



Получена: 30.12.2022 г.

Приета: 27.01.2023 г.

ВАЖНИ ПРИНЦИПИ ЗА ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА СГРАДИ, ПАМЕТНИЦИ НА КУЛТУРАТА, ВЪЗ ОСНОВА НА АНАЛИЗ НА СПЕЦИФИЧНИТЕ ВЪЗДЕЙСТВИЯ И РИСКОВЕ ОТ ИЗМЕНЕНИЕ НА КЛИМАТА

Б. Петров¹

Ключови думи: паметници на културата, естествени материали, изменение на климата

РЕЗИЮМЕ

Възстановяването на паметниците на културата изисква подробно диагностициране, анализиране на причините за появилите се дефекти и оценка на възможните зони за интервениране.

Диагностицирането определя последователността на възстановяване, като се анализира специфичното въздействие и рисковете от изменението на климата. Атмосферните въздействия, влагата, повишаването на въглеродните емисии и ветровете въздействия увеличават сеизмичния риск за сградите. Изборът на методи и материали за възстановяване се извършва след анализиране на причините за проявените повреди и ограничаване на външните негативни въздействия на околната среда.

В настоящия доклад се споделят опит и резултати, базирани на спазването на изброените по-горе принципи. След диагностициране на елементите са определени основните характеристики на вложените материали. Резултатите са базирани на използване на естествени материали и класически технологии, предназначени да минимизират отрицателното въздействие на атмосферните фактори.

¹ Богомил Петров, проф. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: bwp_fce@uacg.bg

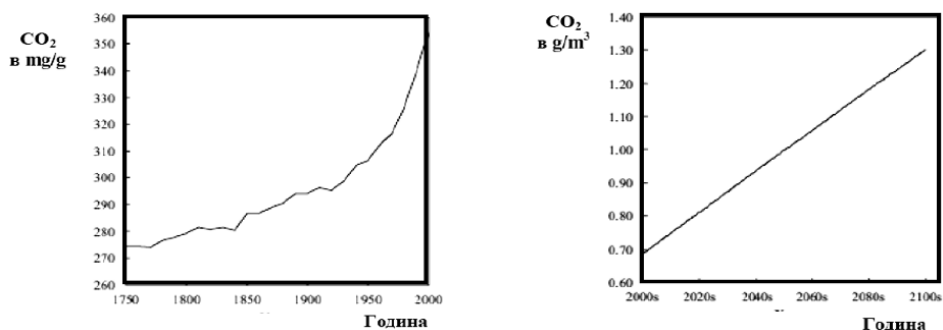
1. Въведение

1.1. Климатични промени

Редуцирането на дълготрайността на строителните конструкции зависи в значителна степен от вида и параметрите на експлоатационната среда. Проблемът е особено актуален за сградите от недвижимото културно наследство. Климатичните промени влияят особено неблагоприятно както в краткосрочен, така и в дългосрочен план. Те създават предпоставки за влошаване на безопасността и надеждността на сградите, паметници на културата, като съществено увеличават разходите за поддръжка. Изборът на методика за възстановяване при този тип сгради налага максимално точното отчитане на вероятните сценарии за изменения на климата.

Изменението на климата се дефинира като промяна на климатичните показатели, която се запазва в продължение на значителен времеви период [1]. Тези климатични промени могат да бъдат обобщени както следва:

- *Увеличаване на концентрацията на въглероден диоксид* – от 0,028 % през 1750 г. до 0,038 % през 2005 г. [2]. В [3] е представено изменение на концентрацията на CO₂ във въздуха за изминалия и предстоящ 100-годишен период (фиг. 1).



Фиг. 1. Изменение на концентрацията на CO₂ от климатичните промени [3]

Концентрацията на CO₂ в атмосферата се увеличава непрекъснато от 1970 г., което увеличава риска от корозия на стоманата. Вероятността от корозия на арматурата е нараснала със 720 % спрямо най-неблагоприятните сценарии, установени в [4]. Продължителността на трите етапа инициране, разпространение и разрушение от корозия намалява [5]. Рисковите щети от карбонизация на бетона в следващите 100 години могат да се увеличат до 400 %, а от дифузия на хлорни йони до 15 %. В градска среда концентрациите са с 5 – 10 % по-високи в сравнение с неурбанизираните територии. Глобалното изменение на климата води до много по-високи нива на карбонизация в дългосрочен план [6].

- *Повишаване на средната температура* – с 2,1 °C при концентрация на въглеродния диоксид 0,045 % до 5,5 °C при нива на концентрация 0,100 %. Средното увеличение за последния 150-годишен период е 0,045 °C за всяко десетилетие, но само през последните 25 години увеличението е достигнало 0,442 °C. Това увеличава скоростта на дифузия на агресивните газове в структурата на материалите, корозия, увеличават се циклите замразяване-размразяване. По-високите дневни амплитуди водят до поява на термокластичизъм, което засилва физическото изветряне на каменните материали.

- *Повишаване на средното ниво на морско равнище* – според [7] до 2090 г. нивото на световния океан може да се покачи с 44 cm. Това предопределя значително увеличаване на дела на работещите под вода части от конструкциите на сградите.

- *Увеличава се продължителността и интензивността на валежите* – бурите стават по-продължителни, с по-висока разрушителна способност, като обхващат все по-големи райони, включително и у нас. Увеличава се рискът от наводнения и поява на високоскоростни водни потоци, влошаващи работата на строителните конструкции. Водата е основен агент на материалната деградация. Увеличаването на валежите в съчетание с по-високи температури развива механизмите на гниене, корозия, биологично разграждане, дефектиране на хигроскопичните материали, ефлоресценция и кристализация на солите.

- *Увеличаване на интензивността на ветровете въздействия* – вятърът, водните пръски и вълните се интензифицират и създават условия за въздействие на аерозолни среди, наситени с хлориди върху конструкцията. Това води до повърхностна абразия, увеличено проникване на вода, структурни повреди и потенциални разрушения.

- *Повишаване на относителната влажност на въздуха* – води до развитие на деструкционни процеси, благоприятства растежа на микроорганизми в структурата на материалите, мухъл, развитие на инсекти и биоразрушаване. Под повърхностната влага поддържа колонизиращи организми в материалите [8]. В изследвания за образуването на биофилми при строителните материали липсва хомогенност и консенсус в методите [9].

- *Повишаване на дифузията на хлорни йони и агресивни газове* – проникването им в структурата на вложените конструктивни материали води до корозионни процеси.

- *Циклична промяна на влажността и температурата* – влияе на механичното, химическото и биологичното разлагане.

- *Замърсяване на околната среда* – в [10] се посочва, че архитектурата на Париж се разрушава от променящото се замърсяване и изменението на климата. Температурата, валежите, относителната влажност и концентрациите на ключови атмосферни замърсители SO₂, NO₂, O₃ водят до дългосрочното замърсяване, рецесия и корозия.

Постепенните промени, напр. затоплянето на морето води до поява на свлачища, суши, високи вълни и др., понякога имат катастрофално въздействие върху активите на културното наследство.

