

Očuvanje i obnova zgrada kulturne baštine u doba klimatske krize

uredio Tomasz Jeleński





Očuvanje i obnova zgrada kulturne baštine u doba klimatske krize

uredio Tomasz Jeleński

Očuvanje i obnova zgrada kulturne baštine u doba klimatske krize

Autori

Uvod i Poglavlja 1, 2.1, 2.2, 2.4, 3.1, 3.2, 3.6, 3.7, 5, 7

Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Poglavlja 2.3, 2.5

Łukasz Konarzewski (Śleski regionalni ured za kulturnu baštinu) i Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Poglavlja 3.2, 3.5

Cezary Czemplik (Poljsko udruženje za prirodne zgrade) i Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Poglavlja 3.3, 4

Anna Zaręba (Sveučilište Nikole Kopernika u Torunu) i Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Poglavlja 3.4

Robert Wójcik i Piotr Kosiński (Sveučilište Warmia i Mazury u Olsztynu)

Poglavlje 6

Mihaela Zamolo (Hrvatski savjet za zelenu gradnju)

Poglavlje 7

Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Poglavlje 8

Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu), Ewelina Pekała (Zaklada Sendzimir), Agnieszka Czachowska (Zaklada Sendzimir)

Predgovor

Aleksandar Jelovac (Hrvatski savjet za zelenu gradnju)

Uvod u studije slučaja

Ewelina Pekała (Zaklada Sendzimir)

Znanstveni urednik

Tomasz Jeleński (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Recenzenti

doc.dr.sc. Anna Ostańska (Tehnološko sveučilište u Lublinu)

dr.sc. Filip Suchoń (Tehnološko sveučilište u Krakovu)

Prevoditelj

Ines Domaćinović

Lektura

Ivana Korpar, Ana Gakić Poredski

Odgovorni urednik

Ewelina Pekała (Zaklada Sendzimir)

Naslovna strana, stolno izdavaštvo i grafički dizajn

Marcelina Michalczyk

Naslovna fotografija

Nacionalna knjižnica Ossolineum u Wrocławu, Poljska © Anna – stock.adobe.com

© Autorsko pravo Zaklade Sendzimir

Varšava 2022

ISBN 978-83-62168-24-8 (tiskana verzija na poljskom)

ISBN 978-83-62168-27-9 (tiskana verzija na hrvatskom)

ISBN 978-83-62168-26-2 (online verzija na engleskom)

ISBN 978-83-62168-25-5 (online verzija na poljskom)

ISBN 978-83-62168-28-6 (online verzija na hrvatskom)

Izdavaštvo:

Zaklada Sendzimir

www.sendzimir.org.pl

Tiskano na recikliranom papiru

Ovaj projekt dio je Europske Klimatske Inicijative (EUKI). EUKI je instrument za financiranje projekata od strane njemačkog Saveznog Ministarstva gospodarstva i Klimatske Aktivnosti (BMWK). Natječaj EUKI-ja za projektne ideje provodi Njemačko Društvo za Međunarodnu Suradnju (GIZ) GmbH. Sveobuhvatni cilj EUKI-ja je njegovati klimatsku suradnju unutar Europske Unije (EU) kako bi se smanjila emisija stakleničkih plinova. Autori su odgovorni za svoje stavove iznesene u ovoj publikaciji te ne odražavaju stavove Saveznog Ministarstva gospodarstva i Klimatske Aktivnosti. Mišljenja iznesena u ovoj publikaciji su odgovornost njihovih autora (BMWK)

Projekt je proveden u suradnji s Hrvatskim savjetom za zelenu gradnju

Supported by:



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



European
Climate Initiative
EUKI



Sadržaj

Predgovor | 6

Uvod | 7

Izazovi resursno učinkovitih i klimatski prihvatljivih obnova i rekonstrukcija | 8

