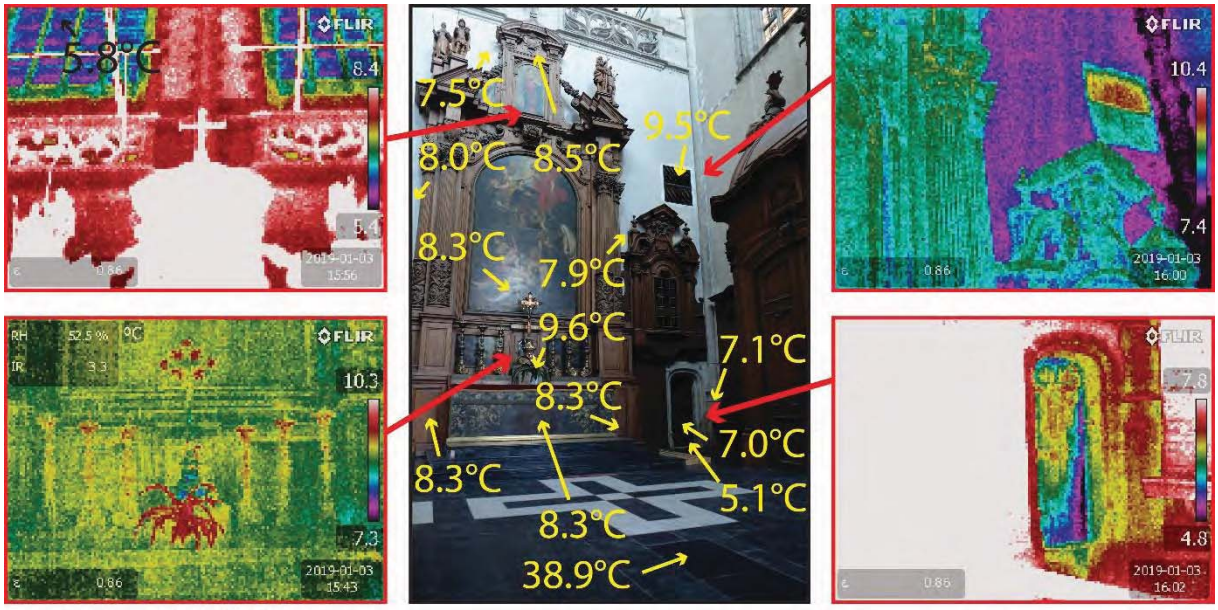
gebaseerd op gepubliceerde richtlijnen en grenswaarden die aflijnen wanneer degradatie onder invloed van een bepaalde omgevingsfactor acceptabel is of niet. De index is een getal tussen 0 en 1. Hoe hoger de index, hoe geschikter de omgeving voor de bewaring van erfgoed. Meer informatie rond deze index kan worden teruggevonden in Anaf et al. (2018).

3. Resultaten

3.1. Trends in de ruimte op een vast moment

Er werden thermografische inspecties bij seizoensovergangen uitgevoerd om de variatie van omstandigheden doorheen de ruimte op specifieke momenten in kaart te brengen. Door temperatuursverschillen te visualiseren, wordt het mogelijk om warmte- en koudebronnen te identificeren. Rondom het Rubensschilderij werden volgende observaties gemaakt (Fig. 2-3):

- **21 juni 2018:** Op deze dag benaderde de oppervlaktetemperatuur van het Rubensschilderij (ongeveer 20°C) de luchttemperatuur van de binnenomgeving (binnen: 20.8°C en 52.5%; buiten: 16.3°C en 65.1%). De belangrijkste warmtebron in de onmiddellijke omgeving van het schilderij waren de monumentale glasramen. Er bleken slechts kleine temperatuursverschillen tussen de andere warmtebronnen (uitlaat verwarming via roosters in de vloer, inlaat van het oude verwarmingssysteem in de hoek op ongeveer 5 meter hoogte) en koudebronnen (zijdeur, deur naar het dak) te bestaan.
- **20 september 2018:** Ook op deze dag was de oppervlaktetemperatuur van het Rubensschilderij (ongeveer 21°C) eerder gelijk aan de luchttemperatuur van de binnenomgeving (binnen: 21.4°C en 57.5%; buiten: 20.1°C en 61%). Er zijn weinig verschillen tussen de warmte- en koudebronnen waar te nemen.



Figuur 2: Thermografische inspectie van de zone rondom het Rubensschilderij. De beelden werden in de winter op 03/01/2019 rond 16u00 opgenomen

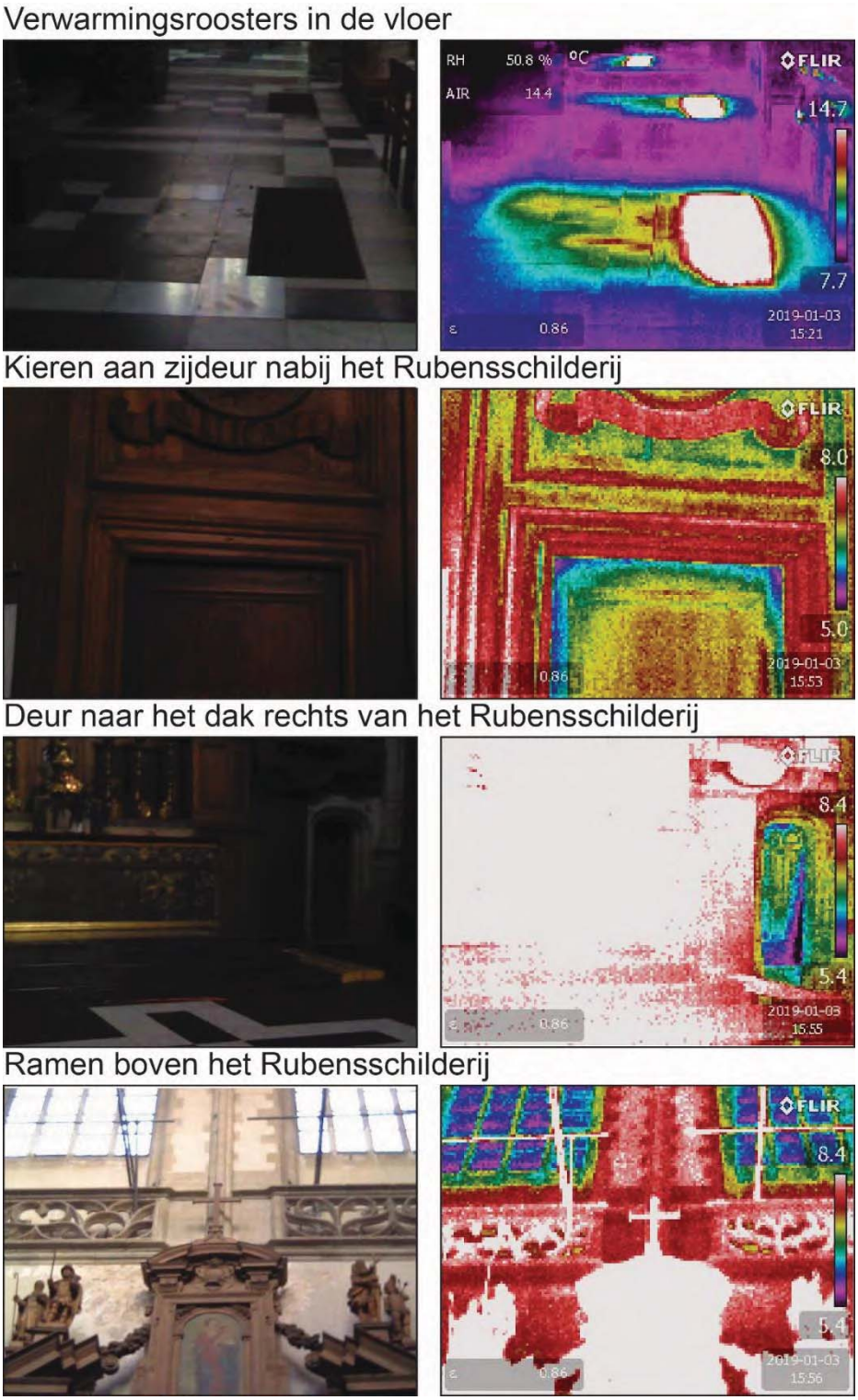
- **28 december 2018 en 3 januari 2019:** De oppervlaktetemperatuur van het Rubensschilderij (7°C/8.3°C) bevindt zich in de winter tussen de luchttemperatuur van de binnen- en buitenomgeving (binnen: 10.1°C en 52.3%/11.5°C en 59.1%; buiten: 4.5°C en 77%/7.7°C en 65.3%). Deze temperatuursverschillen suggereren dat het Rubensschilderij niet in evenwicht is met zijn omgeving. De warmte- en koudebronnen rondom het schilderij vertoonden in de winterperiode grote verschillen (uitlaat verwarmingsrooster in vloer: warme lucht van 38-43°C en 10-14% RV wordt via pulsen in de binnenruimte gebracht; inlaat van het oude verwarmingssysteem in de muur op ongeveer 5 meter hoogte: 9.5°C; deur naar dak: 7°C; muur: 8°C).

Uit de observaties kan men vaststellen dat er tijdens de zomer- en herfstinspectie weinig verschillen waren tussen de binnenluchttemperatuur en de oppervlaktetemperatuur van het Rubensschilderij. Dit betekent dat op de geanalyseerde dagen het schilderij in evenwicht was met de binnenomgeving. In de winterperiode (met verwarming) is het temperatuursverschil tussen schilderij en binnenomgeving groter (± 3°C). De twee winterinspecties suggereren dat de oppervlaktetemperatuur van het Rubensschilderij kouder is dan de luchttemperatuur. Bovendien konden meerdere warmte- en koudebronnen in de onmiddellijke omgeving van het Rubensschilderij worden geïdentificeerd en waren de verschillen tussen deze bronnen in de winter groter.

3.2. Trends in de tijd op een vaste meetlocatie

Door meerdere omgevingsparameters van een vaste locatie over de tijd op te volgen, kan men vaststellen voor welke periodes een verhoogd risico voor het kerkmeubilair optreedt. Bovendien kan men ook nagaan wat de impact is van de verwarmingsinstallatie in deze periodes. Fig. 4 toont de omgevingsparameters temperatuur, relatieve vochtigheid, fijn stof en luchtverplaatsing op het doksaal (7 meter) voor een periode van 19 maanden (03/07/2017 en 29/01/2019). Deze periode omvat twee opeenvolgende winters. De verwarmingsinstallatie is in de helft van de eerste winter effectief opgestart (01/02/2018). Voor temperatuur en relatieve vochtigheid zijn ook de buitencondities geplot. Hiervoor zijn daggemiddelden gebruikt, opgemeten door het KMI in het weerstation van Ukkel. Op basis van deze grafieken kan het volgende worden vastgesteld.

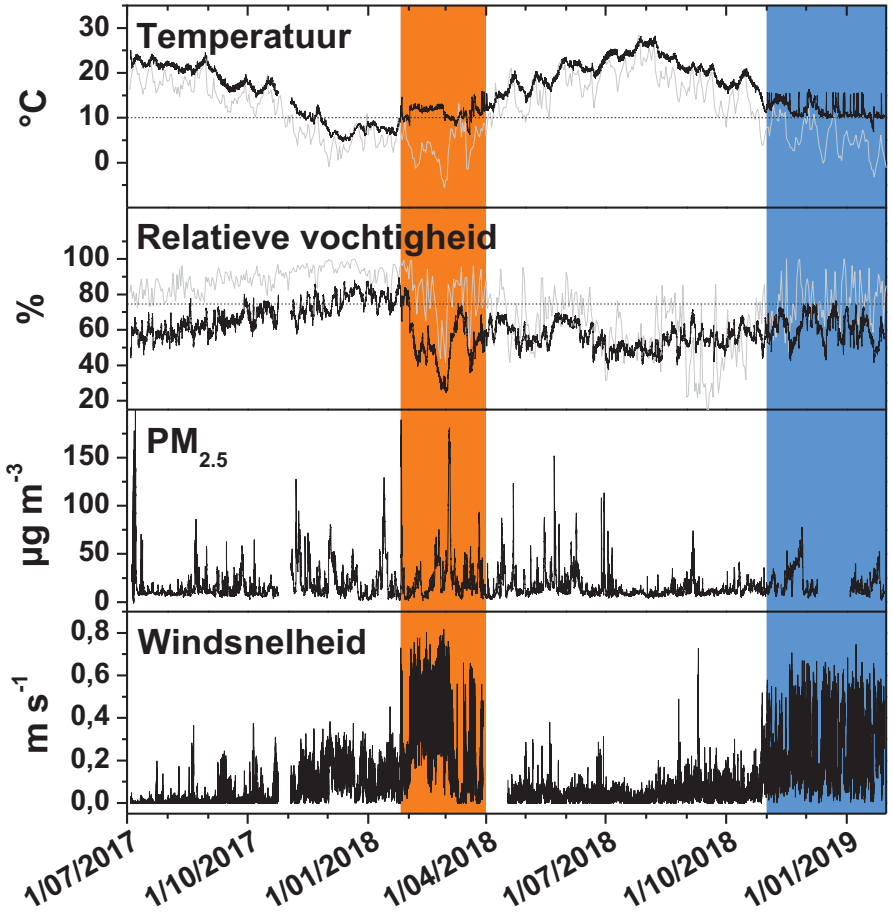
- **Temperatuur:** De luchttemperatuur in de kerk volgt het ritme van de seizoenen, met een hoge temperatuur in de zomer en een lage temperatuur in de winter. Men ziet meerdere kleinere pieken die een gevolg zijn van weersveranderingen. Dankzij de verwarmingsinstallatie zakt de temperatuur in de kerk niet onder de 10°C. In de winterperiodes zijn regelmatig korte stijgingen van de temperatuur te zien tot 14-15°C om tegemoet te komen aan het menselijke comfort tijdens erediensten en evenementen. Deze pieken in temperatuur gaan gepaard met dalingen in relatieve vochtigheid van ongeveer 10%.
- **Relatieve vochtigheid:** De relatieve vochtigheid in de kerk volgt sterk de buitentrend, hoewel de kerk in staat is om de sterke schommelingen die we in de buitenmetingen van het KMI zien, te bufferen. De relatieve vochtigheid stijgt naarmate de winter nadert maar verlaagt wanneer de verwarming actief is. De verwarming zorgt ervoor dat de relatieve vochtigheid in de kerk ook in de winterperiode onder de 75% blijft, hoewel de buitenvochtigheid regelmatig 100% bereikt. Dit is in contrast met de winterperiode van 2017 (zonder verwarming), waar de vochtigheid in de kerk maxima van 90% bereikte.
- **Fijn stof:** De concentratie aan fijn stof ($PM_{2.5}$) vertoont een constante achtergrond waarop vele pieken zichtbaar zijn. Er is geen seizoensfluctuatie waarneembaar. De meetcampagne verliep in de periode waar men de vloer heeft opengebroken om de verwarmingsinstallatie te plaatsen. Ook na de installatie van de verwarming werden andere restauratiewerkzaamheden uitgevoerd. Dergelijke werkzaamheden veroorzaken veel stof en verklaren tal van pieken. Vermoedelijk zijn er ook pieken als gevolg van bezoekers en omliggend verkeer of industrie.



Figuur 3: Overzicht van een warmtebron (verwarmingsroosters) en enkele koudebronnen (deuren en ramen). De beelden werden in de winter op 03/01/2019 rond 16u00 opgenomen

- **Windsnelheid:** De windsnelheid wordt door het openstaan van buitendeuren en de verwarmingsinstallatie beïnvloed. In de periodes dat de verwarmingsinstallatie werkzaam is, is er een duidelijke verhoging van de windsnelheid. Deze hogere waarden werden op 7 meter hoogte waargenomen. De verhoogde windsnelheid fluctueert sterk omdat het verwarmingssysteem niet continu warme lucht in de ruimte introduceert. Er is echter geen significant verband te zien met andere omgevingsparameters. Verhoogde luchtcirculatie

veroorzaakt echter wel een verhoogde stofdepositie. Een luchtsnelheid tussen 0.1 en 0.3 m s^{-1} wordt aangeraden in kerken (Schellen, 2002). Deze is iets hoger wanneer de verwarming actief is.



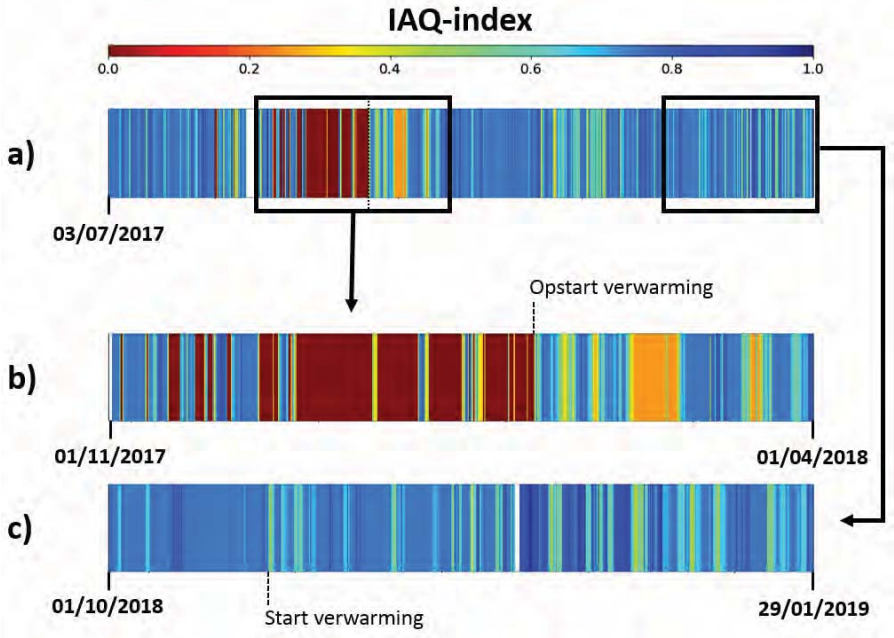
Figuur 4: Overzicht van de omgevingsparameters temperatuur, relatieve vochtigheid, fijn stof ($PM_{2.5}$) en windsnelheid voor de periode 03/07/2017 tot 29/01/2019. Voor temperatuur en relatieve vochtigheid zijn de buitengegevens (daggemiddelden) van het KMI (Ukkel) in het grijs geplot. De periodes waarin de verwarmingsinstallatie heeft gewerkt, zijn gemarkeerd: winter 1 in oranje, winter 2 in blauw.

Voor de gegevens van temperatuur, relatieve vochtigheid en fijn stof in de Sint-Martinuskerk, is de IAQ-index voor een algemene collectie berekend. Hiermee wordt een collectie beschouwd waarin geen uitzonderlijk gevoelige objecten aanwezig zijn. Voor een algemene collectie wordt een correcte relatieve vochtigheid als de belangrijkste parameter beschouwd. Deze zal daarom het sterkste doorwegen in de berekening van de IAQ-index. Een relatieve vochtigheid tussen 55 en 70% met dagfluctuaties van 10% is als aanvaardbaar beschouwd. In figuur 5 wordt de evolutie van de IAQ-index via kleurenbalken gevisualiseerd. Een rode kleur komt overeen met een lage index, en toont periodes waarin de omgeving een reëel risico vormt voor de collectie. Een blauwe kleur komt overeen met een hoge index en geeft periodes weer met een beperkt risico op schade voor de collectie. Fig. 5 a) geeft een overzicht van de volledige meetperiode (03/07/2017 tot 29/01/2019). Fig. 5 b) en c) zoomen in op de twee winterperiodes.

- **Eerste winterperiode (01/11/2017 tot 01/04/2018, Fig. 5 b):** Deze winterperiode wordt gekenmerkt door 40 vorstdagen (minimale dagtemperatuur onder 0°C) met een koudegolf (daggemiddelden onder 0°C) tussen 25/02/2018 en 02/03/2018 met minimale daggemiddelden van -5.5°C en 41.6% relatieve vochtigheid. In het begin van deze

winterperiode is er nog geen kerkverwarming. Het is pas op 25/01/2018 dat de nieuwe verwarmingsinstallatie voor het eerst werd getest. Op 01/02/2018 wordt de installatie in gebruik genomen. Opvallend hierbij is de plotse omslag van een periode met een opvallend slechte IAQ-index, naar een periode met een veel betere index. Deze plotse omslag wordt voornamelijk door de relatieve vochtigheid beïnvloed. In de periode vóór de opstart van de verwarming zit de relatieve vochtigheid in de herfst- en winterperiodes regelmatig boven de 75%. Dit vormt een mogelijk gevaar voor schimmelgroei. De verwarming zorgde ervoor dat de relatieve vochtigheid zakte. Dat de relatieve vochtigheid een aantal opeenvolgende dagen blijft zakken wordt door het algoritme niet als slecht beschouwd, hoewel men de normen (bv. ASHRAE, 2011) ook kan interpreteren dat de variatie in relatieve vochtigheid op 24 uur tijd rondom een vaste waarde mag fluctueren en niet vrij mag zakken. Kort na de opstart van de verwarming zijn er een aantal periodes waarvoor de index oranje kleurt. Deze periodes worden gekenmerkt door een te lage relatieve vochtigheid als gevolg van het opwarmen van zeer koude en droge lucht tijdens de koudegolf. Om de sterke daling in relatieve vochtigheid in het kerkinterieur enigszins te compenseren, is aangeraden om de streeftemperatuur van de verwarmingsinstallatie (tijdelijk) te laten zakken. Vanaf 01/04/2018 heeft de verwarmingsinstallatie niet meer aangestaan door de warmere buitentemperaturen. Samengevat: tijdens deze winter was de verwarmingsinstallatie in staat om de binnenluchtkwaliteit drastisch te verbeteren maar ontstond er een probleem tijdens de koudegolf wanneer de koude en droge buitenlucht werd opgewarmd.

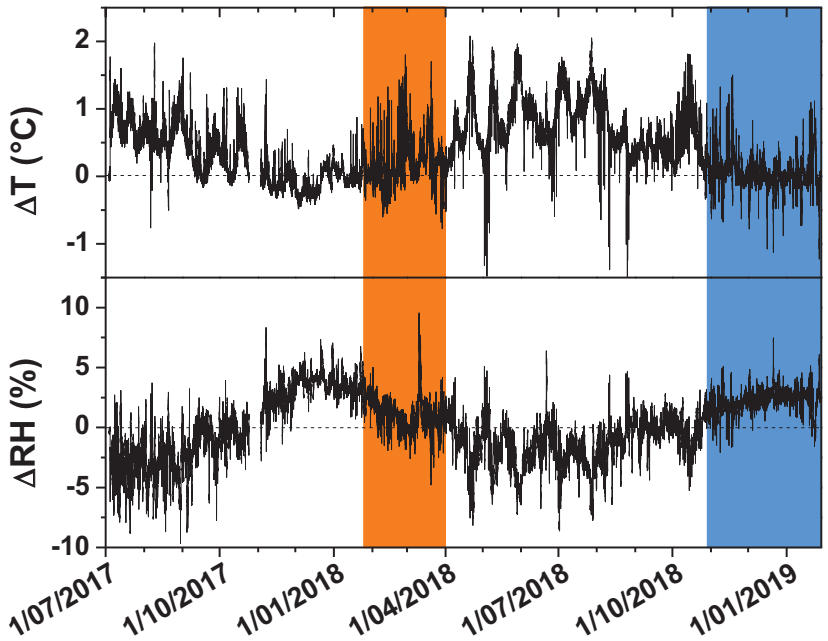
- **Tweede winterperiode (01/10/2018 tot 29/01/2019, Fig. 5 c):** Deze winter wordt gekenmerkt door 24 vorstdagen. De verwarming begint te werken op 28/10/2018. Tijdens de periode dat de verwarming actief is, fluctueert de relatieve vochtigheid van het buitenklimaat rond de 70%. Opmerkelijk is dat heel deze winterperiode geen enkele periode rood kleurt. De kerkverwarming zorgt er voor dat extreem vochtige omstandigheden worden vermeden waardoor het risico op schimmelgroei kleiner is. Tijdens deze periode was de verwarming in staat om de temperatuur boven een minimumwaarde te houden en de relatieve vochtigheid voldoende laag te houden zodat er geen noemenswaardige verschillen in bewaaromstandigheden zijn tussen de periode zonder en met verwarming.



Figuur 5: IAQ-index voor een algemene collectie
a) periode van 03/07/2017 tot 29/01/2019;
b) periode 01/11/2017 tot 01/04/2018 met indicatie van de opstart van de verwarming op 01/02/2018;
c) periode 01/10/2018 tot 29/01/2019. De kerk werd vanaf 28/10/2018 opnieuw verwarmd

3.3. Trends in de hoogtegradiënt rondom het orgel

Warme lucht stijgt. Daarom wordt verwacht dat de bovenkant van het orgel op een hoogte van 12.5 meter warmer is dan de zone onder het orgel op 3 meter hoogte. In de periodes zonder verwarming (lente-zomer-herfst) zien we inderdaad een iets hogere temperatuur op grotere hoogtes (Fig. 6). Dit blijft echter beperkt tot 2°C. In de koude periode voor de verwarmingsinstallatie opstart (november-december 2017), zien we een omgekeerde trend waarbij de temperatuur op grondniveau iets hoger is (0.5°C). Hoewel we in beide periodes met verwarming variaties zien in de temperatuursgradiënt, zijn deze minder uitgesproken dan tijdens de periodes zonder verwarming. Een hogere temperatuur gaat doorgaans gepaard met een lagere relatieve vochtigheid. Ook dat zien we hier terugkomen. In de warmere periodes zonder verwarming is de lucht op 12.5 meter droger dan op 3 meter. In de koude periode zonder verwarming (november 2017-januari 2018) ligt de relatieve vochtigheid ongeveer 5% hoger op 12.5 meter in vergelijking met 3 meter. Na de opstart van de verwarming zien we dat de vochtigheidsgradiënt kleiner wordt (Fig. 6, oranje markering). In de tweede winterperiode met verwarming (Fig. 6, blauwe markering) zien we opnieuw een grotere vochtigheidsgradiënt met een hogere relatieve vochtigheid op 12.5 meter in vergelijking met 3 meter. De gradiënt blijft echter beperkt tot 4-5% relatieve vochtigheid. We kunnen concluderen dat tijdens de geanalyseerde periode de gradiënt in temperatuur en relatieve vochtigheid rondom het orgel voldoende klein is. Echter, de temperatuursgradiënten zullen sowieso (beperkte) convectie veroorzaken wat kan leiden tot een verhoogde stofdepositie.

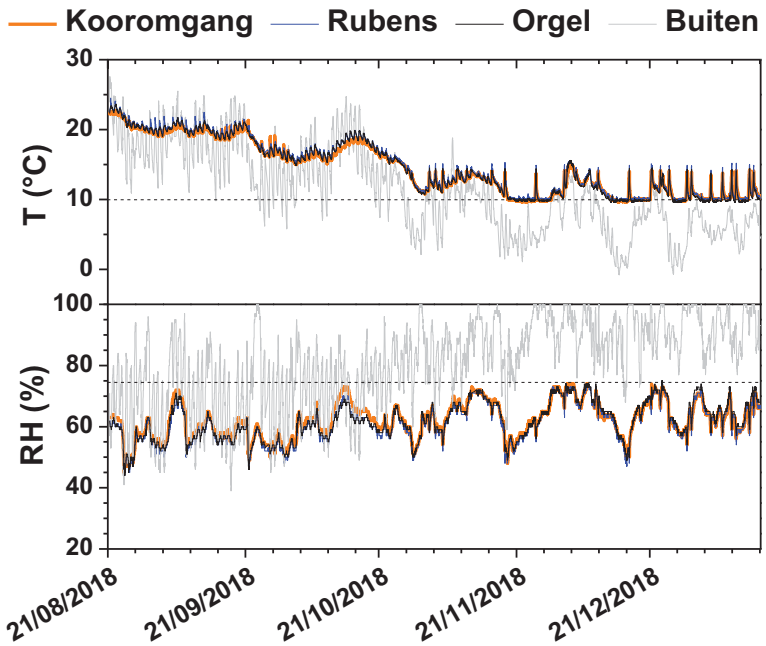


Figuur 6: Het verschil in temperatuur en relatieve vochtigheid tussen de bovenkant van het orgel en de zone onder het orgel (12.5 meter – 3 meter). Een negatieve waarde betekent dat de temperatuur op grondniveau warmer is, of dat de relatieve vochtigheid lager is. Indicatie van de twee periodes waarin de verwarmingsinstallatie werkzaam is (oranje en blauwe kleur)

3.4. Evolutie van temperatuur en relatieve vochtigheid op verschillende locaties

De meetgegevens van de permanente dataloggers voor temperatuur en relatieve vochtigheid zijn met elkaar vergeleken om na te gaan of er grote verschillen zijn op drie locaties verspreid in de kerk (Fig. 1, rode cirkels). Fig. 7 toont dat de drie binnenlocaties een zeer gelijkaardig patroon vertonen met beperkte afwijking, ongeacht of de verwarmingsinstallatie aanstaat of niet. Men kan dus stellen dat op deze drie locaties de luchttemperatuur en de relatieve

vochtigheid sterk gelijkaardig zijn. De buitensensor toont veel sterkere fluctuaties. Hieruit kunnen we besluiten dat het kerkgebouw een bufferende werking heeft voor zowel de temperatuur als de relatieve vochtigheid.



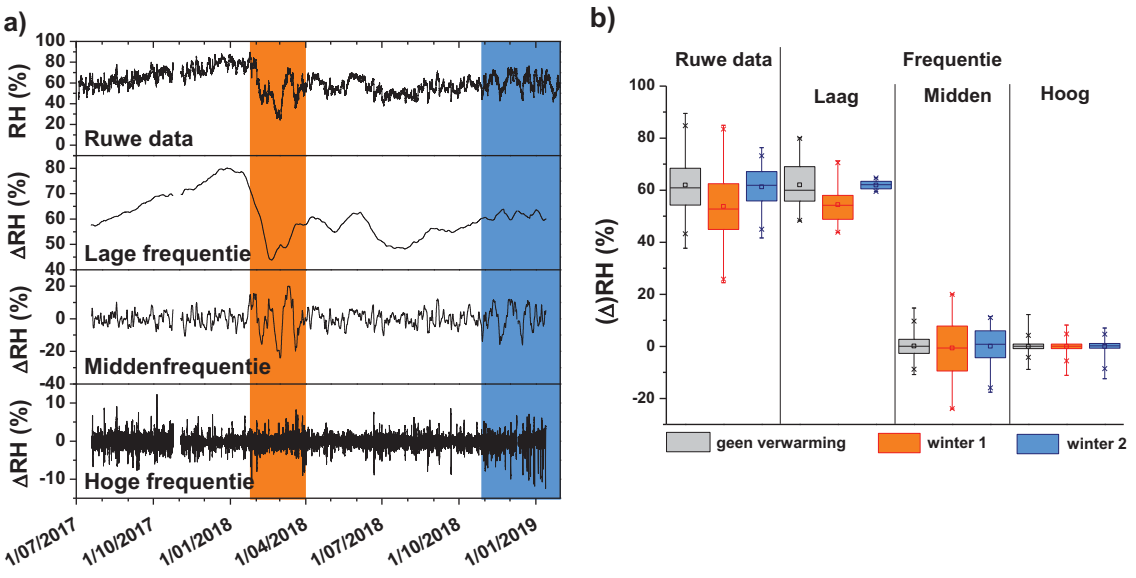
Figuur 7: Overzicht van de metingen van temperatuur en relatieve vochtigheid op drie vaste locaties in de kerk, en één locatie buiten aan de kerk. Meetgegevens elke 10 minuten vanaf 21/08/2018

3.5. Fluctuatieanalyse van de relatieve vochtigheid

Over het algemeen kan men stellen dat sterk fluctuerende omgevingsparameters zoals temperatuur en relatieve vochtigheid als ongunstig worden beschouwd. Voor hygroscopische materialen is zeker de fluctuatie van relatieve vochtigheid cruciaal. In kerken worden fluctuaties van relatieve vochtigheid van 30% op een jaar rondom het gemiddelde en van 10% per dag aanvaard (Schellen, 2002). Men kan zich de vraag stellen of de verwarmingsinstallatie de stabiliteit van de relatieve vochtigheid verhoogt. Om dit te onderzoeken, hebben we de fluctuaties van relatieve vochtigheid in 3 frequentiedomeinen opgesplitst: trage fluctuaties als gevolg van seizoensveranderingen, fluctuaties die op middellange termijn plaats hebben (dagen tot weken) en snelle fluctuaties (enkele uren). De methode die wordt gehanteerd om de data in 3 frequentiedomeinen op te splitsen, is gebaseerd op voortschrijdende gemiddeldes. Voor meer informatie omtrent deze methode verwijzen we door naar Anaf en Schalm (2019).

- **Lage frequentie (seizoensfluctuatie):** De fluctuatie als gevolg van seizoensveranderingen resulteert in grote variaties in relatieve vochtigheid. Figuur 8 a) toont de substantiële bijdrage van dit frequentiedomein aan de totale relatieve vochtigheid. Het verschil in relatieve vochtigheid tussen de laagste waarde en de hoogste waarde bedraagt ongeveer 30%. De variatie aan relatieve vochtigheid binnen dit frequentiedomein voor periodes zonder verwarming, de eerste winterperiode en de tweede winterperiode worden met boxplots in figuur 8 b) getoond. Hoe breder de boxplots, hoe sterker de variatie. Wat opvalt is dat de tweede winter veel constanter is in vergelijking met de periode zonder verwarming. De eerste winter vertoont iets meer variatie ten opzichte van de tweede winter. We moeten hierbij de kanttekening maken dat de tweede winter veel milder was dan de eerste winter. Toch kunnen we stellen dat de verwarmingsinstallatie een duidelijke impact heeft op de relatieve vochtigheid in dit frequentiedomein: de situatie is stabieler maar men dient op te letten wanneer de buitenomgeving koud en droog is.

- **Middenfrequentie (dagen tot weken):** Bovenop de trage seizoensveranderingen vinden er ook snellere fluctuaties plaats die in een periode van dagen tot weken fluctueert. Dit betekent dat weersveranderingen in het binnenklimaat voelbaar zijn. Wat opvalt is dat het verschil in grootste en kleinste waarde voor relatieve vochtigheid tijdens de winterperiodes (ca. 20%) groter is dan voor de onverwarmde periode (ca. 10%). In de eerste winterperiode met verwarming (Fig. 8, oranje markering) is deze instabiliteit sterk gelinkt aan de opstart van de verwarming, vermoedelijk in combinatie met de externe weerscondities (koudegolf). Echter, ook in de tweede winterperiode met verwarming (Fig. 8, blauwe markering) zien we een gelijkaardig patroon terugkeren, hoewel minder uitgesproken. Ook hier zien we een link met de buitentemperatuur. Hoe kouder het buiten is, hoe harder de verwarmingsinstallatie moet werken. Dit heeft een invloed op de relatieve vochtigheid in de kerk die hierdoor verlaagt. Wanneer de buitentemperatuur opnieuw stijgt, moet de buitenlucht minder opgewarmd worden en wordt de binnenlucht minder droog. Fluctuaties in dit frequentiedomein worden als de meest schadelijke geacht, omdat verschillende hygroscopische objecten in het kerkinterieur zich continu aan deze relatief grote variaties moeten aanpassen. Hierdoor ontstaan spanningen in de objecten, wat kan leiden tot schade.
- **Hoge frequentie (enkele uren):** Bovenop de veranderingen in de middenfrequentie is er een nog snellere fluctuatie waarneembaar. Dit type fluctuatie lijkt voor de onverwarmde momenten en de twee winterperiodes gelijkaardig: het gaat om een snelle fluctuatie met slechts kleine uitwijkingen. Men kan wel vaststellen dat in alle periodes er uitschieters waarneembaar zijn. De uitschieters in de winterperiodes zijn gelinkt aan de tijdelijke stijging van de basistemperatuur van 10°C naar 15-16°C tijdens erediensten en evenementen. Deze temperatuursstijging duurt meestal een 6-tal uren, waarna de temperatuur weer geleidelijk daalt tot 10°C. Deze temperatuursstijgingen gaan gepaard met een daling van de relatieve vochtigheid met ongeveer 10%. Houtoppervlakken staan in nauw contact met de omgeving en zullen hierop reageren. Toch hebben deze fluctuaties minder effect op hygroscopische objecten omdat de kern van het materiaal onvoldoende tijd krijgt om hierop te reageren. Het snelle oppervlaktegedrag zien we onder andere terug in het gedrag van het hout dat we met een rekstrookje hebben opgevolgd (zie verder).



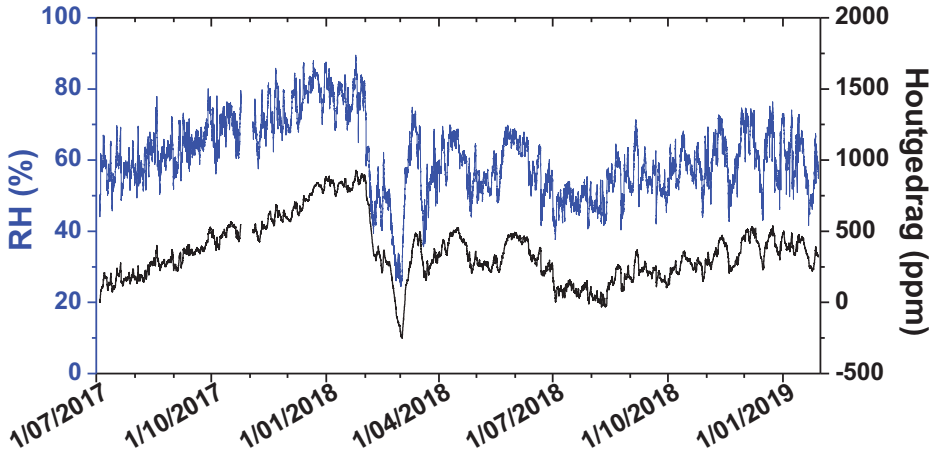
Figuur 8

a) Opsplitsing van de relatieve vochtigheid in drie frequentiedomeinen. Aanduiding van de twee winterperiodes waarin de verwarming werkzaam was (oranje en blauwe markering).

b) Boxplot voor statistische verwerking van de fluctuaties in de verschillende frequentiedomeinen: -: minimum en maximum; x: 1% en 99%; ▫: gemiddelde; box: mediaan, 25ste en 75ste percentiel. De periodes zonder verwarming, en de twee winterperiodes met verwarming zijn apart verwerkt.