1.2. Климатичните промени и повишеният риск за сградите

Климатичните промени оказват влияние върху състоянието на носещата конструкция на сградите както чрез екстремните метеорологични събития, така и чрез засиленото влошаване на структурата на основните конструктивни материали.

Екстремните метеорологични явления водят до нарастване на интензивността и честота на натоварване върху конструкциите [11, 12]. Броят на природните катаклизми не се увеличава, но нараства тяхната интензивност и опустошителност. Те атакуват конструкциите по-продължителен период и нанасят повече щети. Арсеналът на климатичните промени са урагани, бури, повишени температури, наводнения, въглеродни емисии, които много сериозно застрашават надеждността и дълготрайността на сградите, паметници на културата. Тези катаклизми предизвикват и сериозни глобални въздействия. Така например редуцирането на атмосферното налягане провокира раздвижването на разломните плочи, интензивните потоци смазват повърхнините и провокират разломна

дейност, ерозията на почвата при силни дъждове намалява натоварването върху разломите и облекчава движението им. Ветровите натоварвания водят до компрометиране на покривите и покривната изолация. С климатичните промени вероятността за разрушение на бетоновото покритие нараства с 18 %. Старенето на конструкциите и тяхното износване, поради промяна на атмосферните условия (влага, въглеродните емисии, ветрови въздействия), правят сградите на културното наследство много по-уязвими при експлоатация и при сеизмичен риск.

Това налага нови национални изисквания за нивата на климатична и сеизмична опасност за недвижимите културни ценности, които да дефинират обхвата на изследванията, сроковете и стратегиите за възстановяване. Те трябва да се базират на перманентна, обоснована и практически реализуема диагностика.

В [13] се посочва, че изменението на климата поставя непрекъснато нови предизвикателства, а културното наследство е изложено на натиск и потенциален риск. Оценка на уязвимостта, могат да се използват за определяне на начина на защита и повишаване на устойчивостта на културното наследство срещу тези въздействия.

Най-често проблемите са свързани с липсата на правилна диагностика и перманентна поддръжка. Всяко природно бедствие е трагедия за потърпевшите, но и източник на знания за специалистите. Така ние се учим от паметта на миналото, за да съхраним настоящето. Много от щетите, които се приписват на ескалиращите климатични фактори, природните бедствия и земетресенията, практически са преодолими при правилна диагностика и своевременно отстраняване на проблемите.

1.3. Оценка на нивата на риска

Въпросът за въздействието на изменението на климата върху световното наследство е поставен на вниманието на Комитета за световно наследство още през 2005 г. [14]. През 2006 г. ЮНЕСКО изготвя доклад за прогнозиране и управление на ефектите от изменението на климата върху световното наследство. През 2014 г. се публикува практическо ръководство за адаптиране към изменението на климата.

Според [15] изменението на климата влияе на механичните и топлинно-енергийните характеристики на сградите. Уязвимостта на историческите сгради е много по-голяма. Необходима е нова мултидисциплинарна методология за оценка на деградацията на строителните материали в исторически сгради и точно отчитане на връзката между изменението на климата и появилите се конструктивни дефекти.

Този подход включва инспекции на място, проучвания на дефектите, разработване и калибриране на числени модели за прогнозиране на деградацията на материали във функция на климатични условия. В стратегически, тактически и оперативен план се дефинират три основни етапа преди, по време и след бедствието. Обикновено първият етап се negliжира, при втория етап не достига време и се работи в третия етап, когато е прекалено късно. Поради това обръщаме внимание основно на първия превантивен етап.

Поради изключителното разнообразие на сградите, които са паметници на културата и техните носещи конструкции, както и поради несигурността на материалите, изискванията относно носимоспособността на този тип сгради, включително и при сеизмични въздействия, изисква преразглеждане и обособяване на предписанията. Поради несигурността на геометрията на конструкцията на историческите сгради, както и поради трудното разграничаване на конструктивни и неконструктивни елементи, анализът е труден [16].

В бъдеще при опазване на културното наследство ще трябва да се справим и с едно допълнително предизвикателство – специфичното въздействие на климатичните промени

върху увеличаването на риска. Дори ако климатичните промени не водят пряко до сеизмичен риск, стареенето на конструкциите и тяхното износване поради различни проблеми като влага, температурни промени, ветрови въздействия, замърсяване и др. правят историческите сгради много по-уязвими от съвременните и изискват по-специално отношение за оценка на сеизмичния риск [17].

Оценката на опасността изисква съвместно и комбинирано прилагане на адекватни модели за анализиране на конструкцията, проучване на исторически сведения, анализ на резултатите от обектови изследвания, лична преценка на специалистите по обследването, опит на изследователя и др. Именно този „мултидисциплинарен“ подход гарантира, че всички ценности (икономически, социални, исторически, художествени) на конструкциите са взети предвид. Това определя обхвата на необходимата намеса.

В общия случай редица сгради не само не отговарят на изискванията на строителните норми, но даже в много случаи не могат да функционират, поради дългогодишната експлоатация, без съответните ремонтни и възстановителни работи [18]. Основният ремонт включва консолидация, укрепване, реконструкция, реинтеграция, обновяване и преместване. При този ремонт се предвиждат: промяна на почвените условия, усилване на фундирането, подобряване на общата устойчивост на зидани стени, усилване на колони, подобряване на коравината на диафрагмените междуетажни конструкции, подобряване на контактните fugи между различните елементи в конструкцията, редуциране на опънни напрежения в арки и сводове. Това са крупни интервенции, които не винаги са възможни. Много често т.нар. незначителни ремонти на дефекти, проявили се в резултат на атмосферните въздействия, могат да доведат до съществени ползи за сградата. Малкият ремонт е процедура за подмяна или обновяване на повредени фасадни елементи, стенни покрития, мазилки, покривни и подземни изолации. При тези незначителни ремонти могат безпроблемно да се използват оригинални естествени материали.

Исторически сгради, проектирани преди въвеждането на разумни земетръсни строителни норми, се характеризират с относително ниска устойчивост на своите конструкции и се нуждаят от специални грижи. Трябва да се отбележи, че значителна част от тези сгради са преживели сериозни катаклизми, включително сеизмични, и този опит трябва да се проучи, за да се идентифицира възможната асейсмичност на базата на вече използвани в миналото техники. Трябва да се проучат местните строителни техники, използвани за повишаване на устойчивостта на конструкциите на историческите сгради, като се прави паралел и с останалите традиционни конструкции, където могат да се идентифицират много добри практики. Анализът на конструктивните дефекти на оригинални и ремонтирани конструкции показва, че историческите сгради са особен и разнороден клас строежи, които не подлежат на оценка чрез „стандартни“ методи [19]. Тези методи принципно не разбират реалното сеизмично поведение на историческите сгради и водят до инвазивни интервенции, които са в противоречие с необходимите изисквания за опазване.