Izazovi zaštite graditeljske baštine | 9

1. Strategije obnove | 11

1.1. Energetska obnova | 12

1.2. Energetska učinkovitost i potražnja | 14

1.3. Pristup ugljičnog otiska i životnog ciklusa | 17

1.3.1. Analiza ugljičnog otiska | 18

1.3.2. Projekt za smanjenje ugljičnog otiska | 19

1.3.3. Troškovi životnog ciklusa | 21

1.4. Opremanje/promjena (eng.retrofit) za sve – univerzalno projektiranje | 23

Bibliografija | 24

2. Zaštita graditeljske baštine | 25

2.1. Ciljevi i načela zaštite arhitektonskog i graditeljskog naslijeđa | 26

2.1.1. Razvoj zaštite graditeljske baštine | 26

2.1.2. Vodeća načela u očuvanju graditeljske baštine | 27

2.1.3. Osnovne prijetnje i potrebe zaštite | 28

2.2. Područja očuvanja baštine | 29

2.3. Sustav zaštite spomenika u Poljskoj | 30

2.4. Opseg pristupa i zahvata u povijesnim građevinama | 32

2.5. Nadogradnja povijesnih zgrada u praksi | 37

2.5.1. Zaštita povijesnih interijera | 37

2.5.2. Zaštita povijesnih fasada | 38

2.5.3. Najčešće greške | 39

Bibliografija | 40

3. Građevinski elementi: rješenja za renoviranje i naknadnu ugradnju | 41

3.1. Temelji i podrum | 42

3.1.1. Vлага u temeljima, podrumima i suteranima | 42

3.1.2. Strategija zaštite od vlage | 43

3.1.3. Uzroci strukturne vlage u povijesnim zgradama | 44

3.1.4. Uobičajeni problemi zaštite od vlage | 45

3.1.5. Identifikacija izvora vlage | 46

3.1.6. Osnovna pravila uklanjanja vlage | 46

3.1.7. Uvjeti za primjenu suvremene hidroizolacije ili izolacije otporne na vlagu | 49

3.1.8. Primjena mjera za zaštitu od vlage | 49

3.2. Vanjski zidovi | 52

3.2.1. Zidovi, izolacija i građevinska fizika | 53

3.2.2. Materijali za zidove | 55

3.2.3. Položaj sloja toplinske izolacije | 56

3.2.4. Izolacijski materijali i difuzija pare | 57

3.2.5. Priprema zida za toplinsku izolaciju | 58

3.2.6. Vanjska izolacija | 59

3.2.7. Tehnike toplinske izolacije u prirodnoj gradnji | 62

3.2.8. Vanjske i unutrašnje izolacijske žbuke | 64

3.2.9. Unutrašnja izolacija | 64

3.2.10. Zelene fasade | 68

3.3. Stolarija | 70

3.3.1. Renoviranje prozora i vrata | 70

3.3.2. Modernizacija prozora | 71

3.3.3. Ugradnja prozora i vrata | 72

3.3.4. Zamjena stolarije | 72

3.3.5. Zasjenjenje prozora | 73

3.4. Podovi, stropovi i ravni krovovi | 75

3.4.1. Sustav protiv kondenzacije | 79

3.4.2. Izolacija stropova iznad negrijanih podruma | 80

3.4.3. Izolacija ravnih krovova | 80

3.5. Kosi krov | 83

3.5.1. Konzervacija i popravak krova | 83

3.5.2. Nadogradnja krova: ventilacija, paropropusnost i zrakonepropusnost zraka | 84

3.5.3. Adaptacija potkrovlja, obnova krova i nadogradnja gornje etaže | 86

3.5.4. Pokrivanje krova | 87

3.5.5. Prirodni izolacijski materijali | 88

3.5.6. Termoreflektirajuća i vakuumska izolacija | 89

3.6. Sustav ventilacije | 90

3.6.1. Obnova pasivnog ventilacijskog sustava | 91

3.6.2. Mehanički i sustavi povrata topline | 91

3.6.3. Izbor mehaničkog ventilacijskog sustava | 92

2.6.4. Ugradnja jedinice za povrat topline | 95

3.7. Sustav grijanja | 96

3.7.1. Izvor topline | 96

3.7.2. Izbor izvora energije i uređaja za grijanje | 98

3.7.3. Razmatranja o grijanju zgrada baštine | 102

Bibliografija | 105

4. Zelenilo | 109

4.1. Rješenja utemeljena na prirodi | 111

4.1.1. Upravljanje oborinskim vodama | 113

4.2. Zeleni krov | 114

Bibliografija | 115

5. Prikupljanje energije | 117

5.1. Dobici energije okoline | 119

5.2. Fotonapon | 120

5.2.1. PV primjene u zgradama i četvrtima baštine | 120

5.3. Solarna toplinska energija | 122

5.4. Geotermalna energija i dizalice topline povezane s tlom | 123

