

Роман Купранець
аспірант кафедри Архітектури та реставрації
Національного університету «Львівська політехніка», м. Львів, Україна,
e-mail: roman.v.kupranets@lpnu.ua,
ORCID: 0009-0001-4234-6830

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОМАНЦЕНТУ ТА ВИСОКОЯКІСНИХ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИТІВ В РЕСТАВРАЦІЇ АРХІТЕКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ФАСАДІВ БУДІВЕЛЬ

FEATURES OF THE USE OF ROMANCENT AND HIGH-QUALITY CEMENT COMPOSITES IN THE RESTORATION OF ARCHITECTURAL ELEMENTS OF BUILDING FACADES

© Купранець Р.В., 2025
DOI

Анотація. Проблема реставрації фасадів історичних будівель є дуже актуальною в усьому світі. Фізичне зношування матеріалів, руйнування фасадів спричинене кліматичними факторами та забрудненням навколишнього середовища. Для архітектурно-декоративних елементів фасадів кам'яниць II пол. XIX–початку XX ст. Європи та зокрема Львова характерне застосування романського цементу. В залежності від типу декоративно-конструктивних елементів відрізняються методи їх виготовлення, армування та розміщення на фасаді. Це впливає на стан збереженості та процеси руйнування.

У статті також розглядаються можливості використання високоякісного бетону для реставрації та створення скульптур на фасадах історичних будівель. Розглянутий склад суміші забезпечує високий рівень технологічності, ефект самоущільнення та можливість ідеального відтворення дрібних елементів під час реставраційних робіт. Лабораторні випробування зразків підтвердили високу механічну міцність, низьке водопоглинання та підвищену морозостійкість, скульптурні елементи мають ідеальну поверхню та форму і обіцяють бути більш довговічними порівняно з технологією виробництва, що використовує традиційний цементний та вапняний розчин.

Ключові слова: історична забудова, архітектурно-декоративні елементи та деталі, штучний камінь, тиньк, реставрація фасаду.

Постановка проблеми

Реконструкція та реставрація архітектурних пам'яток та історичних будівель є актуальною проблемою у всьому світі. Історичні цегляні будівлі зазвичай оштукатурені вапняним (або цементно-вапняним) розчином і прикрашені архітектурними елементами з натурального або штучного каменю на основі цементу та вапняних сумішей. Сучасний стан історичних фасадів є у поганому стані, а процес реставрації вимагає значних ресурсів.

У країнах середньої та північної кліматичної зони процеси руйнування цементних та вапняних розчинів прискорюються через підвищену вологість та цикли замерзання-розмерзання. У морському кліматі процеси руйнування прискорюються через хімічний вплив солі. Водночас у південних регіонах відбувається ерозійна вивітрювання та абразивний вплив піску.

Досвід експлуатації історичних будівель показав, що процеси руйнування архітектурно-декоративних фасадних елементів можуть відбуватися не тільки в старих будівлях, але й у нових проєктах протягом декількох років після реставрації. Тому необхідно використовувати сучасні матеріали та технології, які можуть гарантувати довговічність і хороший зовнішній стан архітектурних елементів. Довговічність відкритих архітектурних елементів також можна поліпшити за допомогою спеціального захисного покриття (Falikman, Sorokin, Deniskin, 2012).

Нова технологія створення архітектурних елементів полягає у створенні та коригуванні початкової форми відновленого елемента з відповідних пластичних матеріалів, таких як глина або спеціальна пластична маса. Наступним етапом є виготовлення форми, яка копіює оригінальну форму (Niel, 2007). Гіпс є найпопулярнішим матеріалом для виготовлення форм, але гіпсові форми є одноразовими.

Багаторазові форми можуть бути виготовлені з скловолокнистих композитів, що містять полімерну смолу та скловолокнисту сітку.

Складні елементи можуть бути відлиті у поліуретанових або силіконових гумових формах, які є гнучкими та багаторазовими. Останнім етапом є заповнення форми розчином, який після затвердіння копіює початкову форму. Традиційно можуть використовуватися гіпсові та цементно-вапняні розчини. Гіпсові скульптури не є водонепроникними і їх необхідно захищати спеціальними покриттями. Скульптури з цементно-вапняного розчину характеризуються підвищеною міцністю та кліматичною стійкістю порівняно з гіпсовими (Vincent, 2002).