Дейностите по мониторинг започват с визуална инспекция, за да се оценят макроскопичните промени в конструкцията, явления на разпад, структурни промени на материалите и влиянието на околната среда. Допълнителната информация се акумулира в резултат на лабораторни и обектови изследвания, както и компютърни модели.

Изменението на климата се превърна в една от най-значимите заплахи за обектите на световното културно наследство, потенциално засягайки тяхната изключителна универсална стойност, включително тяхната цялост и автентичност, както и техния потенциал за икономическо и социално развитие на местно ниво [20]. Продължителното им опазване изисква разбиране на тези въздействия върху тяхната изключителна универсална стойност и ефективно реагиране на тях. До момента не се отчита

несигурността в прогнозите за изменението на климата, нито уязвимостта на обектите на културното наследство към такива промени. Поради тази причина обикновено трябва да се използва съвкупност от модели за определяне на несигурностите. Използват се литературни данни за конструиране на т.нар. функции на щети за оценка на рисковете за обекти в бъдеще. Тази статия се занимава с подхода на моделиране и показва потенциала за оценка на риска от щети. По този начин може да се оцени въздействието на бъдещото изменение на климата върху вътрешните климатични условия в дадена сграда и потенциалът за увреждане.

1.4. Дефекти на различни конструктивни елементи

Изследванията на въздействието на околната среда върху строителните материали е свързано основно с количественото определяне на корозията на металите, разрушаване на скални материали и др. [21]. Обсъждат се начините за оценка на въздействието върху сгради в градски центрове и се идентифицират потенциално уязвими сгради. Изследва се термодинамиката на ограждащите елементи на историческите сгради, като контактен слой с външната среда и като регулатор на вътрешния микроклимат [22]. Представят се неинвазивни техники за сканиране и изследване на обвивката на сградите с цел термодинамична диагностика, като: георадар, луминисценция, термография, лазерно сканиране, ултразвукова диагностика, фотограмметрия и др. Обсъждат се възможности за широкомащабна автоматизация на одита и интегриране на BIM.

Най-сериозно от климатичните промени са застрашени дървените конструкции [23]. Изследвани са елементи, подложени на периодично въздействие на дъжд и вятър. Циклите на намокряне-сушене влияят върху твърдостта и капацитета на разсейване. В [24] са използвани обучаващи се компютърни модели за прогнозиране на якостта на натиск на зидарията или ремонтните разтвори, както и на възможни сценарии за дефектиране на сградите и оценка на сеизмичната уязвимост. Варовиковата каменна зидария е изложена на природни и антропогенни заплахи от околната среда. В [25] се описва методология за оценка на риска от повърхностни разрушения, дължащи се на замърсяване на въздуха и метеорологични фактори. В [26] е изследвана степента на повърхностно разрушение на единадесет варовикови скали, широко използвани в културното наследство на североизточна Италия и различаващи се по своите текстурни характеристики и минералогичен състав. Приложени са изпитвания за ускорено стареене при различни водни състави, съответстващи на химията на дъждовната вода. Извършени са директни измервания на повърхностните разрушения чрез конфокална микроскопия, която позволи 3D повърхностна реконструкция на каменната повърхност. Илюстрира се бърз и ефикасен методологичен подход, който може да се използва за осигуряване на надеждни оценки за бъдещо влошаване на състоянието на скалните материали.

В [27] се изследва рискът за увреждане от замръзване на зидарията, който се увеличава, тъй като конструкцията може да бъде мокра за по-дълго време от увеличената интензивност на валежите. Изследват се материалите с най-ниска мразоустойчивост, условията за настъпване на материалните щети, външните климатични условия и възможността за прогнозиране на щетите с мултифизичен модел. Извършени са симулации с хигро-термичен модел на външни обвивки на сгради за прогнозиране на бъдещо поведение.

Много бетонни сгради, изградени през 20-и век, придобиват културно-историческа стойност и тяхното опазване срещу климатичните промени и градското въздействие представлява голямо предизвикателство. Ключов аспект за тяхното опазване е разработването/прилагането на иновативни неинвазивни подходи за изпитване, диагностика и мониторинг. В [28] компактността на материала се контролира чрез

ултразвукова диагностика, измерване на повърхностната водопропускливост, колориметрични измервания за определяне на съдържанието на вода и соли в материалите. Данните са сравнени, като са отчетени условията на околната среда. Този политехнологичен подход помага при вземане на решения за консервация и за управление на подобни сгради.

Изследването на историческите фасади е основен предмет за валоризирането и опазването на човешката културна идентичност. Оценката на уязвимостта изисква приемането на специфична и подходяща методология в зависимост от целта и мащаба на анализа, изискваща идентифициране на основните конструктивни аспекти и съществуващите повреди. След направената йерархизация в [29] се установява, че състоянието на консервация на фасадата и възстановяване на малките дефекти е основният параметър, влияещ върху уязвимостта.

Опазването на историческите сгради се осъществява чрез изучаване и документиране на условията за разрушаване на мазилките по фасадите [30]. Изследвани са фасадите за всяка основна ориентация (север, юг, изток и запад), подразделени на три или четири района според конструктивните детайли, за всяка сграда. Най-често срещаните дефекти са пукнатини, отлепвания, замърсявания и петна от биоразрушаване на разтвората за мазилка, лющене и микропукнатини. Ориентацията на най-влошената фасада не е еднаква за всички сгради. Тези резултати помагат за точното диагностициране и за правилно планиране на ремонтите.

2. Примери за дефекти в резултат на климатичните промени

Най-често срещаните дефекти в сградите, принадлежащи на националното културно наследство, получени в резултат на интензивно променящите се в последните години климатични условия, са свързани основно с разрушения на фасадите, компрометиране на покривните и подземните хидроизолационни системи, разрушаване на разтворната компонента на различните видове зидария, разрушаване на дървените елементи от конструкцията на сградите и др.

2.1. Проникване на вода в елементите на носещата конструкция



Фиг. 1. Дефекти в покривни конструкции на сгради



Фиг. 2. Дефекти в резултат на неправилно отводняване

Проникването на вода се осъществява основно през покривната конструкция на сградите, фиг. 1, дефекти в системата за отвеждане на дъждовните води, неправилно отводнени тераси, дефекти в каменната и тухлената зидария (фиг. 2) и др.

В резултат на неконтролираното проникване на атмосферни води се разрушават зидарийните разтвори и мазилки, материалите се подлагат на периодично замразяване и размразяване, създават се условия за натрупване на замърсявания и промяна на цвета, загниване на дървени елементи и др.

2.2. Компрометиране на адхезията между зидарийните тела и разтворната компонента

Проникването на вода и деструкционните процеси водят до нарушаване на адхезията между зидарийните тела и разтворната компонента, което влошава устойчивостта на зидарията в напречна посока и създава предпоставки за неконтролирани разрушавания при сеизмични въздействия (фиг. 3).