5.5. Biomasa | 124

5.6. Vjetrenjače | 125

Bibliografija | 126

6. Seizmička aktivnost koja utječe na povijesne građevine | 127

6.1. Zaštićene građevine u Hrvatskoj | 128

6.1.1. Karakteristike građevina kulturne baštine u Republici Hrvatskoj | 128

6.2. Potresni rizik | 130

6.3. Ponašanje i oštećenja zgrada u potresu | 131

6.4. Popravak, obnova i rekonstrukcija nakon potresa | 132

6.5. Izazovi | 133

Bibliografija | 134

7. Algoritmi | 135

8. Studije slučaja | 139

8.1. Uvod | 140

8.2. Višenamjenska zgrada | 144

8.3. Bivša stražarnica u kompleksu Konjičke vojarne | 148

8.4. Prva gimnazija izgrađena u razdoblju od 1886. do 1887. | 152

8.5. Višestambena zgrada izgrađena | 156

8.6. Dječji vrtić Vjeverica | 160

Popis ilustracija | 164

Predgovor

Aleksandar Jelovac • Hrvatski savjet za zelenu gradnju

Publikacija pred Vama glavni je ishod *Climate Mitigation in Heritage Buildings* projekta, nastala u suradnji Hrvatskog savjeta za zelenu gradnju i Zaklade Sendzimir. Namjera publikacije je poslužiti projektantima kao sveobuhvatni tehnički vodič temeljen na najaktualnijim zelenim praksama s brojnim konkretnim primjerima i smjernicama.

Cijela Hrvatska obiluje zgradama kulturne baštine koje su kamen temeljac njezine povijesti i kulture. S obzirom na potrese koji su pogodili Hrvatsku 2020. godine i oštetili više od 3000 zaštićenih zgrada, Hrvatski savjet za zelenu gradnju svoj je doprinos publikaciji usmjerio ponajviše kroz temu izazova uzrokovanih potresom. Upravo zato, u publikaciju je uvršteno 6. poglavlje, koje je napisala je mr.sc. Mihaela Zamolo, dipl.ing.građ., a bavi se utjecajem potresnih aktivnosti na povijesne građevine.

U sklopu projekta provedeno je 17 intervjua s najvažnijim predstavnicima javne i lokalne vlasti. Razgovaralo se o najvećim izazovima, preprekama i mogućim rješenjima kako ubrzati obnovu zgrada kulturne baštine istovremeno čuvajući njihovu spomeničku vrijednost. Kao ključan problem, dionici su naveli nepostojanje preciznih, konzervatorskih smjernica za projektante pri izradi projekata energetske obnove zaštićenih zgrada. S druge strane, konzervatori su istaknuli da izazov predstavlja njihovo neuključivanje od početka procesa planiranja i projektiranja te nedostatak ljudstva što dovodi do usporavanja cjelokupnog procesa usuglašavanja s projektantima. I projektanti i konzervatori su naveli kako ključ uspjeha leži u zajedničkoj suradnji kroz sve faze provedbe projekta.

Ostatak *Climate Mitigation in Heritage Buildings* projekta, obilježile su online edukacije te radionice uživo u gradovima. Suradnja je ostvarena s ukupno šest gradova (tri u Hrvatskoj i tri u Poljskoj). Na radionicama je testiran i usavršen algoritam za obnovu koji se pokazao kao vrlo praktičan alat za sve sudionike. Algoritam je dostupan unutar publikacije i online.

Kao voditelj projekata u Hrvatskom savjetu za zelenu gradnju, iskoristio bih ovu priliku i zahvalio se svima koji su sudjelovali u provedbi projekta *Climate Mitigation in Heritage Buildings* u Hrvatskoj – od ministarstava, preko gradova do polaznika radionica. Popis je predugačak da bih Vas sve imenom naveo, ali siguran sam da ćete se prepoznati dok ćete čitati ovaj predgovor. Bez Vašeg izdvojenog vremena, truda i doprinosa sama provedba projekta, kao i nastanak ove publikacije, ne bi bili mogući.

Na kraju, želim Vam ugodno čitanje i pozivam Vas da se javite u Hrvatski savjet za zelenu gradnju sa svojim pitanjima, komentarima i prijedlozima kako bismo zajedno nastavili doprinositi ovoj temi i čuvati naše povijesne građevine.