Процес реставрації є трудомістким і дорого вартісним тому перевагу слід надавати технологіям і матеріалам, які здатні забезпечити тривалий термін майбутньої експлуатації. Перспективним напрямком є використання останніх досягнень у галузі технологій бетонування, таких як використання високоміцного бетону та армованого волокном бетону (Skadins, Brauns, 2011). Ці матеріали розробляються та застосовуються на практиці у світі протягом останніх 3 десятиліть. Високоміцні бетони характеризується поліпшеними властивостями, такими як висока міцність та більша довговічність. У випадку архітектурного застосування поєднання самоущільнювальних і високоефективних властивостей дозволяє досягти ідеальної поверхні елементів. Сучасний високоміцний бетон є багатокомпонентним матеріалом, що містить компоненти різного розміру, мікронаповнювачі (Cepuritis, Wigum, Garboczi, Mørtzell, Jacobsen, 2014), має низьке співвідношення вода/цемент і утворює щільну мікроструктурну суміш, що забезпечує високу міцність і непроникність (Justs, Bajare, Shakhmenko, Korjamins, 2011). Зазвичай бетон є крихким матеріалом на згин, особливо високоміцний бетон. Волокна додаються з метою підвищення пластичності та міцності на згин матеріалу (Krasnikovs, Kononova, Machanovsky, Khabaz, 2012). Застосування армованого бетону металевими волокнами у архітектурні практики не рекомендовано, тому що таке армування може спричинити появу іржавих плям на поверхні, тому варто використовувати армований бетон з пластиковими волокнами. Пластикові волокна не настільки ефективні, як металеві, але можуть поліпшити згинальні властивості та стабільність розмірів матеріалу (Sprince, Pakrastinsh, Korjamins, 2011). Багатокомпонентний та дрібнозернистий високоякісний бетон, що містить спеціальні волокна, можна визначити як високоякісний цементний композит.

Виклад основного матеріалу

Виготовлення фасадних ліпних елементів у XIX та на початку XX століття було б практично неможливим без високогідралічних в'язучих розчинів, так званих природних або романських цементів. Романські цементи були продуктом випалювання природного вапняку з високим вмістом глини. Випалені камені подрібнювали та зберігали в дерев'яних бочках. На відміну від інших гідралічних в'язучих речовин, вони відрізнялися, перш за все, дуже коротким часом затвердіння, приємною структурою і кольором розчину, низьким рівнем усадки і чудовою

стійкістю до атмосферних впливів. Протягом XX століття романський цемент вийшов з ужитку, поступившись місцем новому на той час портландцементу, який все більше завойовував ринок. Відсутність в'язучих для розчину, які відповідають будівельному матеріалу XIX століття, призвела до того, що сьогодні для збереження пам'яток архітектури більше не доступна необхідна автентична технологія.

Романські цементи були природними, високогідралічними в'язучими речовинами, які вироблялися з мергелю – глинистого вапняку. Ця природна суміш вапна і глини, піддана випалюванню нижче межі спікання і подальшому дрібному подрібненню, дозволяла отримати надзвичайно міцне і довговічне в'язуче. Секрет успіху виробництва цементу при низьких температурах полягає саме в цій суміші вапна і глини як джерела оксидів кремнію, алюмінію і заліза, яку неможливо отримати в штучних сумішах вапняку і глини.

Романські цементи займають проміжне положення між гідралічними вапняними сумішами та портландцементом. На відміну від гідралічного вапна, вони не містять значної кількості вільного вапна і тому не гасяться, а вимагають подрібнення. На відміну від портландцементу, вони відрізняються специфічним складом клінкеру через значно нижчі умови випалювання.