Фиг. 3. Нарушена адхезия на разтворната компонента и зидарийните тела

2.3. Разрушаване на разтворната компонента на зидарията

Разрушаването на разтворната компонента се осъществява особено интензивно при каменна зидария с глинен разтвор и при незащитена тухлена зидария (фиг. 4).



Фиг. 4. Разрушаване на разтворната компонента на зидарията

2.4. Компрометиране на изолационни покрития



Фиг. 5. Дефектирани обшивки в резултат на ветрови въздействия

Покривните изолационни покрития се компрометират най-често в резултат на ветрови въздействия, възпрепятствани температурни деформации и др. (фиг. 5).

2.5. Карбонизация на варови разтвори

В резултат на повишената концентрация на CO_2 се увеличават рисковите дефекти на бетона и варовите разтвори. При бетона карбонизационните процеси в дълбочина водят до понижаване на алкалността на циментовия камък, депасивиране на армировъчната стомана и развитие на интензивни корозионни процеси. При варовите разтвори се повишава твърдостта, влошават се деформационните характеристики на разтворната компонента и се нарушава адхезията с останалите конструктивни елементи от фасадите на сградите – фиг. 6.



Фиг. 6. Компрометиране на варови зидарийни разтвори

2.6. Проникване на вода в ядровата зона на зида



Фиг. 7. Проникване на вода в ядровата зона на зида

Проникването на вода в ядровата зона на зида води до сериозно увеличение на обема на разтворната глинена компонента и деструкция на зидарията – фиг. 7.

2.7. Компрометиране на покривното водоотвеждане



Фиг. 8. Компрометирано покривно водоотвеждане

2.8. Загниване на дървени елементи



Фиг. 9. Развитие на гнилни процеси при дървени елементи от конструкцията на зида

2.9. Слягане на земната основа



Фиг. 10. Неравномерно слягане на основата под фундаментите

3. Диагностициране на конструкцията на сградата

Диагностицирането на конструкцията се извършва от мултидисциплинарен екип специалисти, включващ инженер конструктор, специалист по материалознание, специалисти по консервация и реставрация.

Целта на диагностицирането е:

- анализиране на всички появили се във времето дефекти в различните конструктивни и ограждащи елементи на сградата – локация, причини, описание;
- диагностициране на състоянието на носещата конструкция на сградата и отделните елементи, както и фугите между тях;
- конкретизиране на необходимостта от вземане на незабавни мерки с цел отстраняване на причините за настъпване на аварийна ситуация: дефекти при еркери и балкони, разхлабени превръзки на зидове, дефектирали комини, аварирани корнизи, едро плочно отлепване на мазилки, пукнатини в елементи на носещата конструкция, деkonsolidирани зидове и др.;
- определяне на стратегията за възстановяване на носещата конструкция на сградата.

Интердисциплинарният анализ на сградите, съставляващи недвижимото културно наследство, включва: изследвания на материалите, документиране на съществуващото състояние на сградата, оценка на конструкцията и изготвяне на предложения за намеса. Обхватът на диагностицирането на елементите на носещата конструкция на сградата и ограждащите елементи включва:

- анализиране на данни за носещата конструкция – архивни и исторически, визуално обследване, мониторинг;
- идентифициране на свойствата на материалите, вложени в ограждането и конструктивните елементи на сградата – обектови и лабораторни изпитвания;
- установяване на вида на конструктивната система и свързаните с нея механизми на повреди;
- конструктивно моделиране – натоварвания, пренасяне на товарите в рамките на конструктивната система;
- интерпретация на получените резултати от гледна точка на начина на изпълнение;
- избор и анализиране на възможни стратегии за намеса;

- установяване на риска при сеизмични въздействия;
- изготвяне на план за управление на извънредни ситуации.

Диагностицирането на материалите се извършва чрез визуално обследване, обектови изследвания и лабораторни изпитвания. В резултат на диагностицирането се определя актуалното състояние на материалите и техните физико-механични и деформационни характеристики.

Изследването на строителните материали се извършва чрез прилагане на неинвазивни методи на обследване или чрез изрязване на пробни тела от елементите на носещата конструкция. Въз основа на изрязаните пробни тела се определят якостните характеристики на бетон, дървесина, зидарийни тела, строителни разтвори и др., фиг. 11. Могат да се установят и структурни характеристики на отделните материали и наличието на дефекти в тях.



Фиг. 11. Изрязани цилиндрични ядки от тухлена зидария

Лабораторните изпитвания се извършват за определяне на якостта на натиск (фиг. 12) и якостта на сцепление на разтворната компонента със зидарийните тела (фиг. 13).



Фиг. 12. Пробни тела с автентичен варов разтвор между тухлите



Фиг. 13. Определяне на якостта на опън на сцепление на зидарийния разтвор

„In-situ” определяне на модула на деформации и напрежението на срязване на тухлен или каменен зид – фиг. 14, фиг. 15.

4. Основни принципи за установяване на адекватни мерки по укрепване и възстановяване

При анализиране на резултатите от диагностициране на конструкцията на сградите, паметници на културата, и при вземане на решение за необходимите мерки за укрепване и възстановяване са съблюдавани следните основни принципи:

- запазване на автентичния вид на ограждащите елементи и елементите на носещата конструкция на сградата;



Фиг. 14.

Храм паметник „Александър Невски“



Фиг. 15.

Църква „Преображение Господне“,
гр. Поморие

- възстановяването да започва след предварително диагностициране (история, геометрия, материали, връзки и т.н.);

- запазване на габаритните размери, застроените обеми и вида на вложените в носещата конструкция материали;

- установяване на възможностите за реализиране на съответствие с действащата към момента нормативна уредба, свързана с обезпечаване на необходимата носимоспособност, дълготрайност и устойчивост на аварийни въздействия;

- изборът на материали се реализира така, че в максимална степен да съответстват по състав, структура и физико-механични характеристики на оригиналните;

- предвидените в проекта интервенции, свързани с възстановяване на носещата конструкция на сградата в максимална степен да следват оригиналния проект;

- изборът на методи за възстановяване и материалите да отчита типичните характеристики на конструкцията и нейния вид (изолирана сграда, сграда в ансамблова съвкупност, църкви, кули, дворци и др.);

- да се отчетат изискванията за безопасност за обитателите и изпълнителите на ремонтните дейности при планиране на интервенциите;

- методите за възстановяване трябва да отчитат и да се съобразяват с реалното сеизмично поведение на конструкцията;

- да не водят до инвазивни интервенции;

- да моделират и модифицират трайно конструктивното поведение на сградата;

- възстановяването да не променя съществено първоначалната носимоспособност и коравина;

- предвидените мерки да не противоречат на изискванията за опазване на културното наследство.

В общата концепция за възстановяване се следва принципът за извършване на по-чести и малки ремонти, които своевременно отстраняват дефектите и по този начин не позволяват тяхното ескалиране и обхващане на все по-големи зони. Тези незначителни по обем ремонтни дейности много често са изключително значими по предназначение и ефект върху устойчивостта и дълготрайността на конструкцията на сградата.