Uvod

Tomasz Jeleński

· Tehnološko sveučilište u Krakovu

Izazovi resursno učinkovitih i klimatski prihvatljivih obnova i rekonstrukcija

Rekonstrukcija zgrada trenutačno obuhvaća samo 0.5–1% građevinskog fonda godišnje. Za postizanje cilja smanjenja emisija zadanog Pariškim sporazumom potrebno je znatno povećati dinamiku i opseg energetske obnove i rekonstrukcije.¹

Bolje korištenje postojećeg fonda zgrada jedan je od glavnih načina za smanjenje potrebe za novom gradnjom, čime se smanjuje ugljični otisak građevinskog sektora. To se može postići samo povećanjem iskoristivosti i podizanjem energetskih svojstava starih zgrada, čime će se produžiti njihova korisnost, posebice u kontekstu sve starijeg društva.

Sve je više starih zgrada napušteno ili u njima žive samo siromašni i stari ljudi. Ove zgrade ne pružaju toplinsku udobnost, ni zdravlje, sreću ili blagostanje korisnika, a najčešće nemaju ni dizala. Potrebno je uhvatiti se u koštac s energetskim siromaštvom i poboljšati uvjete života i rada ugradnjom učinkovitog i čistog grijanja, borbom protiv vlage te poboljšanjem ventilacije ili toplinske izolacije. Osnovni zahtjevi također uključuju univerzalno projektiranje koje nadilazi arhitektonske barijere i druga ograničenja pristupačnosti (vidjeti poglavlje 1.4.).

Prema predviđanjima Poljske dugoročne strategije obnove, do 2050. godine 66% zgrada u Poljskoj bit će dovedeno do standarda vrlo niskoenergetske gradnje (VLEB; UE_{15} kWh/m²/a) a 21% do niskoenergetskog standarda (LEB; UE_{40} ; 40 kWh/m²/a). Preostalih 13% zgrada, koje se iz tehničkih ili ekonomskih razloga ne mogu tako dubinski modernizirati, bit će u rasponu učinkovitosti $UE=90-150$ kWh/m²/a.² Stambene zgrade izgrađene prije 1944. godine čine čak ukupno 26% nacionalnog stambenog fonda.³ Usporedbom ovih podataka vidljivo je da će se najmanje polovica stambenog fonda izgrađenog prije 1944. godine morati dovesti na niski ili vrlo niskoenergetski standard. Preostali dio potrebno je prilagoditi napajanju iz niskotemperaturnih toplinskih mreža ili će proizvoditi vlastitu energiju iz obnovljivih izvora.

U Republici Hrvatskoj se do 2030. godine temeljem Odluke o donošenju Programa energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje do 2030. godine (NN 143/21) predviđa nekoliko kategorija obnove:

- **Integralna energetska obnova** – obuhvaća kombinaciju više mjera energetske obnove, a obavezno uključuje jednu ili više mjera na ovojnici zgrade kojima se ostvaruje ušteda godišnje potrebne toplinske energije za grijanje (QH, nd) od najmanje 50% u odnosu na stanje prije obnove. Integralna energetska obnova iznimno može obuhvaćati samo jednu mjeru na ovojnici, ako ona rezultira uštedom godišnje potrebne toplinske energije za grijanje (QH, nd) od najmanje 50% u odnosu na stanje prije obnove.
- **Dubinska obnova** – obuhvaća mjere energetske učinkovitosti na ovojnici i tehničkim sustavima te rezultira uštedom godišnje potrebne toplinske energije za grijanje (QH, nd) i primarne energije (E_{prim}) na godišnjoj razini od najmanje 50% u odnosu na stanje prije obnove.⁴

1 Architecture2030, *Why the building sector?* https://architecture2030.org/buildings_problem_why/ (kolovoz 2021).

2 BIP, *Projekt uchwały Rady Ministrów w sprawie przyjęcia „Długoterminowej strategii renowacji budynków”*, MRPiT 9.6.2021. <https://www.gov.pl/web/premier/projekt-uchwaly-rady-ministrow-w-sprawie-przyjecia-dlugoterminowej-strategii-renowacji-budynkow2> (rujan 2021).