3.6. Krimp- en zwelgedrag van hout

Alle houten constructies ondergaan spanningen omwille van vochtigheids- en temperatuurverschillen tussen het hout en de omgeving of tussen het houtoppervlak en de kern van het hout. Bovendien kunnen deze verschillen doorheen de tijd variëren waardoor de spanning in het hout ook telkens anders is. Om het effect van de omgeving op historisch eik te kunnen inschatten werd een rekstrookje op een 16de-eeuwse eiken dummy gekleefd. Hiermee kan het krimp- en zwelgedrag in functie van de tijd worden opgevolgd. Wanneer hout vocht afstaat of opneemt, zal dit in eerste instantie aan het oppervlak gebeuren. Doordat het rekstrookje op het houtoppervlak is gekleefd, zien we vooral het effect van dit oppervlak. Figuur 9 toont de relatieve vochtigheid en het krimp- en zwelgedrag van de houtsensor voor dezelfde periode. Er zijn sterke overeenkomsten in de trend van beide parameters. Tot aan de opstart van de verwarmingsinstallatie zien we dat het hout een stijgende trend volgt. Met andere woorden: het hout zwelt. Deze stijgende trend zien we ook terug in de relatieve vochtigheid. De kleinere pieken en dalen die we in deze periode in het gedrag van de houtsensor waarnemen, komen overeen met fluctuaties in de relatieve vochtigheid. Op het moment van de opstart van de verwarming zien we een sterke krimp van het hout. Ook dit dal kan gelinkt worden aan de sterke daling in relatieve vochtigheid. Nadien vertoont het hout nog enkele kleinere fluctuaties die het patroon van de relatieve vochtigheid volgen.

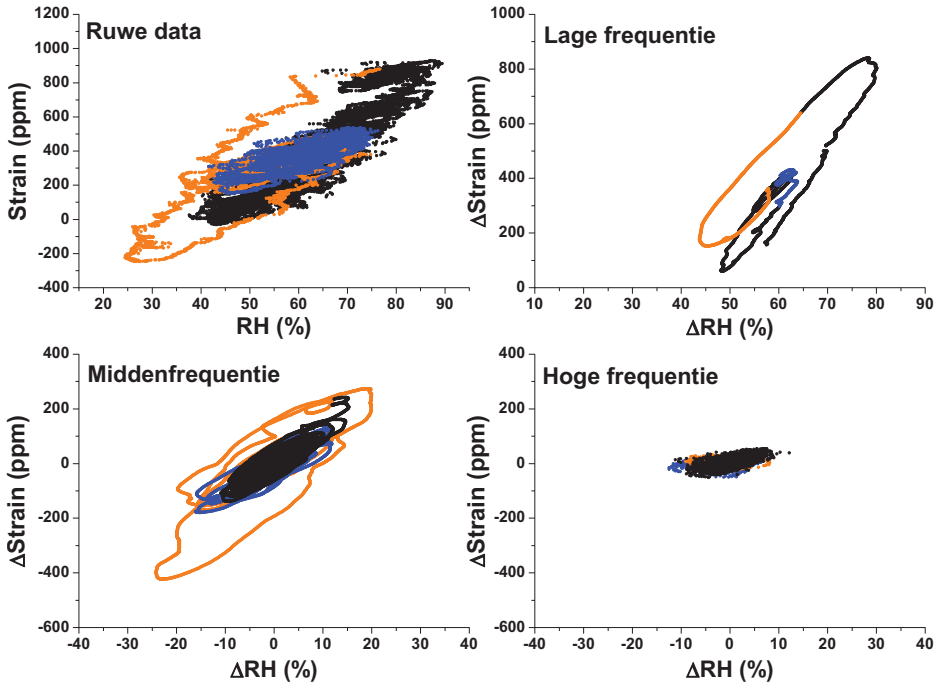


Figuur 9: Gedrag van een 16de-eeuwse eikenhouten blokje, gemonitord met een rekstrookje op het oppervlak (zwarte curve). Ter vergelijking wordt ook de relatieve vochtigheid, gemeten vlak naast deze houtsensor, weergegeven (blauwe curve).

De gegevens van de houtsensor zijn op identieke wijze als de relatieve vochtigheid in drie frequentiedomeinen opgesplitst. Vervolgens is voor elk frequentiedomein het verband tussen het houtgedrag en de relatieve vochtigheid grafisch voorgesteld (Fig. 10).

- **Lage frequentie:** De fluctuatie in het frequentiedomein die overeenkomt met seizoensveranderingen resulteert in een beperkt aantal brede cycli. Het krimp- en zwelgedrag is in dit frequentiedomein het grootst, maar het hout ondergaat slechts een beperkt aantal cycli. Dat betekent dat interne spanningen in het hout langzaam veranderen.
- **Middenfrequentie:** Ook de fluctuaties in de middenfrequentie veroorzaken een sterk krimp- en zwelgedrag omdat ook de dieper gelegen 'lagen' van het hout zich aan de veranderende omgevingsomstandigheden kunnen aanpassen. In het middenfrequentiedomein vinden veel meer cycli met gelijkaardige uitzetting plaats. Tijdens de periodes met verwarming worden de cycli gekenmerkt door grotere vochtigheidsfluctuaties en daardoor een meer uitgesproken krimp- en zwelgedrag van het hout. Het gevaar van dit type fluctuaties zijn de vele cycli waardoor de spanningen in het hout telkens veranderen.

- **Hoge frequenties:** Figuur 10 toont aan dat de variaties in relatieve vochtigheid slechts een kleine impact op het krimp- en zwelgedrag van het hout hebben. Vandaar dat de cycli lang en plat zijn.



Figuur 10: Krimp- en zwelgedrag van de houtsensor ten opzichte van de relatieve vochtigheid. Ruwe data, en opsplitsing van de meetgegevens in lage, midden en hoge frequentie. Zwart: periodes zonder verwarming; oranje: verwarming tijdens de eerste winterperiode (25/01/2018-01/04/2018); blauw: verwarming tijdens de tweede winterperiode (28/10/2018-29/01/2019)

4. Discussie

Al in 2002 werd in een omzendbrief betreffende de kerkverwarming van beschermde monumenten melding gemaakt van positieve resultaten met een verwarmingssysteem waarbij warmtewisselaars in de kerkvloer werden geïnstalleerd. Verschillende voordelen van een dergelijk systeem worden vermeld, waaronder de zachte en constante inblaas van gefilterde lucht, lage opwarmingstemperaturen, geringe stijging van de warmte naar hogere niveaus van het kerkinterieur, en een beperkte luchtcirculatie en stofverspreiding (Staatsblad, 2002). Ook de langdurige metingen in de Sint-Martinuskerk in Aalst tonen aan dat de verwarmingsinstallatie een algemeen positieve invloed heeft op de bewaaromstandigheden van het kerkinterieur.
In dit onderzoek werden meerdere merkers bestudeerd die een inzicht geven in de bewaaromstandigheden in de kerk. De achtergrondverwarming tot 10°C zorgt voor een relatieve vochtigheid in het gebied rond 50%. De meeste hygroscopische objecten kunnen in dit gebied grotere fluctuaties verdragen omdat ze hier de kleinste dimensionale verandering kennen (Bylund Melin and Legnér, 2014). Een belangrijke noot hierbij is dat de technische installatie optimaal moet werken. Bij technisch falen, zeker in combinatie met extreme buitencondities, kunnen sterke schommelingen in relatieve vochtigheid optreden die ten sterkste moeten worden vermeden. Ook het beheer van de installatie moet goed gecontroleerd worden zodat niemand plots de instellingen kan wijzingen. Tijdens de periode kort na de opstart van de verwarming in 2018 werd een te droog klimaat gecreëerd. Dit werd veroorzaakt

door een koudegolf buiten, in combinatie met een foutieve instelling van het systeem: de passieve vochtigheidscontrole was op dit moment nog niet ingeschakeld.
Naast een aanvaardbaar vochtigheidsdomein, is ook de stabiliteit van de relatieve vochtigheid belangrijk voor een optimale bewaring van erfgoed. Dit geldt vooral voor hygroscopische materialen zoals hout, die vocht opnemen of afgeven om in evenwicht te komen met hun omgeving. Veranderingen in relatieve vochtigheid veranderen eerst het oppervlak: het houtoppervlak, tot zelfs enkele millimeters diep, vertoont (beperkte) krimp en uitzetting bij elke, zelfs snelle verandering in relatieve vochtigheid. De responstijd van de kern is veel trager. Hierdoor ontstaat een heterogene vochtverdeling die inwendige spanningen creëert en tot micro- of macrobarsten aan het oppervlak kan leiden (Bratasz, 2010, Leenaars and Schellen, 2008, Camuffo and Sturaro, 2000, Larsen, 2007, Ankersmit, 2009). Snelle fluctuaties zullen het houtoppervlak continu beïnvloeden. Hoe langer de fluctuatie duurt, hoe meer ook dieper gelegen delen van het hout beïnvloed worden. De dimensionale respons van het volledige houten object hangt sterk af van de dikte van het object. Voor een onbehandelde plank van 1 centimeter dik zou het ongeveer 3 dagen duren voor de plank een nieuw evenwicht heeft bereikt. Van zodra er een afwerkingslaag zoals een vernis op deze plank zit, verhoogd de responstijd naar bijna 40 dagen (Ankersmit, 2009). De duur van de vochtigheidsfluctuaties heeft dus een belangrijke invloed op het schadepotentieel. Daarom werden de fluctuaties opgesplitst in drie frequentiedomeinen: snelle fluctuaties van enkele uren, fluctuaties van enkel dagen tot weken, en trage fluctuaties gerelateerd aan seizoensveranderingen. We zien dat de verwarming vooral invloed heeft op de fluctuaties met een duur van dagen tot weken. Binnen dit frequentiedomein zijn de fluctuaties opvallend groter tijdens de periodes met verwarming (schommelingen tot ongeveer 20% relatieve vochtigheid) in vergelijking met de periodes zonder verwarming (schommelingen tot ongeveer 10% relatieve vochtigheid). Dit vormt een mogelijk gevaar voor de hygroscopische materialen in de kerk omdat de duur van deze fluctuaties overeenkomt met hun responstijd. In de winterperiode wordt de temperatuur voor erediensten en evenementen tijdelijk verhoogd met 5-6°C, wat gepaard gaat met vochtigheidsdalen van ongeveer 10%. Deze snelle fluctuaties vallen binnen de aanvaardbare dagfluctuaties (10%) (Schellen, 2002). Bovendien worden deze fluctuaties slechts beperkt waargenomen in het zwel- en krimpgedrag van het hout.
Kerkverwarming wordt meestal geassocieerd met grotere luchtcirculatie wat onder andere zorgt voor een verhoogde stofdepositie. Ook hier zien we ter hoogte van de verwarmingsroosters een verhoogde luchtsnelheid. De verhoging is op 7 meter hoogte meetbaar, met waarden van rond de 0.6 m s^{-1}. Dit is ongeveer drie keer meer dan in de situatie zonder verwarming. Luchtcirculatie blijft echter beperkt. We kunnen voorlopig echter geen conclusie trekken over al dan niet verhoogde stofdepositie, omdat er momenteel zeer hoge concentraties fijn stof zijn door de restauratiewerken. Depositie van fijn stof gebeurt naar koudere oppervlakten. Dit moet in de toekomst verder opgevolgd worden.
Een laatste belangrijk punt bij de installatie van kerkverwarming, is de visuele impact. Hoewel dit niet de focus is van deze studie, vermelden we wel dat de visuele impact van dit verwarmingssysteem beperkt is. Op een aantal plaatsen zijn zwarte gietijzeren roosters met kruisvormige openingen te zien in de vloer, maar deze zijn onopvallend en mooi geïntegreerd in de tegelvloer.

5. Conclusie

De kerkverwarming heeft op meerdere vlakken een positief effect. Ze zorgt voor een verhoogd menselijk comfort. Vanuit het standpunt van erfgoedconservatie zorgt ze ervoor dat zeer vochtige periodes in de winter worden vermeden. Hierdoor vermindert het risico op schimmelgroei en condensvorming. De temperatuurs- en vochtigheidsgradiënten in de hoogte zijn eveneens beperkt.
Er zijn echter enkele aandachtspunten: in de periodes met verwarming zien we dat de fluctuaties over een periode van dagen tot weken tot dubbel zo groot zijn dan tijdens de periodes zonder verwarming. Deze fluctuaties veroorzaken het meest uitgesproken krimp- en

zwelgedrag van het hout, waardoor deze het grootste schadepotentieel hebben. Er moet op gelet worden dat in periodes met zeer koude en droge buitenlucht, de verwarming niet te hoog wordt gezet. Dit leidt tot extreem droge binnencondities, die barsten in de houten interieurelementen kunnen veroorzaken. In de toekomst moet nagegaan worden of de verhoogde luchtcirculatie als gevolg van de verwarming tot een verhoogde stofdepositie leidt. Algemeen kan echter gesteld worden dat dit type vloerverwarming relatief comfortabel is, en voldoende veilig is voor het behoud van het kerkinterieur, op voorwaarde dat het continue werkt zonder onderbrekingen gedurende het volledige koude seizoen.

6. Referenties

1. ANAF, W., LEYVA PERNIA, D. & SCHALM, O. 2018. Standardized indoor air quality assessments as a tool to prepare heritage guardians for changing preservation conditions due to climate change. *GeoSciences,* 8.
2. ANAF, W. & SCHALM, O. 2019. Climatic quality evaluation by peak analysis and segregation of low-, mid-, and high-frequency fluctuations, applied on a historic chapel. *Building and Environment,* 148**,** 286-293.
3. ANKERSMIT, B. 2009. *Klimaatwerk. Richtlijnen voor het museale binnenklimaat,* Amsterdam, Amsterdam University Press.
4. ASHRAE 2011. Museums, Galleries, Archives, and Libraries. *ASHRAE Handbook - Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications (I-P Edition).* American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
5. BRATASZ, L. 2010. Acceptable and non-acceptable microclimate variability: the case of wood - Understanding deterioration mechanisms for conservation purposes. *In:* CAMUFFO, D., FASSINA, V. & HAVERMANS, J. (eds.) *Basic environmental mechanisms affecting cultural heritage.* Florence: Nardini.
6. BYLUND MELIN, C. & LEGNÉR, M. 2014. The relationship between heating energy and cumulative damage to painted wood in historic churches. *Journal of the Institute of Conservation,* 37**,** 94-109.
7. CAMUFFO, D. 2010. The friendly heating project and the conservation of the cultural heritage preserved in churches. *Developments in climate control of historic buildings.* Linderhof Palace, Ettal, Germany.
8. CAMUFFO, D. & STURARO, G. Church heating: a challenge looking for solutions. *In:* BRANDT-GRAU, A., PÉREZ-VITORIA, S., CHAPUIS, M. & LEISSNER, J., eds. 4th European Commission Conference. Research for protection, conservation and enhancement of cultural heritage: opportunities for European enterprises, 22-24 November 2000 2000 Strasbourg, France. The European Commission.
9. KALAMEES, T., VÄLI, A., KURIK, L., NAPP, M., ARUMAGI, E. & KALLAVUS, U. 2016. The influence of indoor climate control on risk for damages in naturally ventilated historic churches in cold climate. *International Journal of Architectural Heritage: Conservation, Analysis, and Restoration,* 10**,** 486-498.
10. LARSEN, P. K. Climate control in Danish churches. *In:* PADFIELD, T. & BORCHERSEN, K., eds. Museum Microclimates, 2007 National Museum of Denmark. 167-174.
11. LEENAARS, J. & SCHELLEN, H. 2008. Hout werkt. Vrije en verhinderde vervorming van hout bij wisselende klimaatomstandigheden. *Bouwfysica. Kwartaalblad van de Nederlands Vlaamse Bouwfysica Vereniging,* 19**,** 30-37.
12. SCHELLEN, H. L. 2002. *Heating monumental churches: indoor climate and preservation of cultural heritage.* Technische Universiteit Eindhoven.
13. STAATSBLAD 2002. Omzendbrief ML/11 van 19 november 2002 betreffende de kerkverwarmingen van beschermde monumenten. Belgisch Staatsblad.

EXPERIMENTAL STUDY OF THE IN-PLANE BEHAVIOUR OF RAMMED EARTH WALLS STRENGTHENED WITH TRM

Michiel Van Gorp, Els Verstrynge, KU Leuven
Daniel Oliveira, Rui Silva, Antonio Romanazzi, UMinho

Abstract

Among the building techniques based on the use of raw earth as building material, rammed earth is one of the most used construction materials across the world. Rammed earth structures are characterized by low resistance against extreme loading, such as during earthquakes. Basing on the efficacy of Textile Reinforced Mortar (TRM) for masonry structures, the use of low-cost mesh embedded in earth-based mortar is proposed as a strengthening technique for rammed earth heritage.
The base materials were characterized, namely soil, earth-based mortar and two type of mesh (nylon and glass fibre).
Subsequently, eight walls were cast using the characterized soil and reinforced with glass fibre TRM (GRE) and nylon TRM (NRE). To assess the efficacy of the TRM, diagonal compression tests were performed and the shear strength and shear stress were evaluated and compared with the unreinforced walls. Digital image correlation (DIC) was implemented to investigate the crack pattern.
The results demonstrate that TRM improves the shear performance of the rammed earth walls in terms of shear strength and shear strain.

Keywords: Rammed Earth, Textile Reinforced Mortar, Earth, Materials, Consolidation

1. Introduction

Raw earth as building material is used in large parts of the world. A study by Houben and Guillaud (1989) projects that 30% to 40% of the earth's population lives in houses made of earth (fig. 1).
Rammed earth, like cob and adobe, is a construction technique that makes use of raw earth. Indeed, the product is readily available, low-cost and very sustainable. But as with masonry, historical earthen constructions can be vulnerable to certain types of forces. For example, cyclic and vibration type forces, normally visible during earthquakes. This effect certainly has its role for rammed earth, as this material is mostly used in regions which are very earthquake sensitive. (fig. 1)
Rammed earth as a construction technique dates back to prehistoric China, where civilizations built rammed earth houses resembling caves, the first known "place of residence" of mankind (Jaquin, 2012). However, the first true example of rammed earth construction can be found during the Three Kingdoms Period (221-581 AD), where the Haka people built Tulou houses. Using long poles fixed or driven into the ground, they were the first to hold the formwork in its place (Aaberg-Jorgensen, 2000). Later on, large parts of the Great Wall of China would also be built using rammed earth, mostly in desolate places, where bricks were not readily available (Jaquin, Augarde and Gerrard, 2008).
The rammed earth technique consists of compacting layers of moistened soil within a formwork. The soil used for building should meet specific requirements to reduce the risk of shrinkage and to ensure suitable dry density. (Houben and Guillaud, (1989)).
Rammed earth as a construction material possesses many qualities that cannot be found in other materials. Earth is available on a local scale and in abundance, lowering cost of transportation. It has a low impact on the environment, reducing the CO_2 emissions of the building drastically (Morel et al., 2001). Other qualities include its ability to increase indoor air

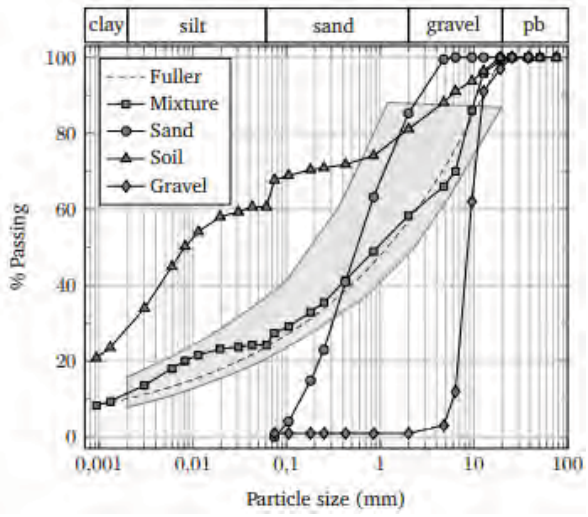
quality (Pacheco-Torgal and Jalali, 2012), its ability to absorb moisture (Minke, 2000) and reusability (Venkatarama and Prasanna, 2010).

Figuur 1: Remark the significant overlap between the regions, where rammed earth buildings are common (left), and the territories with a moderate to very high seismic hazard (right) (source: CRATerre)

Rammed earth structures are characterized by low compressive and tensile strength which combined with high self-weight of the material and lack of connection between structural elements, results in high vulnerability of the building (Bui, 2009) (Silva, 2013). This is certainly the case for historical constructions, as using additives to better the characteristics of the soil was not common practice. If a rammed earth wall contains too much clay, cracking due to shrinkage will result (Warren, 1999). The shrinkage behaviour cannot be avoided, but measures can be taken to minimize it. It is therefore imperative to avoid a higher water content than is absolutely necessary during compaction, as it will lead to higher shrinkage when drying. When cracks occur, a loss in compressive strength is found (Silva et al, 2013).
As demonstrated in case of masonry buildings, textile reinforced mortar (TRM) represents an effective strengthening solution because of its high tensile strength, low weight and high ductility. The TRM is a composite material that “increases the deformability of materials subjected to in-plane loading forces” (Papanicolau, 2007). It consists of a textile mesh embedded in mortar, applied to the surface of the original construction. In other words, TRM increases the load-bearing capacity of the structure, while at the same time homogenizing the structural response (Bernat-Maso, 2013).
The effectiveness of the TRM depends on the characteristics of the components and their compatibility with the substrate. Indeed, in case of rammed earth, too stiff and too strong materials require deformation levels which could cause the collapse of existing structures, thus resulting in an unsuccessful strengthening contribution. In the present instance, the mesh is required to be affordable as well (Oliveira et al., 2017). The most important qualities of the mesh are its tensile behaviour and deformation capability (De Santis and de Felice, 2014).
The effectiveness of TRM on rammed earth walls was investigated by means of diagonal compression tests. In general, two types of behaviour can be assessed when looking at real life earthen constructions damaged by for example earthquakes: flexural behaviour (failure mode: crushing or rocking) and shear behaviour (failure mode: diagonal shear cracking or sliding shear failure). In literature, simplified models are presented, focusing on one type of these behaviours. Assuming a model where a corner of the wall is loaded with an in-plane point load, the dominant behaviour of the model can be addressed to shear forces and a diagonal shear crack as its failure mode (Calderini et al., 2010). This model can be tested using the diagonal compression test, as described in the standard ASTM E 519 – 02 (ASTM, 2003). While the diagonal compression test has not been assessed for rammed earth strengthened with TRM previous to the writing of this work, test procedures and results for masonry structures can be used. Here, TRM is presented as a viable solution for the consolidation of masonry structures (Papanicolau et al., 2007).

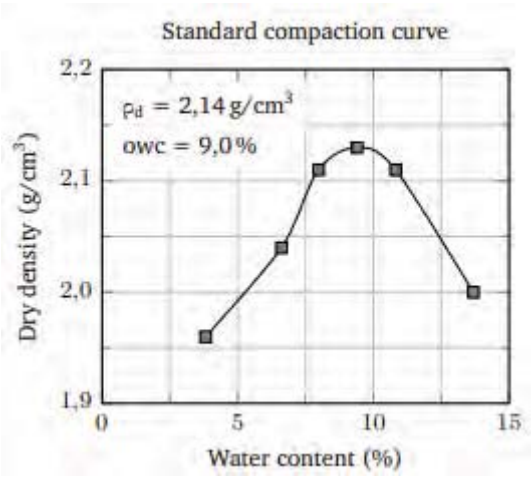
2. Materials

Not every soil qualifies as a base material for rammed earth. It requires some clay as binding agent, but not too much to avoid shrinkage. It requires a good mixture of gravel, sand and silt to create a strong and dense stabilizing framework. Yet, dry density is only optimal within a small range of water content. To satisfy all these requirements, the soil is characterized and subsequently engineered. From this engineered soil, eight rammed earth walls are produced for the TRM tests.
A similar engineering effort is performed on the mortars. Workability is improved, yet its strength and mechanical compatibility to the rammed earth wall is retained as much as possible. Of the tested mortars, one is selected for the TRM-compositions.
Earth. The soil used for rammed earth walls and earth-based mortar was collected from a quarry at Amoreiras-Gare in Alentejo, South-Portugal. This is an area where rammed earth construction has been utilized for centuries. Fig. 2 shows the particle size distribution of the soil in comparison with recommendations found in literature (WB Fuller 1907, Houben and Guillaud 1989) which ensure reduced shrinkage and suitable dry density, and thus a suitable compressive strength. The results show high content of clay and silk and low presence of sand and gravel fraction.



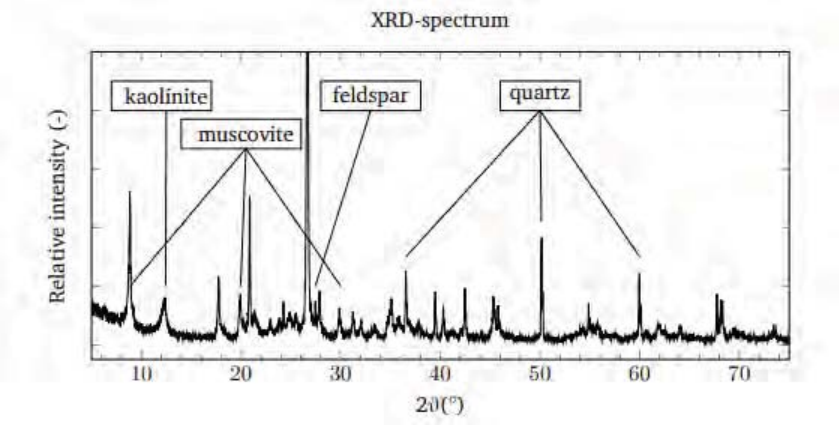
Figuur 2: Particle size distribution of the original soil and the corrected mixture

To meet the requirements found in literature, the base soil is subsequently engineered by volume mixing 40% of the base soil with 35% sand and 25% gravel (Mixture in fig. 2).
Construction of rammed earth walls requires the use of earth with the right water content. Too much water in the “voids” prevents the earth from compacting during ramming. Too low a water content increases particle friction which leads to an insufficient compaction rate during the ramming process. The optimal water content was determined in the lab by means of the Proctor compaction test (LNEC E197). As the purpose is to investigate traditional rammed earth walls manually compacted, a manual Proctor test was conducted.
Six specimens were compacted with different water content and their dry density was assessed. The compaction curve of the measurements is shown in fig. 3. A range of dry density between 2,10 g/cm³ and 2,20 g/cm³ guarantees suitable compressive strength of rammed earth elements. The dry density of the soil mixture is 2,14 g/cm³ for an optimal water content (OWC) of around 9%.



Figuur 3: Standard Proctor test according to LNEC E197 standard

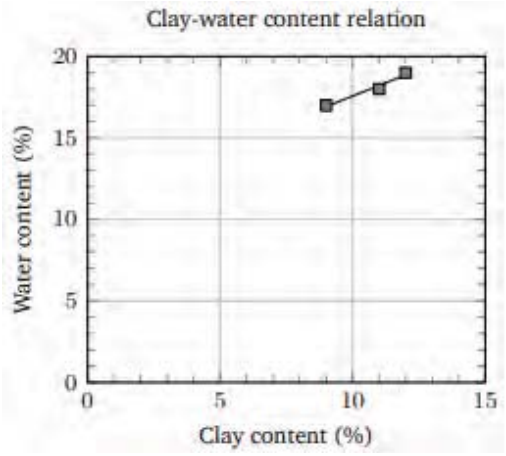
Clay is vital to the strength and bonding of the mixture. However, swelling clays are known to induce cracks during drying. Rammed earth walls may lose their strength as a result. To investigate the type of clays in the mixture, an X-ray diffraction (XRD) analysis is carried out on the soil using a Philips PW-1830 diffractometer. The analysis (fig. 4) shows the presence of quartz, mica (muscovite and goethite), feldspar (potassium feldspar and plagioclase), hematite and some traces of chlorite. The presence of hematite and goethite is consistent with the red-brownish colour of the soil. None of the detected minerals are known as swelling clays (Velde, 2008). Only muscovite, which is related to the illite group of clays, shows mild expansion under wetting. The lack of expansive clays makes the appearance of cracks during the drying process of the rammed earth walls less probable.
A methylene blue test was used to validate the XRD results. With a clay activity index of 4.5 g/kg, the soil can be classified as a class 3 soil or “soil with a not very active clay fraction”, according to the classification of Lautrin (1989).



Figuur 4: XRD-spectrum of the fine grain fraction of the soil mixture

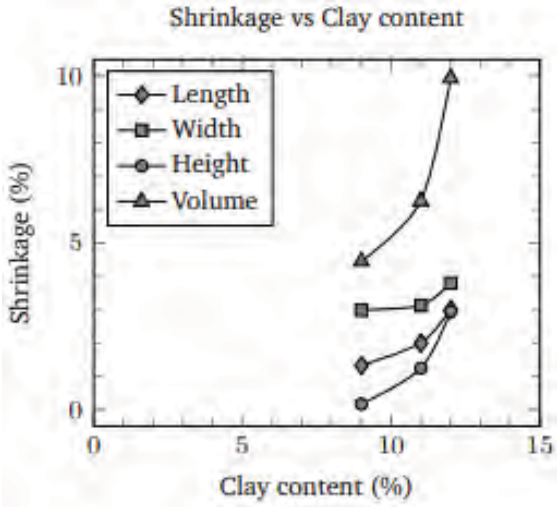
In summary, a soil mixture has been engineered that is suitable for the production of rammed earth walls. The particle size distribution is in line with recommendations and no major swelling clays are present. The compaction rate and optimal water content correspond to literature, reducing the risks of cracking and instability. Further tests on the consistency, specific gravity and mechanical characteristics confirm results set in literature (Van Gorp, 2018).
Mortar. A successful TRM mortar has the capacity to transfer stress between the wall and the textile. It is compatible with heritage rammed earth so that a strong adhesion is guaranteed, even in the case of retrofitting. Compatibility with heritage buildings implies the use of an

unsterilized earth mortar. No additives should be considered. So, only clay will be used as a binding agent. Stronger earth mortars typically have a higher clay content which increases the risk of drying cracks. The balance between strength and compatibility is essential in identifying a compatible mortar.
Three earth-based mortars were prepared using the same base soil as used for the rammed earth. However, only the material with a grain size smaller than 2 mm is considered here. Each mortar consists of a different ratio of soil and fine sand, to reduce the clay content of the mixture.
According to Gomes (2013), workability is controlled by adding water to the sand-soil mixture. It is prioritized over other parameters, as it is an indespensable quality of any mortar. The results can be found in fig. 5.
Mortars with a higher soil/sand ratio require a higher water content to reach optimal workability. Mortars with lower water content are preferred as they are less vulnerable to cracking as a result of shrinkage.



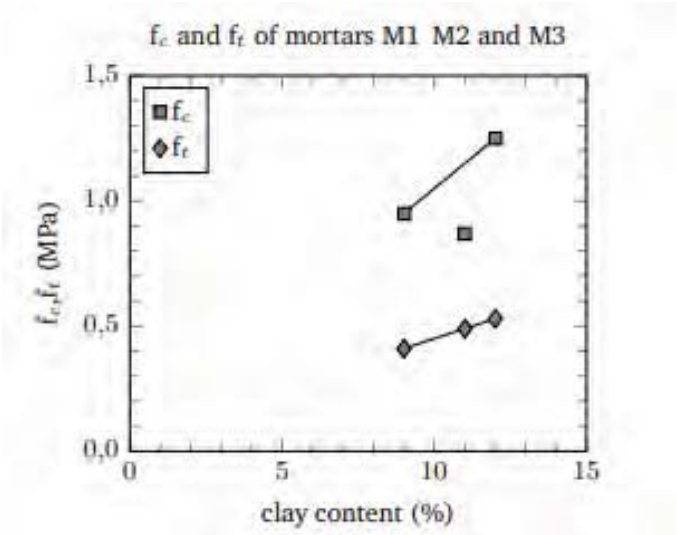
Figuur 5: Clay content vs water content for three mortars for optimal workability

The Alcock test was conducted to evaluate the linear shrinkage of mortar beams and results are depicted in fig. 6. Aside from the length, the volumetric shrinkage and shrinkage of the height and width are also measured. However, the results show immediately that the shrinkage of the length is not representative for the other dimensions. The mortar with the highest clay content was not considered for further testing, as its linear shrinkage levels do not meet the maximum linear shrinkage value of 2%, as suggested in literature by Gomes (2013).



Figuur 6: Linear and volumetric shrinkage for several mortars

The shrinkage values show a dependency on the clay content. As expected, shrinkage is larger for mortars with a larger clay content. The effect is especially noticeable in the volumetric shrinkage. A change in clay content of 2% results in a doubling of the volumetric shrinkage.
Finally, the compressive (f_c) and flexural strength (f_t) of the mortar specimens were assessed according to the EN 1015-11 standard using a LLOYD instruments automatic press LR 50K Plus. Test results are reported in fig. 7. Both strengths increase with the clay content of the mortar. The mortar with the highest clay content presented the highest compressive strength, as expected. Similar results are found in Barroso (2017), where a direct correlation between compressive strength and clay content was observed. The flexural strength is about half of the compressive strength, which is in line with expectations.
In order to avoid premature cracking in the TRM, the mortar for strengthening was selected fixing a threshold of linear shrinkage of 2%, making mixture M1 the most sensible choice, while also presenting the most suitable mechanical strength.



Figuur 7: Compressive strength (f_c) and tensile strength (f_t) values of mortars against clay content

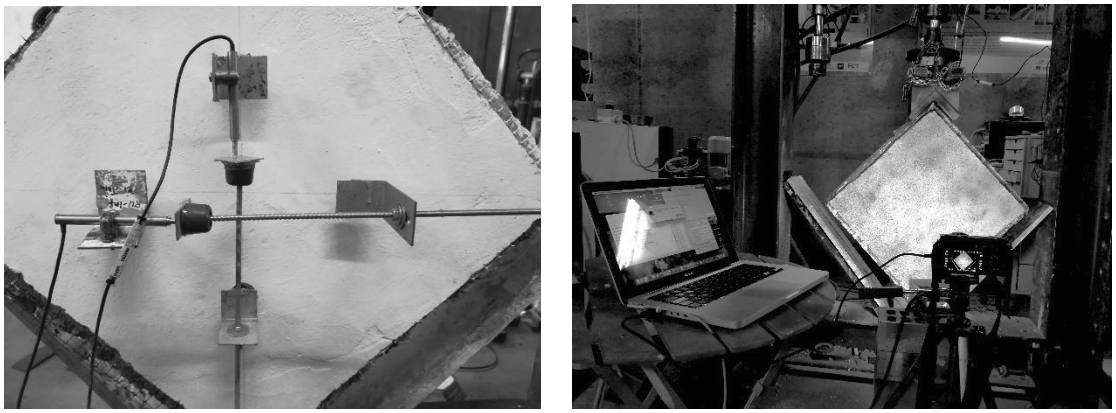
3. Diagonal Compression Tests

Shear stress is an important component through which earthquakes damage walls. It therefore makes sense to investigate how new and existing rammed earth buildings can be improved to better withstand earthquakes. Previously, we explained how to engineer and test a soil mixture, suitable for the construction of rammed earth walls. Next to this, a mortar was tested, envisioning an improved protection of the walls when subjected to in-plane shear stress. In this chapter, these materials are used to build eight rammed earth walls. Three were reinforced with a glass-fibre based TRM (GRE), two with a nylon-based TRM (NRE), while three walls remained unreinforced (URE). The in-plane shear stress was generated as part of a diagonal compression test (ASTM E519-02, 2003). Measurement results were obtained through LVDT and control-unit readings. In addition, a digital image correlation (DIC) measurement technique was used to monitor displacements and cracks across the wall's surface.
Preparation. The laboratory-based production of TRM-reinforced rammed earth samples should reflect the on-site construction technique of rammed earth walls for test results to be meaningful and transposable. For this reason, a manual hand rammer was employed and the specimens had a minimum size (550x550x200 mm) so that size effects could be excluded.

The mixture was prepared considering the geotechnical analysis discussed in the previous section. The mixture was manually rammed into a wooden formwork (fig. 8a). The wallet consisted of nine layers, having thickness of about 61 mm each after compaction.
After a drying period of 28 days, the TRM was applied on both the surfaces of the rammed earth walls. A first layer was applied roughly to the wall (fig. 8b). Subsequently, the textile mesh was impregnated in the mortar setting the principal direction of the mesh perpendicular to the direction of the layers (fig. 8c). Finally, a second layer of mortar was applied (fig. 8c). After the application of the TRM, the specimens were stored to cure for a period of 28 days in laboratory conditions.