Особливість романського цементу полягає головним чином у його дуже короткому часі затвердіння при низькій схильності до усадки. Подальший розвиток міцності характеризується спочатку відносно повільним зростанням міцності, яке, однак, згодом значно збільшується, так що через кілька місяців досягається міцність на стиск, яка знаходиться в діапазоні міцності портландцементу або навіть перевищує її. Ці властивості, а також теплий, жовто-коричневий відтінок, ймовірно, стали вирішальними для успіху романських цементів у фасадних роботах, що також відображено в сучасній технічній літературі.



Рис. 1. Кар'єр Burgstallbruch біля Ліленфельда, Австрія; у XIX столітті він був важливим постачальником вапняку для виробництва романського цементу.

Австрійський стандарт 1880 року, а також його переглянута версія 1890 року, пропонують сучасне визначення: «Романські цементи (цементно-вапняні суміші) — це продукти, які

отримують з глинистих вапняних мергелів шляхом випалювання нижче зони спікання і які не гасяться при контакті з водою, а тому спочатку їх необхідно подрібнити до стану борошна». Щодо вибору романського цементу, який найкраще підходить для конкретного застосування, норма уточнює час затвердіння: «Романські цементи є швидко-, середньо- та повільнотвердіючими. До швидкотвердіючих романських цементів відносяться ті, твердіння яких на повітрі без додавання піску починається протягом 7 хвилин з моменту додавання води. Якщо твердіння романського цементу починається пізніше 15 хвилин, його слід вважати повільнотвердіючим».

Мармур (мергель), придатний для виробництва романського цементу, добували з різних геологічних утворень: найвідоміші англійські сорти виробляли, наприклад, з так званих септаріїв — мармурових бульб в еоценовій глині Лондона — або з юрських і крейдяних утворень уздовж узбережжя. На європейському континенті мергельні породи видобували, наприклад, у Франції, зокрема в Юрському періоді Бургундії або в крейдяній формації навколо Гренобля. Мергелеві кар'єри Східних Альп походили з юрських, крейдяних або третинних родовищ, наприклад, в околицях Бергамо в Північній Італії, в Тіролі, в околицях Зальцбурга або в передгір'ях Альп на захід і південь від Відня. Інші важливі виробничі об'єкти знаходилися переважно в передгір'ях Швейцарії, на півдні Німеччини, в Богемії та Галичині, на території сучасної південної Польщі (Ashurst, 2002).

У попередніх наукових розробках зазначено, що випалювання мергелю для виробництва романського цементу має відбуватися при «низьких» температурах, а перепалені продукти мають гіршу якість (Eckel, 1905). Однак у своїй стандартній праці Eckel згадує про температуру 900–1200 °C. Історичні джерела іноді згадують спостереження, що найкращі романські цементи часто містять невеликі залишки кальциту, який не розклався під час випалювання. Тривалість випалювання вказується в діапазоні від 30 до 72 годин, однак це включає всі етапи, від нагрівання до випалювання та охолодження. Паслі (1830) вважає достатньою тривалість 2-3 години при розжарюванні до червоного.

Екель також розробив «індекс цементування» для порівняння мергелів для різних видів і якостей цементу. Сировина, яка була протестована в рамках проекту ROCЕМ, має значення від 1,7 до 2,0, що вказує на необхідність відносно низьких температур випалювання.

Реакції цементного продукту (вихідної сировини) під час такого низькотемпературного випалювання є дуже специфічними. Під час процесу випалювання в мергелі відбуваються такі реакції:

- (1) дисоціація кальциту до оксиду кальцію,
- (2) виділення води та розкладання глинистих мінералів до аморфних алюмосилікатів,
- (3). Реакція вапна з кварцом і термічно зміненими глинистими мінералами з утворенням дикальційсилікату, беліту, як суміші двох модифікацій α' і β , і (4) при більш високих температурах кальцій-алюмінієвого силікату, геленіту.

Зі збільшенням ступеня кальцинування кальцит, кварц і аморфні компоненти зменшуються; вміст вільного вапна досягає максимуму, а потім знову зменшується; частка геленіту збільшується, так само як і сумарний вміст беліту, при цьому α' -беліт переважає при низьких температурах і переходить в β -беліт при підвищенні температури.