3 Mańkowski, Stanisław, Edward Szczechowiak (ur.), *Opracowanie optymalnych energetycznie typowych rozwiązań strukturalno-materiałowych i instalacyjnych budynków [u] Zamieszane Budynki. Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011*, GUS, Warszawa 2013.

4 MPiG, *Program energetske obnove višestambenih zgrada za razdoblje do 2030. godine*, 1.8.2022. https://mpgi.gov.hr/UserDocsImages/dokumenti/EnergetskaUcinkovitost/Program_energetske_obnove_VS_zgrada_do_2030.pdf (kolovoz 2022).

- ♦ **Sveobuhvatna obnova** – obuhvaća optimalne mjere unapređenja postojećeg stanja zgrade te osim mjera energetske obnove zgrade uključuje i mjere poput: – povećanja sigurnosti u slučaju požara, – mjere za osiguravanje zdravih unutarnjih klimatskih uvjeta te – mjere za unaprjeđenje ispunjavanja temeljnog zahtjeva mehaničke otpornosti i stabilnosti zgrade, posebice radi povećanja potresne otpornosti zgrade, a može uključivati i druge mjere kojima se unaprjeđuje ispunjavanje temeljnih zahtjeva za građevinu.

Uzmu li se u obzir samo stambene zgrade u Poljskoj, ekonomski održiva energetska modernizacija zgrada omogućit će **ukupnu uštedu finalne energije (FE)** od 147 TWh (približno 75% potražnje FE u 2021.), **smanjenje emisije CO₂** za više od 37 milijuna tona godišnje (približno 10% ukupne godišnje emisije stakleničkih plinova (GHG) u Poljskoj) i **smanjenje emisija čestica (PM)** za približno 89 tisuća tona godišnje (otprilike 25% ukupne nacionalne emisije čestica).⁵

5 BIP, op.cit.

Utjecaj zgrada na okoliš najčešće je određen univerzalnim pokazateljima kao što su energetska učinkovitost i ugljični otisak (vidjeti poglavlje 1.). Utjecaj se također odnosi na lokalni okoliš, npr. udio zgrade u emisiji onečišćenja česticama, stvaranje efekta urbanog toplinskog otoka i otjecanja oborinskih voda. Izgledi za uspješnu obnovu koja smanjuje utjecaj zgrade na okoliš i klimu ovise o njenom položaju, strukturi, izolaciji i unutrašnjim instalacijama, uključujući grijanje, ventilaciju i vlastite sustave za proizvodnju energije (vidjeti poglavlja 3. i 5.). Također su često ovisni o vanjskim čimbenicima, kao što je mogućnost priključenja na toplinsku mrežu.

Važan, često podcijenjen element koji omogućuje poboljšanje klimatskog i energetskeg djelovanja izgrađenog okoliša je zelenilo – integrirano sa zgradama i raspoređeno u njihovu okruženju. Biljke hlade zrak i zasjenjuju zgradu ljeti, štiteći je od pregrijavanja ili odsjaja. Vrtovi i zeleni krovovi ograničavaju ili odgađaju ispuštanje kišnice u kolektore, smanjujući otjecanje oborinske vode i opasnosti od poplava. Zelenilo poboljšava tjelesno i mentalno zdravlje te može poboljšati izgled zgrade i njezinu otpornost na klimatske promjene (vidjeti poglavlje 4.).

Izazovi zaštite graditeljske baštine

Za građevine baštine najvažniji vanjski čimbenici su kulturni, zakonodavni i politički okviri koji štite povijesni okoliš i odlučuju o opsegu dopuštene obnove (vidjeti poglavlje 2.1. – 2.3.). Rješenja koja poboljšavaju karakteristike zgrade i služe zaštiti klime nisu uvijek primjenjiva na povijesnim zgradama. Svaka zgrada ima različitu povijest, stoga se opseg obnove ili rekonstrukcije mora odrediti pojedinačno za svaku građevinu, uz korištenje konzervatorskog znanja. Ta se spoznaja odnosi kako na popisane spomenike tako i na sve druge građevine građene tradicijskim tehnikama i materijalima.

Nedovoljan broj konzervacijskih stručnjaka i problemi u komunikaciji između različitih sudionika procesa obnove: investitora, arhitekata, projekatana i konzervatora, uvelike otežavaju široku primjenu praktičnog znanja o konzervaciji zgrada (vidjeti poglavlje 2.4.).