Figuur 8: (a) Casting of RE wallet; (b) First layer of earth-based mortar; (c) Embedding of the mesh

Set-up. The diagonal compression test is used to study deformations of the wall that is loaded on one of its diagonals. Besides information about the different response phases and the failure mode, visual observation renders information about the origin and evolution of cracks. Before the specimen is put into the test set-up, it is painted white on both sides. In this way the development of the cracks throughout the test are easier to observe. After the drying process, one side is again painted, this time with black and white spray cans. The black and white dots render a fine speckle pattern on the surface which the DIC software needs to correlate images throughout the test to quantify deformations of the specimen.
The specimen was set diagonally on a steel support. Special care was taken to ensure a uniform contact and perfect alignment of the specimen with the displacement of the actuator. The displacements were recorded by two LVTDs set along the horizontal and vertical diagonal of one surface of the wallet (fig. 9a). Further digital image correlation (DIC) was implemented on the free surface. The stochastic pattern was created with black spots on white background and the frames were taken each 10 seconds (fig. 9b).
Results. The density of the rammed earth walls (ρ_{RE}), water content (WC%), maximum shear stress (S_S), maximum shear strain (γ) and shear modulus (G) are reported in table 1.
The average shear strength of the unreinforced walls (URE) is around 0,08 MPa. An improvement of the average found for the strengthened walls, namely 0,10 MPa for GRE and 0,09 MPa for the NRE. Silva (2013) reported an average maximum shear strength of 0,15 MPa for unreinforced walls compacted with a pneumatic hammer, resulting in a higher density and compaction.



Figuur 9: (a) Set-up of the diagonal compression test; (b) DIC equipment

The same trend is visible for the shear strain γ and shear modulus G. A decrease of 40% and 50% is found comparing the maximum shear strain of the unstrengthened wall with the ones calculated for glass fibre and nylon strengthened walls, respectively. Due to the reinforcement, the walls seem less easily deformed. The results for the shear modulus are less clear. An on average higher G is found for the URE. However, these differences all lay within the standard deviation. Due to a faulty measure in the vertical LVDT, the G modulus could not be calculated for NRE2. Silva (2013) reports a shear modulus of 570 MPA and 709 MPa for URE-walls. As noted above, these higher values are to be expected given the different compaction parameters during construction.

Figure 10 shows the shear stress-strain curves of the walls. Due to non-coherent measurements of the LVDTs, some of the curves are cut reporting the reliable data.

In case of URE walls, after an elastic response characterized by the cohesion of the clay fraction, the peak stress is achieved as result from interlocking and friction of the larger particles. Sometimes a second peak is registered. This is attributed to a more severe interlocking of the larger particles. After the peak load, a large plateau is visible.

In case of strengthened rammed earth, the shear modulus is lower and the shear strength is reached for a much larger strain. Thus, the TRM improves the deformation capacity of the rammed earth. A bigger displacement is now allowed before failure. Not only does this influence the pre-peak behaviour of rammed earth, it also has an effect on what happens after the peak stress load. After peak load, the wallet does not only have to rely on the internal contribution, but also on the stress-tensing of the TRM. The different reactions of the nylon and glass fibre are discussed in the next section.

Table 2 depicts the failure surfaces and failure modes of three samples of the tested walls that are representative for each of the wall types. Further comments are provided on visual inspections of the cracks. Similar cracks propagate throughout the wall irrespective of the reinforcement. A diagonal crack, through the different layers, occurs along the same direction of the applied load. When the load on the wall becomes too large, internal forces are not able to contain the failure of the element. The wall is broken into two pieces. This crack and failure mode is visible in all walls and is to be expected, as the test is designed to assess the shear behaviour with diagonal shear cracking as result. Sliding failure between the layers was feared. However, the bond between the layers proved to be sufficiently strong and not a dominant factor in the failure modes.

Following characteristics are observed only in the TRM-reinforced walls. First, instead of a complete failure and split into two parts, the textile holds the two parts of the wall together after the crack, proving the value of the system. Not only does the system make the wall less brittle, it also prevents it from failing completely. This can be a crucial feature during earthquakes. However, this theory should first be proven in field conditions.

Table 1: Results of diagonal compression test

(a) Results URE

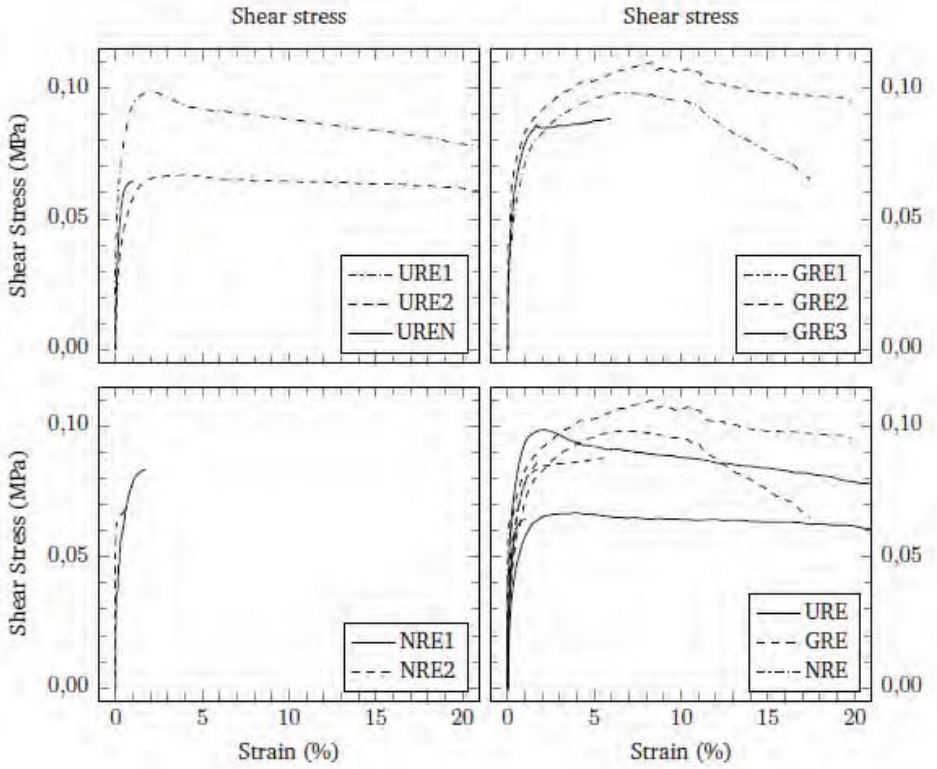
Wallet		URE1	URE2	UREN	Mean
wc	(%)	8,61	9,49	10,38	9,5±0,9
$\rho_{d,RE}$	(g/cm^3)	2,13	2,15	2,02	2,1±0,07
$S_{S,max}$	(MPa)	0,10	0,07	0,08	0,08±0,02
γ	(-)	0,12	0,12	0,07	0,10±0,03
G	(MPa)	380	131	212	241±127

(b) Results GRE

Wallet		GRE1	GRE2	GRE3	Mean
wc	(%)	9,51	8,47	9,52	9,2±0,96
$\rho_{d,RE}$	(g/cm^3)	2,08	2,08	2,14	2,1±0,03
$S_{S,max}$	(MPa)	0,10	0,11	0,09	0,10±0,01
γ	(-)	0,06	0,09	0,02	0,06±0,03
G	(MPa)	99	162	198	153±50

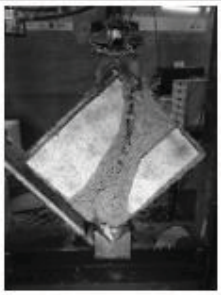
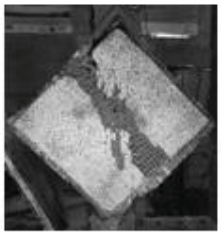
(c) Results NRE

Wallet		NRE1	NRE2	Mean
wc	(%)	9,60	9,63	9,62±0,02
$\rho_{d,RE}$	(g/cm^3)	2,11	2,14	2,13±0,02
$S_{S,max}$	(MPa)	0,094	0,082	0,088±0,008
γ	(-)	0,04	0,06	0,05±0,02
G	(MPa)	154	-	154±50



Figuur 10: Shear stress - shear strain curves for a) unstrengthened walls (URE); b) strengthened walls with glass fibre based TRM (GRE) and c) walls strengthened with nylon based TRM (NRE).

Table 2: Failure modes of 3 of the tested specimens

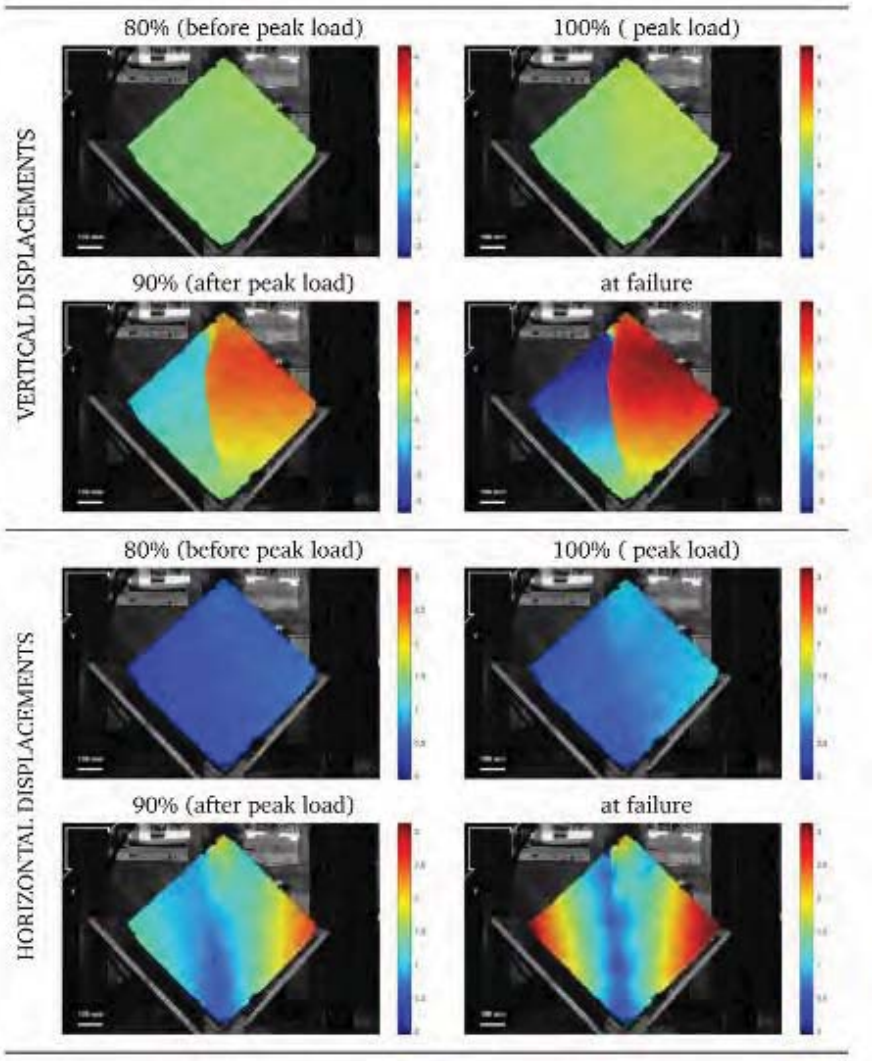
Wall	Failure mode		G	Comments
URE2			131	Main failure crack across all layers in direction of applied load. Cracks visible along main diagonal, side corners do not participate. Friction forces cause destruction of specimen. Shear cracks between layers visible after peak load.
GRE1			99	Main failure crack across all layers in direction of applied load. Crack pattern scattered. Friction forces cause destruction of specimen. Shear cracks between layers visible after peak load. TRM holds two halves together, also after completion of crack. Mortar detached.
NRE2			-	Main failure crack across all layers in direction of applied load. Crack pattern very scattered. Better distribution. Friction forces cause destruction of specimen. Multiple bigger shear cracks between layers visible after peak load. TRM holds two halves together, also after crack completion. Mortar detached parallel to main crack.

After the peak shear strength has been reached, smaller cracks between the interface of the layers start to propagate. These cracks start from the edges and make way towards the middle. The interface between layers are known to be weak spots when the wall is subjected to tension, as is the case on the sides during testing. However, the cracks have little to do with the ultimate failure.

Further smaller cracks are visible next to the primary diagonal crack. They propagate in a way similar to the primary crack. The differences between the different walls are clearer here. While the secondary cracks are not present in case of the URE walls, they do disperse much more on the reinforced walls. This is due to the effect of the TRM-system, in particular in case of NRE specimens. In the URE-case, the main diagonal is subjected to most of the load-bearing. Thus, the load is barely passed on to the sides of the specimen. This is not the case for the reinforced walls where the TRM-system activates the entire surface of the wall, causing multiple cracks over the entire surface.

Tables 3, 4 and 5 show the crack patterns that were observed by means of digital image correlation for each wall at 80%, 90% and 100% of the maximum force. All displacements are in reference to the positions in the original picture. The formation of the main cracks starts in a similar way for every wall. As an increasing load is applied along the main diagonal of the wall, compression starts to occur. This results in a slightly downwards displacement of the top particles, clearly visible at 80% of the maximum load.

Table 3: DIC visualisation results for wall URE2

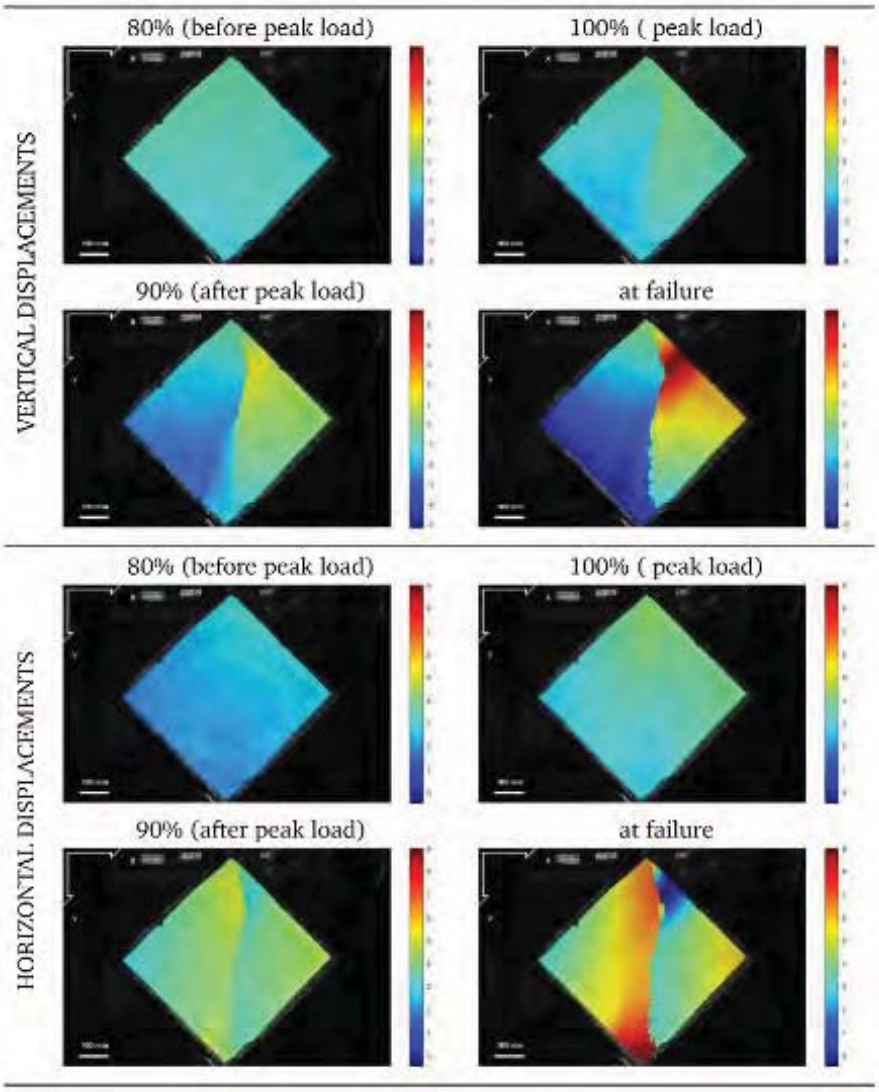


This compression gets more and more visible, as the load gets closer to the maximum peak load. At maximum peak load, the first signs of an eventual main crack become evident. This is definitely visible for the horizontal displacement. Left and right of the main diagonal, the particles start to move in the opposite direction, creating a crack. This horizontal outward displacement happens due to the compression of the particles in the vertical direction. It starts in the very middle of the wall and propagates along the horizontal diagonal; first to the top part of the wall, then to the bottom part. Even though the crack is not yet visible with the naked eye at peak load, it crosses the entire wall, developing to the edges next to the top and bottom support.

The main failure mode is similar for both the URE and RE walls. However, there are two differences. First of all, as stated previously, the TRM reduces the brittle behaviour of the wall, causing the peak load to occur at a later stage. This is clear in fig. 10. Secondly, the displacement and shear strain at peak load (as well as during the other loads) is higher for the reinforced than for the unreinforced walls, meaning that the TRM allows an improved non-elastic response of the wall.

After the peak load has been reached, larger differences between the URE and RE walls start to occur. As the wall is now completely cracked, the two parts of the wall start to behave independently. Due to the crack, the displacement around the crack remains 0 in the vertical direction for the URE walls.

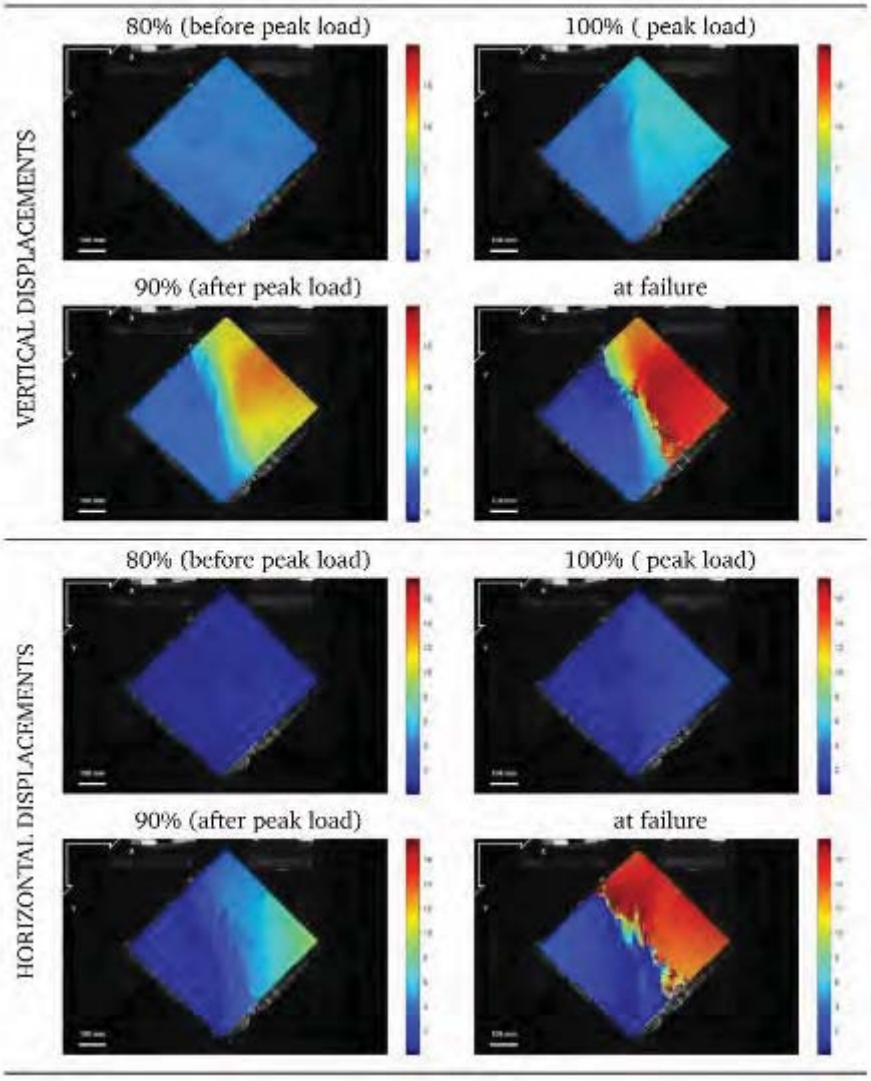
Table 4: DIC visualisation results for wall GRE1



However, large displacements take place in the horizontal direction. This behaviour is different for the RE walls. As the TRM tries to avoid the crack from propagating, the particles get activated immediately around the crack. This influences the displacements in both the vertical and horizontal direction. In the horizontal direction the displacement gets opposed by the TRM, resulting in smaller displacements not only in relative value, but also in severity. At 90% of the maximum load in the decreasing branch, the maximum displacement already gets reached in the middle of the URE walls. This is not so for the TRM-strengthened walls. In the vertical direction, a more uniform displacement is found, in contrast with the behaviour of the URM-walls.

For some walls, the delamination at the interfaces between the layers becomes visible at 90% of the maximum load. This only happens after the peak load has been reached, confirming the conclusions drawn while testing. The largest horizontal displacements normally happen at this stage. Note however, that these cracks are formed in a way different from the main crack. Instead of two particles traveling in a different direction, here only the size of the displacement between two particles changes, not the direction. These cracks only propagate under these horizontal displacements, as no vertical displacements occur.

Table 5: DIC visualisation results for wall NRE2



Lastly, a comparison has been made between the NRE and GRE specimens. As previously observed, the TRM-system in general has a positive outcome on the displacement, brittleness and failure mode of rammed earth walls. Instead of a sudden failure, a more gradually deterioration is observed. Still, there exists also some textile-specific behaviour.
The shear modulus G shows almost no difference between the NRE and GRE mortars. One can conclude that there is little difference in rigidity and stiffness of the total structure. A similar result is found for the shear strain. The maximum shear strain seems higher in the GRE walls, but all differences are within standard deviation.
A different situation is observed for the cracks and failure modes of the reinforced walls. While the NRE walls have a more spread-out crack pattern, the cracks at the GRE walls are more concentrated in the centre area of the wall. Not only does the pattern itself changes, also the width and length of the cracks are different. While the cracks appear to be smaller, but higher in number for the NRE, they are bigger and fewer for the GRE. This phenomenon shows that there indeed is a difference in the distribution of the forces. It suggests that the nylon mesh helps to better distribute the forces to the sides of the wall, resulting in a more active behaviour of the entire wall. The opposite could be in effect for the glass fibre meshes. As the cracks in the centre part of the wall grow, the development of the distribution of the forces is stopped.
When looking at the final failure modes, this theory is confirmed. While the NRE walls have only a slight detachment of the mortar, this phenomenon is much more present for the GRE

walls. Important to point out here is the location where the detachment takes place. For both types of reinforced walls this happens between the mortar interface and the textile. Two conclusions can be made from this: 1. The bond between the mortar and the rammed earth substrate is sufficient. Not once did the strengthening system detach from the substrate; 2. The displacements in the rammed earth are not the direct reason for the detachment of the mortar, as far less cracks are visible on this inner mortar layer.
The resulting cracks seen on the surface are propagated due to the forces set on the matrix. These forces are passed on from the displacement of the rammed earth and mortar due to the load set on the rammed earth. As the mortar and rammed earth are both compressible, cracks are not formed yet in the beginning. However, due to these forces, the matrix is pulled into a stretched state, weakening the bond between the mortar and the matrix, resulting in the detachment of the mortar layer. As glass fibre is the stiffer material, this phenomenon will take place on a bigger scale. For nylon this is only localized. Even though the TRM reduces the brittleness of the rammed earth, as shown before, it does not prevent the failure mode of the rammed earth to occur. The layer of mortar between the textile and the rammed earth will behave similar to the rammed earth. The main crack will propagate through the rammed earth, starting from the top, retaining the mortar from distributing the forces through the entire wall.

4. Conclusions

This paper addresses the topic of the strengthening of rammed earth constructions by means of a textile reinforced mortar. Eight rammed earth walls were produced and strengthened to test their in-plane behaviour by means of a diagonal compression test. In so, knowledge could be developed regarding TRM as a strengthening technique.
Firstly, a geotechnical analysis was conducted on the soil. This knowledge was used to engineer the soil and make it more suitable for the rammed earth technique.
After the investigation of the characteristics of the materials, the walls were manually compacted and tested. The results indicate that the use of TRM provides an improvement in the non-linear behaviour of the walls, while the average shear strength is enhanced up to 25%. Furthermore, the crack pattern highlighted the capacity of the TRM to spread the force after achieving the peak load, in particular in case of NRE.
Finally, a comparison was made between the two textiles. It can be concluded that the nylon mesh delivered slightly better results in terms of the compatibility with the substrate, than the glass fibre mesh. Due to the stiffness of the matrix, a more active surface was reached, resulting in a better distributions of the forces.

5. Bibliography

[1] Aaberg-Jorgenson, J. (2000). Clan Homes in Fuijan. Arkitekten, 28, 2-9.
[2] ASTM (2003). ASTM E 519 – 02: Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages. American Society for Testing and Materials, West-Conshohocken, PA, United States of America.
[3] Barroso, C.A. (2017). Reforço Sísmico Inovador de Construção de Taipa. MSc Thesis, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal (in Portuguese).
[4] Bernat-Maso, E. (2013). Analysis of unreinforced and TRM-strengthened brick masonry walls subjected to eccentric axial load. PhD Thesis, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain.
[5] Bui, Q.B. et al. (2009). Durability of rammed earth walls exposed for 20 years to natural weathering. Building and Environment, 44(5), 912-919.
[6] Calderini, C., Cattari, S. & Lagomarsino, S. (2010). The use of the diagonal compression test to identify the shear mechanical parameters of masonry. Construction and Building Materials, 24(5), 677-685.

[7] De Santis, S. & De Felice, G. (2015). Tensile behaviour of mortar-based composites for externally bonded reinforcement systems. Composites Part B, 68, 401-413.
[8] Fuller, W.B. & Thompson, S.E. (1907). The Laws of Proportioning Concrete. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 67-143.
[9] Gomes, M. I., Gonçalves, T. D. & Faria, P. (2013). The compatibility of earth-based repair mortars with rammed earth substrates. 3rd Historic Mortars Conference, Glasgow, Scotland.
[10] Houben, H. & Guillaud, H. (1989). Earth construction: A comprehensive guide. Intermediate Technology Publications, London, United Kingdom.
[11] Jaquin, P.A. (2012). Influence of Arabic and Chinese Rammed Earth Techniques in the Himalayan Region. Sustainability 4, 2650-2660.
[12] Jaquin, P.A., Augarde, C.E. and Gerrard, C.M. (2008). Chronological Description of the Spatial Development of Rammed Earth Techniques. International Journal of Architectural Heritage, 2(4), 377-400.
[13] Lautrin, D. (1989). Utilization pratique des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans le projets de génie civil. Bulletin des Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 160, 29-41.
[14] Minke, G. (2006). Building with earth: Design and technology of a sustainable architecture. BirkhäusePublishers for Architecture, Basel-Berlin-Boston.
[15] Oliveira, D. et al (2017). Characterization of a Compatible Low Cost Strengthening Solution Based on the TRM Technique for Rammed Earth. Key Engineering Materials, 747, 150-157. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.747.150.
[16] Pacheco-Torgal, F. & Jalali, S. (2012). Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction. Construction and Building Materials, 29, 512-519.
[17] Papanicolaou, C., et al. (2007). Textile-reinforced mortar (TRM) versus FRP as strengthening material of URM walls: In-plane cyclic loading. Materials and Structures, 40(10), 1081-1097.
[18] Silva, R. (2013). Repair of Earth Constructions by Means of Grout Injection. PhD thesis, Universidade do Minho, Departemento de Engenharia Civil, Guimarães, Portugal.
[19] Van Gorp, M. (2018). Experimental Study of the In-plane Behaviour of Rammed Earth, Strengthened with TRM. MSc Thesis, KU Leuven.
[20] Velde, B. (2008). Clay Minerals. Terra Literature Review – An Overview of research in earthen architecture conservation, 1-7.
[21] Venkatarama, R. & Prasanna, K. (2010). Embodied energy in cement stabilised rammed earth walls. Energy & Buildings, 42(3), 380-385.
[22] Warren, J. (1999). Conservation of Earth Structures. Butterworth-Heinemann, Oxford, United Kingdom.

DEEL 2

A co-evolutionary approach as the theoretical foundation of planned conservation of built cultural heritage

S. Della Torre
Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano, Milan, Italy

1 INTRODUCTION

Even if consisting of several research streams developed on different premises and in different cultural contexts, it is by now possible to acknowledge the existence of one movement for the preventive conservation of cultural heritage, thanks to reflections and comparisons developed through almost two decades.

Reviewing the output of these years, the recurrence emerges of some themes, which are characteristics the subject: the importance of regular maintenance, the making of inspections carried out following the Monumentenwacht model, the information management, the engagement of owners and users [1]. However, evident the progressive widening of the discourse is also evident, as the analyses went deeper in the investigation of issues and biases. It has been realized that in all the fields, in which prevention is central, strategies are implemented with a systemic approach, not limited to standing alone actions.

The thought on preventive conservation had therefore to widen its horizon, particularly to the issues of management and societal concerns. Therefore, social and economic impacts have been studied under the planning perspective, reasoning no longer on single activities and phases of the conservation process, but in holistic and systemic terms [2], developing the discourse on economic and societal impacts [3, 4] and on community involvement [5]. Besides the awareness that fundamental benefits are produced by heritage-related activities thanks to the connection they are capable to create, the reference to time emerged as the general key of the discourse. Namely the reference is to the long term perspective, that is *la longue durée* of built cultural heritage: in this vision planning takes place, and the benefits of prevention come to reality.

2 CONSERVATION AS A COEVOLUTION PROCESS

2.1 *The metaphor of Coevolution*

The conservation of a building cannot be simplified taking into account only few of the many dimensions of its complexity: any innovation would fail, if implemented without the awareness of the systemic nexus. All the relevant issues have to be considered, such as traditional craftsmanship and new technologies, the engagement of communities, the compatibility of uses, the management of resources, and the economic convenience of timely intervention.

The discussion on time is a key factor to renovate the scientific discourse on all the above listed topics. The mental attitude of people thinking in preventive terms is not concentrated on the link of the present to the past, but the future time is considered, in terms of aims of the actions as well as in terms of probability of the events.

A mighty metaphor that helps to deal with these issues is Coevolution, as I proposed just 20 years ago referring to the cognitive step “from being to becoming” [6]. Coevolution is a metaphor coming from biology science, related to Darwinian processes affecting species, which have strong relationships with each other. Coevolutionary models have been applied outside the biology field. The implementation in history and archaeology to explain trends and changes was quite obvious, as it was a way to enrich the understanding of evolutions process, in which the Darwinian thinking could clearly help [7]. More similar to the problem we deal with has been the implementation in economics, aiming at the development of models for change management and innovation [8]. These studies try to understand changes as results of forces often antagonist to each other, and of events that sometimes are definitely random, and can produce consequences or not. The analysis of these studies is more productive, as far we realize that preventive conservation is an innovation, and its implementation is a challenge for change management. It is worthy notice that Coevolutionary Economy has been inspiring for modeling preventive conservation as a system [9].

The proposed implementation of a coevolutionary approach aims at enlightening the potential influence that the presence of heritage produces on environment and society. This metaphor implies giving to coevolving objects a (metaphorical) condition of living beings, maybe absurd for showcased things, but no so strange for the complexity of an inhabited building, whose performance depends on socio-cultural pro-

cesses. Referring to the concept of "extended evolution", as introduced by Laubichler and Renn [10], Niles and Roth treat traditional agriculture landscapes as living knowledge systems, to be conserved not as relics, but as resources for development through the interaction with new societal processes [11]. They observe that preservation of cultural heritage looks simpler than it is the case for agricultural landscapes: we propose that built cultural heritage as well should be understood as a living knowledge system. That is the way we give a theoretical foundation to the discussion about traditional practices vs. new technologies, which should not be dealt with as a matter of ideologies, but as an amazing opportunity for a coevolution work [12].

2.2 *The impact on practices*

A coevolutionary approach implies a change throughout the preservation agenda.

The key step from the restoration as event to conservation as a continuous process triggered the relaunch of the ISCARSAH scheme as a cyclic process [13], but it has been also synthetized in the claim "from cure to care". A more scientific approach to conservation can be effective, but it risks to turn into a mechanical process of remedial actions against decay, losing not only the control on the implications of prevention and maintenance, but also the real impact of routine operations unable to take into account the uniqueness of historic-material contexts. Instead, a care-oriented approach deals with objects as living beings, carrying their own individual stories and destined to have trajectories through time, in which the Becoming enhances their significance. The awareness of this cultural foundation, derived from the concept of coevolution, changes the operational attitudes, even in inspections and assessment.

Through the dialogue with preventive conservation as developed in the museum field [14], the topic of risk management has been transferred into the preventive conservation of built environment. A subtle difference can be underscored between this approach and the typical attitudes developed from the restoration practices. While the restorer tends to set up the remedial measures against what has already happened, the prevention specialist looks forward to guess what is next to happen, focusing on the causes. A popular didactic example, used to explain this difference, is the alternative between looking at the current state of conservation of the picture, or at the quality of the light produced by the lamp. It is a change of mental attitude, which already has been codified for museums, in terms of standards, procedures, required skills.

The step from cure to care involves the different relationships between the historic building and its context. It is worthy to remark that this relationship is no longer unidirectional and merely adaptive in coevolutionary perspective, because the presence of the historic object influences the cultural, social, and economic development of the context. This can happen through different mechanisms: heritage can produce an effect on feelings, can have an inspirational action, can give limits but also directions to spatial planning, and so on. In some cases, these effects are produced in a spontaneous way and sometimes inadvertently, in other cases the presence of heritage can become an opportunity to develop projects aimed at enhancing the resilience and sustainability of regions. That is why coevolution means much more than adaptation, as it includes a positive attitude.

The consequent proposal of substitutimg the risk assessment to the traditional synthetic evaluations of urgency has not been directly translated into the most popular guidelines, but it was a fundamental conceptual step from maintenance thought as small restoration to prevention recognized as an autonomous managerial practice [15].

In 2018 in Italy as well the Preventive Conservation movement had the opportunity to celebrate the ten years of the Conservazione Programmata calls issued by Fondazione Cariplo [16]. Looking at the different editions of this initiative, which made many pilot projects possible involving an important number of technicians, owners, users and contractors, it is worthy notice that in the last years the emphasis was moved from works to prevention, taking into account also big hazards, and raising awareness on the priority of prevention in a seismic country like the Italian peninsula.

Long-term thinking should entail a radical change in financial evaluations as well. Some researches on maintenance programs pointed out that owners are not willing to anticipate expenses for benefits, which are expected far in the future [17]. Even if the consensus about the convenience of preventive attitudes is unanimous on paper, described behaviours are generally unresponsive, as practitioners seem to be not interested in predictive cost analysis, and decision makers tend to underestimate big hazards, not investing enough in the prevention of floods or earthquakes. In terms of behavioural economy, such unresponsive attitudes are not surprising: they cannot be addressed by plain regulation [18], and both empowerment and nudging are long-term strategies.

2.3 *Coevolutionary (more than adaptive) reuse*

Under the holistic perspective, planned conservation encompasses also post-intervention management. An architectural oeuvre can't be understood by sight only, but using and inhabiting it; use is necessary for valorisation and conservation, and most of the preservation effort concerns the compatibility and the reasonable changes required by the societal evolution.

Adaptive reuse has been recently proposed as an autonomous discipline, carried on in a short-term perspective with a "research by design" methodology, which encompasses the target of keeping and showing

a nonmaterial significance, understood once for ever and thought as a character of the place. The sense of place, in a coevolutionary perspective, is instead highly dynamic, as it emerges at any time from the meeting of the object with the percipient subject.

Changing the use is often a good solution for a better compatibility, as requirements are often evolving even for the same function, so that "the reinsertion of a new utility" [19] could require less alterations than complying with the enhanced requirements for keeping the old function. However, reuse projects should be carried on with the awareness that user experiences will often be unpredictable co-creation processes, as the society is diverse and evolving, so that no unilaterality is productive [20]. For this reason, it looks very naïve the will to translate the expert's interpretation into the restoration and reuse project, inspiring the design of a presentation of the reused facility that should communicate the significance of the place as stated once forever by the expert. This approach leads to simplify the historic complexity, reducing the diversity of the massages, which all together constitute the future dynamic significance of the place.

The unpredictable consistency of the experiences developed by the encounters of the historic substance and the variety of the public, is what coevolution means in terms of the nonmaterial inspiring value of historic places. In other words, coevolutionary approach confirms the step from the traditional expert-centred model, the expert being an historian or a designer, to a more user-centred, or community-centred model, based on the awareness that the significance is produced by a bit of co-creation, and maybe heritage can carry out its educational function only through the active engagement of the public.

3 CONCLUSIONS

Reasoning on Planned/Preventive Conservation and Coevolution enables not only to enhance change management practices, but also to understand better which is the object of the care. Beyond material authenticity and nonmaterial significance, which are both important, the ultimate target of preservation can be described as keeping the potentialities for coevolution.

In other words, conservation means to keep those features, which are relevant to the values that the heritage object will be able to produce in the future, thanks to the emergence of new relationships and co-creation processes, in which the presence of the past will empower freedom.

If this is the target, it will be important to remark also that its description in these terms has been possible rethinking the relationships between conservation and time, and this leads to the necessity of consistent and planned policies.

The point is that the shift from restoration as an event to conservation as a process, and the shift from the expert-centred to the user-centred approach are the two sides of the same medal, and support each other.