Тези незначителни ремонти най-често са свързани с:

- Възстановяване на зидани конструкции чрез инжектиране на замонолитващи разтвори, изпълнение на консолидационни мазилки, добавяне на стоманени и/или дървени елементи в напречна и надлъжна на зида посока и др. При избора на решение се диференцират методите за възстановяване на непрекъснати хоризонтални редове, неподравнен разтвор във фугите, наличие на диатони, компрометирана адхезия разтвор-зидарийни тела и др. – фиг. 16.



OR – наличие на хоризонтални редове;
SG – неподравнен разтвор във вертикални фуги;
FD – каменни блокове с кубична форма;
PD – наличие на “diatoni” (блокове за връзка в напречна посока);
MA – добра адхезия между разтвора и зидарийните тела.

Фиг. 16. Типови дефекти в каменна зидария

- Възстановяване на монолитността на работните граници „стена-стена“, „стена-под“, „стена-арка“ и др., чрез което се възстановява носимоспособността и се гарантира устойчивостта на вертикалните носещи елементи в напречна посока.
- Възстановяване на изолационните елементи при покривната конструкция на сградата и различните видове отвори по фасадите на сградата за преустановяване на проникването на атмосферни води във вътрешността на сградата.
- Възстановяване на самостоятелните и вградените в ограждащите стени дървени елементи в сградата.
- Възстановяване на отделно дефектирали елементи с пукнатини, загуба на напречно сечение, загуба на устойчивост извън равнината на конструкцията, развитие на деструкционни процеси, включително и тези с биологичен характер и др.

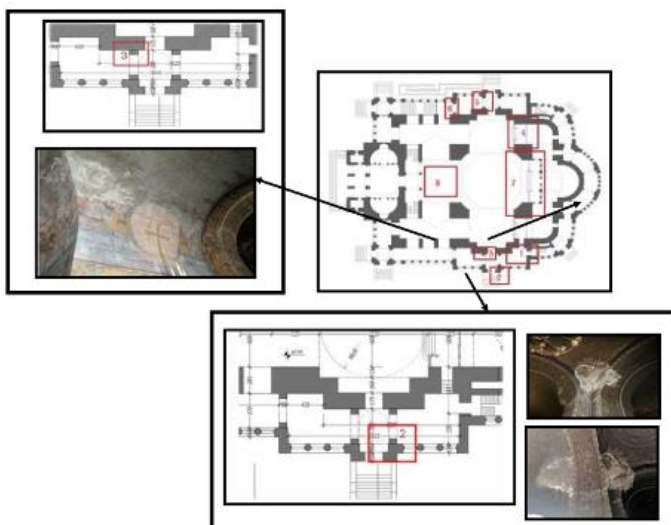
При ремонтните дейности се предвижда използването на фугиращи разтвори със запазена паропропускливост. Инжекционните разтвори се избират така, че да се постигне необходимата добра адхезия със зидарийните тела и запълване на каверни в ядрото на зида. В дефектиралите зони от зидарията се инплантират спираловидни пръти в равнината на зида, концентрирано в зоните с пукнатини и при ъгловите връзки. При необходимост могат изцяло да бъдат заменени силно дефектирали каменни или керамични зидарийни тела, които създават предпоставки за разрушение на елементите на конструкцията. При замаяната на зидарийните тела могат да се оформят „диатони“ в напречна (ортогонална) на зида посока за укрепване на отделните стенни вертикални дискове. Тези елементи заслужават специално внимание в работния проект.

При арки и сводове трябва да се възстанови монолитността на изграждащите елементи, за да се предотврати крехкото разрушаване при последващи въздействия. При възстановяване на разтворната компонента трябва да се предвиди заклиняване на зидарийните тела с цел преодоляване на опънните напрежения, както и възстановяване на

адхезията на зидарията с вградени в нея укрепващи дървени или стоманени елементи. Поемане на опънните напрежения може да се осъществи чрез интегрирани решетки, обтегачи, пръстеновидни греди при опорите на купола и др.

5. Примери за диагностициране и възстановяване

Диагностицирането за установяване на актуалното състояние на сградите, паметници на културата, се осъществява в два етапа. На първия етап се провежда визуално обследване във вътрешността на сградата и се локализират всички новопоявили се дефекти, включително и такива, получени в резултат на компрометиране на изолационната способност на ограждащите елементи (фиг. 17). Въз основа на локализираните дефекти във вътрешността на сградата се анализират причините за тяхната поява и се провежда подробен мониторинг на ограждащите елементи с цел установяване на зони с проливи на атмосферни води, дефекти в ограждащите елементи, разрушения от ветрови въздействия.



Фиг. 17. Локализиране на дефектите във вътрешността на сградата

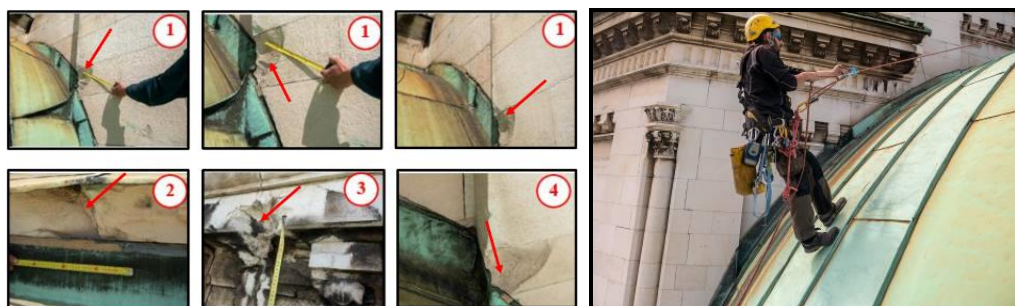
Мониторингът на ограждащите елементи много често се провежда по алпийски способ. При необходимост се вземат пробни тела от дефектиралите материали на носещата конструкция и в лабораторни условия се определят актуалните физико-механични характеристики.

Обобщени са примери от диагностициране на конструкцията и предвидените мерки за възстановяване на следните сгради, паметници на културата.

5.1. Храм паметник „Александър Невски“

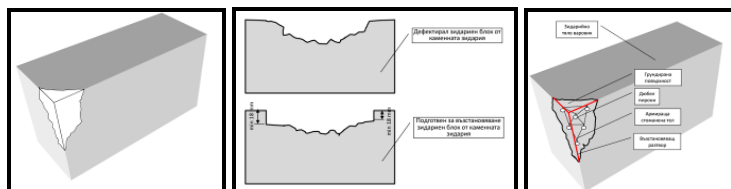
В резултат на проведения мониторинг и установените дефекти по ограждащите и носещите конструктивни елементи са диференцирани следните групи дефекти:

5.1.1. Обрушване на варовикови квадри от зидарията – фиг. 18



Фиг. 18. Обрушени и дефектирали зидарийни тела

В резултат на анализирани на установените дефекти и причината за тяхната поява се препоръчва премахване на обрушените и напукани парчета от варовика до достигане на здрав и ненарушен материал, полагане на адхезионен слой и възстановяване на напречното сечение на квадратите с проектни и с готови фирмени състави (фиг. 19).