Naši razgovori pokazali su da je čak i osnovno znanje o održavanju tradicijske gradnje slabo rašireno. Osim toga često se zanemaruju konzervatorske preporuke i smjernice. Vladaju uvriježeni mitovi, npr. o visokim troškovima konzervatorskih mjera, njihovom čisto estetskom značenju ili većoj učinkovitosti modernih tehnologija. Pritom opasnost za zdravlje zgrade i njezinih korisnika nije samo zanemarivanje već i, što je možda i najvažnije, nepromišljeno, neadekvatno postupanje. Konzervatorski pristup ima cilj zaštititi građevine od destruktivnih učinaka vremena i ljudskih pogrešaka. Kod renoviranja i rekonstrukcije vrlo često se događaju greške koje dovode do klimatske neravnoteže u zgradi, a potom i do propadanja njezine supstance, unutarnje klime i zdravlja, sreće i blagostanja korisnika, kao i do povećanja potrošnje energije.

Tijekom obnove ili nadogradnje povijesnih zgrada, treba voditi računa o nizu odnosa koji zahtijevaju vrlo široku analizu utjecaja elemenata, materijala i tehnologija primijenjenih na ljudsko zdravlje, građevinsku fiziku i svojstva, očuvanje povijesne supstance i kulturne baštine. U ovoj publikaciji nastojimo sagledati te različite probleme iz nekoliko perspektiva karakterističnih za konzervaciju i modernizaciju te za teoriju i praksu.

Osnovno pitanje koje primjenjuje teoriju i praksu, a zahtijeva poznavanje principa očuvanja tradicijske gradnje i pravog potencijala novih tehnologija je definiranje kriterija koje treba koristiti kako bismo osigurali da naše odluke u pogledu opsega konzervacije ili modernizacije, dubine zahvata, korištenja specifičnih tehnologija i materijala, budu zdrave, ekološki prihvatljive, ekonomski održive i da ne ugrožavaju kulturne vrijednosti zgrade i njezine okoline (vidjeti poglavlje 2.).

Održivo projektiranje temelji se na razumijevanju odnosa i ovisnosti između različitih pojava i predviđanju dugoročnih učinaka projektantskih odluka. Potrebno je tražiti rješenja koja donose pozitivne rezultate u nekoliko aspekata. Odgovarajućim rasponom intervencija i pravilnim odabirom rješenja, tehnologija i materijala može se poboljšati toplinsku udobnost i unutrašnju klimu, zaštititi od sindroma bolesne zgrade i istovremeno smanjiti potrošnju energije, emisiju onečišćujućih tvari u zrak i stakleničkih plinova (vidjeti poglavlje 3. – 5.).

Riječ je dakle o sinergijskom učinku, pri čemu povećavamo uporabnost i ekonomsku učinkovitost građevine, a istovremeno štitimo njezinu baštinsku vrijednost, smanjujemo eksterne troškove (uključujući utjecaj na klimu) i povećavamo otpornost građevine na pojave koje ugrožavaju njezino tehničko stanje i stanje njezinih korisnika.

Izazov koji je više specifičan za mjesto odnosi se na poboljšanje otpornosti zgrada na djelovanja potresa. Sve europske seizmički aktivne zemlje bore se kako bi zaštitile građevine baštine od rizika od potresa, kao i da ih poprave, oporave ili rekonstruiraju kako bi se produžio njihov životni vijek nakon oštećenja uzrokovanih potresom. Nedavni potresi u Hrvatskoj postali su osnova za obnovu povijesnih građevina stradalih potresom koju bi trebalo provoditi usporedo s energetsom obnovom (vidjeti poglavlje 6.).

1

Strategije obnove

Tomasz Jeleński

· Tehnološko sveučilište u Krakovu

1.1. Energetska obnova

Obnova je krovni pojam koji može opisati različite intervencije u zgradi: od rutinske nadogradnje do restauracije, sanacije, modernizacije i rekonstrukcije (vidjeti poglavlje 2.4.). Manje obnove daju 0–30% konačne uštede energije, umjerene 30–60%, dubinske 60–90%, dok nZEB obnove (zgrade gotovo nulte energije, op. prev.) predstavljaju uštedu veću od 90%. Većinom se temelje na izolaciji ovojnice zgrade i zamjeni neučinkovitih sustava grijanja, hlađenja, ventilacije i tople vode.⁶