Figure 1 and 2. The apse of a Romanesque church transformed in a dwelling house in XVII c. The uniqueness of the balcony in the middle of the apse has not been appreciated by restorers, who decided to remove it in order to present a more regular architecture. In a coevolutionary perspective, however, the strange addition enhances freedom of future interpretations and uses. The balcony had to be conserved as a potentiality for future coevolution.

ACKNOWLEDGEMENTS

I want to thank Koen Van Balen for the effort produced to develop the concept of Preventive Conservation and to preach it worldwide; I want to affectionately remember Luigia Binda, who introduced us to each other and started our long lasting coevolution.

REFERENCES

[1] Van Balen K., Vandesande A. (Eds). Reflections on Preventive Conservation, Maintenance and Monitoring of Monuments and Sites, Acco, Leuven 2013
[2] Van Balen K., Vandesande A. (Eds). Innovative Built Heritage Models. 2018
[3] Cultural Heritage Counts for Europe, 2015. CHCfE Consortium. 2015. Retrieved from: http://bit.ly/2jERIwx
[4] Van Balen K., Vandesande A. (Eds). Heritage counts. Antwerp-Appeldoorn: Garant, 2016
[5] Van Balen K., Vandesande A. (Eds). Community involvement in heritage. . Antwerp-Appeldoorn: Garant, 2015
[6] Della Torre S. "Manutenzione o "Conservazione"? La sfida del passaggio dall'equilibrio al divenire. In Biscontin G., Driussi G. (Eds.), Ripensare alla manutenzione. Venezia: Arcadia Ricerche, 1999: 71-80
[7] Ames K., Archaeology, Style and the Theory of Coevolution. In Maschner H.D.G. (Ed.), Darwinian Archaeologies, edited by Herbert D.G.,New York: Plenum Press, 1996: 109-131
[8] van den Bergh J.C.J.M., Stagl S., Coevolution of economic behaviour and institutions: towards a theory of institutional change. Journal of Evolutionary Economics, 13, 2003: 289-317
[9] Vandesande A. Preventive Conservation Strategy for Built Heritage Aimed at Sustainable Management and Local Development. PhD. Dissertation, KU Leuven, 2017
[10] Laubichler M.D., Renn J. 2015. Extended evolution: A conceptual framework for integrating regulatory networks and niche construction. Journal of Experimental Zoology (Part B, Molecular and Developmental Evolution): 324 (7), 2015: 565-577.
[11] Niles D., Roth R. Conservation of Traditional Agriculture as Living Knowledge Systems, not Cultural Relics, Journal of Resources and Ecology, 7(3), 2016, 231-236
[12] Vandesande, A., Van Balen, K., Della Torre, S., Cardoso, F. Preventive and planned conservation as a new management approach for built heritage: from a physical health check to empowering communities and activating (lost) traditions for local sustainable development. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 2018, 8, 2: 78 – 81
[13] Van Balen K., Verstrynge E. (Eds), Structural Analysis of Historical Constructions – Anamnesis, diagnosis, therapy, controls, London, Taylor & Francis Group, 2016
[14] Staniforth S. (Ed). Historical Perspectives on Preventive Conservation. Los Angeles: Getty Conservation Institute. 2013
[15] Della Torre S. Preventiva, Integrata, Programmata: le Logiche Coevolutive della Conservazione. In: Biscontin G., Driussi G. (Eds.), Pensare La Prevenzione: Manufatti, Usi, Ambienti, Atti del Convegno, Venice: Arcadia Ricerche, 2010: 67-76
[16] Moioli R., Baldioli A. Dieci Anni di Conservazione Programmata, Quaderni dell'Osservatorio di Fondazione Cariplo, 29, 2018
[17] Dann N. Owners' attitude to maintenance, Context, 83, 2004: 14-16
[18] Alemanno A., Sibony A. (Eds.), Nudge and the Law: A European Perspective (Modern Studies in European Law), Oxford and Portland: Hart, 2015
[19] Rypkema D. Heritage Conservation and Property Values. In Licciardi G., Amirtahmasebi R. (Eds.), The economics of uniqueness. Investing in Historic City Cores and Cultural Heritage Assets for Sustainable Development, Washington, DC, The World Bank, 2012: 107-142
[20] Lagerkvist C. Empowerment and anger: learning how to share ownership of the museum. Museum and Society, 4 (2), 2006: 52-68

Preventive conservation of cultural heritage in changing environments

R. Kilian
Cultural Heritage Research, Fraunhofer Institute for Building Physics, Holzkirchen, Germany

1 INTRODUCTION

Preventive conservation has a long tradition both in the field of the protection of collections housed in historic buildings and in the museum world. Its principles have been applied long before it received its name and it developed into a specialization for conservators. The Manual of Housekeeping from the National Trust [1] is just one example that reflects a long tradition in England and worldwide to care for historic houses and collections.

Preventive conservation usually deals with indirect and non-invasive measures to better preserve historic artefacts. This means that concepts for preventive conservation will often consider buildings, building components or technical systems of buildings. Preventive measures therefor can interfere with historic building fabric and here the rules and regulations of heritage preservation have to be followed.

This is the one of the reasons why the WTA International now has brought to life a new technical commission dealing especially with “Preventive Conservation” in the context of building preservation.

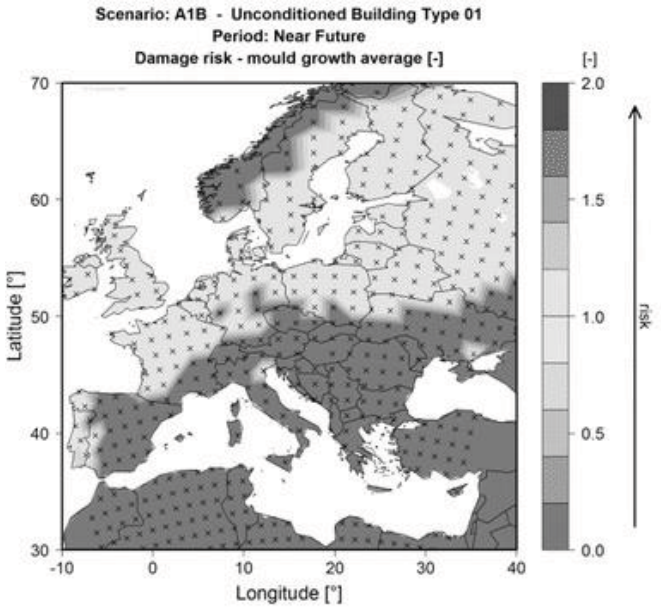
Furthermore the new WTA technical commission aims at compiling knowledge about damage processes and best practice approaches for their mitigation.

2 CHALLENGES FOR PREVENTIVE CONSERVATION

2.1 *Changing environments*

Our world constantly faces changes that impose challenges for conservation of historic sites. While in many places tight budgets limit possibilities for conservation measures in other areas we experience too extensive use. Cities like Avignon, Dubrovnik, Salzburg, Florence or San Gimignano, or prominent historic sites like Linderhof Palace in Bavaria, the Tower of London in England or Pompei in Italy face so many tourists during high season, that this “overtourism” provokes its own very specific problems.

Also historic buildings and museums are more and more used as event locations for so-called long nights of museums, concerts or other social events that



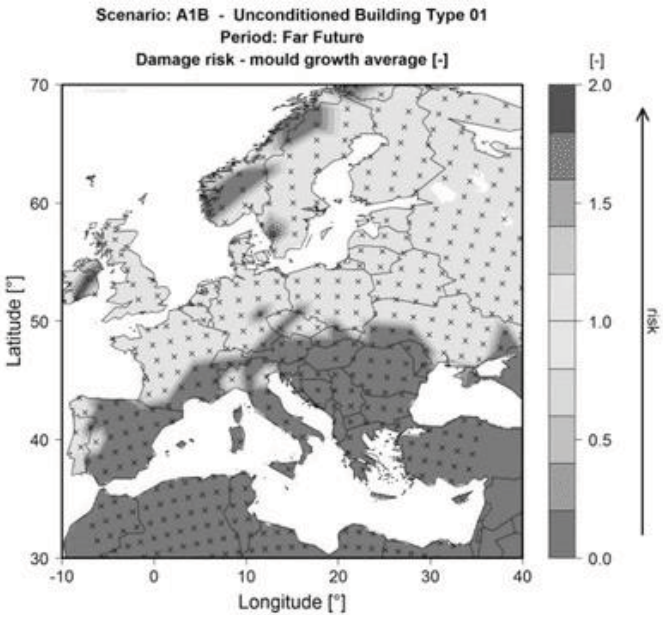


Figure 1. Global Climate Change will shift the regional distribution of certain phenomena like mould growth risk in historic buildings, but also stress from extreme weather events is projected to increase. The left map shows the average mould growths risk for a small, heavy weight building with low moisture buffering capacity in the near future (2020 – 2050), the right map for the far future (2070 – 2100). [2]

of course have an impact on the indoor environment, not to talk about security issues.

Another challenge that is currently very present and under broad discussion is Global Climate Change and its impact on cultural heritage [2]. It will not only change the regional distribution of our climate and in this context of certain damage phenomena like the mould growth risk in historic buildings (Fig. 1), but also pressure from extreme weather events is projected to increase. Here fitting mitigation measures have to be identified and put into practice. A growing attention to ecology at the same time motivates a deeper consideration of sustainability aspects in general.

2.2 *Learning from history*

In the 20th century standards for indoor climate in museums and historic buildings usually gave strict numbers to define an optimum climate, sometimes for the general preservation of collections, sometimes for singular objects or certain materials. In reality, these optimum values and conditions are reached and maintained only by very few institutions [3] that invest much effort and energy in the care for their collections. Of course this is desirable, but reality is often different and we have to tackle many limiting factors and obstacles. So the question is not only what the optimum climate is, but what works of art can actually tolerate and what we can learn about that from their history (Fig. 2).

Changing the environment of an artefact that has been kept for decades or even centuries in a cold and humid historic building into a "perfect" museum climate may impose a lot of stress for materials and finally lead to mechanical damages. These considerations have led to the formulation of new standards (e.g. [4]) that put a focus on the conditions a work of art has been kept in, i.e. the "historic climate" and on its state of preservation.

Figure 2. From the way artefacts react in their current environment and from their climate history a lot can be learned about their durability and resistance to damage. Picture © Fraunhofer IBP.

However, these guidelines and standards still have certain limitations and therefor further research is needed to better understand the interactions between artefacts and their environment to improve risk assessment and to develop procedures for defining individual environmental recommendations for artefacts and whole collections.

2.3 *Future Work at WTA*

Currently the new WTA technical commission "Preventive Conservation" focusses mainly on different questions and requirements in regard to climate and climate stability in historic buildings for the long-term preservation of valuable collections and of the buildings themselves. [5] In the future many more pressing challenges for preventive conservation should be addressed like the more and more increasing threats from long lasting or extreme weather conditions (heat, storms, rain, snow, etc.). In this context future working groups from WTA will also discuss possible impact from Global Climate Change on heritage buildings and the collections they house and compile relevant mitigation strategies (Fig. 3).

Furthermore it is important to bring together necessary material science knowledge with mathematical, engineering and statistical competence to be able to better assess the dangers for cultural heritage objects and specific risks in relation to certain materials or damage processes.

It is therefore the explicit aim of the new WTA technical commission "Preventive Conservation" to address the manifold topics of conservation and restoration by including competences history of art, archaeology, building conservation, natural sciences as well as engineering and material sciences.

All relevant groups will be addressed and are invited to take part in the discussions and the drafting of new WTA guidelines as well as compiling the background on the state of knowledge in the field.

Among the future fields of work for the technical commission "Preventive Conservation" at WTA the following are under consideration:

- Conservation science and its application for durable preservation of cultural heritage objects
- Climate stability in museums and for collections in historic buildings
- Climate stability in archives and libraries
- Preventive measures in regional climate zones related to impacts from global climate change
- Effects of light on materials / light protection
- Air pollutants in historic interiors
- Mathematical and statistical methods for improved risk analysis

Figure 3. Which technical solutions are fitting for preventive conservation in historic buildings? Picture © Fraunhofer IBP.

- Preparedness and prevention of catastrophic events:
  1. Fire and lightning strike
  (in collaboration with the new WTA technical committee 11 „Fire Protection“)
  2. Natural disasters
- Emergency planning
- Maintenance and care for historic buildings and collections

3 CONCLUSIONS

Preventive Conservation remains a fully interdisciplinary area of expertise. To succeed in better preserving our cultural heritage in changing environments we need to include all relevant competences whenever possible.

The “Human Factor” plays a central role in this task. On the one hand in decision making, when different interest collide but mainly in the implementation of any preventative measures, because a concept will only work, when humans support it and put it into practice.

ACKNOWLEDGEMENTS

The research project “Nachhaltige Sanierung von Museen” has been funded by the German Ministry for Economy and Energy. The project “Sammlungen erhalten: Die Temperierung als Mittel der Präventiven Konservierung in Museen - Eine Bewertung” has been supported by the Volkswagen Foundation and the Ernst von Siemens Foundation. The “Climate for Culture” EU Project has received funding from the European Union’s Seventh Frame Work Programme for research, technological development and demonstration under the Grant Agreement No. 226973.

REFERENCES

[1] The National Trust: Manual of housekeeping. Care and conservation of collections in historic houses. Amsterdam 2006
[2] Leissner, J. Kilian, R. Kotova, L. Jacob, D. Broström, T. Ashley-Smith, J. Schellen, H. L. Martens, M. van Schijndel, J. Antretter, F. Winkler, M. Bertolin, C. Camuffo D. and Vyhlídal T.: Climate for Culture – Assessing the impact of climate change on the future indoor climate in historic buildings using simulations, in: Heritage Science, 2015, 3:38.
[3] Huckemann, V. Kilian, R. Klemm, L. Rösler, M. Werdin, H. und Hoppe, M.: „Museen nachhaltig sanieren. Kunstwerke schützen, Denkmäler erhalten, Energieeffizienz erreichen“. BINE Themeninfo II/2014. Sanierung von Gebäuden unter Denkmalschutz. Karlsruhe 2014.
[4] DIN EN 15757: Conservation of Cultural Property - Specifications for temperature and relative humidity to limit climate-induced mechanical damage in organic hygroscopic materials. 2010-12.
[5] Kilian, R. Holl, K. Hahn, O. and Garrecht, H.: „Präventive Konservierung – Ein neues Referat in der WTA“ in: Bausubstanz. Jahrgang 9 | Heft 6 (Dezember) 2018 : 46-49.

MDCS – a system for damage identification and monitoring

S. Naldini
Delft University of Technology, Dept. of Technology & Architecture, Delft, Netherlands

R. Van Hees
Delft University of Technology, Dept. of Technology & Architecture, Delft, Netherlands

R-kwadraat MonumentenAdvies

1 INTRODUCTION

Monitoring is key to conservation. Well-structured repeated inspections of a building allow to timely perceive the occurrence or increase of damage and to intervene preventing its further development. In the Netherlands the Monumentenwacht organisation works since the 1970's following this assumption [1]. Monitoring can be used for predicting the extent up to which an intervention can be postponed, or to assess risk. It is also fundamental for evaluating the effectiveness of an intervention, both at the level of the material and of the whole building.

Monitoring means in short to assess selected conditions or properties and repeat the measurement or observation over time in the same way to be able to make comparisons and draw conclusions. There are different types of monitoring, implying various skills and technologies: a clear definition of possibilities and limits of monitoring instruments and techniques is necessary to assign the correct value to the results. The Monument Diagnosis and Conservation System (MDCS) [2] supports visual investigations and monitoring. Possibilities of application of the system in running programmes on the heritage conservation in the Netherlands are explored. The contributions of MDCS to the ERM Guidelines for Quality in Restoration [3] and to the WTA TC 7 Working Group Damage Monitoring [4] are addressed.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

Visual monitoring is a means of controlling damage development. MDCS supports the user in documenting and monitoring the damage found in a monumental building. In this way citizens' involvement can be stimulated.

2.1 *MDCS*

MDCS is a support tool for carrying out condition assessments and monitoring of monumental buildings. Created in 1995 within an EU project [3] as a stand – alone digitalized system, MDCS has been developed into an online tool supported by the Cultural Heritage Agency of the Netherlands, TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) and the Faculty of Architecture of Delft University of Technology [3]. The system offers a method and the necessary information to carry out inspections on masonry and concrete monumental buildings, make hypotheses on the causes of damage found, control the hypotheses and come to a diagnosis. Conservation techniques are presented to support the interventions, when necessary. MDCS can be used on the spot for the identification of the damage found, insertion and elaboration of pictures to visually show the damage area.

2.2 *Visual inspection – damage identification*

MDCS includes Damage Atlases allowing a uniform identification of the damage found. Types of damage are presented at the level of building materials - brick - mortar - stone and concrete – and construction (structural damage). Focussing on materials used in masonry, damage may also concern their interaction (e.g. Loss of adhesion between substrate and plaster). Each type is furnished with a unique definition and is illustrated. The damage definitions are internationally known and have been used for the ICOMOS stone atlas [4]. They have been addressed in EU projects. The identification of damage following a common terminology is in fact fundamental for achieving an unequivocal exchange of information among users and as a basis for formulating hypotheses on the causes of damage. In this sense it should be noticed that in current practice different inspectors often use a different terminology, and the specification of damage is therefore often not consistent and not clear. A recurrent incorrect way of identifying damage is to use terms like 'frost damage' which do not describe the form of decay but include the (possible) cause. Damage processes possibly leading to the damage type found are suggested in MDCS, which need to be further assessed considering the circumstances under which damage has occurred. Another example concerns damage to pointing, which is often described as deteriorated or 'in bad condition' and on this basis repointing is (to be) made. The pictures below show different types of damage to point-

ing, which however need to be correctly identified [figure 1, 2]. The causes of the damage are different (swelling salts in the pointing resp. frost action in the bedding mortar behind), which need to be considered when planning the repointing.

Figure 1. Bursting – pointing (swelling salt)

Figure 2. Push out - pointing (frost damage)

2.3 *Monitoring*

MDCS allows visual monitoring of the development of damage and also of the effect of interventions. Figure 3 shows the visual monitoring of the damage to the plaster (and masonry) over 4.5 years time.

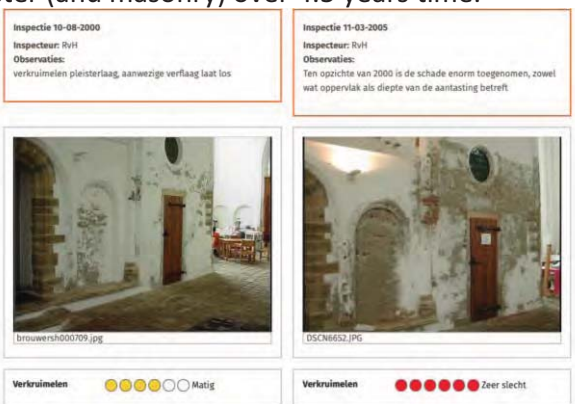


Figure 3. Monitoring of internal wall of a church. From left to right the development of the damage over 4.5 years

Monument owners can also perform MDCS visual monitoring. This can strongly encourage their active participation in conservation. Presently in the Netherlands many buildings of the Groningen Province show (structural) damage as a consequence of the earthquakes caused by gas extraction. A group of owners is prepared to learn how to identify and document the crack patterns and to perform measurements of the cracks, following given guidelines. After each shock, owners should perform monitoring, take pictures and measure width and extent of cracks.

On the national level, referring to MDCS can enhance uniformity in Monumentenwacht monitoring activities [7]. Controls of the correct use of ERM guidelines in interventions can support the Government programme on Professionalism, aiming at improving restoration quality [6].

On an international level, MDCS, being freely available and operating both in English and Dutch can be a useful instrument. It will for example as a visual monitoring system contribute to the work of WTA Technical Committee 7, working group on Damage Monitoring. Within the newly started CONSECH2 JPI project it will be implemented in the monitoring of specific aspects of historic concrete heritage buildings [8]; special attention will be paid to the involvement of volunteers in the care of historic concrete monuments.

3 CONCLUSIONS

- MDCS is an online tool meant to support the diagnosis of damage and the conservation of monumental buildings; it is also a strong tool for performing visual monitoring.
- MDCS allows a univocal identification of damage based on damage atlases, which guarantees an unmistaken communication among users and constitutes the necessary basis for monitoring.
- The MDCS terminology is to be used by Monumentenwacht for achieving uniformity in the inspections, and is addressed by the ERM Condition Assessment Guidelines.

REFERENCES

[1] On Monumentenwacht cf. 'Innovative Built Heritage Models', eds. K. van Balen & A. Vandesande, CRC Press / Balkema of the Taylor&Francis Group, Leiden 2018, 3, special issue of the 'Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development'

[2] https://mdcs.monumentenkennis.nl/

[3] ERM foundation (Quality Monument restoration) http://www.stichtingerm.nl/ (retrieved Jan. 2019)

[4] WTA – Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. TC 7, working group Damage Monitoring.

[5] https://www.monumentenkennis.nl (retrieved Jan. 2019)

[6] https://www.icomos.org/publications/monuments_and_sites/15/pdf/Monuments_and_Sites_15_ISCS_Glossary_Stone.pdfatlas

[7] The Project 'Monumentenwacht changes' with the Delft University of Technology started at the end of 2018

[8] CONSECH20 CONSErvation of 20th century concrete Cultural Heritage in urban changing environments

Applying Preventive Conservation in China's Conservation Background

J. Zhang
School of Archaeology and Museology, Peking University, China

B. Liu
Beijing WMWB Culture Technology co., Ltd, China

Q. Rong
School of Architecture, Southeast University, China

INTRODUCTION

Preventive conservation (PC) can be seen as the epitomes of the “scientific phase” in architectural conservation after the Venice Charter. The theme of this paper is to prospect the possible future application of PC in the context of diversity through the review of PC's development process, taking China as an example. It is mainly divided into three parts: First, this paper briefly reviews the progress of PC researches and practices in architectural heritage in an International level, in order to sort out the past and existing related organizations and their main activities (Section 1).

Second, by understanding relevant scholars' research and practice, this paper argues that the meaning of PC is more than "prevention" (Section 2).

In the last part, this paper shows an effort to apply PC ideas to China's conservation work in the form of working modules, in order to offer several reflections on PC's application in diverse policy, management and culture backgrounds (Section 3).

1 THE PROGRESS OF PREVENTIVE CONSERVATION RESEARCHES AND PRACTICES IN ARCHITECTURAL HERITAGE

"Preventive / Preventative" and "Planned / Programmed" imply the two main lines of development of PC theory. In the decades of PC's development, its theory and practice have yielded fruitful results. Particularly in the past decade, a large number of international research institutions and practical projects for PC of architectural heritage have constantly emerged. With the growth of theories in this field, many new methodologies and tools have also been developed.

This paper reviews the current major international institutions that carry out PC researches and practices (a distribution map has been given), the PC research and practice projects (the names of major projects in recent years has been listed), some tools developed by various countries in recent years (shown in a Table), and statistics on relevant research literature and international conferences since 1982 to early 2018. Through the above work, the development process and recent progress of PC research are briefly demonstrated.

2 THE CONNOTATION OF PREVENTIVE CONSERVATION IN THE FIELD OF BUILT HERITAGE

The connotation of PC is clarified in three levels: first, the difference of same-name concept between the field of architecture and other fields. It has already been clearly explained by Professor Koenraad van Balen. Second, the relationship between "PC" and "prevention", here can be referred to the discussions by Professor Salvador Muñoz Viñas et al. Third, the significance of environmental control for the PC in architectural heritage field. Cesare Brandi has given some keen insights of this point in his great work-Teoria del Restauro.

3 APPLYING PC IN CHINA'S ARCHITECTURAL CONSERVATION

By reviewing the development of PC, it can be seen that its technical method showed a remarkable rational color, and integrated various advances in the broader discipline of conservation theory and scientific field into its theories and practices.

Facing the transformation of the contemporary heritage conservation paradigm, while continuing the past research directions and focuses, how to accomplish related work effectively in more diverse cultural backgrounds is one of the important issues for the PC researchers and practitioners.

With reference to an example in China, we attempts to apply the concept of "PC" to China's conservation practices in the form of working modules, to offer several reflections on how to apply PC ideas in diverse policy, management and culture backgrounds.

Through the discussions of the previous two parts, the first understanding we have established is that the proposing of the concept PC in built heritage and researches and practices in this field was accompanied by

the development of modern conservation thoughts, especially since the Venice Charter. It is in this background that its theories and ethical basics reflect many characteristics of the specific times. Although the birth and development of this concept has an obvious "European DNA", the forward-looking features of the “preventive” idea based on a long-term vision and precautionary actions coincide closely with some historical characteristics and inherent requirements for the conservation and inheritance of Chinese architectural heritage. The scientific characteristics and conceptual connotations of PC discussed above are universal within the different cultural contexts. In other words, there are more common characteristics than differences.

Next, this paper summarizes several types of problems of the PC applications in China, and proposes that applying the PC theories and methods in the form of working modules could be an appropriate solution to these problems. The core tasks of PC such as risk assessment and vulnerability index evaluation can be refined and separately incorporated into the existing urban planning systems and management frames in the form of working modules. A case study of Changping, a district of Beijing is shown here.

In this case study, at the beginning, we carried out the risk survey table to conduct a preliminary risk assessment of the built heritage in the area, established data files, and proposed preliminary feedback of the risk levels through the panoramic aerial photography, 3D laser scanning technologies and non-destructive testing technologies. These records are combined with Internet service technology and database technology to store data in the cloud database, directly linked to subsequent regular monitoring, management, audio navigation, PC measures, sand table, query, update data, etc. The management departments and other related parties can also find these risk investigation records and PC data, panoramic VR data of the cultural heritage on the Internet. In the meanwhile, based on the Internet-based mapping system, a cloud map of built heritage distribution is established, so that the cloud map publishing template access link can be embedded in the commonly-used life, social network websites and APP such as Weibo and other mobile communication platforms. This function aims to improve the engagement with the public and encourage the community to participate in and support the PC and daily monitoring of cultural heritage. In the following step, the implementation of the assessment content and the requirements for subsequent management work are refined in the form of working module, so that the users, owners, and managers of each building are identified. We share the results of survey and recording work and lay down the regular checkup on the health condition of buildings and the risk investigation plan. The information on risk is collected and regularly compared.

By introducing Changping’s case, this paper points out that the form of the working module can be fitted in a more flexible approach according to the actual situation of each country. The results and requirements of each stage work can be implemented in this form according to the needs of national urban planning systems, conservation management systems and conservation policies, which could better implement PC in multicultural and pluralistic background.

Preventive conservation's contribution to the quality of built heritage

N. Van Roy, E. Verstrynge
Department of Civil Engineering, KU Leuven, Leuven, Belgium

K. Van Balen
Department of Civil Engineering and Raymond Lemaire International Centre for Conservation, KU Leuven, Leuven, Belgium

1 INTRODUCTION

Flanders has almost thirty years of experience in the implementation of planned preventive conservation through the Monumentenwacht model. This model entails an approach where experts regularly inspect buildings, detect damages and inform owners on the necessary actions to be taken [1,2]. Within this framework, the owners decide on the frequency of inspections and their response to detected damages and investigations [3].

Even if in the research field a paradigm shift can be observed from large restoration works to planned conservation, its implementation in practice proves to be an outstanding challenge [4]. The research presented in this contribution therefore investigated how private owners in Flanders operate within the Monumentenwacht model.

The aim of the presented research was to identify preventive conservation' contribution to the quality of built heritage and the identify influencing factors in current practice.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *A definition of maintenance for built heritage*

Both literature and policies in the field of built heritage make a clear distinction between maintenance activities and repair [3,5,6,7,8]. Maintenance for built heritage can be defined as the combination of regular monitoring, planning and technical actions that are part of a well-defined plan [3].

The implemented strategy should be based on an integral approach that starts from an understanding of the property, its values, and its relation to the urban and social context [2,3]. The main aim is the preservation of cultural significance [5,6].

All interventions should be limited to small minimal technical interventions and will be based on a regular condition assessment [3,7,8]. Some preventive measures, such as the cleaning of gutters, will be scheduled [3,7,8].

Maintenance is to be distinguished from periodic renewal and more invasive repair interventions that include conservation or restoration works [3].

2.2 *Preventive conservation's contribution to the quality of built heritage*

The guiding principles of the Venice Charter state that the conservation quality of an intervention on built heritage stems from its aim, namely the preservation of cultural significance [6]. More recent international charters point out that values are shared by stakeholders in the community [5,9]. The quality of an intervention is therefore assessed based on a rational consensus between professionals that involves a close collaboration with the community. This consensus can only be achieved through a process of shared continuous care, since the environmental conditions and the community itself are not static entities [3].

A historic building is a complex system of components and materials that are progressively modifying in order to perform in a changing environment [10]. Due to this complex nature of built heritage, every intervention requires knowledge, experience, and interdisciplinary collaboration [3].

The conservation quality of an intervention thus stems from a continuous process through knowledge enhancement and knowledge sharing, in which all stakeholders are equally involved [3].

Planned preventive conservation establishes a process of continuous care based on an integral approach [2,3,11]. Knowledge is predominant and dealt with in a dynamic process of regular monitoring and small technical interventions [2,3]. Community involvement is a central concept of preventive conservation, since it is required in order to develop an integral approach, founded on an understanding the urban and social context [3,11,12].

Therefore, by clearly defining quality and maintenance for built heritage, the research presented in this contribution proves that preventive conservation will contribute to the quality management of built heritage [3].

2.3 *A research model for investigating the maintenance practice of private owners in Flanders*

A research model was developed in order to investigate if the maintenance activities implemented by a sample of private owners in Flanders are contributing to the quality management of built heritage. The model starts from the theory of planned behaviour, which assumes that a behaviour is determined by a behavioural intention [13]. The behavioural intention in turn is determined by attitude, subjective norm, and perceived behavioural control.

The research model aimed at better understanding the attitudes that influence the owners' intentions to maintain their properties. In a next step the actions that owners are taking were identified, namely their functioning within the Monumentenwacht model and the implementation of maintenance intentions. These maintenance activities are linked to the concepts of quality management, namely continuous care, knowledge and stakeholders.

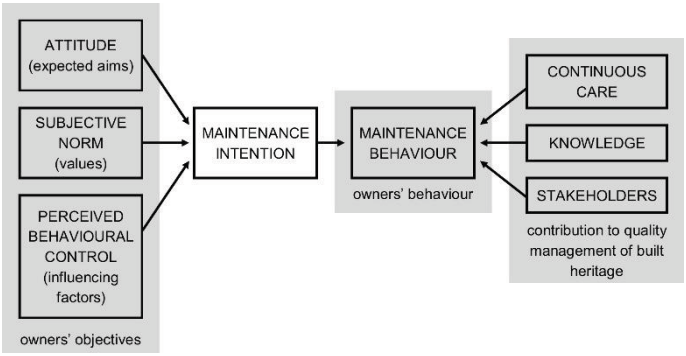


Figure 1. Research model for the investigation of maintenance practices of private owners in Flanders

The investigation was based on an exploratory case study analysis of twelve cases in Flanders and validated with an online survey.

3 CONCLUSIONS

Four challenges were identified that impede preventive conservation's contribution to the quality management of built heritage in current practice:

1. the lack of awareness among owners of the importance of the distinction between maintenance and repair for built heritage
2. the lack of awareness among owners of the benefits and importance of regular preventive actions
3. the lack of cooperation between the owners and the heritage authorities
4. the lack of skilled local contractors for small repair works

The enhancement of stakeholder collaboration will be the cornerstone for tackling these challenges.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge the financial support of the Agency for Innovation by Science and Technology (IWT) for the Doctoral grant of Nathalie Van Roy, published in [3]. The results presented in this contribution also fit within the European project CHANGES [4].

REFERENCES

[1] Van Roy N., Verstrynge E., Vandesande A., Van Balen K. Implementation of maintenance systems: identification of maintenance practices within the Monumentenwacht model in Belgium. Innovative Built Heritage Models. Leuven, Belgium: CRC/Balkema, 2017: 125-133.

[2] Vandesande A., Preventive Conservation Strategy for built heritage aimed at sustainable management and local development. PhD thesis. KU Leuven, 2017.

[3] Van Roy N., Quality improvement of repair interventions. A framework for quality improvement based on stakeholder collaboration through knowledge sharing and continuous care. PhD thesis. KU Leuven, 2018.

[4] Della Torre S., Van Balen K., Gustafsson C., Naldini S., Foppoli D., Bossi S., Pili A., Konsta A., Lai A., Boniotti C., Moioli R., Vandesande A., Verstrynge E., Van Roy N;, Ilja A., Heinemann H., Armanasco A. Changes in Cultural Heritage Activities: New Goals and Benefits for Economy and Society. Project report: www.changes-project.eu, 2018.

[5] Icomos. The Burra Charter. 1999.

[6] Icomos. International Charter for the conservation and restoration of monuments and sites. 1964.

[7] Forster A., Kayan B. Maintenance for historic buildings: a current perspective. Structural Survey,2009, 27, 3: 210-229.

[8] Dann N., Wood S. Tensions and omissions in maintenance management advice for historic buildings. Structural Survey, 2004, 22, 3: 138-147.

[9] Icomos. The Nara Document on Authenticity. 1994.

[10] Van Roy N., Verstrynge E., Van Balen K. A preventive conservation approach for managing historical structures. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development. 2018, 8, 2: 82-94.

[11] Van Balen K. Preventive conservation of historic buildings. Restoration of Buildings and Monuments, 2015, 21, 2-3: 99-104.

[12] Della Torre S. Planned Conservation and Local Development Processes: the Key Role of Intellectual Capital. Reflections on Preventive Conservation, Maintenance and Monitoring of Monuments and Sites. Leuven, Belgium: Acco, 2013: 123-127.

[13] Azjen I. The theory of planned behavior. Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1991, 50: 179-211.

Preventive Monitoring and Study of Insect Damage of Carpenter Bees to Timber Components of Chinese Historic Buildings

Y. Gao
School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Jinan, China

D. Xu
Shandong Conservation Engineering Institute of Vernacular Heritage, Jinan, China

E. Li
Xingtai Municipal Cultural Heritage Office, Hebei Province, China

J. Li
Xingtai Municipal Cultural Heritage Office, Hebei Province, China

Z. Ge
College of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, China

Y. ZHOU
College of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University, Jinan, China

1 INTRODUCTION

Since May 2013, a joint research team at the National Key Lab of Vernacular Heritage Conservation by Chinese State Administration of Cultural Heritage (SACH) has launched a research program which adopted an approach combining the field monitoring and laboratory monitoring. It conducted a full-year documentation and case study on the different types of infestation on the wooden components, such as burrowing, nesting, spawning, and reproduction of different species in different seasons and environments. Up to the present, this research has collected a relatively large amount of basic data, which merit the study as a baseline for the preventive conservation of the insect damage of carpenter bees to wooden members of Chinese historic buildings.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *Background*

Figure 1. View of insect cavities at the corner arch of the front hall of Tianning Temple

The study was initiated from the conservation projects of the front hall of the Tianning Temple and the main hall of the Temple of Confucius in Xingtai City, Hebei Province, China. During the repair process of the two timber historic buildings, many insect cavities caused by carpenter bees were discovered in the corner arches and corner columns (Figure 1). The type of disease is still expanding and has become one of the important contents for the preventive conservation of timber historical buildings in the area. Therefore, a research program on the insect damage specially for the carpenter bees was launched.

2.2 *Field Monitoring of Carpenter Bees*

Figure 2. Specimens of male and female carpenter bees

Carpenter bees are species in the genus Xylocopa of the subfamily Xylocopinae. The species in China are medium and large bees with the thick and strong body shape, which the male body is about 24-25mm long, and the female body is about 25-26mm long with a short needle at the tail (Figure 2). They live alone, often make cavities and build their nests in dry wood, which is harmful for wooden structure buildings and bridges. Not surprisingly, the insect damage of carpenter bees is one of the most harmful and widely spread insect damages to the timber components of Chinese historic buildings.

From 2014 to 2015, the field monitoring of the damage by carpenter bees was undertaken as preliminary stage of the research program. The main findings are as follows:

1) The carpenter bees form cavities on wooden components as the nest for their larvae, but the larvae do not feed on wood, which is different from the damage pattern of common powdered beetles.

2) During the field monitoring, the most serious damage by carpenter bees was found among the eucalyptus and pine components. For that reason, the eucalyptus and pine were chosen as the main materials in the laboratory tests afterwards.

3) The components made of wood with a lower hardness and higher sugar content are more susceptible to such insect damage.

2.3 *Laboratory Monitoring*

Figure 3. View of cut plane of carpenter bee cavities

From 2016 to 2018, the research team has launched the laboratory monitoring tests in an observation room with the wooden framed windows, which can simulate the conditions of the indoor and outdoor environment. In the observation room, the loofah flowers were planted as the food source for the bees, the replaced old wood components and timber replicas were placed, and the monitoring equipment was installed. The research team has heretofore learned the reproduction and destruction pattern of carpenter bees in wooden components as following:

1) The carpenter bees mainly cause damages by gnawing holes and laying eggs in the surface of wooden components. The hole is generally a relatively regular circle with a diameter of about 7-8mm. The diameter of the inner tunnel is slightly larger than that of the outer opening (Figure 3). The section of the tunnel is irregularly curved, and the number of eggs laid in the tunnel is about three.

2) It was unexpectedly found that carpenter bees had winter dormancy in the Xingtai area. When the temperature rose above 15 degrees Celsius, they began to have traces of activity.

3) The carpenter bees often choose the existing cavities in wood components for reproduction.