Таким чином, цементи дуже чутливі до температури випалу і досягають найвищої міцності, якщо випалюються при відносно низьких температурах. Історичні дані про виробництво хороших романських цементів, а саме, що найкращі цементи мають залишковий вміст кальциту і що перепалювання призводить до поганої якості цементу (Рис.2).

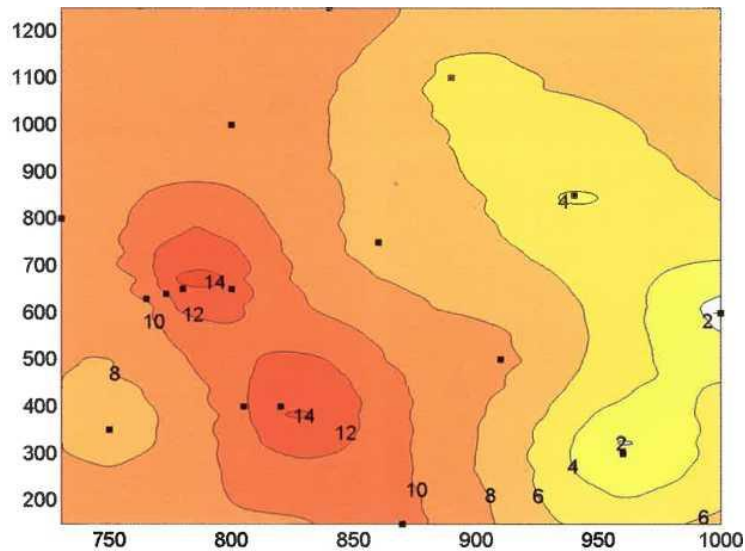


Рис. 2. Схема міцності романцементу:

28-денна міцність - високі температури та тривалий час витримки негативно впливають на якість цементу (Eckel, 1905).

Причини руйнування романського цементу на фасадах історичних будівель. Вироби з романського цементу зазвичай дуже міцні. Типовою особливістю всіх штукатурок і литих елементів є мережа мікротріщин на поверхні, які не мають ніякого відношення до кладки. Вони виникають внаслідок усадки і, як правило, не становлять проблеми. Лише в окремих випадках, коли фасад, наприклад, у верхніх частинах піддається сильному впливу дощової води, ці тріщини можуть розширюватися і становити загрозу для конструкції (Рис. 3).



Рис. 3. Руйнування штукатурки на фасадах історичних будівель.
Фото автора, 2024 р.

Сильно експоновані поверхні можуть піддаватися ерозії і таким чином втрачати свою щільну поверхневу структуру. Більші тріщини з зміщеннями іноді виникають через статичні рухи кладки, які не можуть бути компенсовані відносно твердим і крихким романським цементним розчином. Порожнини як ознака відсутності адгезії зустрічаються дуже часто, але лише в окремих випадках призводять до втрати маси, особливо якщо між кладкою і штукатуркою можливий вільний доступ води. Найпоширенішою причиною пошкоджень є неналежне обслуговування, яке призводить до значного надходження води. У верхніх частинах фасадів джерелом вологи можуть бути пошкоджені або неефективні зовнішні системи водовідведення, що призводять до протікання дощової води, в надземній зоні неефективний дренаж і гідроізоляція фундаментних стін можуть призвести до проникнення вологи і руйнування штукатурки фасаду, головним чином через проникнення і кристалізацію солей.

Однак головною проблемою збереження є пізніші заходи з ремонту та реконструкції, які безповоротно змінюють оригінальні поверхні. Мало які матеріали були так мало оцінені та оброблені, як римські цементні штукатурки. Роки занедбання, накопичення шарів фарби або нанесених розпилювачем цементних покриттів, шкідливе очищення та нерівномірні ремонти з використанням невідповідних матеріалів негативно впливають та погіршують естетичний вигляд значної частини архітектурної спадщини XIX та початку XX століття. Оригінальні штукатурки та декоративні лиття часто видаляють, коли вони знаходяться в поганому стані, замість того, щоб їх консервувати або замінювати. Після видалення або безповоротного покриття важлива інформація про минулі естетичні концепції, технології та будівельні навички втрачається назавжди. Тому незмінені фасади з римського цементу, що зберегли свій оригінальний колір і архітектурну поверхню в незмінному стані, є рідкісними, незважаючи на те, що ця техніка широко використовувалася в період швидкого зростання міст в Європі. Необхідно продовжувати докладати зусилля для розуміння, поваги та збереження цієї відносно сучасної архітектури шляхом ретельної оцінки та консервації.