U Poljskoj se energetska obnova često pogrešno povezuje s „toplinskom modernizacijom“, prije svega s izolacijom fasade. Međutim pravni koncept „toplinska modernizacija“ je mnogo širi i podrazumijeva ulaganje usmjereno na **smanjenje potrošnje primarne energije** za grijanje i toplu vodu.⁷ To se može postići nizom međusobno povezanih aktivnosti koje poboljšavaju parametre topline i vlage građevinske konstrukcije i učinkovitost njezinih sustava:

- ♦ popravak ili korekcija oluka, slivnika i sustava odvodnje;
- ♦ zaštita zgrade od vlage – sušenje zidova i njihova zaštita od kapilarnog natapanja;
- ♦ izolacija krova, stropova i podova;
- ♦ uklanjanje toplinskih mostova i propuštanje zraka oko prozora i vrata;
- ♦ obnova ili modernizacija prozora i vrata;
- ♦ izolacija vanjskih zidova;
- ♦ ventilacija s povratom topline;
- ♦ modernizacija sustava grijanja, uključujući priključenje zgrade na centralizirani izvor topline (npr. toplinska mreža) ili zamjenu (ukupna ili djelomična) izvora energije s nultom ili niskom emisijom, po mogućnosti obnovljivom;
- ♦ ozelenjivanje koje podržava energetska učinkovitost zgrade i poboljšava vanjsku i unutrašnju klimu.

Toplinski gubici prosječne zgrade kroz vanjske zidove procjenjuju se na otprilike 20–30% ukupnog gubitka energije. Preostalih 70–80% izlazi kroz neučinkovit sustav ventilacije, curi kroz prozore i vrata, neizolirane krovove, podove i toplinske mostove na spojevima različitih konstrukcijskih elemenata.

Stoga je popularan pristup energetskej obnovi, koji se uglavnom svodi na oblaganje zgrade debelim slojem izolacije, često pogrešan. Može donijeti neadekvatno smanjenje potrošnje korisne energije, istovremeno vizualno deformirajući zgradu i izlažući njezine korisnike riziku pogoršanja kvalitete unutrašnjeg okoliša. U slučaju povijesnih građevina rezultat je često gubitak arhitektonske vrijednosti: prekrivanje arhitektonskih detalja i izvornih materijala kao što su kamen ili cigla ili specifična žbuka i tekstura; mijenjanje dubine ugradnje prozora. Promjenama debljine i širine zidova narušava se njihov proporcionalni odnos prema soklu, strehi, vijencu i sljemenu. Nedostatna ili loše promišljena izolacija također može dovesti do ubrzane degradacije zgrade i njezine unutrašnje klime.

⁶ Economidou, Marina, *Energy renovation*, European Energy Efficiency Platform (E3P). <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/energy-renovation> (svibanj 2022).

⁷ Dz.U. 2008 nr 223 poz. 1459 – *Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków* (Dz.U. z 2018 r. poz. 966).

Opseg energetske obnove

Odluci o opsegu i odabiru mjera energetske obnove treba prethoditi analiza koja će između ostalog obuhvatiti arhitektonsku vrijednost i stanje zgrade, raspoloživa rješenja te moguće promjene fizike i unutrašnje klime zgrade.

Vrlo korisna, iako skupa metoda analize je temeljit **energetski pregled** (vidjeti poglavlje 1.2.). Ako cilj nije samo smanjenje potrošnje energije nego i ublažavanje klimatskih promjena u širem smislu, prije donošenja odluka potrebna je **analiza ugljičnog otiska** (vidjeti poglavlje 1.3.).

Toplinska izolacija fasade bez prethodne studije može dovesti do npr. izolacije vlažnih predmeta, što uzrokuje neučinkovitost same izolacije i u slučaju izolacije izvana potiče razvoj plijesni u unutrašnjosti, dok kod izolacije iznutra dodatno može uzrokovati pucanje fasade od smrzavanja. Uporaba polistirena i nepropusnih prozora u nedostatku odgovarajuće ventilacije unutrašnjosti može dovesti do brzog propadanja zgrade uslijed vlage.