3 CONCLUSIONS

Basing on the discussion in the previous sections, some major conclusions can be drawn below:

- The existing research results reveal that the propagation behavior pattern of carpenter bees through the gnawing cavities has a certain degree of damage on the mechanical properties of wood components.
- The suitable temperature and other relevant factors for the survival and reproduction of the carpenter bees were obtained initially from the previous field monitoring and laboratory monitoring work.
- The further exploration will focus on the following aspects.

  1. The influence of the moisture content of wooden components, and the specific environmental temperature and humidity on the activity of carpenter bees will be examined.

  2. The most effective killing method for carpenter bees with the lesser influence on the structural performance of wooden components.

  3. Which effective measures need to be taken.
- A more intensive interdisciplinary approach is a must for the further progress of this research in the near future.

ACKNOWLEDGEMENTS

We are indebted to the staffs of Xingtai Municipal Cultural Heritage Office for taking assistance of field monitoring for this project. And the special thanks also to our research partners at China Forestry Science Academe in Beijing for their help and support.

REFERENCES

[1] Wu, Y. Study on new species of Carpenter Bees in China. Zoological Studies, 1982 (02): 193-200.

[2] He, C., Niu, Z., Luo, A., Zhu, C., Wu, Y. Nest behavior and mating strategies of Carpenter Bees. Journal of Insects Study, 2013, 56 (09): 1047-1054.

[3] Yang, J., Chen, X., Liu, J. Preliminary study on prevention of insect damage of wooden structures in ancient buildings [J]. Silk Road, 2009, (18): 81-86. DOI:10.3969/j.issn.1005-3115.2009.18.025.

[4] Xu, Y. The hazard on communication cable and its prevention method of carpenter bees. Material protection, 1975, (6): 11-13.

[5] Zhang, Z., Wang, Y., Li, G. The types, distribution and harm characteristics of the insects in building damages in China. Proceedings of the 2015 Annual Conference of the Insect Society of the Three Provinces of Central China (Hubei, Hunan and Henan). 2015:225-231.

[6] He X. Study on the prevention and damage control of the insect diseases of timber historic buildings at Mount Jiuhua. Scientific research on cultural relics in China, 2013, (4): 60-63. DOI:10.3969/j.issn.1674-9677.2013.04.011.

Monitoring of built heritage in China since 1950s: An historical overview based on four case studies and a new perspective in the framework of preventive conservation

Meiping WU, Xinjian LI
Key Laboratory of Urban and Architectural Heritage Conservation (KLUAHC, Ministry of Education), Southeast University, Nanjing, China

Yang SHEN, Shi HU
School of Architecture, Southeast University, Nanjing, China

1 INTRODUCTION

The monitoring practice of built heritage in China can be dated back to the 1950s. After an interruption in 1960-70s, some important built heritage has developed their own monitoring system since 1980s, among which the best known cases are the monitoring of Yunyan Pagoda with the aim of assisting the restoration project in 1979-1990 and the monitoring of Maogao Cave with the aim of environmental control since the end of 1980s. In 2006, in responding to the new monitoring mechanism of the World Heritage Convention (2005), the State Administration of Cultural Heritage (SACH) issued the "Measures of Monitoring and Inspection of World Cultural Heritage Sites in China". In 2011, the strategic document - "World Cultural Heritage Monitoring and Early Warning System Construction Plan 2013-2020" was published, and in 2012 the Monitoring Center of World Cultural Heritage was established in Chinese Academy of Cultural Heritage. In this background, several pilot projects on world cultural heritage monitoring were initiated, in aims to prepare for the periodic report at first, and later to establish theWorld Cultural Heritage Monitoring and Early Warning System in China.

This paper aims to give an historic perspective of built heritage monitoring in China based on four case studies since 1950s and then tries to figure out how to effectively carry out the monitoring of built heritage in the framework of preventive conservation.

2 AN HISTORIC PERSPECTIVE: FOUR CASE STUDIES

2.1 *Four case studies*

Case 1 - The monitoring of Yunyan Pagoda, was started in 1950s, with basic regular observations on the tower leaning and displacement at the beginning. There were several restoration projects in 1981-1986, and a systematic monitoring on cracks, tower leaning, displacement and ground settlement was set up since 1979, combining the regular monitoring (once per month before and after the projects) with the urgent real-time monitoring (with higher frequency during the restoration), to assist and control the restoration projects.

Case 2 - The monitoring of Maogao Cave, could be divided into three periods: environmental monitoring (temperature, relative humidity, rainfall, sunshine, wind speed, wind direction and sandstorms) in 1960s, micro-environmental monitoring (inside temperature and humidity) in mid 1980s, and comprehensive monitoring (meteorological environment, sandstorms, micro-environment, air quality, color changes of wall painting, displacement of cave rocks) since the end of 1980. The monitoring system consisted of the 24-hour monitoring for the macro- and micro- environment, the regular investigation for the wall painting and displacement of cave rocks. A new smart monitoring system with wireless sensors has been established since 2006.

Case 3 – The monitoring of Classical Gardens of Suzhou, was started in 2004, aiming at preparing for the periodic reporting to the World Heritage Committee in the beginning, and later as a pilot project for establishing the World Cultural Heritage Monitoring and Early Warning System in China. It was carried out with 24-hour monitoring of the meteorological environment, regular monitoring and investigation of material and structure(displacement, leaning, ground settlement, pest rotting, cracking, deformation, moisture, mechanical damages), and regular survey of air pollution, water quality and administrative factors(equipment, safety management).

Case 4 – The monitoring of the Main Hall of Baoguo Temple, was started in 2007, aiming at collecting data to help further understanding of the ancient timber structure and support the future conservation projects. It is a smart monitoring system with wireless sensors. The monitoring work includes: the periodical investigation and real-time monitoring of the structure (column leaning, structural displacement), the regular monitoring of wood material quality (strength, moisture, cracks, rotting and mechanical damages), and 24-hour monitoring for the environment (temperature, humidity, wind direction and speed, surface and ground water, ground settlement and displacement, vibration).

2.2 *Comparative study*

Those four cases illustrate the evolution of monitoring built heritage in China since 1950s, reflecting the technological development, the changes in World Heritage

monitoring mechanisms at the international level and conservation perception and strategies at the national and local level in China.

Table 1. Comparative study of four monitoring cases.

	what	how	why
Case 1	Structure	Regular monitoring + observation + immediate monitoring	Support the restoration
Case 2	Environment, wall painting, cave rock	continual monitoring + 24-hour monitoring	environmental control
Case 3	Material and structure, environment, administrative factors	24-hour monitoring + regular monitoring + investigation	Periodic reporting, a pilot project
Case 4	Wood material, structure, environment	real-time monitoring + regular investigation	Data collection

3 MONITORING IN THE FRAMEWORK OF PREVENTIVE CONSERVATION

3.1 *Definition of preventive conservation of built heritage*

There have been discussions on the definition of preventive conservation in the field of built heritage. It is widely accepted that preventive conservation in the field of built heritage should be understood differently than in archaeology and conservation of museum objects, since it is impossible to change or optimize the environmental conditions while built heritage are exposed to natural environment and often required of new adaptive functions.[1] Based on the researches and practices at the international level, combined with the architectural heritage conservation system in China, the author tries to give the definition as follows: preventive conservation of built heritage relates to all means and measures to delay deterioration and avoid the causes and further spread of damages through identification, investigation, evaluation, tracking, preventing and controlling all the risk factors. It advocates planned prevention and minimum intervention in order to best preserve the authenticity, integrity and continuity of built heritage. It includes the actions of: risk assessment, disaster risk prevention, risk management, damage diagnosis, safety performance analysis, monitoring, regular inspection, maintenance and the corresponding safeguard mechanisms, etc.

3.2 *Monitoring of built heritage in the framework of preventive conservation*

Monitoring of built heritage in the framework of preventive conservation should include monitoring of natural disaster (geological and meteorological disaster, atmospheric pollutants...) and monitoring of deterioration, damages and dangerous activities affecting the structural safety performance (settlement, displacement, termite erosion, underground mining...). Monitoring should be carried out before the conservation activities to do early detection of symptoms of deterioration or damages or disasters, also during and after any interventions to ascertain the effectiveness of the methods used and to ensure the long-term performance of the structure and any other materials used. Besides, a coherent strategy must be established, combining real-time and regular monitoring, periodic inspection, and preventive and curative maintenance, to delay the need for larger interventions thus to ensure the authenticity and integrity of built heritage.

4 CONCLUSIONS

When we look back at the monitoring practices in the past few decades in China, it comes out that more emphasis should be put on the analysis of the monitoring data and the monitoring work should focus on several important factors instead of establishing a comprehensive system to monitor everything which is not cost effective. In the framework of preventive conservation, monitoring should be understood as follows:

- Monitoring is a supportive measure for planned and preventive conservation and it should be carried out before, during and after the interventions.
- Monitoring, periodic inspection and maintenance should be combined as a coherent strategy for preventive conservation in the built heritage field. Real-time monitoring with high technological equipment is not suitable nor necessary for every built heritage site while periodic inspection and maintenance should be paid more attention instead.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was carried out within the scope of the research project “Prevention conservation of immovable cultural heritage: the international experiences and their references to China” funded by the State Administration of Cultural Heritage (SACH). The authors convey their sincere gratitude to Mr Ming LING and Simao YE from SACH for their supporting the current research activities and to Prof. Guangya ZHU for his invaluable comments and suggestions.

REFERENCES

[1] Van Balen, K. Preventive Conservation of Historic Buildings. Restoration of Buildings and Monuments. 2015, 21(2-3):99-104.

[2] Wu, M. Preventive Conservation of Architectural Heritage in China. Nanjing: Southeast University Press, 2014.

Preventive and Planned Conservation: potentialities and criticalities, strategy and tools, lessons learned

R. Moioli
Professional Architect

1 INTRODUCTION

The proposal deals with a professional experience of Preventive Conservation applied to the Built Cultural Heritage in the framework of the Preventive and Planned Conservation strategy, as conceived in Lombardy Region.

Preventive and Planned Conservation is a long-term process which needs operational tools in order to be carried out and applied in the different contexts and cases. The Conservation Plan is the tool for the implementation of the strategy; according to the model proposed after a four years' research carried out by a team from Politecnico di Milano on behalf of Lombardy Region [1], it is characterized by flexibility from the point of view of both the contents and digital tools.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

According to the Lombardy framework, Preventive and Planned Conservation is a long-term strategy aiming at the integration of conservation and valorization activities for an effective management of Built Cultural Heritage. It is oriented to prevention and continuous care and it is a process for the production of new knowledge that needs tools for the management of information and for planning the activities.

Since 2001 there have been many field trials of implementation of Conservation Plans for historic buildings in Lombardy. The first tests aimed at understanding the problem and shaping the conservation plan. In 2003 the relevant guidelines have been published, which were officially issued by the Region in 2005. A very important role was then played by Fondazione Cariplo, which promoted yearly calls to co-finance planned conservation projects since 2008. After ten years the analyses of the figures related to these calls give an impressive picture of a real development in action [2].

Some experiences personally carried out on the field gave the basis to try a deeper, even if qualitative analysis about the evolution of the tools and the different impacts. In some cases, the work was related to a restoration design, while in other cases the task was to build up a broader strategy with a methodological approach for the management of a single historic building, or a system of buildings.

The case studies differ by typology of buildings, but above all by the characteristics of the ownership and of the management model. The analyzed sample is composed of a royal residence, some historic palaces and villas used as museums, cultural spaces or public offices, castles, churches, and rural complexes. Thus the owners are Municipalities and other public bodies, private foundations, Parishes and the State. Each one of them has its own internal regulations, but above all its own technical structure for the asset management.

In any case, implementing a conservation plan, or to say better introducing a long term vision, required a change in the attitudes of all the players. As a professional, I felt involved in a change management process, oriented by the guidelines issued by the regional authority, in some cases boosted by the financial incentives granted by Fondazione Cariplo, supported by the theoretical elaborations preached by the university.

The success of the operations was depending on several factors, among which it is obvious to detect: the regulation frameworks and constraints; the characteristics of the owner, the competences of the involved professionals and technicians.

2.1 *Potentialities and criticalities*

The opportunity of testing the methodology in different situations highlighted the potentialities of Preventive and Planned Conservation approach, and of the different operational tools used for the Conservation Plans filling in, but also some important criticalities.

It was clear from the beginning the proposal was not referred simply to the field of facility management, better to say maintenance or preventive conservation activities, but it was a strategy for the management of all the activities related to the building: conservation, valorization, communication and fruition. As in the final analysis Preventive and Planned Conservation is the necessary methodological framework for the implementation of all the phases of the conservation process.

As a matter of fact, the path is long and not straight. The first observed criticalities are referred to the lack of adequate understanding of the legal framework. Since 2004 the Italian framework preservation law introduced a processual vision of the conservation process including prevention and maintenance, and above all requiring that all the activities should be consistent, coordinated and planned [3], but the implementation of Planned Conservation is required only in general terms and there are not official national guidelines, which could update and develop those issued by Lombardy in 2005. The latest decree 154/2017 on the public works concerning cultural heritage confirms that such works should refer to the methodology of planned conservation, but the meaning of the terms is not yet clear to most operators in the field, at any level.

The scarcity of economic and human resources is often invoked as a reason that discourages investments in preventive conservation. Better said, resources are currently allocated following different logics, so preventive actions are out of the budgets, or not available on time when needed. One of the most relevant points of the change management process has been convincing officers that a different budgeting is possible, and to convince professionals about the usefulness of diagnostic and information management techniques, which are expensive in the beginning but give benefits later on. The empowerment of officers, professionals and contractors through educational courses proved to work, but the inventive given by the availability of the extra resources granted by Cariplo was often necessary to fuel the process. Empowerment actions have been hardly sufficient, due to the absence of specialized professionals in public and private offices, as in Italy the degree in architecture is mandatory to deal with protected buildings, but this does not guarantee proper skills in the conservation disciplines.

2.2 *Strategies and tools*

At the beginning the implementation of the Conservation Plan was the only adopted strategy, trying to demonstrate the economic convenience of the continuous care and of maintenance. This choice led to test different digital solutions: simple word processing programs, a first attempt of data-base software; spreadsheets and a specific Informative System [4].

This approach has been very effective in order to detect the limits of the regional guidelines and to improve the conceptual structure of the Conservation Plan. At the same time, all the difficulties related to the not adequate procedures of public bodies for the planning of maintenance works and to the lack of competences on built cultural heritage came to light. Even in some more complex cases, in which the involvement of technicians and communities had long time to be developed, the engagement proved to be insufficient on the long run [5]. Therefore, it has been necessary to shift to a more methodological level and try to engage more directly the stakeholders in the strategy design. These experiences became possible again thanks to Cariplo Foundation, as it launched a huge initiative for strategic planning based on the integration of cultural heritage valorization with all the social and economic resources of the territories [6]. This experience has been pointed out as one of the more innovative cultural policies in Europe, embodying what has been called the "upstream" perspective [7]. The agreements among different actors was as important as the innovations in procedures and tools, thus Preventive and Planned Conservation has been considered as a strategic line in some of these wide area projects, starting process which are still ongoing [8].

3 CONCLUSIONS

Thus, always in connection with the academic research, the many case studies and on the field experiences enabled to harvest remarks on issues, like for instance: the relationship among effectiveness of Conservation Plans and digital technologies; the different management models; people awareness and engagement; the perception of economic convenience of Preventive and Planned Conservation. The transition from a management system based on events to planned strategies proved to require relevant change management policies, implementing procedures at different levels in an integrated way. The above-mentioned topics are a challenge, but in case of success the change proved to be very effective.

REFERENCES

[1] Della Torre S. (Ed), La Conservazione programmata. Milano: Guerini, 2003

[2] Moioli R., Baldioli A. Dieci Anni di Conservazione Programmata, Quaderni dell'Osservatorio di Fondazione Cariplo, 29, 2018

[3] Della Torre S. Conservation of built cultural heritage, laws enabling preventive approach: the case of Italy, in Gustin M., Nypan T. (Eds.), Cultural Heritage and legal Aspects in Europe, Koper 2010: 168-178

[4] Della Torre S., Moioli R., Pili A. Digital tools supporting conservation and management of built cultural heritage. In Van Balen K, Vandesande A. (Eds), Innovative Built Heritage Models, Leiden: CRC Press/Balkema, 2018: 101-106

[5] Moioli R. Preventive and planned conservation and economies of scale. Conservation process for 12 churches. In Van Balen K., Vandesande A. (Eds.) Community Involvement in Heritage, Antwerp – Apeldoorn: Garant, 2015: 107–120

[6] Barbetta G.P., Cammelli M., Della Torre S. Distretti culturali dalla teoria alla pratica, Bologna: Il Mulino, 2013

[7] Cultural Heritage Counts for Europe, 2015. CHCfE Consortium. 2015. Retrieved from: http://bit.ly/2jERIwx

[8] Moioli R., Boniotti C., Konsta A., Pili A. Complex properties management: Preventive and Planned Conservation applied to the Royal Villa and Park in Monza, Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 8 (2), 2018: 130-144

The role of the University in maintaining vernacular heritage buildings in the southern region of Ecuador

G. García, A. Tenze, C. Achig
World Heritage City Preservation Management Project, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Cuenca, Cuenca, Ecuador

1 INTRODUCTION

1.1 *Maintenance of vernacular architecture*

Vernacular architecture has recently been considered cultural heritage. Since the twentieth century, its study has been expanded from an archeological, historical and aesthetic perspective to include social and technical aspects that define it. According to ICOMOS [1] , it is fundamentally understood as a dynamic and complex cultural product, which results from the interaction between human groups and the natural environment where it is placed. A difference from other types of architecture, vernacular architecture emerges as part of a process of essay-error which is transmitted from one generation to another in constant adaptation and transformation. In terms of P. Oliver "architecture built by people, for people" [2].

Within this type of architecture, earthen architecture corresponds to one of the most used construction systems worldwide. Until 2011, around 50% of the total earthen architecture was located in southern areas of America, Africa, Asia, and Europe. According to CRAterre [3], around 150 world heritage sites of the total listed by UNESCO, correspond to earthen architecture, and the majority of them (26%) are located in Latin America. In Ecuador, earthen architecture has ancient roots (pre-Inca period) which were adopted during the colonial period and the Republican period and still persists, especially in the Andes Region. In fact, the second province in this territory with the largest number of adobe buildings is Azuay[4]. In this province, vernacular architecture has an important presence not only in rural areas but also in urban ones, such as the Historic City Centre of Cuenca, which was listed as World Heritage Site on 1999.

Despite the relevance of vernacular architecture in Azuay, Ecuador, it can be considered one of the most threated architectural heritage. In fact, until the first decade of the twentieth-first century, efforts prioritized the conservation of monumental structures that represented less than 1% of total heritage buildings listed. In a socio-economic context, guided by economic pressures and changes on cultural preferences introduced mainly due to migration phenomena, the query was, how to favor the conservation of vernacular heritage?

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *The role of the University*

The Constitution of the Republic of Ecuador[5] states that the Higher Education System must provide academic and professional training with scientific and human vision. Therefore, any Ecuadorian university has three substantial functions: education, research, and articulation with needs of society [6]. By this regulation, Universities are advocated to coordinate efforts among them and with civil society, observing principles such as social justice, equity, participation and co-responsibility [6]. However, there are few examples of Ecuadorian Universities on which these three substantial functions and principles have been integrated simultaneously in their initiatives.

Within the cultural heritage arena, one exceptional case corresponds to the University of Cuenca (UC). The UC has progressively become a key actor to face this ambitious task in favor of the vernacular heritage located in urban and rural contexts. Thanks to the impulse given through the international collaboration of the VLIR UOS program and the KU Leuven, the UC through its Faculty of Architecture and its City Preservation Management project (CPM) has directly contributed to expanding the scope of conservation practices prioritizing the preventive approach -which means maintenance instead restoration-, but even more, it has developed innovative strategies that favor the articulation of different actors to protect the majority and modest examples of built heritage, by adopting a participatory approach that could be considered its major strength.

2.2 *Permanent refinement of participatory maintenance of vernacular heritage*

Despite social or community participation has increasingly been accepted in the cultural heritage discourse during the last decades, the practical implementation of the participatory approach seems often ambitious and not easy to apply. Unfortunately, in several coun-

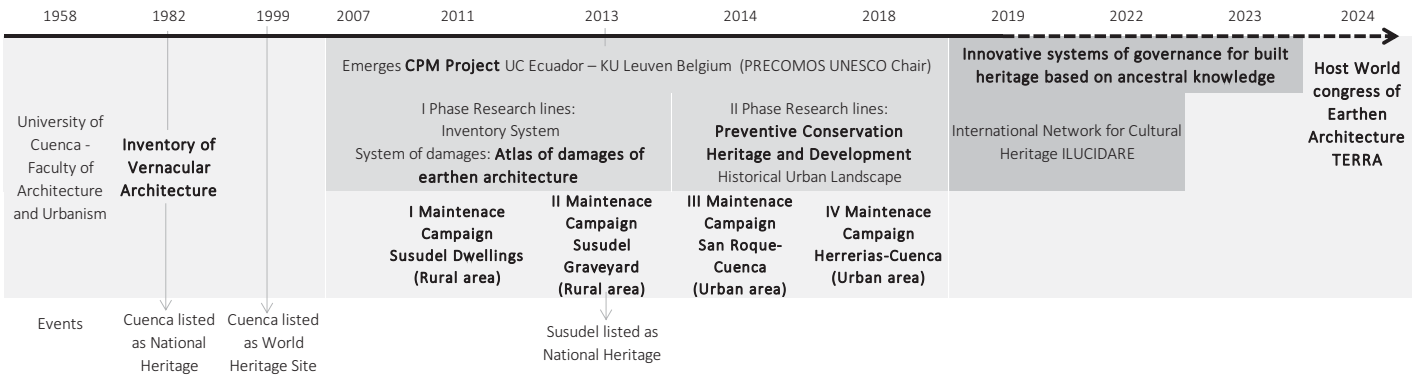


Figure 1. Timeline of initiatives boosted by UC in favor of maintenance of vernacular heritage.

tries -including Ecuador- participatory approach has been affected by a growing skepticism. According to Villasante [7], this responds to reiterative misleading consultative practices from the political side, which are aggravated due to the low interest of social actors or sectors of being part of a real participatory planning process.

Nourished by contributions from the social field, in the last decade, UC has progressively enriched a theoretical framework and has consolidated practical experiences for dealing especially with maintenance of vernacular heritage (Figure 1). By investing time in building a relationship with the territory and inhabitants, UC has adopted a very active listening, but fundamentally UC has boosted deliberation between actors involved as part of the dialogue for improving the technical initiatives. It goes in line with awareness of participation as a reaction against the unbalanced power observed between groups to influence in decision-making process. In line with this, the UC has contributed to reflect on the struggles between the so-called 'experts' (academics, professionals, institutions) and 'non-experts' (citizens)[8].

This has implied for the academic actor (UC) becoming open to include the empirical experts' perspectives. But, instead of implementing their desired projects, be open to create the possibility to debate and inquire about their ideas. In the end, those experiences have strengthened local capacities through a two-fold learning process –scientific and empirical- moving from initiatives built based on an interdisciplinary perspective towards the co-creation, based on the exchange of these two types of knowledge.

Moreover, considering that participation only has a sense when its decisions are implemented, UC has drafted a strategy for sharing responsibility as a way to react against the populism and the paternalism that usually affects this kind of processes. In that strategy, the UC played a key role as a mediator actor among the rest. The result is a structure for the decision-making process that is open to growth through interconnected sub-structures in order to include other institutions or groups which are not exclusively devoted to the cultural field but might favor the operationalization of the action guidelines. Progressively, all of the actors –including researchers- have transited toward the less frequent stage of participatory planning where citizens, as empirical experts, are also being considered to build proposals together and to define shared responsibilities.

3 CONCLUSIONS

UC initiatives have created a space for dialogue among researchers, professionals, students, citizens, administrators, politicians and people interested. Considering citizens as 'empirical experts' instead of 'non-experts', has directly impacted on civil society, developing models of co-creation that articulate actors favoring the maintenance and putting in value vernacular heritage. Each initiative aimed optimizing scare resources (financial and temporal), prioritizing the use of local resources and the sharing responsibility to favor integration and engagement of the involved actors. One of the major challenges has been mobilizing actors while identifying sharing purposes, avoiding assistance strategies. However, in terms of sustainability UC has learned its potential is not enough. Still is needed to interiorize the concept of shared-responsibility, beyond a project towards a continuous process that should be based on the synergy of all actors rather than a new vertical structure with a different actor on the top.

REFERENCES

[1] ICOMOS, "Charter on the Built Vernacular Heritage," Mexico, 1999.

[2] P. Oliver, *Enciclopedia de Arquitectura Vernacula*. 2003.

[3] T. Gandreau, D; Delboy, L; Joffroy, *World Heritage Earthen Architecture Programme*. 2012.

[4] G. García, J. Amaya, and S. Ordoñez, "Desafíos de los procesos de producción y construcción en adobe en América Latina, retos y oportunidades," in 16th SIACOT 2016, pp. 36–47.

[5] Asamblea Nacional del Ecuador, *Constitución de la República del Ecuador*. Ecuador, 2008.

[6] Asamblea Nacional, "Ley Orgánica De Educación Superior Ecuador, Presidencia de la República del," *Ley Orgánica Educ. Super. del Ecuador*, pp. 1–63, 2010.

[7] RedCIMAS, *Metodologías participativas: sociopraxis para la creatividad social.* Madrid: Dextra, 2015.

[8] G. García, "The Activation Process of Cultural Heritage as a driver of Development," KU Leuven, 2018.

Preventive conservation model applied in Slovakia and the built heritage damage monitoring.

P. Ižvolt
Monuments Board of the Slovak Republic, Department of Preventive Maintenance

1 INTRODUCTION

Both ideas of monitoring and preventive measures of built heritage demonstrate that regular and systematic maintenance can postpone or completely rule out financially-comprehensive renovations and at the same time keep the original historic fabric as much as possible in its authentic state. In other words, maintenance is a tool allowing us to preserve values. While this concepts have been generally accepted among heritage professionals since early history of conservation up till international charts [1;2], the particular maintenance systems differ from one country to another.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *Specific situation in Slovakia*

The technical reports are also linked to the grant scheme of the Ministry of Culture focused on the most valuable monuments and the reports assist and form a basis for evaluating commissions' decision-making. During the renovation works inspectors check the quality of the works and send periodic reports to the Ministry. Specific situations concerning monument protection have occurred in countries with dramatic changes in ownership rights and social composition of society. New owners often had no relation to historical sites and often no necessary social skills or customs vital for their maintenance. Absence of preventive care of many places led to a completely critical construction and technical condition. When they were finally renovated, they were frequently radically modernised and most of their historical value was lost as a result of replacing many original elements. Another contravening feature common also for other modern countries is substitution of traditional crafts and manual work with industrial civil engineering and unified construction procedures and construction materials.

2.2 *Established model of the preventive maintenance*

The department of preventive monument maintenance was established in January 2014 as a new organisational unit at the Monuments Board of the Slovak Republic which is a state responsible office for the monument protection operating in the whole country. Altogether, it has 11 job positions: project administrator, expert coordinator and nine staff members – cultural monument inspectors in three independent working groups, evenly distributed geographically. They operate in the locations of regional monument boards in Trnava, Banská Bystrica-Banská Štiavnica and Poprad-Spišská Sobota. These are the venues of the teams' offices, their storehouses for auxiliary tools and material, and parking lots.

The first three years of the department's functioning were financially covered by EEA grants as a project called Pro Monumenta – prevention by maintenance. Since 2017 the work of the department has been financed by the Slovak Ministry of Culture (as a maintenance period).

The Pro Monumenta project's Norwegian partners during the project implementation period were Riksantikvaren and Nasjonalefestningsverk (the National Board of Fortification Monuments).

2.3 *Methodology of the workflow*

The three-member team represents an independent unit in organising their work time, estimating the share of time spent on the site, time allocated for preparation and data processing and administration. Currently, the schedule can be roughly outlined as follows: time spent at the monument site 20%; project administration 20–30%; compiling technical reports, sorting photos, producing engineering drawings 50–60%. Leaving out days off, incapacity to work, training days and similar events, time devoted to one monument would cover one week. Members of the teams are employees of the Monuments Board of the Slovak Republic, forming part of the department of preventive monument maintenance. The centre of the Monuments Board of the Slovak Republic is in charge of sending the introductory letter and the final technical report to an owner. The specialised project coordinator explores background documentation in archives, audits individual technical reports, elaborates methodological guides [3], takes part in producing lists of monuments for inspection.The daily routine of an inspection group would comprise collection and studying of documentation pertaining to a particular monument, filing of documentation, scanning of engineering drawings, contacting the property owner, physical inspection and

description of the site, cleaning of roof gutters and demonstration for the owner of handcraft procedures needed to repair minor defects. Vehicles utilised throughout the project implementation are called mobile workshops and are fully equipped with ladders, tables, tools and diagnostic apparatus and equipment for taking samples such as precise thermometers and hygrometers, thermal cameras, an endoscope, Presler drill and so forth. The owner receives a technical report on the status of the cultural monument.

Roof accessibility plays an important role, thus the team is equipped for work at heights and performs the tasks while observing specific safety rules. In reality, it is often difficult to access all parts of the roof without scaffolding, exceptionally the teams ask for drone support (camera or laser scan technology).

While on inspection, staff members take pictures and use an original, tailor-made application via robust tablet computers. This special application registers construction defects, lists photographs with indication marks, and allows the staff to retrieve any part of the manual, if needed, along with web pages. Moreover, it helps to make mainly visual recordings (photos, video), captures data on measurements performed by technical devices (thermal camera, endoscope, hygroscope). At the same time, the staff also prepares and adapts material for simple demonstration of repairs on problematic spots. If needed (for a distinguished monument or some part of it), samples can be taken for further analysis to resolve recurrent issues. Besides verbal description of defects, we also apply a scale of defect based on the one used so far by the Monuments Board of the Slovak Republic, which is an amended scale pursuant to the European standard for diagnostics [4].

Technical reports from cultural monument inspections contain an assessment of relevant repairs and interventions from the past, a technical description, a summary of all identified defects, proposed intervention for the owner and documentation of actions performed by the inspection team.

Electronic support forms a significant part of the project. The system is composed of a mobile application generating technical reports on the monument's technical status, web application for review of records concerning defects, server application with application logics providing services for mobile and web applications.

2.4 *Results*

During the first years of the work, more than 450 monuments were inspected, organizing of many seminars, public events, distributing several handbooks. In spite of the Dutch Monumentewacht, the practice in Slovakia proved that the monuments are generally in more critical technical situation (more similar to the situation in the Netherlands before establishing of the Monumentenwacht). Therefore the inspection teams consists of three people, the time needed for first inspection including writing of the report is longer (5-10 days). The most of the inspectors are university educated with the practice in conservation and the manual craft too. Although the inspection teams have a wide variety of the electronic tools and modern equipment, in the time pressure they use to choose simpler and more practical tools and working methods. In the Netherlands, the whole system operates on the level of regions, in Slovakia a central models has more advantages

3 CONCLUSIONS

The major characteristic of the applied system in Slovakia between the years 2014-2018:

- there are differences from the classic model of the Dutch Monumentenwacht and experiences gained in Slovakia. In results of this every country needs its own system of the preventive maintenance designed on the local conditions although the main features stay the same,
- the centralized model (based on the Monuments Board as a state organization) consisting of regional centers applied in Slovakia has been proved as suitable and well balanced,
- the most effective key factor which ensure the high quality of results is the well trained stuff,
- the visual inspections are the main way of building damage assessment; however it should be completed with all possible up-to-date technologies, considering mainly their practical accessibility,
- preventive maintenance systems can be in the present society extended or upgraded with new functions (support of traditional historic craft techniques [5], economic calculations of repairs, collaboration with the grants systems etc.).

REFERENCES

[1] Ruskin, J. *The Lamp of Memory,* In: *The Genius of John Ruskin*, selections of his writings. D. Rosenberg, John, editor, University of Virginia, ISBN 0-8139-1789-1, 1998, 136.

[2] Dvořáková, V. (ed.): Ochrana kultúrneho dedičstva v medzinárodných dokumentoch ICOMOS, 1. diel – Charty a odporúčania, Bratislava 2002, 102-106.

[3] Ižvolt, P. *Údržba historických stavieb*, Pamiatkový úrad SR. Bratislava 2017.

[4] Conservation of cultural property, - Condition survey of immovable heritage, CEN/TC 346, 2009-06, TC 346 WI 346013.

[5] Ižvolt, P. *Údržba alebo rekonštrukcia? Viac o projekte Pro Monumenta* In: Urbanita 1-2/2015 MDVRR SR, Bratislava 2015, ISSN 0139-5912, 66-69.

Management & maintenance planning for built heritage: applied research at the University of Porto

T. C. Ferreira
Centre for Studies of Architecture an Urbanism, University of Porto, Portugal

1 INTRODUCTION

This paper presents applied research on preventive-planned conservation (PPC) strategies in the University of Porto, with further development on the buildings Faculty of Architecture, built between 1985 and 1992.

The proposal aims to demonstrate the benefits of PPC in complex buildings with intensive use and occupation such as Schools. Moreover, it presents a case study of implementation in recent buildings, which are generally more vulnerable than traditional constructions because of its formal and constructive features.

This research follows a specific methodology and computerized software (MPLAN – Management & Maintenance Planning) focused on the PPC of built heritage bridged with the participation and empowerment of users [1].

This systemic and integrated approach previews two complementary action lines: (1) 'material component' focused on buildings – through inspection, monitoring and repair; (2) 'intangible component' focused on users – through education and training on prevention, maintenance and use. This methodology acknowledges that only with the involvement and qualification of different users can we achieve sustainable management of built heritage [2].

2 MPLAN | MANAGEMENT & MAINTENANCE PLANNING

Previous research has developed a specific methodology for PPC supported on computerized Software and App - MPLAN (Fig. 1).

MPLAN provides for different facilities such as Management of Database, Inspection & Diagnosis, Cost Estimation, Maintenance Plans, Technical and User's Manuals, Schedule of Maintenance Tasks, Alerts & Notifications in real time, among others.

One of the main features of this digital tool is the compilation of Maintenance Plans, which are divided into five sections: Identification, Characterisation, Diagnosis, Maintenance, and Utilization. The Identification section (I) includes general information about the Building and the Users. The Characterisation section (II) contains the Characterisation Form and Building's Drawings, as well as a Chronology with building's previous interventions. The Diagnosis section (III) comprises the Anomalies Form, the Utilisation Form and the Log of Occurrences reported by users. This section also allows for the uploading of different kinds of NDT tests and analyses, among others: thermo-hygrometric or structural monitoring, decay mapping, thermographic captions or inspection reports. The Maintenance section (IV) relates to the scheduling and description of inspection, maintenance and repairs (Maintenance Manual) including Calendar and Budget Forms which are relevant tools for managers. Finally, the Utilization section (V) provides for Users Manuals including recommendations for Use and Cleaning.

Many of these forms have pre-compiled or dropdown fields in order to facilitate their rapid completion and reduce errors. There is also a detailed Tutorial to help users filing in the different forms, providing for lists and descriptions (materials, constructive systems, damage atlas, repair actions, users' recommendations, etc.). The software has reserved access through different logins (Administration, Manager, Technician, User) with distinct permissions, as well as a system of Notifications & Alerts in real time. MPLAN is available for desktop and mobile devices in order to facilitate completion and consultation in field work.

Digital tools such as MPLAN are essential for PPC as they allow for time and costs saving, providing for updated reports and database. It also consents the possibility to link with other facility management or visualization tools (BIM, 3D models, virtual tours, etc.).

Figure 1. MPLAN Software Menu (source: the author)

3 APPLIED RESEARCH IN THE UNIVERSITY OF PORTO

3.1 *Good Practices Illustrated Manuals*

The University of Porto (UP) is one of the largest education and research institution in Portugal and owns several buildings in different campus and areas of the city.

The responsibility of building maintenance is related to each Faculty and linked with the Service of Installations and Infrastructures of the Rectorate of the UP. This service has promoted the development of Good Practice's Manuals for the Utilization of Buildings of the UP with (1) Precautions, (2) Recommendations and (3) Emergency situations (Fig. 2).

Figure 2. Good Practice's Manuals for the Utilization of Buildings of the University of Porto (T. C. Ferreira, R.C. Rodrigues, P.F. Rocha; coord UP: R. J. G. Ramos; design: I. Vieira, S. Ruivo)

3.2 *Faculty of Architecture (FAUP)*

FAUP was designed by Álvaro Siza and houses different types of buildings: (A) a 19th Century house hosting the Research Centre; (B) Carlos Ramos Garden Pavilion built in 1985; (C) the central services, auditorium, offices and classroom towers built in 1992 (Fig.3). FAUP was designed for 500 students but has been forced to adapt to more intensive use (currently 1100 students). Maintenance is managed by the Executive Board and performed by permanent staff of 3 technicians.

Between 2014 and 2018, rehabilitation works were performed in FAUP since it had not been submitted to any consistent repairs since its construction [2].

Recent exploratory research has developed Maintenance Plans through MPLAN methodology and software, as well of Good Practices' manuals for users.

Broadly speaking, Maintenance Manuals are scheduled according to their periodicity (daily, weekly, monthly, annual, multiannual): cleaning of gardens and outdoor pavements; inspection of rainwater drainage systems; inspection and maintenance of window frames; adjustment of furniture; painting of interior walls; cleaning, painting and treatment of exterior coatings; inspection of the electricity system and other devices and equipment, etc. Moreover, real-time notification system through FAUP website were proposed.