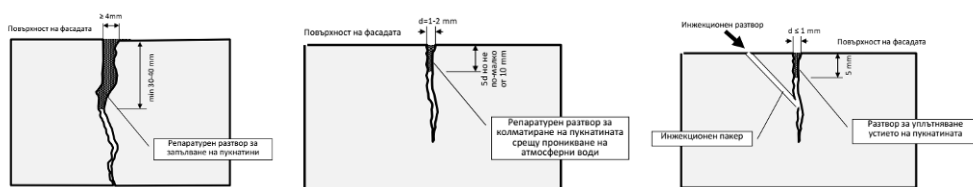
Фиг. 19. Принципна схема за възстановяване на обрушени каменни зидарийни тела

5.1.2. Възстановяване на пукнатини в зидарията на стените – фиг. 20



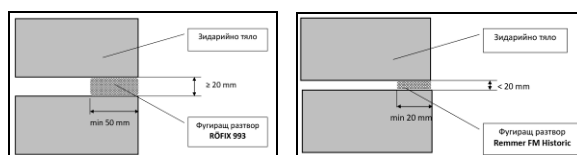
Фиг. 20. Примери за пукнатини в каменна зидария

Възстановяването включва подготовка на пукнатините и запълване с репарационни разтвори в зависимост от ширината на устието (фиг. 21). Възстановяване на пукнатини с ширина над 4 mm се извършва с репарационен състав, състоящ се от хидравлична вар, трас, 5 % цимент, пясък и водонамаляващи химически добавки. Възстановяване на пукнатини с ширина 2 – 4 mm се препоръчва да се извърши чрез колматиране на пукнатината с цел възпрепятстване на проникването на атмосферни води. За този размер се препоръчва използване на силиконизиран акрилен латекс. Възстановяване на пукнатини с ширина до 2 mm се изпълнява чрез инжектиране на състави от хидравлична вар и максимална едрина на вложения пълнител 0,5 mm.



Фиг. 21. Принципини схеми за възстановяване на пукнатини с различни размери

5.1.3. Възстановяване на фугите на каменната зидария



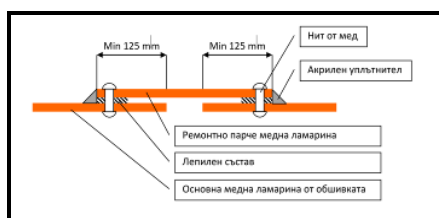
Фиг. 22. Схеми за възстановяване на фуги между зидарийни тела

Ремонтът на зидарии включва ремонт на фугите. Фугата се почиства на дълбочина минимум 2 пъти ширината на фугата. За фуги с ширина над 20 mm е използван репарационен разтвор, състоящ се от хидравлична вар, трас, 5 % цимент, пясък и водонамаляващи химически добавки. Разтворът се характеризира с висока сулфатоустойчивост и достатъчна адхезия със скалния материал. Максималната едрина на зърната на пясъка е 4 mm, а якостта на натиск 8 N/mm². При фуги с ширина до 20 mm е препоръчан фугиращ разтвор *Remmer FM Historic*.

5.1.4. Възстановяване на пробиви в обшивката от медна ламарина



Фиг. 23. Дефекти в обшивката от медна ламарина



Фиг. 24. Схема на възстановяване

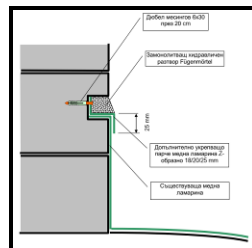
Възстановяването на пробиви в обшивката от медна ламарина (фиг. 23) е планирано чрез патиниране на медната ламарина за ремонта, разкрояване, прилепване на репарационното парче с изкуствен метал, нитоване с медни поп-нитове (фиг. 24) и/или използване на самозалепваща се медна лента Cooper Flash.

5.1.5. Компретирана връзка на обшивката от медна ламарина – фиг. 25

Възстановяването се извършва чрез подготовка на дефекта за възстановяване, монтиране на пола за поемане на температурните деформации, монтиране на репаратурния елемент чрез месингови дюбели, замонолитване на жлеба с хидравличен фугиращ разтвор, модифициран с епоксидна емулсия (фиг. 26).

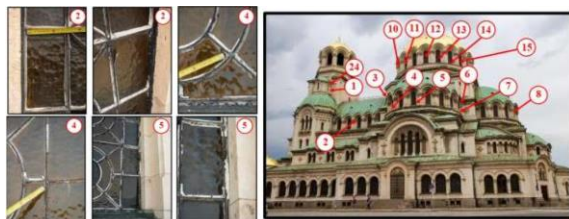


Фиг. 25. Нарушена връзка обшивка-зидария

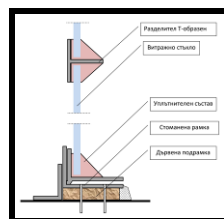


Фиг. 26. Схема за възстановяване

5.1.6. Възстановяване на дефектирали стоманени прозорци



Фиг. 27. Дефектирали рамки на прозорци



Фиг. 28. Схема на възстановяване

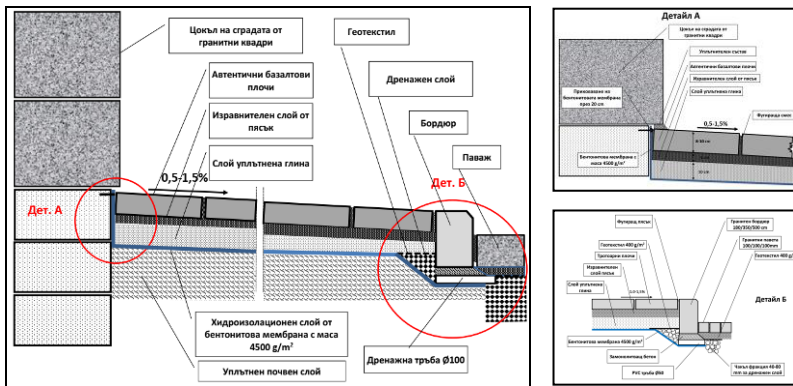
Възстановяването включва почистване и подготовка на рамките, обработка на дървената подрамка с антисептиращ състав, репрофилиране на корозиралата в дълбочина метална прозоречна рамка с Ferrobond P и уплътняване на пространството между рамката и зидарията на фасадата с двукомпонентен хидравличен фугиращ разтвор, модифициран с епоксидна емулсия. Уплътняването на периметровата зона се извършва с водоустойчиви и UV устойчиви акрилни херметизиращи състави, работещи при температура до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, относително остатъчно удължение 200 %, напречна деформация 7,5 % и напрежение при деформация $0,02\text{ N/mm}^2$.