Реставрація фасадів історичних будівель. Фасади XIX-XX століть, облицьовані з використанням романського цементу, заслуговують на таку ж ретельну реставрацію, як і об'єкти інших стильових епох. Оскільки, як правило, це будівлі, що постійно використовуються, протягом свого існування вони зазнали ряду реконструкцій, під час яких аспект збереження пам'яток архітектури часто відігравав лише другорядну роль. Романський цемент широко застосовувався в XIX ст. лише в Західній Україні. Вперше список історичних об'єктів міста Львова збудованих з використанням романського цементу опублікував М.Бевз (Bevz, M., 2013). Проте у долідженнях автора не розглядалися питання технології реставрації романцементних деталей чи пошуку замінників.

Подібна тематика до наших дослідження вже проводилися. Зокрема стаття (Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Kotiv, R., Bevz, M., and Fic, S., 2021) присвячена дослідженню придатності низьковуглецевого римського цементу для реставраційних та оздоблювальних робіт. Представлено історію розвитку римського цементу як природного гідравлічного в'язучого, який широко використовувався для оздоблення фасадів будівель у 19-му та на початку 20-го століття. Властивості розчинів на основі римського цементу роблять його чудовим продуктом для архітектурної реставрації та консервації, оскільки вони характеризуються швидким тужавінням, високою пористістю, характерною для вапняних розчинів, високою стійкістю до погодних умов, високою початковою міцністю. Водночас, через високу поверхневу активність та підвищену водопотребу цементу, з віком твердіння можуть розвиватися усадочні деформації, що призводить до утворення магістральних тріщин на поверхні виробів. Автори вважають, що додавання гіпсу є ефективним регулятором часу тужавлення римського цементу та сприяє збільшенню міцності цементної пасти. В їхній роботі (Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Kotiv, R., Bevz, M., and Fic, S., 2021) представлено аналоги римського цементу на основі

багатокомпонентних цементних в'язучих, модифікованих пластифікуючими та повітрововтягуючими добавками.

Відповідно до сучасного розуміння збереження та реставрації пам'яток, слід враховувати такі етапи реставраційних робіт:

Очищення поверхонь: По-перше, слід врахувати, що фарби, навіть якщо вони мають пароізоляційний ефект, не повинні мати негативного впливу на здорову основу. Тому очищення зазвичай обґрунтовується естетичними, рідше технічними причинами.

Побоювання, що використання води під час очищення є шкідливим, є безпідставним: романські цементні розчини, як правило, є високопористими, але швидко віддають поглинуту воду, а литі деталі з неущкодженою спеченою поверхнею поглинають мало вологи.

Таким чином, можна стверджувати, що видалення дисперсійних покриттів переважно за допомогою пароструменевого методу, а мінеральних покриттів і шламів за допомогою водопідсилених вихроструменевих технологій є цілком ощадним методом очищення. Забруднення поверхні багатьох елементів з романського цементу іноді може вимагати використання тонких механічних інструментів; повне очищення без втрати речовини, принаймні за економічно виправданих умов, часто неможливе.



Рис. 4. а) Зняття сучасних покриттів за допомогою гарячої пари.

б) Нанесення тонкого шару римської цементної штукатурки (2-3 мм) для естетичної реінтеграції поверхонь римської цементної штукатурки.