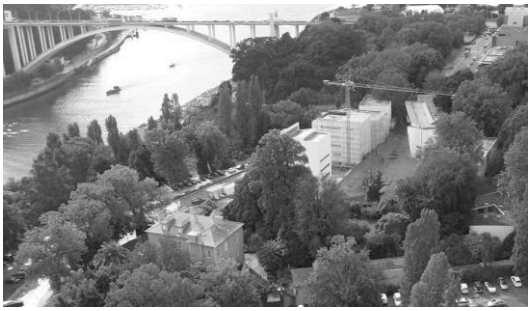


Figure 3. Aerial view of the Faculty (source: the author)

Users and Cleaning Manuals with schedule, prohibitions, alerts and recommendations were developed, as well as infographic Illustrated Manuals for students.

4 CONCLUSIONS

This research demonstrates a good performance of buildings, as well as high levels of satisfaction of users.

However, currently maintenance actions are performed in a reactive base (post-damage) with dispersion of human and material resources, as well as some irreversible damages and problems with buildings and infrastructures.

In this way, the implementation of preventive-planned conservation (pre-damage) and participatory strategies through MPLAN can be a good strategy for improving cost-efficiency (reducing costs), decreasing damage and risks, increasing building's performance as well as ensuring the preservation of its authenticity and integrity for future generations.

ACKNOWLEDGEMENTS

Assignment co-financed by the ERDF through the COMPETE 2020 - POCI and national funds by the FCT POCI-01-0145-FEDER-007744 and IF/01501/2014.

REFERENCES

[1] Ferreira, T.C., Bridging planned conservation and community empowerment, in Van Balen, K. (guest ed.), Preventive and planned conservation approaches applied to built heritage. Roders, A. (ed), Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, Emerald, 2018.

[2] Ferreira, T.C., Sustainable strategies in built heritage preservation: planned conservation and community participation. Experiences in Portugal, in Van Balen K. & Vandersande, A. (eds.), Innovative Built Heritage Models, Reflections on Cultural Heritage Theories and Practices A series by the Raymond Lemaire International Centre for Conservation, KU Leuven, vol.3, Taylor & Francis, 2018.

[3] Ferreira, T.C., Contributions for the implementation of preventive conservation and maintenance strategies in the Faculty of Architecture in Porto. In Amoeda, R., Lira, S. e Pinheiro, C. (eds), REHAB 2017, Barcelos: Greenlines, 2017.

Quality of restoration of monuments: the role of Monumentenwacht

S. Naldini
Department AE+T, Faculty of Architecture and the Built Environment, TU Delft, Delft, The Netherlands

G. van der Varst, S. de Koning, E. van der Grijp
Monumentenwacht Limburg, Monumentenwacht Noord Brabant, Monumentenwacht Gelderland

1 INTRODUCTION

The quality of restoration in the Netherlands is a complex matter, involving different actors, and is the focus of various programmatic activities. Preventive conservation, good practices and professionalism play a fundamental role therein. Equally important is the formulation of clear policies and values and their translation to practice, which concerns technical actors and laymen owners of monumental buildings. The importance and economic benefit of preventive conservation of the built heritage has been stated in various studies [1] and quality of interventions addressed [2]. Further occasions have been created to discuss inherent matter, notably by the UNESCO Chair of Conservation at the University of Leuven (Belgium) [3]. In the recently concluded JPI 'Changes' project, involving the Politecnico of Milan (Italy), the UNESCO Chair, Delft University of Technology (the Netherlands), and Gothenburg University (Sweden), best practices in conservation were investigated, both in theory and in practice [4, 5]. In The Netherlands the Monumentenwacht organization was part and also object of the project, because it had played an important role in preventive conservation since its creation in the 1970's. The organization operates in contact with owners, local government, architects, contractors and specialists and can best convey principles to the parties involves. Its activities, tasks and responsibilities have changed over time, as a reaction and adjustment to policy changes and the decentralisation process of the main Dutch organ for the care of monuments, the Netherlands' Cultural Heritage Agency (RCE). To support Monumentenwacht fitting in the new profile, a co-operation program with the Delft University of Technology has started, 'Monumentenwacht moves', which is part of a broader context of synergistic activities of RCE, TU Delft and TNO (Netherlands Organisation for Applied Scientific Research) in the field of monument conservation. The potential of Monumentenwacht has become clearer though case studies which have also highlighted the aspects where more structure could increase efficiency and quality, making the organization better comply with its new tasks. The possibility of contributing to the quality the interventions to monuments is explored. Monumentenwacht Inspection report was referred to for the development of guidelines for condition assessment of monuments within the national program on the Quality of Restauration and Professionalism, launched in 2010 by the RCE [6].

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

The role and work of Monumentenwacht North Brabant, Limburg and Gelderland are addressed and, based on cases studies and the analysis of inspection reports, the basis is laid for better contributing to the quality of conservation of a national level.

2.1 Monumentenwacht: the advisory role

Active in The Netherlands since the 1970's in the field of preventive conservation at a provincial level, Monumentenwacht carries out condition assessments to monuments on a regular basis and supports owners and other actors, like architects, when interventions are needed. The organization is non-profit and independent. The inspectors are craftsmen trained in monument conservation. As such they can perform some minor interventions and repair some damage, avoiding unwanted consequences. Monumentenwacht has grown to become an important organization, spread all over the country and trusted by its members. Nowadays the organisation has taken up some tasks and responsibilities which used to be fulfilled by the RCE and has been assigned an advisory role, especially by private owners. Giving advice, however, may imply the risk of involvement with the market and a subsequent loss of autonomy of the organisation, which is deemed necessary by the Provinces for developing policies based on its annual reports. It is further important to consider that giving advice is a very complex job, implying skills and systematic methods, and that Monumentenwacht inspectors have grown into advisors over

time operating on the basis of extensive experience centered on visual inspections. The study of the theory as expressed by the Monumentenwacht handbook and its practical application in case studies has shown some critical points. The way of operating of Monumentenwacht is practice oriented and the activities carried out following sound ethical principles. The main issues are to clearly establish the limits of the visual inspections, and to follow a sound assessment method.

2.2 Theory and practice of conservation: diagnosis

An ideal damage assessment includes visual inspection → hypotheses on causes of damage → control and diagnosis. In the practice of Monumentenwacht, maintenance is carried out in clear cases without further investigations. In complex cases, on the basis of *visual inspections* Monumentenwacht can only formulates hypotheses on the damage cause(s). It is fundamental that Monumentenwacht makes clear to the owners that, in complex cases, specialist's advice and laboratory investigations are needed to reach a sound diagnosis.

2.3 Case studies – damage identification and causes

Based on the exam of Monumentenwacht inspection reports in relation with the inspected monument the need of using a common and more specific terminology for the identification of damage has become clear. The committers of the reports are usually laymen and this explains the use of expressions like *'some pointing weathered and locally partly washed out'*. However such expressions do not identify the type of damage. Only the use of a uniform terminology for damage identification could guarantee good communication and further allow monitoring and control of the effectiveness of interventions. The programma 'Empowering Monumentenwacht has thus started with the use of a uniform terminology based on MDCS (Monument Diagnosis and Conservation System) [7]. This online system for damage assessment, diagnosis and interventions presents atlases including types of damage and definitions, further related to possible causes. A following pilot session is planned on making hypotheses. Theory on damage mechanisms supported by scientific knowledge will be applied to cases in practice to generate hypotheses considering the materials used and their damage within given environmental circumstances and also previous interventions.

When investigations (in the laboratory) are needed to control the hypotheses, the owner often relies on the contractor for carrying them out [8]. Monumentenwacht should make it clear that scientific specialized help and investigations may be necessary. In a further phase of the co-operation 'Monumentenwacht moves' the creation of a mini-lab is foreseen for Monumentenwacht to carry out some essential measurements on moisture and salt, which can guarantees independent scientific support.

Laymen owners trust and rely on the inspectors and these can try to involve them in the conservation process, encouraging them to seek professional contractors, to achieve sound interventions yet preserving original materials. The evaluation of poor executions, like technically and aesthetically incorrect repointing signaled by the inspectors in Gelderland, is a way to contribute to the enhancement of restoration quality.

3 CONCLUSIONS

- The cooperation of all parties involved in conservation is effective for the creation of values and principles to share and act accordingly in practice. Monumentenwacht can convey these to contractors and owners.
- Using the planned structured way of operating in 'Monumentenwacht moves' the organization will better adapt to changes in conservation policy and scientific research will find practical application
- As a widely spread and trusted organization Monumentenwacht can contribute to the enhancement of quality in conservation, from visual inspection to diagnosis and interventions.

3 REFERENCES

[1] Vandersande, A. Preventive Conservation Strategy, PhD, KU Leuven, 2017.

[2] Roy Van, N., Quality improvement of repair interventions on built heritage, PhD, KU Leuven2018.

[3] TW2017 International conference, KU Leuven 'Innovative building heritage models and preventive conservation', 6-7-February 2017.

[4] Changes in Cultural Heritage Activities: New Goals and Benefits for Economy and Society (2015-'17), http://www.changes-project.eu/ retr. Jan. 2019

[5] Vandesande, A., Van Balen, K., Della Torre, S., Cardoso, F. Preventive and planned conservation as a new management approach for built heritage: from a physical health check to empowering communities and activating (lost) traditions for local sustainable development. Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development, 2018, 8, 2: 78 – 81

[6] Naldini S., Hunen van M., *Guidelines for quality of interventions in built Cultural Heritage,* accepted for publication, CRC Press / Balkema of the Taylor&Francis Group, 'Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development', accepted for publication.

[7] Https://mdcs.monumentenkennis.nl/

[8] Heinemann H. A. , Naldini S. , Monumentenwacht - an adaptive model in preventive conservation. A survey amongst members of Monumentenwacht North Brabant, Restoration of Buildings and Monuments

The Traditional Buildings Health Check: a new approach to the built heritage in Stirling, Scotland

S. Linskaill
Trust Manager, Stirling City Heritage Trust, Stirling, Scotland, UK

1 INTRODUCTION

The 2010 Scottish House Condition Survey (SHCS) found that 76% of traditional (pre-1919) domestic buildings needed repairs to critical elements [1]. Pre-1919 dwellings represent 20% of Scotland's housing stock, approximately half a million dwellings [1]. National statistics on commercial and public buildings are not collected.

Disrepair of external building fabric has cultural implications for our country's heritage, as well as its physical attributes:

- Performance, e.g. in extreme weather.
- Wellbeing of the occupants.
- Public safety.
- Energy efficiency and fuel poverty.
- Attractiveness: physical, social and economic.

The causes of disrepair extend from a lack of planned preventative maintenance and timely repair, to inappropriate and poorly executed repairs and design interventions. Despite this there is no national strategy to tackle poor maintenance and disrepair of Scotland's built heritage.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *A Monumentenwacht for Scotland?*

In 2013, Historic Environment Scotland and the Construction Industry Training Board (Scotland), in partnership, funded a 5-year pilot project as one possible measure to practically address and challenge inactivity in the repair and maintenance of Scotland's traditional building stock. The pilot was delivered by Stirling City Heritage Trust, a local agency and registered Scottish Charity.

The resulting pilot project, the Traditional Buildings Health Check (TBHC), was based on the European Monumentenwacht model in the Netherlands and Flanders, and adapted to suit the context of the Scottish heritage environment and the challenges and objectives therein. The pilot was open to all owners of traditional buildings in the city of Stirling, not solely those with national statutory protection. For a modest annual member subscription fee, building owners had access to impartial expert advice and a subsidised inspection service that provided a prioritised and detailed report on the property's condition, with recommendations for repair.

2.2 *Stirling*

Stirling, a small Scottish city with a population of approximately 36,000 [2], was selected for a number of reasons. An historic Royal burgh and major royal residence from the 14th to 16th centuries, Stirling contains eleven conservation areas and almost five hundred listed buildings [3]. It contains a diverse mix of property types in its urban centre and outlying residential areas, with a mixed demographic. For example, Stirling Town & Royal Park Conservation Area was within the 15% most deprived areas in Scotland in 2012 [4]. This is the area immediately adjacent to the internationally important Stirling Castle and contains the majority of the city's assets of national importance.

2.3 *TBHC intervention*

Through building inspection and an educational ethos, the TBHC service aimed to tackle the multiple and complex reasons for disrepair of Stirling's built heritage. Six key steps were:

1. Owners taking responsibility: acknowledging that a building is in a state of disrepair and understanding what is required.
2. Inspection equals information: identification of defects and analysis of the causes of decay and disrepair.
3. Taking action: prioritising and programming interventions.
4. Design and specification: appropriate repair / reinstatement/ adaption as required to ensure robust details, using suitable materials and methods for the intervention.
5. Successful intervention: using competent contractors with suitable skills and expertise.
6. Proactive maintenance: considered intervention through regular re-inspection and planned works.

The TBHC service supported subscription members throughout the above steps. The inspection report was the principal mechanism to support understanding and action. Fabric defects are prioritised into 3 categories, with Priority 1 requiring action within 12 months [5].

2.4 *TBHC findings*

Almost three hundred members joined the TBHC over the course of the pilot from its operational launch in October 2014 to March 2018. Of those, 255 had a

building inspection carried out providing a significant evidence base.

Figure 1. TBHC Inspector on site reviewing chimney repair.

A comparison can be made between Priority 1 defects identified in TBHC reports, and Disrepair to Critical Elements identified in the SHCS [5]. Data collected during TBHC inspections corroborated the national statistics of the SHCS. Virtually all buildings had some elements in need of repair, with 88% requiring work in the next 12 months [6].

The TBHC team found that disrepair was not solely the result of natural deterioration of the original building fabric, and a lack of timely repair. It also found significant levels of accelerated and hidden disrepair from poor quality or inappropriate interventions.

Typical findings included:

- Repairs made in inappropriate materials.
- Temporary repairs left over an extended period.
- Poorly executed repairs.
- Longer term neglect of high level elements.
- Poorly designed interventions to address inherent problems of some original details.

In addition to the physical evidence of disrepair, working closely with TBHC subscription members identified other causes. This included a lack of property owner knowledge and sufficient numbers of skilled contractors, which resulted in a mix of inactivity and low quality, poorly executed repairs.

Survey evidence [6] indicated that the TBHC service could tackle this inactivity by acting as a catalyst for repair intervention. Over 70% of respondents had maintained and repaired their buildings since becoming a TBHC member. 44% joined the TBHC to find out if there were problems they were unaware of; a further 39% were aware, but wanted professional advice. A third (35%) of those surveyed said that the TBHC report supported them to carry out their intervention appropriately; a further third (29%) had done additional work as a result of the TBHC report.

3 CONCLUSIONS

1. Disrepair: the TBHC pilot corroborated the level of disrepair of Scotland's traditional buildings. Whilst the original messaging of the service focused on 'maintaining your building', the pilot found that its principal efforts were to encourage proactive appropriate repair.
2. Poor quality interventions: the extent was greater than anticipated. A lack of suitable training means many contractors are inadequately skilled in the use of appropriate traditional materials and methods, for example specialisms such as lead work and lime mortars.
3. Cultural issues: an estimated £1.3 million of private investment had been made by TBHC members over the pilot [7], a tangible benefit to the traditional building stock of Stirling and the local economy. This investment suggests that the cultural willingness to repair is higher than first assumed and that other factors such as education and availability of competent contractors are contributory factors in many instances.
4. The TBHC service: the level of inadequate work suggested that both owners and contractors did not have the skills to undertake suitable interventions in many instances. On small repair works there was often no professional involvement from an architect or surveyor, and no statutory requirement for permissions which would allow local planning authority review. The pilot scheme demonstrated that there is a valid and verified role for a TBHC service to provide expert impartial advice to building owners to facilitate informed and timely decision making. The objective remains to ensure the sustainable allocation of both private and public resources to achieve the proactive maintenance of our built heritage.

REFERENCES

[1] Scottish Government. *S*cottish Housing Condition Survey Key Findings 2010, Nov. 2011: 46. The critical elements are those whose condition is central to a dwelling being wind and weather proof, structurally stable and safeguarded against further rapid deterioration.

[2] Scottish Government. Census 2011.

[3] Stirling City Heritage Trust. Baseline Assessment, 2005.

[4] Stirling Council. Briefing Note: Scottish Index of Multiple Deprivation (SIMD) 2012: Castle and St Mary's (Zone S01006124).

[5] Stirling City Heritage Trust. Scottish House Condition Survey 2016 and Traditional Buildings Health Check, Stirling: Comparison of Information for Stirling Town and Royal Park Conservation Area, Nov. 2018.

[6] Stirling City Heritage Trust. Traditional Buildings Health Check, Interim Review to Historic Environment Scotland, July 2017: 20-21, 24.

[7] Jura Consultants. Traditional Building Health Check Review, Final Report, Mar. 2018, i.

Condition assessment and monitoring in Milan Cathedral: putting risk assessment into practice

L. Cantini, S. Della Torre, A. Konsta
Department of Architecture, Built environment and Construction Engineering, Politecnico di Milano, Italy
F. Canali
Veneranda Fabbrica del Duomo, Milan, Italy

1 INTRODUCTION

The Cathedral of Milan, whose realization began in 1386, requires continuous care. The Veneranda Fabbrica del Duomo, the body managing the realization of the Cathedral, developed a series of technical competencies and procedures for this purpose. These good practices are also supported by the Politecnico di Milano. Among the various activities carried out by Politecnico di Milano for supporting the Veneranda Fabbrica in its mission, the risk assessment on the rich decorative sculptures became a new point demanding the setting of a proper assessing methodology.

2 THE PRESERVATION OF THE MILAN CATHEDRAL THROUGH BEST PRACTICE AND ACADEMIC RESEARCH

The renewal of the collaboration between the Veneranda Fabbrica del Duomo and Politecnico di Milano, started in 2015, confirms the joint effort to rationalize and integrate the conservation practices of the Milanese Cathedral. More specifically, the aim is to limit the isolated and episodic actions and pursue the search for an efficient strategy and organization of the whole activities in a continuous and long-term process.

Given the complexity of the construction – owing to its dimensions, its structural and material characteristics, the continuous interventions in the course of time, as well as the present environmental threats – a multidisciplinary approach is required, according to the methodological strategy described in [1]. In this perspective, the preparation of the investigation program is carried out by a team of different specializations with the purpose to improve our level of knowledge of the Cathedral structure. In fact, the ongoing monitoring and laboratory testing activities contribute to a better understanding of the deterioration mechanisms and decay evolution, the detection of the principal environmental factors and the evaluation of their effects on the state of conservation of the building.

The measurements carried out, starting during the second half of the 20th century, by geomatics techniques and never interrupted, are now supported by modern sensors and a deeper knowledge of its geometry, acquired by applying new advanced survey techniques [2]. New monitoring systems for static, dynamic and thermal analysis were recently applied to different structures of the complex for improving the analysis on its dynamic response. The historical data series recorded along the time allowed the continuous condition assessment of the structural problems of the building and the further risk interpretation.

The structural health monitoring comprises the measurement of different types of physical quantities, both static and dynamic. The on-going work started with a complete check of the tensile condition into the tie-rods at the intrados of the arches in the naves and continued to some selected structure [3].

Moreover, the acoustic pressure and the acceleration on the windows glasses caused by the public concerts in Piazza Duomo square were measured through accelerometers installed on the glasses. Further experimentation in the laboratory, seeing that international standards of exposure limits does not exist, provided a first indication of a safety coefficient [4].

Regarding the degradation phenomena on the marble surfaces, an extensive diagnostic and monitoring activity revealed the worsening effects produced by acid rains and other climate factors on the metamorphic rock, named Candoglia marble, used for the building. In detail, colorimetric measurements and on-site digital microscopy are performed in order to assess the evolution of the main degradation mechanisms, triggered by urban pollution, direct rainfall, and seasonal variations in temperature [5].

3 OPERATIVE TOOLS FOR ASSESSING ACTIVE RISKS

Through their seasonal regular inspections, the Veneranda Fabbrica set a long lasting reliable procedure for enhancing the safety conditions of the cathedral. The characteristics of the coating material, the Candoglia marble, showed common decay processes like scaling, pulverization and formation of black crusts or organic deposits. Starting in middle XX century (Ferrari Da Passano used to describe the interventions set for the damages involving the Candoglia stone elements

by a detail colored legend applied on a 1:10 scale drawing of the area under control), the Fabbrica developed a procedure aimed to identify the elements requiring a complete substitution and the ones to be maintained by sealing and repointing or to be partially reconstructed by tessellation. This approach is used also for the wide decorations realized in Candoglia stones characterizing the building facades.

Recently, the Veneranda Fabbrica is trying to set an even more analytic procedure for evaluating, during periodical inspections, the risks connected to the stone decorations, dialoguing with other institutions managing important historical cathedrals. This cooperation gives continuity to a long-lasting tradition of these never ending building yards [6].

The idea is to propose a qualitative and semi quantitative analysis of the stone surfaces organized in different steps. It is an attempt for classifying the risk. By considering the visible conditions of the element, the estimated durability of the material and the regularity of the inspections, a computation of these parameters could drive to a safety index. To this aim, a series of simulations and sensitivity analyses were carried out for evaluating the reliability of this method. Such an index could undoubtedly support decision making in order to prioritize the zones, where a conservation yard has to be scheduled, according to current procedures. However, in order to control the risk of local accidental failures of hanging decorations this procedure is highly depending on the capability of early detection, the durability estimations, and an organization oriented to small local interventions, more than works extended on large zones.

A preventive approach requires enhanced knowledge on decay mechanisms and their causes: therefore, the compatibility among the different inbuilt materials (marble, mortars, iron devices, resins…) is under investigation. For instance, the polymeric materials introduced during the restoration interventions in the 1970s gave rise to a series of decays related to compatibility and durability aspects; and, as well, to effective ignorance of how a new component can interact with the old monument. They were used both in surface parts (mortar joints, marble consolidation, protection and painting) and within the structure (passivating coating of metal bars). While the negative effects on the external facades have been already investigated, a continuous monitoring of the structure is carried out in order to comprehend in depth the relationship between the long-term alteration of the resins and the environmental conditions [7]. As for the effects induced by thermal solicitations, on the exterior surfaces and in the interiors, the thermal and hygrometric conditions are now regularly monitored. The indoor microclimate represents another source of risk, potentially producing a negative effect on the diversity of materials conserved in the interiors. The microclimatic analysis carried out in the naves of the cathedral has the aim to detect trends and peaks in the internal temperature and relative humidity distribution [8].

Sharing this knowledge, it would be possible to detect the first signs of decay processes, and to distinguish the risks, which require an immediate intervention, and the ones to be monitored and treated in the frame of the scheduled maintenance operations.

4 CONCLUSIONS

The long experience matured by the Veneranda Fabbrica in monitoring the state of conservation of the Milan Cathedral offered an important source of data for calibrating the risk assessment practices. Close to reliable practices founded on specific skills belonging to the operators working for the Veneranda Fabbrica del Duomo, new safety demands for public visitors are addressing the research of new methodologies for evaluating the active risks connected to cortical damages. Failure of the stone units composing the surface decorations (statues, moldings, sculptures) requiring a special evaluation for identifying by a qualitative analysis on the real entity of the decay consumption in order to prevent the effects of active risks.

REFERENCES

[1] Van Balen K., Verstrynge E. (Eds), Structural Analysis of Historical Constructions – Anamnesis, diagnosis, therapy, controls, London, Taylor & Francis Group, 2016.

[2] Achille C., Bocciarelli M., Canali F., Coronelli D., Della Torre S., Fassi F. The Duomo of Milan: some recent interventions on the main spire and on the tiburio vaults. In: G. Milani, A. Taliercio and S. Garrity (Eds), 10th International Masonry conference, Milan, July 9-11, 2018: 2073-2086.

[3] Canali F., Gentile C. Continuous monitoring the Cathedral of Milan: documentary and preliminary investigations. In: G. Milani, A. Taliercio and S. Garrity (Eds), 10th International Masonry conference, Milan, July 9-11, 2018: 2061-2072.

[4] Canali, F., Cigada, A., Lucaccioni, C., Toniolo, L.. Enhancing a gothic cathedral with 3rd millennium technologies: the Duomo di Milano. In: G. Milani, A. Taliercio and S. Garrity (Eds), 10th International Masonry conference, Milan, July 9-11, 2018: 2103-2113.

[5] Fermo P., Goidanich S., Comite V., Toniolo L., Gulotta D. Study and Characterization of Environmental Deposition on Marble and Surrogate Substrates at a Monumental Heritage Site, Geosciences, 2018, 8, 349.

[6] Cattedrali europee: conservazione programmata. Pisa: Opera della Primaziale pisana, 2013.

[7] Della Torre S., Cantini L. Damage control, preservation procedures and durability studies: an investigation approach through the Milan cathedral archives. In: G. Milani, A. Taliercio and S. Garrity (Eds), 10th International Masonry conference, Milan, Italy July 9-11, 2018: 2114-2123.

[8] Aste N., Adhikari R.S., Buzzetti M., Della Torre S., Del Pero C., Huerto Cardenas H.E., Leonforte F. Microclimatic monitoring of the Duomo (Milan Cathedral): Risks-based analysis for the conservation of its cultural heritage, Building and Environment, 148, 2019: 240-257.

Research on Structural Safety Assessment Method of Chinese Traditional Timber Buildings： case of the Main Hall of Baoguo Temple in Ningbo

Qing Chun, Yiwei Hua, Yijie Lin, Hui Jin
School of Architecture, Southeast University, Nanjing, China

1 INTRODUCTION

In order to establish a scientific and rational assessment method for structural safety status of Chinese traditional timber structures, the current structural safety assessment methods of timber structures in the code of "Technical code for maintenance and strengthening of ancient timber buildings" (GB50165-92)[1] and the code of "standard for appraisal of reliability of civil buildings"(GB50292-2015) [2] were studied first, with the analysis of some relevant research results[3-6], the current research results show that the importance of different types of structural members and the importance of different members of the same type are the same. In fact, for Chinese traditional timber structures, the importance of different types of structural members is different, and the importance of different members of the same type is also different. Therefore, a rational and suitable structural safety assessment method for Chinese traditional timber structures needs to be studied imminently. In this study, the importance index of structural components was introduced first, and then basing on the theory of analytic hierarchy process (AHP), the structural safety evaluation index of the overall structure could be obtained.

2 CALCULATION METHODS OF COMPONENT IMPORTANCE FACTOR

In this study, ANSYS software was used to analyze the calculation methods of structural component importance of traditional timber structures, and the killing element method and the reducing elastic modulus method were comparatively studied. A typical post-and-lintel timber structure with three bays and five purlins was taken as a research case. The unit volume change rates for the whole strain energy of the structure were calculated with these two methods, and the calculated results were shown in Figure 1 and Figure 2, respectively.

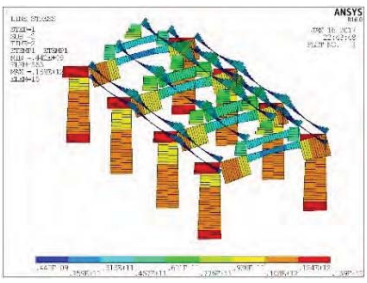


Figure 1. Killing element method

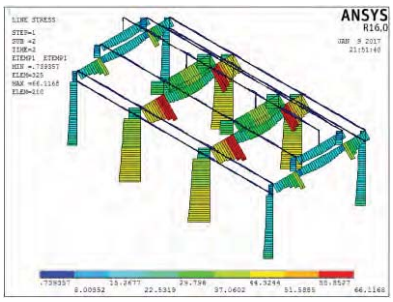


Figure 2. Reducing elastic modulus method

For the killing element method, the importance of the column above the architrave is evidently larger than that of the column below the architrave. The importance of side columns is larger than that of middle columns. While for the reducing elastic modulus method, the importance of the bottom parts of columns is evidently larger than that of the top parts of columns. The importance of side columns is evidently larger than that of middle columns. According to practical experience and structural theory, the results obtained with the reducing elastic modulus method much conform to the real situation. Therefore, with consideration of the disadvantages of killing element method, and probable structural damages, material performance degradation and mechanical characteristics of traditional timber structures, the reducing elastic modulus method was put forward to analyze component importance of traditional timber structures. For the reducing elastic modulus method, the deformation of the elements is still continuous when the elastic modulus is changed, and the load can still be transferred. The plastic failure process of timber component can be considered, it coincides with the actual structural state of traditional timber structures.

3 STRUCTURAL SAFETY ASSESSMENT WITH ANALYTIC HIERARCHY PROCESS METHOD

3.1 Weights of different layers

In order to find a rational structural safety assessment method for Chinese traditional timber structures, an evaluation process for structural safety status was established by introducing the component importance factor. A hierarchical evaluation index system was developed. Basing on the analytic hierarchy process (AHP) method[7], the weights of different layers in the system were computed afterwards. For the main factor layers, the weight of structural member level is 0.5, and

the weight of structural integrity level is 0.5. The structural member level has four sub-factor layers including component importance factor, component damage, component displacement, and component stress. The weight of component importance factor is 0.3839, the weight of component damage is 0.1108, the weight of component displacement is 0.2526, and the weight of component stress is 0.2526. the sub-factor layer of component importance factor has only one index layer. The sub-factor layer of component damage has also only one index layer, the sub-factor layer of component displacement has five index layers including bend deformation of column, deflection of roof beam, deflection of architrave, deflection of roof purlin, and deflection of slab beam. The weight of bend deformation of column is 0.4931, the weight of deflection of roof beam is 0.1903, the weight of deflection of architrave is 0.1158, the weight of deflection of roof purlin is 0.0565, and the weight of deflection of slab beam is 0.1442. The structural integrity level has three sub-factor layers including service life, inclination of timber frame, and connection of timber fame. The weight of service life is 0.1396, the weight of inclination of timber frame is 0.5278, and the weight of connection of timber fame is 0.3325. The sub-factor layer of service life has only one index layer. The sub-factor layer of inclination of timber frame has two index layers including inclination parallel to timber frame, and inclination perpendicular to timber frame, the weight of inclination parallel to timber frame is 0.6667, and the weight of inclination perpendicular to timber frame is 0.3333. The sub-factor layer of connection of timber fame has also two index layers including connection of column and beam, and connection of column and architrave, the weight of connection of column and beam is 0.5, and the weight of connection of column and architrave is 0.5.

3.2 Structural safety index of the main hall of Baoguo Temple in Ningbo

In order to verify the feasibility and validity of the structural safety assessment method in this study, the main hall of Baoguo Temple was studied as an example. The main hall of Baoguo Temple in Ningbo is a typical Chinese traditional timber building built in the Song Dynasty and the Yuan Dynasty (AD 960-1368), which has very important historical value, artistic value, and scientific value. In order to execute preventive conservation scientifically and reasonably, the structural safety status of the building should be investigated. Basing on the method above, every indicator in the evaluation system was calculated firstly according to the test and investigation on site, and then the general score and the level of the structural safety status of the main hall were obtained. The results show that the general score of the structural safety status of the building is 0.387 and the structural safety status is level 3, which means that the building has some damages and is in danger, and the building needs to be necessarily strengthened. The calculation results are also consistent with the actual status of the main hall now, which verifies the reasonableness of the calculation method of structural safety status. The results can provide theoretical basis and technical guidance for preventive conservation and maintenance of Chinese traditional timber buildings.

4 CONCLUSIONS

In this study, different calculation methods of component importance were studied. Comparing the results of the killing element method and the reducing elastic modulus method, the reducing elastic modulus method is better than the killing element method, the results obtained with the reducing elastic modulus method much conform to the real situation of Chinese traditional timber structures. A suitable evaluation method for structural safety status of Chinese traditional timber structure was established by introducing the component importance factor based on analytic hierarchy process method.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by National Natural Science Foundation of China (Grant 51578127&51778122).

REFERENCES

[1] Sichuan Institute of Building Research. Technical code for maintenance and strengthening of ancient timber buildings GB50165-92. China Building Industry Press, 1993.
[2] Sichuan Institute of Building Research. Standard for appraisal of reliability of civil buildings GB50292-2015. China Building Industry Press. 2015
[3] Ma D., Song J., Zuo Y., Zhang M., Hao M., Liu Y., Nan K., Wei Y. Reviews of the methods of safety detection and appraisal on the ancient timber structures. Building Structure,2017,S1:983-986.
[4] Xu S., Guo X., Huang R., Wang Y., Fu T. Safety Assessment of Ancient Timber Buildings Based on Analytical Hierarchy Progress. Industrial Construction,2016,12:180-183.
[5] Gerhard F., Jochen K.A scheme for the evaluation of experience of the performance of timber structures. Engineering Structures, 2011(33): 2962–2968.
[6] John D. S., Framework for robustness assessment of timber structures. Engineering Structures,2011(33):3087–3092.
[7] Deng X., Li J., Zeng H., et al. Analysis of analytic hierarchy weight calculation method and its application research. Mathematics in Practice and Theory,2012, 42(7):93-100.

Creativity and Diversification of Brick, Susudel – Ecuador

G. Barsallo, T. Rodas, V. Caldas, F. Cardoso
Proyecto Ciudad Patrimonio Mundial, Facultad de Arquitectura y Urbanismo,
Universidad de Cuenca – Ecuador

1 INTRODUCTION

Susudel is located in the southern area of Ecuador. Its inhabitants are mainly devoted to the artisanal brick production. In fact, around 23% of its population subsists due to this activity. [1] It has been favored by the exceptional characteristics of high-quality of its land and clays used as raw material. In the local context, the use of artisanal bricks presents potential advantages over other materials, however, its persistence in the market faces great challenges.

One of those challenges is related to the limited diversity of the product. Currently, the majority of artisanal producers offer a single type of brick, called “panel” which triggers an oversupply of the same product in the market, presenting a high competitive environment and decreasing supply prices in the market. In case this situation persists, the production and economic incomes generated for more than 100 families of the parish can be at risk.

In this context, the World Heritage City Project of the Faculty of Architecture and Urbanism of the University of Cuenca, in collaboration with the Faculties of Arts and Chemical Sciences, designed a research project that seeks to improve diversity on brick production. By introducing innovative alternatives, specifically in the production of brick used for the coating of floors, and taking advantage of the qualities of local resources of the place, it proposed alternatives with identity as an added value. Indeed, it was nourished fundamentally by the cultural richness of the southern region of Ecuador which includes markets such as Cuenca and Loja. The Project integrated an interdisciplinary team of researchers from the fields of architecture, chemistry, patrimonial conservation, history and arts, and included also local producers and local governments.

Methodologically, the first step was working with artisanal producers to understand the productive and commercialization dynamics around the brick production. In doing so, quantitative techniques such as surveys and qualitative techniques such as interviews were used for gathering information.

Furthermore, some examples of bricks were analyzed from chemical side, in order to identify its current physical and mechanical features. Systematically, some prototypes were produced and their qualities were tested. The research process concluded sharing the knowledge, building local capacities and assessing the proposals that emerged in the project.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *Gathering information*

The research initiated with a first exploration of the artisans focused on identifying the main stages in the processes of elaboration of brick. For this purpose, workshops were designed to collect primary data. On the one hand, those meetings served to communicate the project to the actors involved, and on the other hand, to collect data through interviews and surveys.

Secondary data from the registry of real estate properties of the INPC was reviewed. According to this dataaround 100 heritage buildings are registered in Susudel, and 42% of those buildings were made using artisanal brick in masonry of walls and covering of floors and elements related to them. With this first observation, the demand and the need for the use of brick in the heritage architecture was ratified.

2.2 *Raw material analysis*

In collaboration of a bachelor student from the Faculty of Chemical Sciences, the physical-mechanical and chemical characterization of 11 raw materials and 4 pastes (mixtures) was carried out. It was based on the study of four sectors of Susudel: San Gerónimo, Susudel Centro, Pullcanga and Sanglia. Those zones were selected and studied by advice of the local community members of Susudel and considering the existing differences in the composition of the material used to produce brick in each of those sectors.

The granulometric characterization, the plasicity, the shrinkage to the drying, the burning, the absorption of water and PH were analyzed. The results of the chemical analysis process were directly related and considered for the design of the basic tool for the elaboration of the bricks: the "mold".

2.3 *Design process*

By virtue of the approach to artisans and the study of the productive chain of brick for floor coverings, the existence of ancestral (empirical) knowledge with which they manage their production techniques was demonstrated, as well as the expertise in the development of the known "brick panel" of regular geometry (rectangular parallelepiped). However, it was also identified a limited volume of bricks used for floor covering of square, hexagonal, octagonal and rectangular geometry in floors and / or facades in certain traditional constructions at the local level. [2]

After the identification of the productive chain and analysis of raw materials, the process of participatory design began, developing new possibilities in terms of shapes, patterns and molds. During this phase we worked in a workshop with the participation of teachers and students of the first cycle of the Basic Design course of the Architecture career, with the aim of enriching this stage of the project. The students contributed with basic concepts of two-dimensional organization for the generation of forms and plots from initial modules, after which some proposals adaptable to reality were considered. In new internal workshops, the fine designs were generated, starting from the initial ideas, but modifying them based on three basic concepts related to originality: texture, form and versatility; thus, pieces with multiple possibilities of combinations and frames were obtained.

Finally, in another on-site interaction process between the research team and the artisans, molds and brick pieces were built, tested and validated.

2.4 *Results obtained*

Thanks to the information gathered, it was possible to identify that the artisans are in the capacity to make new forms of brick elements. It was detected that at present 23 brick makers have specialized in their productive practices, in bricks for floor coverings. Additionally, a database was created with the information gathered through the application of qualitative instruments, thanks to which the productive chain could be characterized. On the other hand, with the validation of the new designs obtained throughout the process, innovation in the development of new products is stimulated.