5.1.7. Хидроизолиране на периметровата зона

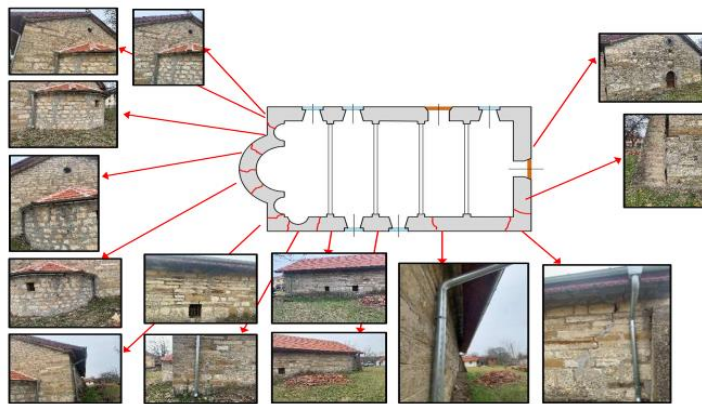
Хидроизолирането на периметровата зона се налага поради интензивно филтриране на атмосферни води в посока на криптата на храма. Предвижда се изпълнение на изолационна защита на база мембрана от естествен продукт, бентонитова глина – фиг. 29.

5.2. Православна църка с. Девене – фиг. 30

В резултат на проведената диагностика се възстановява покритието от керемиди, подменят се обтегачите на свода, възстановяват се формирани пукнатини в зидарията.

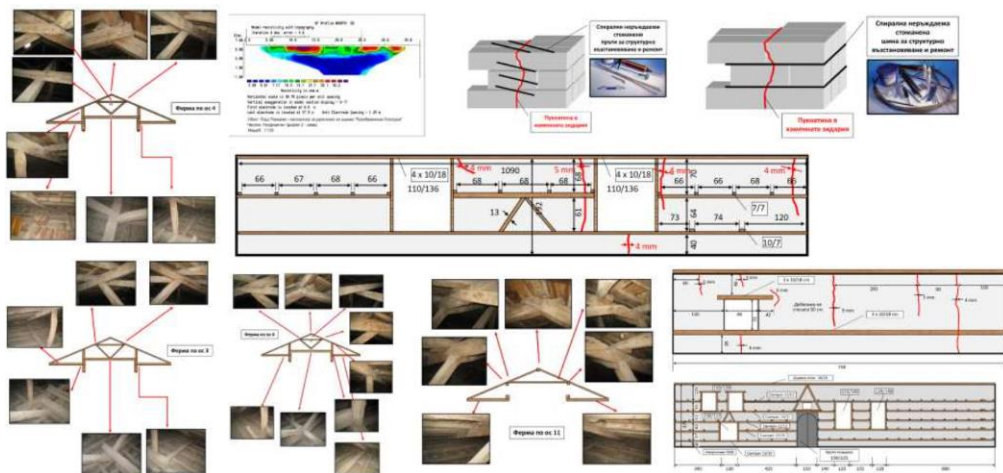


Фиг. 29. Изпълнение на периметрова хидроизолация от бентонитова мембрана



Фиг. 30. Православна църква с. Девене – схема на дефектите

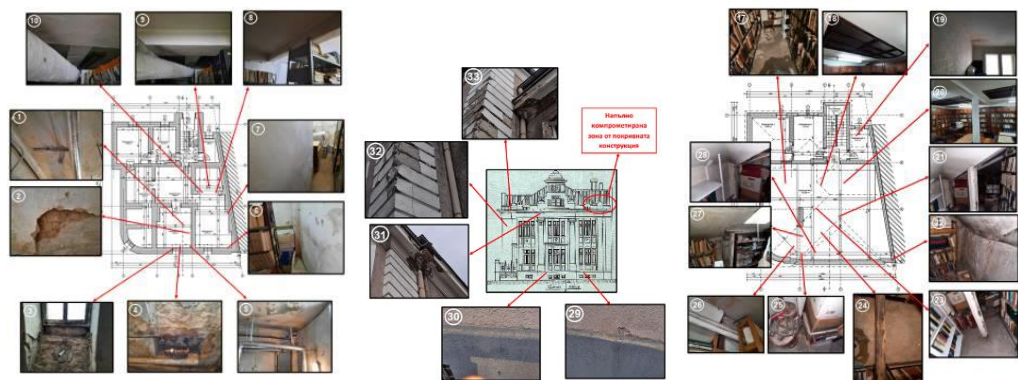
5.3. Църква „Преображение Господне“, гр. Поморие



Фиг. 31. Зони с дефекти – църква „Преображение Господне“, гр. Поморие

Възстановяването включва ремонт на дървена конструкция – покрив и покритието от керемиди, възстановяване на вертикални пукнатини в зидарията, частична подмяна на зидарийни тела и повърхностна обработка сантрачи.

5.4. Институт по балканистика, гр. София



Фиг. 32. Зони с дефекти – сграда на институт по балканистика, гр. София

Възстановяването включва ремонт на тухлена зидария под кофа терен, възстановяване на варов разтвор от тухлена зидария и ремонт на дървената конструкция покрив.

6. Заключение

В резултат на проведените визуални обследвания, обектови и лабораторни изпитвания и направения въз основа на тях анализ, могат да се направят следните основни изводи:

- в резултат на диагностициране на строителните конструкции са установени основните дефекти, които водят до перманентно влошаване на дълготрайността на конструкцията на сградите в резултат на климатичните промени;
- чрез анализиране на причините за появилите се дефекти и проследяване на кинетиката на тяхното разпространение са синтезирани стратегии за спешно възстановяване на отделни елементи на конструкцията на обследваните сгради;
- за диагностицираните обекти са представени препоръчителни технологии за възстановяване на фасадна зидария, покривни обшивки и покритие на скатни покриви, възстановяване на дефектирала дограма и отстраняване на аварийни хидроизолационни проблеми на сградите;
- представените технологии са разработени на базата на съвременни високо технологични състави, близки по структурни характеристики и състав с използваните за конкретния обект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang, X., Nguyen, M., Stewart, M. G., Syme, M., Leitch, A. Analysis of Climate Change Impacts on the Deterioration of Concrete Infrastructure – Part 1: Mechanisms, Practices, Modelling and Simulations – A review. Published by CSIRO, Canberra. ISBN 9780 4310365 8, (2010).
2. Pachauri, R. K., Reisinger, A. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, IPCC, Geneva, Switzerland.
3. Yoon, I. S., Copuroglu, O., Park, K. B. Effect of global climatic change on carbonation progress of concrete. *Atmos Environ* 41, (2007).
4. Peng, J. Stewart, M. Carbonation-induced Corrosion Damage and Structural Safety for Concrete Structures under Enhanced Greenhouse Conditions. Research Report, the University of Newcastle (2008).
5. Bastidas-Arteaga, E., Chateaufneuf, A., Sanchez-Silva, M., Bressolette, Ph., Schoefs, F. Influence of weather and global warming in chloride ingress into concrete: A stochastic approach, *Structural Safety* 32 (2010).
6. Talukdar, S. Banthia, N. Carbonation in concrete infrastructure in the context of global climate change: Development of a service lifespan model, *Construction and Building Materials*, Volume 40, March 2013, Pages 775–782.
7. CSIRO (2007), Climate Change in Australia. Technical Report. CSIRO and Bureau of Meteorology.
8. Prieto, B., Young, M. E., Turmel, A., Fuentes, E. Role of masonry fabric subsurface moisture on biocolonisation. A case study, *Building and Environment*, Volume 210, 15 February 2022, 108690.
9. Fuentes, E., Vázquez-Nion, D., Prieto, B. Laboratory development of subaerial biofilms commonly found on buildings. A methodological review, *Building and Environment*, Volume 223, September 2022, 109451.
10. Brimblecombe, P., Lefèvre, R. A. Weathering of materials at Notre-Dame from changes in air pollution and climate in Paris. 1325–2090, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 50, July–August 2021, Pages 88-94.
11. Wang, C-H., Wang, X. (2009a). Hazard of Extreme Wind Gust in Australia and its Sensitivity to Climate Change. Technical Report of National Research Flagships – Climate Adaptation. CSIRO, Melbourne.
12. Wang, C-H., Wang, X. (2009b). Hazard of extreme wind gusts to buildings in Australia and its sensitivity to climate change. 18th World IMACS / MODSIM Congress, Cairns, Australia 13-17, July, 2009.
13. Sesana, E., Gagnon, A., Bonazza, A., Hughes, J. An integrated approach for assessing the vulnerability of World Heritage Sites to climate change impacts, *Journal of Cultural Heritag*, Volume 41, January–February 2020, Pages 211–224.
14. <https://whc.unesco.org/en/climatechange/>, Climate Change and World Heritag.
15. Cavalagli, N., Kita, A., Castaldo, L. Pisello, A. L., Ubertini, F. Hierarchical environmental risk mapping of material degradation in historic masonry buildings: An integrated approach considering climate change and structural damage. *Construction and Building Materials*, Volume 215, 10 August 2019, Pages 998-1014.
16. Z. Ahunbay, G. Altay, G. Arun, O. Aydemir, F. D. Atasagun, Z. Celep, M. Altug Erberik, A. İlki, F. Kuran, Z. G. Ünal, F. Aköz, N. Olgun, M. Şimşek, Y. Kaya, Y. Uçar. A Guideline for Earthquake Risk Management of historical Structures in Turkey.

17. Cultural Heritage and Seismic Risk: Some European Experiences Published in “Risk Wise” on the occasion of the 2008, Davos, International Disaster and Risk Conference.
18. *Modena, C., Valluzzi, M. R., Casarin, F., Garbin, E., Munari, M., Mazzon, N., Panizza, M., Benetta, M. Dalla.* Recent advances in the structural analysis and intervention criteria for historic stone masonry constructions subjected to seismic actions, Proceedings of the ISCARSAH symposium Mostar-09, 12th July 2009, Mostar, Bosnia and Herzegovina.
19. *Elena Sesana, Alexandre S. Gagnon, Chiara Ciantelli, JoAnn Cassar, John J. Hughes.* Climate change impacts on cultural heritage: A literature review, <https://doi.org/10.1002/wcc.710>.
20. *Huijbregts, Z., Schellen, H., Martens, M., Schijnd, J.* Object Damage Risk Evaluation in the European Project Climate for Culture, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 1341–1346.
21. *Vidal, F., Vicente, R. J., Mendes, J.* Review of environmental and air pollution impacts on built heritage: 10 questions on corrosion and soiling effects for urban intervention, Journal of Cultural Heritage Volume 37, May–June 2019, Pages 273–295.
22. *El Masri, Y., Rakha, T.* A scoping review of non-destructive testing (NDT) techniques in building performance diagnostic inspections, Construction and Building Materials, Volume 265, 30 December 2020, 120542.
23. *Poletti, E., Vasconcelos, G., Branco, J. M., Isopescu, B.* Effects of extreme environmental exposure conditions on the mechanical behaviour of traditional carpentry joints, Construction and Building Materials, Volume 213, 20 July 2019, Pages 61–78.
24. *Mishra, M.* Machine learning techniques for structural health monitoring of heritage buildings: A state-of-the-art review and case studies, Journal of Cultural Heritage, Volume 47, January–February 2021, Pages 227–245.
25. *Gaddi, R., Cacace, C., Bucchianico, A.* The risk assessment of surface recession damage for architectural buildings in Italy, Journal of Cultural Heritage, Volume 57, September–October 2022, Pages 118–13.
26. *Silvia, S., Renzo, B., Chiara, C., Luigi, G., Lara, M., Matteo, M., Riccardo, P., Claudio, M.* Recession rate of carbonate rocks used in cultural heritage: Textural control assessed by accelerated ageing tests, Journal of Cultural Heritage, Volume 57, September–October 2022, Pages 154–164.
27. *Aarle, M., Schellen, H., Schijndel, J.* Hygro Thermal Simulation to Predict the Risk of Frost Damage in Masonry; Effects of Climate Change, Energy Procedia, Volume 78, November 2015, Pages 2536–2541.
28. *Riminesi, C., Cuzman, O. A., Moczko, M., Raszczuk, K.* Comparative interpretation of results after application of different non-destructive and portable techniques on historic concrete in the Centennial Hall in Wrocław, Volume 17, December 2022, e01409.
29. *Fontenele, A., Campos, V., Matos, A. M., Mesquita, E.* A vulnerability index formulation for historic facades assessment, Journal of Building Engineering, Volume 64, 1 April 2023, 105552.
30. *Verdum, G., Deise, J., Fernanda, B., Rafaela, G., Socoloski, F., Giordani, C., Angela, L., Masuero, B.* Mortar coating degradation in historical buildings facades from Rio Grande do Sul – Brazil, Construction and Building Materials, Volume 310, 6 December 2021, 125221.

IMPORTANT PRINCIPLES FOR RESTORATION OF CULTURAL MONUMENTS, BASED ON ANALYSIS OF THE SPECIFIC IMPACTS AND RISKS OF CLIMATE CHANGE

B. Petrov¹

Keywords: cultural monuments, natural materials, climate change

ABSTRACT

The restoration of cultural monuments requires a detailed diagnosis, analysis of the causes of the defects that have appeared and assessment of the possible areas for intervention.

The diagnosis determines the recovery sequence by analyzing the specific impacts and risks of climate change. Atmospheric effects, moisture, increased carbon emissions and wind increase the seismic risk for buildings. The choice of methods and materials for restoration is made after analyzing the causes of the damage and limiting the external negative impacts of the environment.

This paper shares experiences and results based on following the principles listed above. After diagnosing the elements, the main characteristics of the inserted materials are determined. The results are based on the use of natural materials and classic technologies designed to minimize the negative impact of atmospheric factors.

¹ Bogomil Petrov, Prof. Dr. Eng., Dept. "Building Materials and Insulations", UACEG, 1 H. Smiranski Blvd., Sofia 1046, e-mail: bwp_fce@uacg.bg