Засипка та ін'єкція тріщин: Мережа тріщин, характерна для литих елементів з романського цементу та штукатурних поверхонь, сама по собі не становить істотної небезпеки і вимагає втручання лише у виняткових випадках. Те саме стосується цегляної кладки. Якщо в окремих випадках все ж таки необхідні заходи, засипання та ін'єкції в тріщини бажано виконувати в одній системі: використання водних суспензій римського цементу - при цьому коефіцієнт В/Ц слід вибирати відповідно до бажаної консистенції - при ретельному попередньому змочуванні, можливо, з додаванням змочувача, дає результат у вигляді заповнення тріщин та стабілізації. Однак не слід очікувати такого ж міцного склеювання, як при використанні синтетичних смол. На відміну від більшості цементних продуктів, римський цемент відрізняється практично повною відсутністю сульфатів і зниженою схильністю до вицвітання вапна.

Заповнення дефектів бажано проводити за допомогою розчинів з романського цементу. У попередніх випробуваннях необхідно визначити криву просіювання, склад і кількість заповнювача, яка може варіюватися від 1 до 3 об'ємних частин піску на 1 об'ємну частину цементу. У будь-якому випадку слід звернути увагу на попереднє зволоження основи — можливо, з додаванням звичайного для реставрації адгезиву — та підтримання вологості нанесеного шару, що сприятливо впливає на адгезію та міцність. Завдяки хорошій

водоутримуючій здатності та здатності до дозрівання при підвищеній вологості повітря «вигорання» розчину малоімовірне.

Шпаклювання: якщо фасад спочатку був пофарбований для імітації природного каменю, фарбу необхідно нанести знову на очищену та відремонтовану поверхню. Ця обробка повинна призвести до отримання прозорого шару фарби з високою стійкістю, узгодженого з оригінальними зразками, що збереглися. На необроблені фасади з романського цементу можна нанести тонкий шар романського цементу, якщо необхідна естетична реінтеграція знебарвлених і еродованих поверхонь.

Висновки

Результати обстеження історичних будівель показали значні пошкодження архітектурно-декоративних елементів, виготовлених із романського цементу та вапняного бетону. Деякі елементи були втрачені під час експлуатації. Основними причинами пошкоджень є вплив вологи, цикли заморозування-відтавання та забруднення навколишнього середовища.

Сьогодні можливе використання як романських цементів так і високоміцних армованих розчинів під час реставраційних робіт. Проте для кожного об'єкту має бути розроблена комплексна програма реставрації, де будуть враховані всі аспекти:

- підбір матеріалів, які є сумісними з оригінальними будівельними елементами;
- використання екологічно-чистих матеріалів;
- за кольорами та текстурами матеріали повинні повністю відповідати історичним матеріалам.

Бібліографія

Ashurst J. (2002), Mortars, Plasters and Renders in Con-servation, 2nd edition. Ecclesiastical Architect's and Surveyors' Association.

Bevz, M., (2013). Problems of protection and restoration of historical monuments of L'viv built using Roman cement. Budownictwo I Architektura. Lublin, Politechnika Lubelska, t. 12-11 | Journal article. DOI: 10.35784/bud-arch.1973

Cepuritis, R., Wigum, B.J., Garboczi, E.J., Mørtzell, E. and Jacobsen, S. (2014) Filler from crushed aggregate for concrete: Pore structure, specific surface, particle shape and size distribution. Cement and Concrete Composites, Elsevier Ltd. 54, pp. 2–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.010>

Collepardi, M., Troli, R. and Maringoni, S. (2012) Self-Compacting High performance Concretes. Twelfth International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues, pp. 27–33.

Falikman, V.R., Sorokin, Y. V. and Deniskin, V. V. (2012) Surface protection of high performance architectural concrete (2012) Proceedings of Concrete Solutions, 4th International Conference on Concrete Repair, pp. 813–21.

Justs, J., Bajare, D., Shakhmenko, G. and Korjamins, A. (2011) Ultra high performance concrete hardening under pressure. Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceedings, pp. 38–43.

Krasnikovs, A., Kononova, O., Machanovsky, A. and Khabaz, A. (2012) Pull-out micro-mechanism for fibers in concrete (2012) ECCM 2012 - Composites at Venice, Proceedings of the 15th European Conference on Composite Materials.