This initiative, in addition to directly contributing to the preservation of tangible and intangible heritage, is open to incorporate ancestral designs, enhancing the creativity of brick producers, through new knowledge regarding the characteristics (physical, chemical and aesthetic) of the material.

The results of the physical-mechanical and chemical analyzes provided valuable data to increase the quality of the new design proposals, formulating configurable brick types for the aesthetic and functional requirements demanded by traditional and modern architecture.

Finally, we are working on a manual for the application of the process, in which, apart from disseminating the results, there is a return of the wisdom entrusted to the research by the artisans of the community, highlighting their own local capacities and exposing the enormous potential that, thanks to creativity, can be developed.

3 CONCLUSIONS

The search for the development of new elements, promoting the creativity and diversification of the brick from participatory processes, stimulates the recovery and transmission of the ancestral knowledge of the site as a resource for social welfare. Close the process promoting a qualitative leap in the production of the brick with the delivery of a specific product such as the manual of use for the artisans of the sector, confers greater poise and safety in the production, re-strengthing their capacities, and extending their field of offers.

With this research experience, the foundations are based on a continuous process of diversification of the designs offered by the brick sector in Susudel. The innovations embodied in the prototypes obtained from the project can be considered as references for the production of new designs.

The introduction of new materials such as iron for the manufacture of molds, has cleared enigmas regarding the versatility of the bricks (with the inclusion of textures or organic forms), has opened new opportunities for floor coverings, leading artisans towards the innovation of the productive process, thus opening a range of possibilities for the diversification of its products.

REFERENCES

[1] Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial - Susudel (PDOT). Período 2009-2014.

[2] Deleg, N. (2010). Definición de un proceso de producción Semi-Industrial de Ladrillos en la Parroquia Susudel. Universidad de Cuenca

Nip in the bud: Chinese traditional preventive measures study from the maintenance project of Chong-mo-ge Pavilion in Shenyang Palace

LYU. Haiping, Wang. He
School of Architecture & Urban Planning, Shenyang Jianzhu University, Liaoning Province, China

LI Shengneng
Dean, Shenyang Palace Museum, Liaoning Province, China

1 INTRODUCTION

Chong-mo-ge Pavilion locates the west part of Shenyang Palace, which was built in 1746-1748 befor the first ancestor worshipping celebration by Qianlong Emperor in Qing Dynasty. Shenyang Palace is the Manchuria Palace, which was registered the National Monument and the World Heritage Site. It is the two-floor, three-bay length and width, double gable and hip roof with four direction corridor surrounding. The covered area is 136.7㎡,the height is 17.22m. The building is the traditional timber structure with Qing style Dougong (the bracket sets). The big roof covered yellow glazed tiles edging the green glazed tiles, with the same color's roof beasts and joints components. Chong-mo-ge Pavilion is one of the high grade royal buildings in Shenyang Palace (Figure1).

Figure 1 Chong-mo-ge Pavilion photoed in Nov. 2017

Chong-mo-ge Pavilion has the higher historic and social value because it used to store Qing royal family's achives and documents such as *五朝实录(Five Dynasties Memoir)*, *满文老档(Manchu Script Old Archives)* and *满洲实录(Manchu Memoir)* ect. from the end of 18th century. It has higher scientific value because this building is the transition example from the style minority's king to the big empire's emperor, particularly built after the official construction standard *工程做法则例* (construction standard in Qing Dynasty). It also has higher artistic value because the design represents the minority artistic taste with majority cultural influence.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *Historic repair record*

Chong-mo-ge Pavilion was repaired 9 times during 270 more years according the project record providing by Shenyang Palace Museum as followed Table 1:

Table1 Chong-mo-ge Pavilion's project record(-- refers that non-efficient repair records are provided)

Repair time	Repair reasons	Repair part	note
1765	15th March earthquake damage	--	
1768	--	repair	
1790	deterioration	partial repair	
1804	--	repair	
1951	--	repair	
1955	--	repair	
1979	--	Survey and mapping	Harbin Architecture & Civil-engineering College
1981-1989	--	Restoration through complete disassembly	
2014	--	partial repair and columns painting	

2.2 *Detailed investigation report*

Before project's investigation, staffs in the museum found diseases by eyes through continuous monitoring, the first was water seepage interior, the second was the partial deterioration of the flying rafters and eave rafters and the third was the corrosion and break to pieces of the glazed tiles. In order to regular Shenyang Palace open, the detailed investigation was applied by us without staging followed *古建筑保养维护操作规程 (Traditional Architecture Maintenance Processing Procedure*).The main invested area lay in the roofs and eave rafters.

The detailed investigation included two steps, the first step was the contrast between current situation and survey drawing which draw third grade undergraduates of Harbin Architecture & Civil-engineering College

in 1979. The second step was experienced assessment by eyes.

2.3 *The glazed tiles basic quantity collection*

The information of kinds of tiles quantity has two usage, one is that we must analyse the reason why there is the difference quantity between the drawings in 1979 and the situation in 2017. Second is that we must learn about kinds and colorful glazed tiles in this building (Table 2-3).

Table 2. The correlation table of the eave tiles quantity

1st floor roof	The drawing in 1979			The current situation		
	drop tile	round tiles	total	drop tile	round tiles	total
south	65	64	129	67	66	133
north	65	64	129	67	66	133
east	65	64	129	67	66	133
west	65	64	129	67	66	133
2nd floor roof eave tiles quantity is omitted.						

Table 3 The quantity of the green & yellow glazed round tiles of 1st floor (the plate title and the 2nd floor tiles quantities aren't listed because the limitted space for 2 pages abstract)

2.4 *The diseases analyst*

Through the detailed investigation, we found the diseases remained different partial roof tiles and the eave timber structures. Different material and location had different problems (Table 3).

Table 3 the diseases of different material in different location.

diseases	missing	loose	broken	twisting	peeling	rotted
Drop tiles	×	×				
Round tiles	×	×	×		×	
plate tiles	×	×	×		×	
rafters			×	×		×
Wa-kou-mu*	×		×	×		×
boarding			×			×

*WA-KOU-MU is the piece of wood between the roof boarding and the drop glazed tiles.

The diseases of round glazed tiles have four: missing, loose, broken, and peeling. The main problem is the loose disease which accounted for 76.6%, peeing 20.3%, missing 0.3% and broken 2.8%. The assessment shows the monument's roof didn't disturb by force under the management. The reason of loose disease base on the traditional roof construction, which are easily influenced by the nature of wind, rain, snow and plants. Acid rain pollution is the main reason of peeling tiles. The climate monitoring is necessary around Shenyang palace (Figure2).

3 CONCLUSIONS

According to the study, the major conclusions in text is given below:

List item 1: Daily monitoring and regular patrol is the one of the efficient preventive conservations. Nip in the bud through the survey.

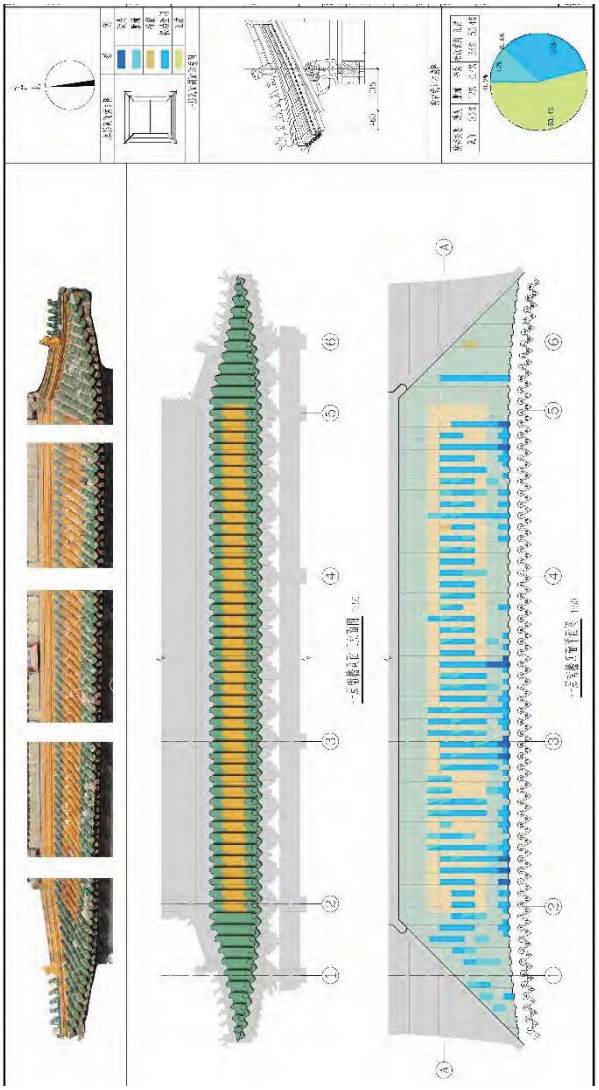


Figure 2 the pictorial disease analyst in the south eave tiles, 1st floor

List item 2: Eye-assessment with experts is the unique technique for Chinese ancient carpenters. It inherits by managers and conservation designers today. It's easy but efficient based on the experience the rational.

List item 3: Designers integrate traditional conserved assessment and modern drawing and the need of project general estimate. The design become not only the recognizable constructional drawing for workers but also the newly drawing for scientific budget for government.

List item 4: Besides the eye-assessment, the new technology are available to use not only current data collection but to analyze the data, such as DJI Go created photos, but more than photos. Such technologies will expand eyes of human being.

REFERENCES

[1] ICOMOS China. Principles for the Conservation of Heritage Sites in China Principles & Commentary. 2015 edition.

[2] Shenyang Palace & Tombs' Committee. The history of Shenyang Palace. Liaoning national Publisher, 2006:64.

[3] National Cultural Heritage Administration. Traditional Architecture Maintenance Processing Procedure. 2015 edition

From Adaptation to Innovation: The Development and Trend of Fire Control in Historic Districts of China（1990-2018）

LI Xinjian
School of Architecture, Southeast University, Nanjing

LI Lan
School of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing, China

Zhang Shengtu
Fire Rescue Corps of Qinhuai District, Nanjing, China

1 INTRODUCTION

In the past 30 years, the concept and technology of fire prevention in Chinese historic areas change from confliction to adaptation, and are moving towards innovation.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *Confliction（1986-2000）*

Historic district conservation started from Europe since 1960s. In China, historic districts were officially included into the urban conservation system since 1986, and had suffered a confliction between heritage conservation and fire protection throughout 1990s.

Chinese historic districts were mainly composed of dense old wooden buildings with aged electrical equipment, so faced serious fire risks. However, their fire protection was lake of special strategy or technique researches, and had to follow the uniform regulations of city fire control. These regulations stipulated that, each plot should set fire-truck passageways with intervals not exceeding 160 meters, and each passageway should be at least 4 meters wide and high.

While these standard fire-truck passageways were unaffordable for historic districts. China did not experience the era of rapid wheeled carriage, most historic districts maintained streets and lanes built in hundreds years ago, which were dense, winding and narrow with 2-4 meters width. These historic roads were valuable for heritage conservation, but could not be taken as standard fire-truck passageways.

In that time, for the fatal importance of fire safety, many historic districts were compelled to widen historic roads as fire-truck passageways with standard dimension of and thus changed the historic spatial pattern the harming the value of historic districts.

2.2 *Adaptation (2001-2010)*

Since 2000, the concepts and techniques of adaptive fire control gradually emerged in Chinese historic districts. More and more scholars realized that modern fire fighting technologies and regulations should be changed to adapt to the old and charming historic districts, and took researches from different perspectives.

The initial breakthrough was on fire-trucks and their passageways. For the historic districts were all made up of residential wooden houses with lower levels, their fire fighting needed not bulky climbing truck and chemical fire engine, but just water, fireman, pumps and hose. If there were reliable water supply, the bulky water tanker could be replaced by special small-sized fire trucks loading firefighters, pumps and hoses, which could drive through narrow historic lanes, so to avoid their broadening.

This idea stimulated many flexible and adaptive methods in historic districts. Fire hydrant layout changed denser to adapt to historic spatial pattern, making sure hydrant spacing less than 80 meters, and each building locating within the protection range of at least two fire hydrants. Firewater came from not only urban fire hydrant system, but also from natural lakes, rivers, pools and artificial wells, pools and tanks. Historic districts, working with the fire brigade, equipped community volunteer firemen, portable pumps, holes and other firefighting tools, provided residents home extinguishing equipment and trained their skill, and gradually set up a self-rescue system.

Efforts to reduce fire risk were from all sides. As the most common causes among fire statistics in historic districts discovered, risky aged electrical equipment got overhauled and upgraded. Local community and fire brigade formulated fire risk checklists and took regular inspection and rectification. Researches increasingly concerned fire science of historic buildings and districts, developed new adaptable fire-proof materials and fire monitoring, alarm and extinguishing products.

Based on all above, the state legislation of heritage conservation confirmed that heritage districts and buildings could take flexible fire-control policy beyond the common regulations. During this time, the central and local governments promulgated several special fire-control management regulations and technique guidelines for urban and rural historic districts and buildings.

2.3 *Innovation (since 2010)*

Since 2010, theories of preventive heritage conservation and performance-based fire protection are promoting various innovation researches on fire control of historic districts.

Rigescent fire-control prescriptions changes towards flexible performance targets based not only on fire risk assessment, but also on historical and comprehensive valuation. The performance-based goals of fire control are discussed according to the acceptable fire losses of historic value linked with conservation planning.

While studying the internal combustion performance of historic buildings, researchers begin to study the fire spread control of historic districts by a combination of tradition and modern technology. Traditional facades of wall and roof materials and fire spread control structures are under physical test and digital simulation experiments, to find their modelling methods and emulation parameters, scientifically explain and learn from those ancient experiences.

Digital tools, such as Big-Data, GPS, 3D-GIS, PyroSim and PathFinder, are integrated to build a fire emulation platform. This platform can promptly work out fire extinguishing and personnel evacuating plan according to different location, cause and weather condition of the fire. Combined with Internet, VR and AI techniques, It will be used in firefighting training both for the publics and firefighters. Together with the appliances of wireless monitors, automatic extinguishment facilities, and especially with Internet of Things (IoT) techniques, a smart fire control system may be worked out in the near future.

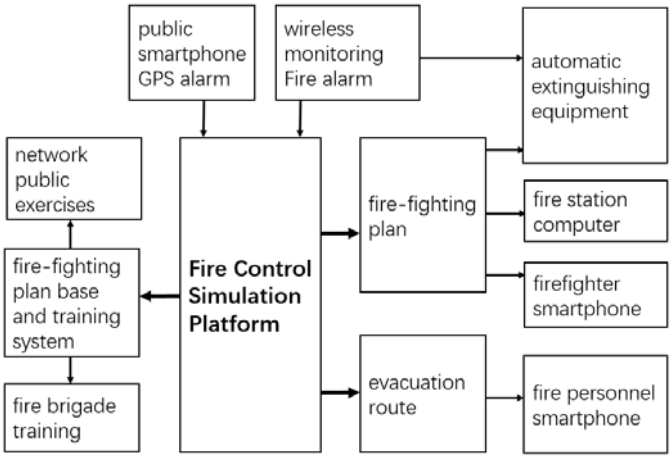


Figure 1. Structure diagram of smart fire control system

3 CONCLUSIONS

At present, Chinese historical districts, especially those in remote rural areas, are impossible to completely eliminate fire disaster, but a preventive and smart fire control system can effectively lower their loss of life, property and heritage value. To achieve this goal, the following aspects should be highlighted in the future:

- performance-based fire protection objectives based on value assessment and heritage conservation planning;
- combustion performance test of Chinese traditional building materials; scientific analysis and application improvement of historical fire control structures and treatments;
- priority of preventing fire spread over preventing fire occurrence;
- combination of digital and IoT technologies with advanced fire-fighting and monitoring technologies.
- Community and residents' capacity building of self-rescue and their cooperation with local fire brigade.

ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is funded by the General Program of National Natural Science Foundation of China（Grant No. 51678129），and got helps from Mr. Li Jianbo, Ms. Qian Ning, Miss Li Min and Miss Wu Meiping.

REFERENCES

[1] Li Xinjian, li Lan. Adaptable strategy of fire control in the conservation of historic districts. Journal of Urban planning, 2003, 27: 55-59.
[2] Hu min. Research on fire prevention in historical districs [D]:[master's thesis]. Beijing: China institute of urban planning and design, 2005. P32
[3] Li Zhi. IoT Based Fire Escaping Algorithm and System Design. Dissertation Submitted to Hangzhou Dianzi University for the Degree of Master, 2017.03
[4] Ya-Ning Yen, Chin-fang Cheng, Wun-Bin Yang. A research on the digital technology for the management and disaster prevention of heritages based on the integrity concept. Disaster Mitigation of Cultural Heritage and Historic Cities, vol. 6, 2012.7,Kyoto, Japan
[5] Zeng Xiang, Yang Zhebiao, Xu Zhen, Lu Xinzheng. Fire spread simulations of building groups in rural areas. Journal of Tsinghua University (Sci & Technol), 2017, 57, 12: 1331-1337
[6] Wang Yannan, Qiu Hongxing. Numerical analysis of spreading law of ancient timber building group fire based on FDS. China Safety Science Journal, 2014, 24, 6: 26-32
[7] Hui Chengyu, Xiao Zenan. Fire spread risk analysis of traditional village dwelling Houses. Journal of Building Science, 2016. 09. 32: 125-130

Settlement risk assessment using PSInSAR

T. Croonenborghs, M. Shimoni, C. Perneel
Signal and Image Centre, SIC-RMA, Brussels, Belgium

A. Drougkas, E. Verstrynge, K. Van Balen
Department of Civil Engineering, KU Leuven, Leuven, Belgium

R. Hayen, F-P, Hocquet
Royal Institute for Cultural Heritage (KIK-IRPA), Brussels, Belgium

P-Y. Declercq
Geological Survey of Belgium, Royal Belgian Institute of Natural Sciences (RBINS), Brussels, Belgium

1 INTRODUCTION

The measurement of the progression and spatial distribution of ground movement is necessary in order to create reliable forecasting models and to adopt an appropriate strategy for structural preservation. Traditionally ground movement is measured using time consuming and costly in-situ terrestrial methods and by integrating large environmental, architectural and historical parameters. In the last decade, Persistent Scatterer Interferometric (PSI) has been proven as a unique tool for low cost and precise ground surface deformation analysis [1]. The spatial distribution of settlements and the maximum settlement directions derived from this satellite based radar measurement were compared to field evidence and showed high potential for monitoring and evaluating settlement induced damage to heritage buildings [2]. However, the computation of PSI requires sets of dozens of radar images in order to accurately detect temporal ground deformations. Nevertheless, complex 2D or 3D damage models require the integration of large sets of building parameters including the geometry, material, loading, boundary conditions and tunneling induced strains [5].

The GEPATAR project (GEotechnical and Patrimonial Archives Toolbox for ARchitectural conservation in Belgium) aims at creating an online interactive geoinformation tool that allows the user to view and to be informed about Belgian heritage buildings at risk due to calculated differential ground movements. The project developed a computing architecture in a cloud environment that allows the integration of remotely sensed, historical, architectural and environmental big data sources and the compilation of data mining, processing of PSI and modeling of settlement induced damage.

2 THE GEPATAR COMPUTING ARCHITECTURE AND MODELS

The GEPATAR architecture was created within a cloud computing environment and consists of components that support both real-time and batch processing (Figure 1). Specifically, a Docker container is intrgreted for optimizing the compilation of five processing schemes:

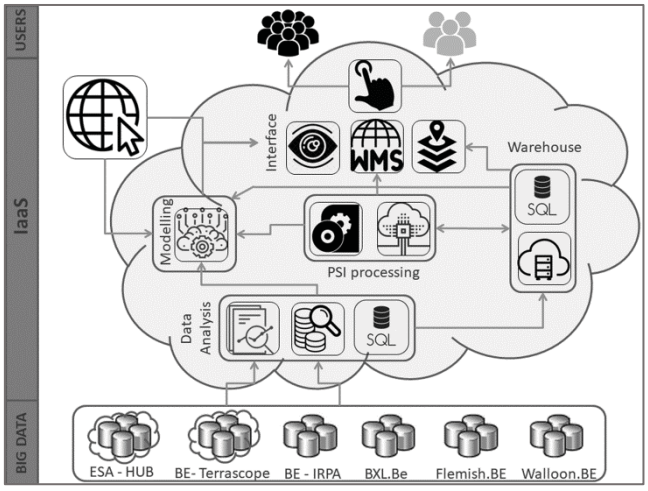


Figure 1. The cloud computing architecture created for GEPATAR

Data analysis includes scripts for data integration and data mining. The latter searches for key words within digital sources for assigning structural style (i.e. masonry, infilled or bare frame) to the polygon of each building.

In the ***warehouse*** a Hadoop cluster is used to process and transform the large imaging set into structured data for further processing. It includes the entire raster and vector layers that are required for further processing, modeling or visualizing.

PSI processing. The cloud provides massive and scalable computing infrastructure for handling the heavy processing tasks of PSI. It is created using an open-source package, SNAP, developed by the European Space Agency and STaMPS developed by Stanford University [3]. The estimated ground velocities, which are the output of the PSI processing, are migrated into the damage induced model for further processing and are classified for the creation of a settlement risk map at a country scale (1:50,000).

Modeling. Based on the results of the models described in Section 2.1, three building damage levels are determined, adapted from deformation thresholds

stipulated in the ASCE7 16 design code [6]: negligible (1), moderate (2) and severe (3).

The interactive **interface** is supported by image derived visualization tools as Jupiter and D3.js. It integrates web map and GIS formats that allow to sort, visualize and query locations and monuments in various information layers.

2.1 *Settlement induced damage models*

For the settlement induced damage models, three data sets are required: the predicted ground velocities using PSI for a selected period, the polygons of the heritage buildings and a Digital Surface Model (DSM) at very high spatial resolution (≤ 0.5 m). The model creates a buffer of 10 meters around each polygon and identifies the measured PSI points located within each buffer. The model requires a minimum of two points for each building to calculate the surface fit and to predict the settlement rate. Specifically, three settlement induced models are implemented for masonry structures following the methods are proposed by Boscardin and Cording [5], Giardina et al., [6] and Fischer [7]. Two other models for infilled and bare frames are adapted from the latter [8]. The models are calculated for the 3D surface of each building by obtaining the surface slope and by fitting the vertical velocity and the position (x, y) of each point using multivariate linear regression.

2.2 *Test case - St. Paul's Church (Antwerp)*

The St. Paul's Church or Sint-Pauluskerk (in Dutch) is a Roman Catholic Church located near the Scheldt River at the Veemarkt in Antwerp (Figure 3). The exterior of this small church built by the Dominican Order in 1276 in masonry, is mainly Gothic with a Baroque tower. Figure 2 presents the polygon of the church and its buffer superimposed on the cadastral map of the area. The Figure also presents the PSI points located within this area for various periods (*t*).

The GEPATAR interface page of the church is presented in Figure 3. The page shows a 3D image of the building and provides general information about its location, typology and estimated damage. The model estimates severe damage to the structure due to ground settlement. The church is located in soft sediments areas that have a natural tendency to settle, aggravated by the heavy surface loads due to the industrial and urban development around the port of Antwerp. For the period of 1992-2018, the average annual displacement measured using PSI is about -5 mm/year. Maximum yearly subsidence of -24.9 mm/year was recorded by PSI analysis for the period 1992-2001.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is funded by the Belgian Science Policy, grant nr BR/132/A6/GEPATAR.

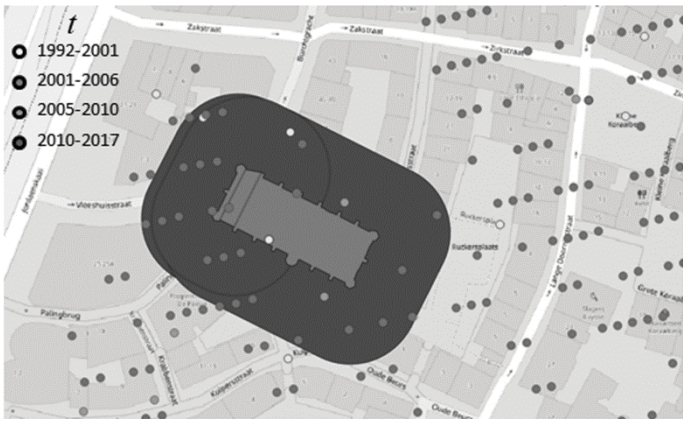


Figure 2. The measured PSI for different *t*, superimposed on cadastral map and a buffer around St-Paul polygon.

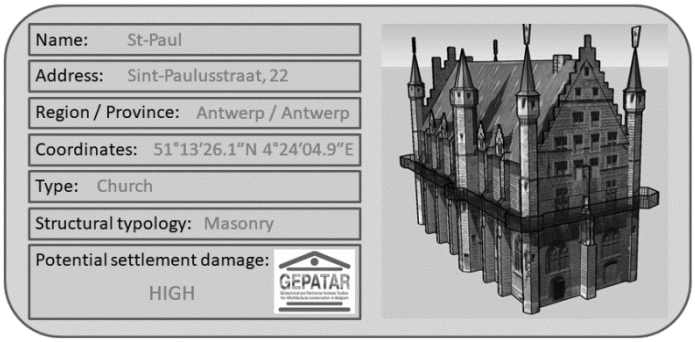


Figure 3. GEPATAR interface page of St-Paul church

REFERENCES

[1] M. Crosetto, O. Monserrat, M. Cuevas-González, N. Devanthéry and B. Crippa, "Persistent scatterer interferometry: A review," ISPRS J. Photogramm. and Rem. Sens., 115, pp. 78–89, 2016.

[2] S. Bianchini, F. Pratesi and T. Nolesini, "Building Deformation Assessment by Means of Persistent Scatterer Interferometry Analysis on a Landslide-Affected Area: The Volterra (Italy) Case Study," Remote sensing 7, pp. 4678-4701, 2015.

[3] Hooper, A., Zebker, H., Segall, P., & Kampes, B. "A new method for measuring deformation on volcanoes and other natural terrains using InSAR persistent scatterers," Geophysical research letters, 31(23), 2004.

[4] M.D. Boscardin and E.J. Cording, "Building response to excavation-induced settlement." J. Geotech. Eng., 115:1(1), pp. 1-21, 1989.

[5] G. Giardina, M.A.N. Hendriks, and J.G. Rots, "Damage functions for the vulnerability assessment of masonry buildings subjected to tunneling," J. Structural Engineering, 141(9), 2015.

[6] D. Fischer, Interaktion zwischen Baugrund und Bauwerk - Zulassige Setzungsdifferenz sowie Beanspruchung von Bauwerk und Grundung, Ph.D thesis, University Kassel, Kassel, 2009.

Monitoring of Water contents and Temperatures of historical Walls with interior Insulation in Switzerland

Dr. Christoph Geyer, Barbara Wehle
Bern University of Applied Sciences, Solothurnstr. 102, CH-2500 Biel/Bienne Switzerland

1 INTRODUCTION

In order to reach the objectives of the Swiss Energy Strategy 2050 [1] it is necessary to improve the heat protection of the envelopes of the existing building stock in Switzerland.

To preserve the cultural heritage, walls of historical buildings have to be renovated with interior heat insulation systems.

Energetic refurbishments of walls in historical buildings with interior heat insulation show higher risks of damage caused by high moisture contents in the construction. Therefore, the robustness with regard to moisture protection of the construction is predicted by numerical programs, calculating the moisture content of the construction layers.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

Exterior walls of three historical buildings in Switzerland were refurbished with interior heat insulation. As insulation material glass wool, stone wool and cellulose fiber were used. The three buildings are situated in Aarwangen, Brüttelen and in Bütschwil.

2.1 *Property in Aarwangen*

As an example, the first building is described in more details. The building is part of a farm which is located in Aarwangen. Figure 1 shows the west corner of the house. The building was erected in 1908.

The walls were renovated with an internal stone wool insulation. Table 1 shows the layers of the refurbished wall.

Figure 1. Photograph of the western corner of the test building in Aarwangen

Table 1. Layers of the refurbished masonry wall

	Thickness in cm	Material
External plaster	1 cm	
Masonry wall	30 cm	Brick
Heat insulation	8 cm	Stone wool, thermal conductivity 0.035 W/(mK)
Vapour Barrier		Variable vapour barrier
Installation cavity	4 cm	Stone wool, thermal conductivity 0.033 W/(mK)
Internal cladding	1.5 cm	Gypsum fiber board

3 MEASUREMENT SETUP

The moisture contents and temperatures of the material layers in these reconstructed walls were measured on-site during a time period of two years.

In all buildings the measurement setup was installed at two positions in exterior walls at different directions to consider the influence of weather e. g. rain fall.

The measurement sensors are positioned in the external plaster, in the masonry wall and in the heat insulation layer. As a measurement interval 10 minutes for

the measurement period two years were chosen. In addition, the temperature and the relative humidity of the air in the room behind the wall were measured. The exterior climate data was taken from the Swiss weather portal IDAweb [2].

4 SIMULATIONS

The water content of different layers of the reconstructed walls were calculated by using a numerical program for transient coupled heat and moisture transport, named Wufi Pro [3].

In order to minimize the differences between the simulations and the measurement values a large number of calculations runs for the three objects were performed. To obtain minimal differences between simulation and measurement it was necessary to change material parameters like the liquid transport coefficient of the masonry wall to consider the moisture transport via the mortar in the wall.

To reproduce the high value of water contents at the beginning of the measurement period, additional humidity sources has to be added in the simulations. By using these humidity sources penetrating water caused by leakages at windows could be considered.

5 RESULTS

The most critical position in the renovated walls is located between the masonry wall and the interior insulation. Therefor the differences between the simulation and measurement values of the temperatures and the relative humidity are presented for this position.

Because of a temporal fail of the sensor between masonry and interior heat insulation in Bütschwil the results are presented for the position inside the insulation.

The numerical values for the temperatures in the different layers of the renovated walls fit well to the measurement data.

The mean for the difference of the temperature of the most important position between the insulation and the masonry wall is (2.6 $\pm$ 2.8) K in the northwest wall of the first building in Aarwangen, (-0.8 $\pm$ 3.0) K in the northwest wall of the second building in Brüttelen and (1 $\pm$ 1.2) K in the north wall of the third building in Bütschwil.

The deviations of the calculated values from the measured values of the relative humidity are as follows: the mean of the difference is (4 $\pm$ 13) % r. H. in the northwest wall of the first building in Aarwangen, (-1.3 $\pm$ 6.2) r. H. in the northwest wall of the second building in Brüttelen and (-2.5 $\pm$ 8.2) % r. H. in the north wall of the third building in Bütschwil.

6 CONCLUSIONS

By comparison of the measurement values with the calculated ones the reliability of the prediction calculation was detected. The predicted values of the simulation program reproduce the measured values of moisture content and temperature in the construction layers within a small error margin.

These differences may be used as a safety margin for future predictions of moisture content in the construction elements of reconstructed walls with interior insulation.

ACKNOWLEDGEMENTS

We want to thank the Swiss Federal office for Energy and our industrial partners Flumroc AG, CH-8890 Flums, Isofloc AG, CH-9606 Bütschwil, Saint-Gobain ISOVER AG, CH-3550 Langnau and Pro clima Schweiz/MOLL bauökologische Produkte GmbH, D-68723 Schwetzingen for the funding of the project. Furthermore, we like to thank the owners of the buildings for the permission to install the measurement setup.

REFERENCES

[1] Energiestragie 2050 – Erstes Massnahmenpaket Swiss Federal office for Energy, 13.09.2012

[2] MeteoSchweiz, Datenportal IDAweb, Swiss Federal office for Meteorology und Climatology, 01.12.2014. Available http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publikationen/beratung-und-service/datenportal-fuer-lehre-und-forschung.html.

[3] Wufi Pro, Fraunhofer Institut für Bauphysik, Holzkirchen

Laser Scanning, Monitoring and Analysis of a Reconstructed Masonry Vault

A. Drougkas, E. Verstrynge
Building Materials and Building Technology Division, KU Leuven, Leuven, Belgium

M. Bassier, M. Vergauwen
Geomatics Research Group, KU Leuven, Ghent, Belgium

1 INTRODUCTION

Reconstruction of historic building elements is often necessary in adaptive re-use projects. Optimally this is performed with as much original material as can be salvaged. However, the use of hydraulic lime mortars in reconstructed masonry can lead to long curing time and excessive deformation under mechanical loads. Therefore, masonry reconstruction projects using historic materials should always be closely monitored. This paper focuses on the reconstruction of a masonry vault in such an adaptive re-use project.

Figure 1: Floor plan with vault position indicated.

The vault was dismantled and reassembled using the original bricks and a newly made hydraulic lime mortar, the latter of which was mechanically characterized. New tie rods were installed before re-construction of the masonry vault. Existing cracks in the masonry walls supporting the vault were monitored for the detection of new damage. Detailed geometrical surveys were carried out using terrestrial laser scanning at two points in time after the reconstruction of the vault: a) before removal of the formwork and b) after the removal. These scans are able to not only register the geometry of the vault in great detail, but also to measure the deflection of the whole structure under its self-weight non-intrusively and with good accuracy.

1.1 *The vault structure*

The original vault was constructed using solid clay bricks and lime mortar. It horizontally spans roughly 9.66 m × 8.00 m and has a rise of 1.23 m (Figure 1). Its thickness in the mid-section of the span, measured manually through an opening in the vault, is 0.20 m.

1.2 *Material testing*

Samples of the new lime mortar were cast at the time of construction. These were cut in 40 mm cubic samples and tested in compression at the ages of 14 and 21 days. The results are presented in the following table:

Table 1: Compressive strength of mortar.

Age [days]	f_m [N/mm^2]	CoV [-]	# samples
14	3.38	0.13	3
21	4.20	0.04	3

An increase of the compressive strength is registered for the samples aged 21 days. This age coincides with the time between finalization of the construction of the vault and removal of its formwork. It is therefore similar to the age of the on-site mortar when the vault's thrust line is activated.

1.3 *Monitoring*

The deflection of the vault during the gradual lowering and eventual removal of the formwork was measured at specific points by the contractor, amounting to roughly 3 cm at the center of the span.

A number of DEMEC displacement measurement points and crack meters were installed at visible cracks on the masonry walls supporting the vault, as well as on one of the old metallic ties. Measurements were registered before and after the removal of the formwork. The monitoring data did not indicate any major opening of cracks or additional displacements.

2 LASER SCANNING RESULTS

The deflection of the vault was determined by the use of point cloud data. A terrestrial laser scanner captured the geometry of the structure before and after the removal of the formwork. In this project, a Leica P30 was utilized, yielding a point cloud accurate up to 2 mm with a spatial resolution of 2 mm.

The deflection was established by evaluating the cloud-to-cloud distance between both point clouds. The results are shown in Figure 2. A maximum displacement of 0.030 m ±2 mm is observed.

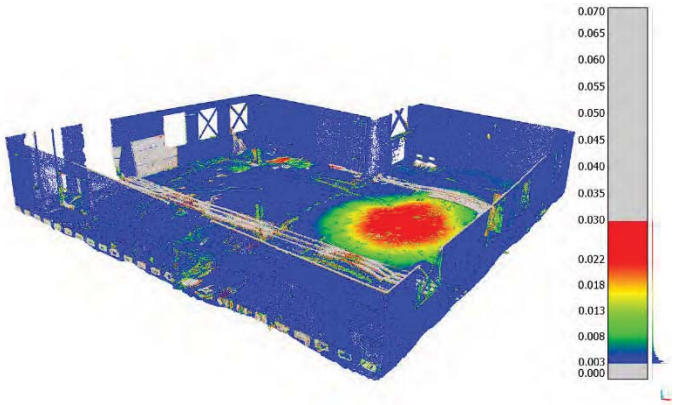


Figure 2: Cloud-to-cloud distance in vertical direction between two scanning campaigns [m].

Additionally, the acquired points were used to create a realistic mesh model of the vault. The top side of the structure was reconstructed using Poisson meshing after which the bottom side was determined by a fixed offset from the topside. The remaining holes were manually sealed, resulting in a watertight model that served as the basis for the numerical modeling.

3 NUMERICAL MODELING

3.1 *Model geometry*

The vault was numerically modeled using the software package DIANA FEA [1], adopting a linear elastic approach. It should be noted that this oversimplified approach was chosen as only the vault's instant deflection, not its ultimate limit, was investigated. Three different geometries were considered: a) an idealized curved shell, b) an idealized 3D solid and c) a scan-derived 3D solid. The first two geometries are determined by the fitting of simple shell or solid shapes to the actual geometry, while the third is derived directly from the high-precision scanning data.

3.2 *Loading and boundary conditions*

The models were loaded by their self-weight with no additional dead or live loads added. This is consistent with the state during and after construction, during which minimal service load was present, as well as with the projected use of the vault: the overlaying floor will rest on the surrounding masonry walls and not on the vault itself.

Boundary conditions were applied according to the horizontal translational restraint provided by the underlying masonry structural elements. Therefore, the ties were not explicitly considered in the model. Vertical restraint was provided at the four corners.

3.3 *Material properties*

From the determined compressive strength of the mortar f_m, and an estimated strength for the clay bricks f_b, the compressive strength of the masonry f_k is calculated from the Eurocode 6 equation [2]:

$$f_k = K \cdot f_b^{\alpha} \cdot f_m^{\beta}$$

The Young's modulus of the masonry E is calculated from the equation [3]:

$$E = 350 \cdot f_k$$

3.4 *Analysis Results*

All of the models give similar deflection shapes, which are in good agreement with the shape obtained from the scanning. Differences are noted in the volume and weight of the models, with the shell model being 314 kN, the solid model 307 kN and the scan model 352 kN.