Niel, T.J. (2007) Process and techniques in concrete sculpture. Concrete Engineering International, 11, pp. 46–7.

Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Kotiv, R., Bevz, M., and Fic, S. (2021). Suitability of modified low carbon Roman cements for architectural restoration. E3S Web of Conferences. Tom 280 | Journal article. DOI: 10.1051/e3sconf/202128007002.

Skadins, U. and Brauns, J. (2011) Modelling of fibre bridging behaviour in SFRC. Civil Engineering. International Scientific conference.

Sprince, A., Pakrastinsh, L. and Korjakins, A. (2011) Experimental study on creep of new concrete mixtures. Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceeding, p. Vol. 3, pp. 20–6.

Tidblad, J., Kucera, V., Ferm, M., Kreislova, K., Brüggerhoff, S., Doytchinov, S. et al. (2012) Effects of Air Pollution on Materials and Cultural Heritage: ICP Materials Celebrates 25 Years of Research. International Journal of Corrosion, 2012, pp. 1–16. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/496321>

Vincent, C.(2002) Trials with self-compacting concrete for sculpture (2002) Concrete (London), pp. 36.

Прибега Л. В. (2015) Архітектурна спадщина України : пам'яткоохоронний аспект : монографія. Київ: Інститут культурології НАМ України. 235 с.

Про автентичність та історичну реконструкцію культурної спадщини : Ризька хартія від 24 жовтня 2000 р. / Науковий комітет Конференції в Ризі. №998_260. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_260#Text (дата звернення: 16.08.2025).

Ревенок Н. М. (2021) Наукова реставрація творів декоративно-ужиткового мистецтва в системі вищої художньої освіти. Збірник наукових праць «Українська академія мистецтва». 2021. Вип. 30. с. 92–106. <https://doi.org/10.33838/naoma.30.2021.92-106>

Федоришин А., Рибчинський О. (2024) Проблеми реставрації скульптур з романського цементу в архітектурі Львова другої половини XIX – початку XX ст. Сучасні проблеми дослідження, збереження та реставрації історичних. Випуск 20: 107-117. <https://doi.org/10.23939/fortifications2024.20.107>.

References

Ashurst J. (2002), Mortars, Plasters and Renders in Con-servation, 2nd edition. Ecclesiastical Architect's and Surveyors' Association. (in English)

Bevz, M., (2013). Problems of protection and restoration of historical monuments of L'viv built using Roman cement. Budownictwo I Architektura. Lublin, Politechnika Lubelska, t. 12-11 | Journal article. DOI: 10.35784/bud-arch.1973 (in English)

Cepuritis, R., Wigum, B.J., Garboczi, E.J., Mørtzell, E. and Jacobsen, S. (2014) Filler from crushed aggregate for concrete: Pore structure, specific surface, particle shape and size distribution. Cement and Concrete Composites, Elsevier Ltd. 54, pp. 2–16. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2014.03.010> (in English)

Collepari, M., Troli, R. and Maringoni, S. (2012) Self-Compacting High performance Concretes. Twelfth International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues, pp. 27–33. (in English)

Falikman, V.R., Sorokin, Y. V. and Deniskin, V. V. (2012) Surface protection of high performance architectural concrete (2012) Proceedings of Concrete Solutions, 4th International Conference on Concrete Repair, pp. 813–21. (in English)

Justs, J., Bajare, D., Shakhmenko, G. and Korjakins, A. (2011) Ultra high performance concrete hardening under pressure. Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceedings, pp. 38–43. (in English)

Krasnikovs, A., Kononova, O., Machanovsky, A. and Khabaz, A.(2012) Pull-out micro-mechanism for fibers in concrete (2012) ECCM 2012 - Composites at Venice, Proceedings of the 15th European Conference on Composite Materials. (in English)

Niel, T.J. (2007) Process and techniques in concrete sculpture. *Concrete Engineering International*, 11, pp. 46–7. (in English)

Sanytsky, M., Kropyvnytska, T., Kotiv, R., Bevez, M., and Fic, S. (2021). Suitability of modified low carbon Roman cements for architectural restoration. *E3S Web of Conferences*. Tom 280 | Journal article. DOI: 10.1051/e3sconf/202128007002. (in English)