The maximum deflection obtained by the shell model is 5.93 cm. The solid model produces a deflection of 6.07 cm. The scan model, despite being the heaviest, produces a deflection of 3.22 cm, both the lowest of the three and the closest to the actually obtained maximum deflection.

4 CONCLUSIONS

Several simple monitoring techniques were shown to be used efficiently during reconstruction of a masonry vault. Structural analysis of the vault has been carried out employing three approaches for representing its geometry. Differences in the approaches in terms of obtained deflection highlight the importance of detailed geometrical survey for the analysis of historic structures. Detailed geometric survey data is shown to be critical in achieving accurate analysis results in structures whose behavior is governed by their geometry.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank V. Wirix from Denys NV and F. Noë from VK Engineering for their support of the on-site work, and WTA-NL-VL for the financial support.

REFERENCES

[1] TNO. DIANA Finite Element Analysis, User's Manual 2017.

[2] CEN. EN 1996-1-1 - Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. 2005.

[3] Drougkas A, Roca P, Molins C. Numerical prediction of the behavior, strength and elasticity of masonry in compression. Engineering Structures 2015; 90:15–28.

Immediate measures to prevent condensation induced damage on the wall frescos of the “Ritterhaus Bubikon”

K. Ghazi Wakili, Th. Stahl
IABP, Institute for applied building physics, Winterthur, Switzerland

D. Tracht
Museum Ritterhaus Bubikon, Bubikon, Switzerland

A. Barthel
Canton of Zurich, Building Department, Conservation and cultural heritage, Dübendorf, Switzerland

1 INTRODUCTION

The Ritterhaus Bubikon close to Zurich is considered as the best preserved commandery of the Order of St. John/ Order of Malta in Europe (Fig. 1). Its history dates back to the year 1192. The Society of the Ritterhaus Bubikon founded in 1936, saved the unique medieval building from downfall and established a museum about the house and the orders of the knights. Since 1959 the Ritterhaus has been under protection of the Swiss federal government.

Figure 1. Overall view of the “Ritterhaus Bubikon”. The red circle indicates the small investigated hall in front of the chapel.

The east-oriented walls of the entrance hall to the **unheated** Ritterhaus chapel are covered with bacteria and algae (Fig. 2) caused by condensation during the spring time period. They have been recognized responsible for the partial destruction of frescos (the blessed on the left and the doomed on the right) of those walls.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *Initial state and improvement procedure*

Pink and black discolorations are visible on the upper and respectively lower parts of the eastern wall of the entrance hall (Fig. 2). It has been reported that mainly in springtime condensation water was dripping down the cold walls (no heating during winter time). The aim of the present investigation is to ameliorate the existing situation by monitoring the ventilation schedule dependent on the moisture contents of both the outdoor and the indoor air. For this purpose, all openings of the hall have been closed and a fan installed which opened whenever the absolute moisture content of the outdoor air was lower than the absolute moisture content of the indoor air.

Figure 2. The wall with frescos (framed in red) damaged by condensation and consequent growth of algae and bacteria.

2.2 *Measuring equipment*

Six temperature sensors were placed on different parts of the wall and a pair of combined temperature and moisture sensors were installed in the room and respectively outside in front of the door to measure the conditions of the indoor and outdoor air. Data logging and regulation of the fan was done by an Ahlborn equipment ALMEMO®. Measured values were stored every 6 minutes. In order to prevent a continuous triggering of the fan, a difference of 1 K was defined between the room side and the outdoor dew point temperature as triggering condition.

2.3 *Evaluation of measured data*

For matters of legibility, a period of 7 days (April 7th to April 14th) has been extracted from the whole measuring period of 3 months and shown in Figure 3. The orange and the green lines represent the dew point of the room side and outdoor air respectively. The additional 1 K shows the criterion for triggering the fan. The gray line at the bottom shows the “ON” and “OFF” positions of the fan. Figure 3 shows that whenever the dew point temperature of the outdoor air was higher than the dew point temperature of the room side temperature the fan was closed and no external air entered the room. By this it was possible to avoid moisture accumulation during the whole measuring period.

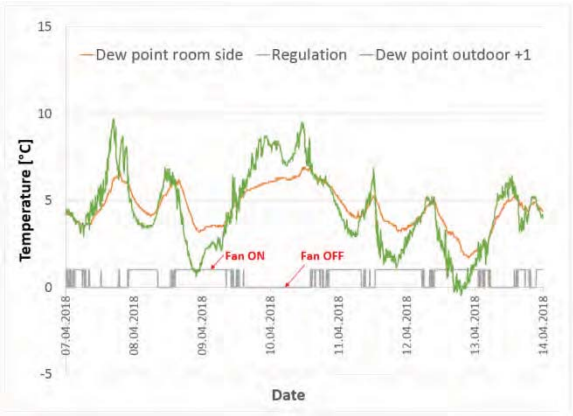


Figure 3. The dew point temperature of room side air (orange) and the outdoor air (green) with the open and closed intervals for the fan (gray).

2.4 *Microbiological data*

Small surface probes with black and pink discolorations on them were taken from the wall and sent to the Fraunhofer Institute in Holzkirchen for analysis. The black discoloration was found to be due to a blue alga called Gleocapsa atrata KÜTZING. This needs liquid water (condensation) to survive. Preventing condensation on the wall surface means the destruction of the living conditions of this alga.

The pink discoloration is due to the presence of bacterial colonies of the type Micrococcus sp and its typical carotinoid pigmentation. It seemed that these colonies were already dead and unable to revive under laboratory condition. This might be due to a previous chemical treatment. These bacteria need a relative humidity level of 87-93 % at air temperatures between 20°C and 40°C. By keeping the air relative humidity beneath 87% a futher growth can be ruled out. Figure 4 shows this for the whole measuring period (February 9th to May 16th 2018). The blue line representing the relative humidity of the room side air remains below this threshold of bacterial growth. This can be even increased in future by increasing the air exchange rate of the fan so that a larger amount of dry air is blown into the room.

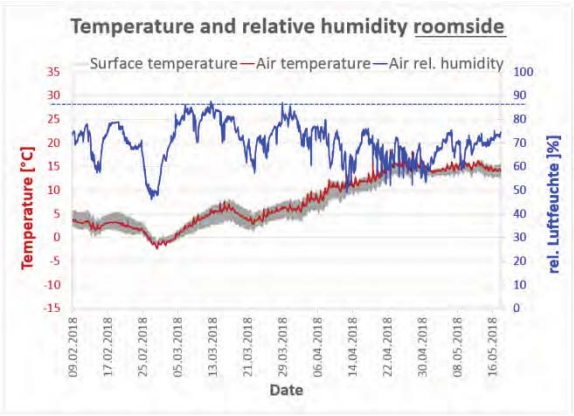


Figure 4. Evolution of room side air temperature and relative humidity during the whole measuring period. The dashed blue line is the threshold in relative humidity for bacterial growth.

In our case March seems to be the most critical month. This depends of course on the location and the orientation of the building under investigation.

3 CONCLUSIONS

The room side air temperature of the entrance hall to the unheated Ritterhaus chapel was monitored and kept to the driest possible condition by means of a fan pushing outdoor air whenever its absolute humidity was lower than that of the room-side air. The measurements of the critical spring-time period show that it is possible to avoid condensation on the walls and reduce the moisture content of the room side air. It was shown that by doing so it was possible to prevent the growth of algae and bacteria. This in turn stops the further deterioration of the remaining frescos.

The findings are also in-line with previous investigations on heritage buildings under similar climatic conditions [1,2]. The present can also be seen as a useful supplement to thermo-hygric quality in heated rooms containing protected artefacts [3].

ACKNOWLEDGEMENTS

The technical and financial support of the “Society of the Ritterhaus” represented by Beat Meier is highly appreciated by all the authors.

REFERENCES

[1] Kiessl K., Holz D. Klimaabhängige Belüftungssteuerung und einjährige Feuchtekontroll-Untersuchungen im Obergeschoss der Torhalle Lorsch (in German). IBP-Bericht FB-64/1995, Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen, 1995.

[2] Kilian R., Kosmann, S. Torhalle Lorsch. Entwicklung eines Klimakonzeptes (in German). IBP-Bericht RK 008/2012/294, Fraunhofer Institut für Bauphysik Holzkirchen, 2012.

[3] Corgnati S.P., Filippi M. Assessment of thermo-hygric quality in museum: Method and in-field application to the “Duccio Buoninsegna” exhibition at Santa Maria della Scala. Journal of Cultural Heritage, 2010, 11, 345-349.

Energy Retrofit of Historic Timber-Frame Buildings- Hygrothermal Monitoring of Building Fabric

C. J. Whitman, O. Prizeman, J. Gwilliam
Welsh School of Architecture, Cardiff University, Cardiff, UK

P. Walker, A. Shea
BRE Centre for Innovative Construction Materials, Department of Architecture & Civil Engineering, University of Bath, Bath, UK

1 INTRODUCTION

Energy retrofits have been identified as a key action to decarbonize the UK's building stock and improve hygrothermal comfort [1]. When undertaken with sufficient knowledge and consideration, the energy retrofit of historic buildings can be successfully achieved [2]. However, both aesthetic and technical issues must be fully understood in order to avoid unintended consequences [2]. Research in the UK has focused on the predominant solid masonry construction [3-5], with little research covering the 68,000 historic timber-framed buildings that form an integral part of the UK and specifically England's cultural identity [6]. This paper explores this previously under-researched area.

A key concern with the energy retrofit of historic timber-framed buildings is the risk of elevated moisture content, increasing the potential for insect attack and fungal decay [7]. This paper presents the use of in situ monitoring, digital simulation and laboratory testing to begin to assess this risk.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *In Situ Monitoring*

In situ hygrothermal monitoring was undertaken at five historic timber-framed buildings in the UK, three in Herefordshire and two in East Anglia. Monitoring included U-value measurements following BS ISO 9869-1:2014 [8], thermography following best practice guidance [9, 10], pressure testing according to BS EN ISO 9972:2015 [11], measurements of internal hygrothermal comfort using TinyTag Ultra 2 TGU-4500 sensors and simplified occupant questionnaires [12]. Timber moisture content was also monitored at two of the case studies using electrical resistance measurements.

2.1.1 *Results*

The use of modern insulation materials should improve the thermal performance of the infill panels, however the measured U-values were often lower than those calculated. This discrepancy can be attributed to the thermal bridging of the exposed timber-frame and poor detailing especially at the junction between frame and infill.

At one case study the replacement infill detail achieved only 53% of the calculated U-value. Thermographic surveys (Figure 1) highlight the lack of hermeticity between infill and timber-frame, leading to a high air change rate and associated increased heat loss. This was confirmed through pressure testing, with an air permeability index of 19 $m^3/h/m^2$.

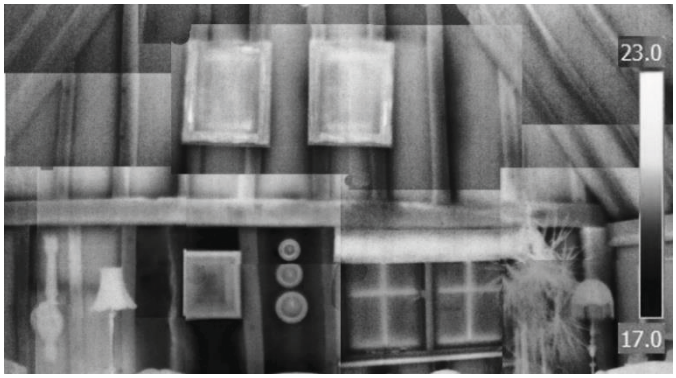


Figure 1. Thermographic image of interior of case study 5, showing poor connection between infill and timber-frame.

Measurements of timber moisture content and temperature at the same case study showed that the use of non-vapour permeable materials, in conjunction with the poor detailing, had led to the creation of hygrothermal conditions that would facilitate biological attack [13]. In another case study, measurements pre and post-retrofit showed an increase in timber moisture content due to the lack of controlled ventilation.

The monitoring of hygrothermal conditions at all five case studies showed poor comfort conditions despite improvements to their external envelopes. Influencing factors include poor airtightness, incoherent retrofit strategies and inadequate, inefficient heating. Despite this, the occupants' thermal perceptions at three case studies contradicted the measured results, with their comments suggesting that their desire to live in these historic properties led to an acceptance of a lower thermal comfort threshold.

2.2 *Digital hygrothermal simulations*

Digital hygrothermal simulations with WUFI® Pro 5.3 were undertaken for 13 replacement panel infill details proposed by current guidance [7, 14, 15], in six geographical locations (Suffolk, Cambridgeshire, Kent,

Devon, Herefordshire and Cumbria), representing the principal climates where timber-framed buildings are to be found in England [6].

2.2.1 *Results*

The results suggest that orientation, climatic conditions and infill material all significantly influence the moisture content, however, no prolonged periods of hygrothermal conditions favourable to biological decay agents were identified [16]. Surprisingly the location with the highest risk was not that with the highest rainfall, Cumbria, but rather Suffolk, where higher rainfall occurs during summer months, coinciding with warmer temperatures. It must however be acknowledged that these simulations represent idealised constructions with homogenous layers, rather than the heterogeneous reality, and that material data are limited for historic materials.

2.3 *Physical Test Panels*

Given the limitations of digital simulations, the interstitial hygrothermal monitoring of physical test panels was also undertaken. Three test infill panels 1020mm x 1020mm x 100mm (L x W x D) were constructed within reclaimed oak frames. The chosen infill materials were wattle-and-daub, expanded cork, and a detail using wood fibre and wood wool as suggested by Historic England [15]. The panels were mounted as part of a dividing wall between two climate-controlled chambers at the University of Bath's Building Research Park. Temperature and moisture content were monitored in the centre of the panel and at the interface between infill and oak frame at depths of 10mm, 50mm and 90mm. Results were compared with digital simulations using WUFI® Pro 5.3 and WUFI 2D using measured climatic data.

2.3.1 *Results*

Under extreme steady state conditions, sustained for three weeks, interstitial condensation was measured in the woodfibre/woodwool panel [17]. However this did not reoccur during a following fortnight of cyclical dynamic conditions. Whilst the digital simulations did successfully predict this condensation, discrepancies were identified both between measured and simulated data and between simulation methods. Further long term monitoring is now being funded by Historic England.

3 CONCLUSIONS

- Modern insulation can improve the thermal performance of historic timber-framed buildings, although thermal bridging by the frame and poor detailing can significantly reduce their effectiveness.
- Non-vapour permeable materials and poor detailing can increase the risk of biological attack.
- Panel orientation, climatic conditions and infill material all significantly influence the moisture content, with warm damp climates being most at risk.
- Under extreme conditions interstitial condensation has been observed to occur, however discrepancies exist between simulated and measured data. Further research is therefore required.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors wish to thank the owners of the case study buildings for allowing access. The monitoring of physical test panels was made possible by the APT Martin Weaver Scholarship, in addition to the help of Royston Davies Conservation Builders and Ty Mawr Lime Ltd.

REFERENCES

[1] DECC, UK National Energy Efficiency Action Plan 2014.
[2] Historic England, Energy Efficiency and Historic Buildings: Application of Part L of the Building Regulations to historic and traditionally constructed buildings (Revised 2012).
[3] Baker, P. and S. Rhee-Duverne, A Retrofit of a Victorian Terrace House in New Bolsover a Whole House Thermal Performance Assessment. 2015, Historic England.
[4] Currie, J., J.B. Williamson, and J. Stinson, Technical Paper 19: Monitoring thermal upgrades to ten traditional properties. 2013, Historic Environment Scotland,. Glasgow.
[5] Gandhi, K., S. Jiang , and C. Tweed, Field Testing of Existing Stone Wall in North Wales Climate, in SusRef: Sustainable Refurbishment of Building Facades and External Walls. 2012, Cardiff University.
[6] Whitman, C., The distribution of historic timber-framed buildings in the UK and the impacts of their low energy retrofit. 2017, Cardiff University.
[7] Historic England, Energy Efficiency and Historic Buildings: Insulating Timber-Framed Walls. (Revised 2016).
[8] British Standards Institution, BS ISO 9869-1:2014 Thermal insulation- Building elements- in situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance Part 1: Heat flow meter method. 2014.
[9] Hart, J.M., Practical guide to infra-red thermography for building surveys. 1991, Building Research Establishment: Bracknell, UK.
[10] Young, M., Thermal Imaging in the Historic Environment, Short Guide. 2015, Historic Environment Scotland.
[11] British Standards Institution, BS EN ISO 9972:2015 Thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method. 2015, British Standards Institution.,.
[12] Nichol, F., M. Humphreys, and S. Roaf, Adaptive thermal comfort: Principles and practice. 2012, Abingdon, Oxfordshire, UK: Routledge.
[13] Whitman, C.J., et al. The impact of modernization of a 16th century timber-framed farmhouse, Suffolk, UK. in Energy Efficiency in Historic Buildings (EEHB). 2018. Visby, Sweden.
[14] Reid, K., Panel Infillings to timber-framed buildings, Society for the Protection of Ancient Buildings., Editor. 1989: London, UK.
[15] McCaig, I. and B. Ridout, Practical building conservation-Timber. 2012, London; English Heritage ; Ashgate.
[16] Whitman, C.J., O. Prizeman, and P. Walker, Interstitial Hygrothermal Conditions of Low Carbon Retrofitting Details for Historic Timber-framed Buildings in the UK., in Passive and Low Energy Architecture (PLEA). 2015: Bologna.
[17] Whitman, C.J., et al., Physical Monitoring of Replacement Infill Panels for Historic Timber-Framed Buildings in the UK, in PLEA 2018, Hong Kong.

Systematic and integrated approach based on innovative technologies for energy efficiency optimization of historical buildings

S. Dubois, J. Desarnaud, M. de Bouw
Department of Sustainable Development and Renovation, Belgian Building Research Institute, Limelette, Belgium

D. Stiernon, S. Trachte
Architecture et Climat, Université Catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgium

1 INTRODUCTION

In Belgium, several research projects have recently focused on the issue of energy retrofitting of heritage buildings. In Flanders, the project *ErfgoedEnergieLoket* supports the architects specialized in architectural heritage with regard to energy and comfort issues. In Wallonia, the research project *P-Renewal* aims to develop strategies for the sustainable retrofit of historical Walloon dwellings with heritage value and built before 1914. Within this project, whole-building energy modelling was used as a platform to evaluate the relevance of different energy-related interventions.

For each retrofitting project, one of the crucial aspects is the implementation of a relevant investigation program to characterize and understand the building. It requires the use of appropriate sensing and modelling methods to guarantee a holistic grasp. To this aim, digital technologies are shaking the habits up.

This document briefly presents an integrated diagnostic approach for occupied buildings, which takes into account the energy deficiencies and heritage values, and relies on the use of such innovative technologies.

2 DESCRIPTION OF THE RESEARCH

2.1 *An actualized and systematic approach for the energy diagnostics of heritage buildings*

In most energy studies, it is necessary to obtain a global picture of a building in terms of its composition, condition, occupancy and performance, while keeping test costs to a minimum. Both research projects mentioned above rely on occupied case studies that required an in-depth energy diagnostics. Sometimes, the evaluation of intervention strategies also involves developing whole-building energy models and those tools are particularly demanding concerning data collection.

In order to optimize the quality of data collection, a modern and systematic methodology was developed, based on state-of-the-art approaches [1], [2]. It is divided into two distinct phases. Part of the data collected during this two-phase diagnostics is aimed towards the use of whole-building energy models to evaluate the relevance of energy-improvement measures.

First, the descriptive phase aims to provide an exhaustive 'picture' of the building *as it is*. As existing plans and photographs are often lacking, or only provide an incomplete image of the building, solely careful on-site studies will produce reliable information about its geometry, its condition and its heritage values. Traditionally, the more precise the description must be, the more visits are needed. However, the use of photogrammetry as a multi-tasking support has greatly transformed this descriptive part of the studies.

Secondly, a multidisciplinary testing phase complements the information that was gathered during the descriptive phase. It also allows the validation of some initial hypotheses. This phase combines on-site testing and monitoring campaigns, which extend over different time periods. Not only are non-destructive techniques preferred, but the use of wireless sensor networks also allows a tenfold increase of the possibilities in terms of data recording.

2.2 *Photogrammetry as a multi-tasking and multi-scale tool for the production of descriptive data*

When it comes to geometry, recent high-definition technologies have revolutionized the building surveying and recording processes [3]–[5], which are crucial when working on heritage. Among the available methods, 'Multiview Photogrammetry' (MVP) [6] is very promising as a multi-tasking tool to be used for descriptive analyses. Indeed, from the raw 3D data that is produced from photographs, i.e. point clouds or meshes, many useful deliverables can be produced.

A first category of deliverables is related to geometric information: wall thicknesses, dimensions of openings and the generation of floorplans are examples that can accurately be determined, as long as the appropriate model is generated from raw data. A second category of deliverables is linked to visual information. For example, orthophotos can be used to identify materials and pathologies. When combining geometrical and visual information, MVP has proven to be particularly powerful.

Table 1 shows some examples of data processing workflows around photogrammetry.

Table 1. A few examples of MVP data processing to improve energy diagnostics.

Raw data	Processed data	Use of data
Point cloud of the envelope	Orthoviews of all façades	Describing openings (size and construction)
	Planarity analysis of all façades	Evaluating structural integrity
Textured mesh of the envelope	Orthophotos of all façades	Describing masonry construction
Merged point cloud of the envelope and the interior spaces	Plans and sections along main building axes	Implementing geometry in whole-building energy models

2.3 *Wireless sensor networks as an infrastructure to grasp the dynamic behavior*

A holistic hygrothermal study of a building often implies the monitoring of physical variables. Whatever the quality of a photogrammetric survey, it will only give an 'instant' image of the building. The specificities of the hygrothermal behaviour of an old building, however, are profoundly dynamic: inertia and thermal comfort cannot be evaluated in a static way.

During the multidisciplinary test phase of the proposed methodology, wireless sensor networks (WSN) are valorized as flexible tools to remotely gather data over extended periods. Such networks can easily be deployed in parallel on many sites and open-source microcontrollers allow to develop custom-made solutions. For example, carbon dioxide, temperature and humidity can be monitored in multiple rooms, and heat fluxes on multiple surfaces.

2.4 *Case study: a traditional farm in Enghien (B)*

Within the *P-Renewal* project, six buildings from pre-1914 were characterized via the abovementioned approach. Each of them is representative of one major type of dwellings in Wallonia [7]. A traditional farm in Enghien is proposed here as an illustration of the systematic diagnostic approach.

Based on existing plans of the building, the team prepared the first on-site visit. During this visit, an exhaustive photogrammetric survey was led, both from the inside and from the outside of the building. Basic observations and tests were also performed to localize the main pathologies related to structural and hygrothermal conditions.

Then the descriptive phase started: the point cloud generated with MVP was transformed into several useful and detailed delivrables (Figure 1). The information stemming from those delivrables was compiled in a architectural and technical report, which mentions initial hypotheses relative to energy and comfort. In parallel, the necessary geometrical information was formated for future use in dynamic energy models.

A second visit focused on installing a tailor-made WSN, designed to capture the actual longterm behavior of the building. During the visit, the teams performed complementary tests to challenge the initial hypotheses and quantify energy performance (blowerdoor test and thermographic analysis).

Finally, a comprehensive report was redacted and the inputs for the dynamic energy simulations were actualized.

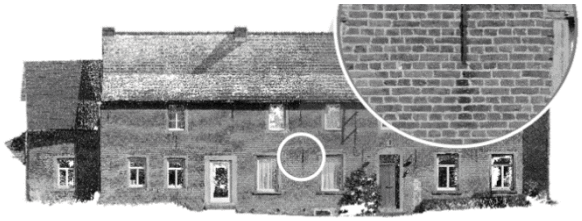


Figure 1. An orthoview of the front façade generated from a point cloud allows diagnosing the structural condition and characterizing construction materials.

3 CONCLUSIONS

Digital technologies have enormous potential to improve the study of old buildings. Today, it is necessary to develop new diagnostic methodologies that fully incorporate them. The proposed one has been successfully applied on several Belgian case studies, confirming clear benefits in terms of efficiency and accuracy for the energy diagnostic phase. In the presented case study, it allowed producing a large quantity of accurate data and predictions, from merely two visits, clearly optimizing the workflow whilst also minimizing the impact for the occupants.

REFERENCES

[1] Casanovas X. Rehabimed Method. Traditional Mediterranean architecture. Barcelona: Montada (CAATEEB), 2008.

[2] Vieites E., Vassileva I., Arias J. E. European initiatives towards improving the energy efficiency in existing and historic buildings. Energy Procedia, 2015, 75:1679-1685.

[3] Guarnieri A., Remondino F., Vettore A. Digital photogrammetry and TLS data fusion applied to Cultural Heritage 3D modeling. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci., 2006, 36.

[4] Yastikli N. Documentation of cultural heritage using digital photogrammetry and laser scanning. J. Cult. Herit., 2007, 8:423‑427.

[5] Remondino F. Heritage recording and 3D modeling with photogrammetry and 3D scanning. Remote Sens., 2011, 3:1104–1138.

[6] Furukawa Y., Hernandez C. Multi-View Stereo: a tutorial. Delft: now Publishers, 2016.

[7] Stiernon D., Trachte S., de Bouw M., Dubois S., Vanhellemont Y. Heritage value combined with energy and sustainable retrofit: representative types of old Walloon dwellings built before 1914. Energy Procedia, 2017, 122:643-648.

BESTUURSLEDEN

Voorzitter

R. (Rob) P.J. van Hees
TU Delft
Faculty of Architecture and the Built Environment
Heritage &Technology
PO Box 5043, 2600 AA Delft
T. secretary +31152781116
M. +31651833373
e-mail r.p.j.vanhees@tudelft.nl

Penningmeester

W.J. (Wido) Quist
Technische Universiteit Delft
Faculteit Bouwkunde
Afdeling AE + T – Heritage & Architecture
Postbus 5043
2600 GA Delft
Julianalaan 134 (gebouw 8)
2628 BL Delft
T: +31152788496
M: +31639251159
E: w.j.quist@tudelft.nl

A.J. (Bert) van Bommel
Atelier Rijksbouwmeester
Korte Voorhout 7
NL-2511 CW DEN HAAG
Postbus 20952
NL-2500 EZ DEN HAAG
T +3188 115 81 08
M +3161509 37 49
E bert.vanbommel@rgd.minbzk.nl

D. (Dionys) Van Gemert
KU Leuven
Departement Burgerlijke Bouwkunde
Laboratorium Reyntjens
Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448
B-3001 HEVERLEE
T +32 (0)16 32 16 54
M +32 (0)486 714 692
Dionys.vangemert@kuleuven.be

Y. (Yves) Vanhellemont
Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf
Avenue P. Holoffe 21
B-1342 LIMETTE
T + 32 (0)2 655 77 11
E Yves.vanhellemont@bbri.be

M. (Michiel) van Hunen
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap
Rijksdienst voor het Cultureel Erfgoed
Smallepad 5 | 3811 MG | Amersfoort | kamernummer 3.10
Postbus 1600 | 3800 BP | Amersfoort
T +31 033 421 72 85
M +31 06 22 92 17 14
m.van.hunen@cultureelerfgoed.nl

N. (Nathalie) Vernimme
Onroerend Erfgoed
Herman Teirlinckgebouw
Havenlaan 88 bus 5
B-1000 BRUSSEL
T +32 (0)2 553 16 67
M +32 (0)475 814 291
E nathalie.vernimme@vlaanderen.be

E. (Els) Verstrynge
KU Leuven
Departement Burgerlijke Bouwkunde
Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448
B-3001 HEVERLEE
T +32 (0)16 321987
E els.verstrynge@kuleuven.be

K. (Kris) Brosens
Triconsult N.V.
Lindekensveld 5
B-3560 LUMMEN
T +32 (0)13 52 36 61
E kris.brosens@triconsult.be

WETENSCHAPPELIJK-TECHNISCHE GROEP VOOR AANBEVELINGEN INZAKE BOUWRENOVATIE EN MONUMENTENZORG

www.wta-nl-vl.org
info@wta-nl-vl.org
KvK: 40398619

De WTA stelt zich voor

Er bestaat in binnen - en buitenland, versnipperd over vele bedrijven en instellingen, researchafdelingen en adviesorganen, een uitgebreid aanbod van kennis op het gebied van renovatie en instandhouding van het gebouwenpatrimonium. Van die kennis zou de bouwrenovatiemarkt en daarmee ook de zorg voor de monumenten meer kunnen profiteren dan nu het geval is, en dat eens te meer daar het zwaartepunt van die zorg geleidelijk verschuift van de traditionele restauratie naar renovatie en onderhoud en bovendien de “jonge“ monumenten met een geheel eigen conserveringsproblematiek, in de zorg worden betrokken.

Probleem is echter dat dit grote kennisaanbod niet zo gemakkelijk is te overzien en zich bovendien steeds aanpast. Het adagium “bouwen is traditie” gaat steeds minder vaak op, en dat geldt evenzeer voor renovatie - en onderhoudstechnieken.

Kwaliteit, bruikbaarheid en actualiteit van kennis staan daarbij voorop. De Nederlands-Vlaamse afdeling van de WTA kan daarbij een belangrijke rol spelen. De WTA beijvert zich voor onderzoek en de praktische toepassing daarvan op het gebied van onderhoud aan gebouwen en monumentenzorg.

Daartoe worden bijeenkomsten van wetenschappers en praktijkdeskundigen georganiseerd, waar een specifiek probleem inzake onderhoud van gebouwen en duurzaamheid van gebruikte bouwmaterialen en methoden zeer intensief wordt onderzocht. In studiewerkgroepen op onder meer het terrein van **houtbescherming, oppervlaktetechnologie, metselwerk, natuursteen, statische/dynamische belastingen van constructies, versterking en consolidatie, monitoring** worden kennis en ervaringen uitgewisseld.
Resultaten worden vertaald in een richtlijn voor werkwijzen en behandelingsmethoden. Gezien de kwaliteit en de heterogene samenstelling van de werkgroepen, kunnen die richtlijnen, zogenaamde Merkblätter, beschouwd worden als objectief en normstellend. Zij worden in brede kring verspreid door middel van publicaties in de vakpers en in het tijdschrift “Bausubstanz” gepubliceerd dat aan alle leden 4x per jaar wordt toegestuurd.

Leden van de WTA kunnen aldus, door een actieve vertegenwoordiging in werkgroepen bijdragen aan de totstandkoming van dergelijke normstellende advisering.

WETENSCHAPPELIJK-TECHNISCHE GROEP VOOR AANBEVELINGEN INZAKE BOUWRENOVATIE EN MONUMENTENZORG

www.wta-nl-vl.org
info@wta-nl-vl.org
KvK: 40398619

In beginsel staat het lidmaatschap open voor allen die vanuit hun functie of belangstelling bij de bouw, restauratie en het onderhoud van gebouwen betrokken zijn. Werkgroepen worden samengesteld op basis van deskundigheid en ervaring van de participanten. Deelname is altijd vakinhoudelijk. Leden hebben het recht voorstellen te doen voor de op- en inrichting van nieuwe werkgroepen en gebruik te maken van door de WTA geleverde faciliteiten zoals een vakbibliotheek en enig administratieve ondersteuning.

Het betreft daarbij niet alleen advisering, maar ook het harmoniseren van de verschillende internationale technische regelgevingen. Hiertoe biedt de Nederlands-Vlaamse tak van WTA een uitstekende mogelijkheid.

Wanneer u belangstelling heeft voor de WTA of één van de hiervoor genoemde vakgebieden of werkgroepen kunt u met de WTA Nederland-Vlaanderen contact opnemen.

Kosten van het lidmaatschap bedragen: € 170,-- per jaar per persoon.
Een ondersteunend lidmaatschap voor bedrijven en instellingen kost minimaal € 170,-- tot € 610,-- per jaar, al naargelang het aantal werknemers.

WTA Nederland - Vlaanderen

NEDERLAND
TU Delft – Faculteit Bouwkunde t.a.v. Wido Quist | Postbus 5043 | NL-2600 GA Delft
T: +31 (0)639251159 | E: w.j.quist@tudelft.nl
Bank: NL31ABNA427726158

VLAANDEREN
KULeuven t.a.v.Kristine Loonbeek | Kasteelpark Arenberg 40 bus 2448 | B-3001 Heverlee
T: +32 (0)16321654 E: Kristine.Loonbeek@kuleuven.be
Bank: BE52738027352709

COLOFON

Concept en eindredactie
WTA Nederland - Vlaanderen

© WTA en Auteurs 2019

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

De auteurs dragen zorg dat hun bijdrage geen inbreuk op auteursrechten inhoudt. Zij dragen de rechten op hun bijdrage over aan WTA NL/VL.

Foto's voorkanten: - Aziliz Vandesande

Uitgever

WTA NEDERLAND – VLAANDEREN

De syllabi zijn beschikbaar in kleur (voor zover door de sprekers in kleur aangeleverd) op de website www.wta-nl-vl.org **na de volgende studiedag**

© 2019 ISBN/EAN: 978-90-76132-00-6

Nr	Lijst verschenen syllabi	Jaar	ISBN nummer
1	Stad beeld	1992	
2	Nieuwe ontwikkelingen	1993	
3	Restaureren & Conserveren	1994	
4	Kleur bekennen	1994	
5	Hout	1996	
6	Gevelreinigen	1996	
7	Kalk	1997	90-76132-01-1
8	Metaal	1997	90-76132-02-1
9	Kwaliteit in de restauratie	1998	90-76132-03-8
10	Natuursteen deel 1	1998	90-76132-04-6
11	Natuursteen deel 2	1999	90 76132-05-4
12	Mortels in de restauratie	1999	90-76132-06-2
13	Pleisters voor restauratie en renovatie	2000	90 76132-07-0
14	Bereikbaarheid van monumenten	2000	90-76132-08-9
15	Schoon van binnen	2001	90-76132-09-7
16	Glas in lood	2001	90-76132-10-0
17	Scheuren in metselwerk en pleisters	2002	90-76132-11-9
18	Biodegradatie	2002	90-76132-12-7
19a	Zouten in natuursteen- en baksteenmetselwerk	2003	90-76132-14-3
19b	Surface and structural consolidation of masonry		
20	Authenticity in the restoration of monuments	2003	90-76132-13-5
21	Kleur, Pigment en Verf in Restauratie	2003	90-76132-15-1
22	Graffiti op monumenten: een last of een lust	2004	90-76132-16-x
23	Isolatie en klimaatbeheersing van monumenten (Hoe) is het mogelijk?	2004	90-76132-17-8
24	Monumenten en water	2005	90-76132-18-6
25	Monitoring en Diagnose	2005	90-76132-19-4
25a	CD MDDS Damage Atlas	2005	geen
26	Valorisatie en Consolidatie van Monumentale Betonconstructies	2006	90-76132-20-8
27	Restauratie en onderhoud van monumentale gebouwen	2006	10: 90-76132-21-6 13: 978-90-76132-21-1
28	Restauratie, onderhoud en beheer van monumenten	2007	978-90-76132-22-8
29	Herbestemming van Religieus Erfgoed	2007	978-90-79216-01-7
30	Zout en behoud? (nieuwe ontwikkelingen)	2008	978-90-79216-02-4
31	Beton behouden – theorie in de praktijk gezet	2008	978-90-79216-03-1
32	Ondergrondse Monumenten: Zichtbaar - Onzichtbaar	2009	978-90-79216-04-8
33	Interventies en hun consequenties	2009	978-90-79216-05-5
	Proceedings of the 1st WTA International PhD Symposium	2009	978-3-937066-14-1
34	Effect of Climate Change on Built Heritage	2010	978-3-937066-18-9
35	Gevelbehandeling van erfgoed: Erg of goed?	2010	978-90-79216-06-2

36	Scheuren, Scheefstanden, Verzakkingen (Instortingsgevaar?)	2011	978-90-79216-07-9
37	Jonge monumenten voor de huidige samenleving	2011	978-90-79216-00-0
38	Historische vensters: typologie, duurzaamheid, antiek glas, ramen, kozijnen	2012	978-90-79216-08-6
39	Natuursteen natuurlijk!?	2012	978-90-79216-09-3
40	Wand en plafondschilderingen	2013	978-90-79216-10-9
41	Bouwmaterialen en constructietechnieken in het Interbellum	2013	978-90-79216-11-6
42	Van Balie tot cachot, herbestemming van gebouwen	2014	978-90-79216-12-3
43	Impact van de “Groote” wereldoorlog(en) op ons bouwkundig erfgoed	2014	978-90-79216-13-0
44	Een toekomst voor monumentale onderwijsgebouwen – Leren van recente renovatie- en restauratieprojecten	2015	978-90-79216-14-7
45	Schade aan bouwkundig erfgoed door bewegingen in de ondergrond	2015	978-90-79216-15-4
46	Versterking van funderingen en monumenten in verband met bewegingen in de ondergrond	2016	978-90-79216-16-1
47	Optrekkend grondvocht	2017	978-90-79216-17-8
	Proceedings of the 4th WTA International PhD Symposium	2017	978-90-79216-19-2
48	Energetische ingrepen in monumenten: een duurzaam verhaal?!	2017	978-90-79216-18-5
49	Draagvermogen van historische constructies: een sterk verhaal	2018	978-90-79216-20-8
50	Reparatie van steenachtige materialen	2018	978-90-79216-21-5
51	Preventieve Conservatie van klimaat- en schademonitoring naar een geïntegreerde syteembenadering	2019	978-90-76132-00-6

1-19: niet meer beschikbaar
Vanaf 20: zie website www.wta-nl-vl.org