Skadins, U. and Brauns, J. (2011) Modelling of fibre bridging behaviour in SFRC. *Civil Engineering. International Scientific conference*. (in English)

Sprince, A., Pakrastinsh, L. and Korjakins, A. (2011) Experimental study on creep of new concrete mixtures. *Civil Engineering '11 - 3rd International Scientific Conference, Proceeding*, p. Vol. 3, pp. 20–6. (in English)

Tidblad, J., Kucera, V., Ferm, M., Kreislova, K., Brüggerhoff, S., Doytchinov, S. et al. (2012) Effects of Air Pollution on Materials and Cultural Heritage: ICP Materials Celebrates 25 Years of Research. *International Journal of Corrosion*, 2012, pp. 1–16. <http://dx.doi.org/10.1155/2012/496321>(in English)

Vincent, C.(2002) Trials with self-compacting concrete for sculpture (2002) *Concrete* (London), pp. 36. (in English)

Prybieha L. V. (2015) *Arkhytekturna spadshchyna Ukrainy : pamiatkookhoronnyi aspekt : monohrafiia*. (Architectural heritage of Ukraine: monument preservation aspect: monograph) Kyiv: Instytut kulturolohii NAM Ukrainy, – Institute of Cultural Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine. 235 s. (in Ukrainian)

Pro avtentychnist ta istorychnu rekonstruktsiiu kulturnoi spadshchyny : Ryzka khartiia. (Riga Charter on authenticity and historical reconstruction in relationship to cultural heritage) Naukovyi komitet Konferentsii v Ryzi, №998_260. URL : https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/998_260#Text (Date of application: 16.08.2025). (in Ukrainian)

Revenok N. M. (2021) Naukova restavratsiia tvoriv dekoratyvno-uzhytkovoho mystetstva v systemi vyshchoi khudozhnoi osvity. (Scientific restoration of works of decorative and applied art in the system of higher art education) *Zbirnyk naukovykh prats «Ukrainska akademiia mystetstva»*, – Collection of scientific works “Ukrainian Academy of Arts”, 30. 92–106. (in Ukrainian).

Fedoryshyn A., Rybchynskyi O. (2024) Problems of sculptures’s restoration made of roman cement in the architecture of Lviv of the second half of the 19th - beginning of the 20th century. *Current Issues in Research, Conservation and Restoration of Historic Fortifications*. Volume 20: 107-117 <https://doi.org/10.23939/fortifications2024.20.107>. (in Ukrainian)

Kupranets R.

Postgraduate student of the Department
of Architecture and Restoration,

National University "Lviv Polytechnic", Lviv, Ukraine,

e-mail: roman.v.kupranets@lpnu.ua,

ORCID: 0009-0001-4234-6830

FEATURES OF THE USE OF ROMAN CEMENT AND HIGH-QUALITY CEMENT COMPOSITES IN THE RESTORATION OF ARCHITECTURAL ELEMENTS OF BUILDING FACADES

Abstract. *The problem of restoring the facades of historic buildings is very relevant throughout the world. Physical wear and tear of materials and damage to facades are caused by climatic factors and environmental pollution. Romanesque cement is typically used for architectural and decorative elements of facades of stone buildings from the second half of the 19th century to the early 20th century in Europe, particularly in Lviv. Depending on the type of decorative and structural elements, the methods of their manufacture, reinforcement, and placement on the facade differ. This affects the state of preservation and the processes of destruction.*

The article also discusses the possibilities of using high-quality concrete for the restoration and creation of sculptures on the facades of historic buildings. The composition of the mixture provides a high level of technological performance, a self-compacting effect, and the possibility of perfectly reproducing small elements during restoration work. Laboratory tests of samples confirmed high mechanical strength, low water absorption, and increased frost resistance. The sculptural elements have a perfect surface and shape and promise to be more durable compared to production technology using traditional cement and lime mortar.

Keywords: *historic buildings, architectural and decorative elements and details, artificial stone, plaster, facade restoration.*