Uvjet za ispravno projektiranje izolacije je potpuna procjena izvorne ovojnice zgrade i rješenje koje se razmatra prema sljedećim kriterijima:

- ◆ toplinska svojstva (otpornost, stabilnost, širenje),
- ◆ toplinski kapacitet,
- ◆ dubina smrzavanja,
- ◆ difuzija vodene pare,
- ◆ toplinski mostovi i mjesta kondenzacije površinske vlage.

Ako se zbog njezine arhitektonske vrijednosti fasadu ne može ili ne želi izolirati, najbolje je ostaviti je bez ikakvih interverencija osim popravka dotrajalosti. Zidovi povijesnih zgrada, posebno onih izgrađenih prije 20. stoljeća, deblji su – što povećava njihov toplinski otpor R (K/W) (koji ovisi o debljini materijala) i imaju visok toplinski kapacitet. **Stare zgrade čija debljina zida prelazi 40 cm ne zahtijevaju nužno toplinsku izolaciju vanjskih zidova.** Ipak, treba razmotriti mogućnost energetske obnove preostalih elemenata zgrade: preuređenje prozora i brtvljenje njihove ugradnje u zid (vidjeti poglavlje 3.3.), izolaciju krova i podrumskog stropa ili poda (vidjeti poglavlja 3.4. i 3.5.). Drugi korak koji značajno smanjuje potrošnju energije, iako puno teži za provedbu, jest modernizacija ventilacijskog sustava koja omogućuje povrat energije iz otpadnog zraka (vidjeti poglavlje 3.6.). Zatim može biti korisno izolirati zgradu iznutra – ovo je rješenje sigurno samo ako je ventilacija vrlo učinkovita (ovom pitanju posvećujemo puno pozornosti u poglavljima 3.2. i 3.3.).

Uvijek treba razmotriti mogućnosti modernizacije izvora topline: priključenje na toplinsku mrežu ili modernizacija internog sustava, po mogućnosti korištenjem energije iz obnovljivih izvora – korištenje dizalice topline, foto-naponskih ćelija ili solarnih kolektora (vidjeti poglavlje 5.).

Svaka zgrada ima različite unutrašnje i vanjske uvjete; stoga projektant treba pojedinačno analizirati sve probleme vezane uz opseg energetske obnove. Ukoliko je moguće, preporučljivo je projekte temeljiti na **energetskom pregledu** koji bi trebao pokazati koje se koristi mogu postići korištenjem specifičnih rješenja koja smanjuju potrošnju energije, ugljični otisak i druge unutarnje i vanjske troškove dok se istodobno zadržavaju povijesne, kulturne i estetske vrijednosti zgrade.

1.2. Energetska učinkovitost i potražnja

Svaka zgrada tijekom izgradnje, rada (uporabe) i uklanjanja utječe na potrošnju energije. Ovu potrošnju opisuju slijedeći pokazatelji:

- ♦ **Korisna energija (UE)** [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$] pokazatelj je energije potrebne za grijanje/hlađenje, ventilaciju i pripremu potrošne tople vode (PTV). Izračunava se iz toplinske bilance toplinskih dobitaka i gubitaka kroz ovojnicu zgrade i ventilaciju. Vrijednost UE ne ovisi o vrsti ili učinkovitosti sustava grijanja i ventilacije. Koristi se za ocjenjivanje arhitektonskih i građevinskih rješenja.
- ♦ **Finalna energija (FE)** [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$] pokazatelj je **operativne energetske učinkovitosti** uravnotežene na granici zgrade, tj. energije koja se mora kupiti za sustave grijanja/hlađenja, ventilacije i potrošne tople vode (PTV), te kod zgrada javne namjene također za ugrađene sustave rasvjete. Pokazatelj FE ovisi o gubicima i dobicima koji proizlaze iz arhitektonskih/građevinskih rješenja i učinkovitosti sustava. Ako je vrijednost FE nešto viša od vrijednosti UE znači da je zgrada opremljena visoko učinkovitim sustavima. FE može biti čak niža od UE ukoliko se u zgradi koristi obnovljiva energija. FE je posebno važna za korisnika zgrade jer je izravno povezana s troškovima njezinog korištenja. Zgrada s niskim EK je ekonomična za rad (uporabu).
- ♦ **Neobnovljiva primarna energija (NRPE)** [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$] pokazatelj je potreba zgrade za neobnovljivom energijom za grijanje/hlađenje, rasvjetu, ventilaciju i PTV. Ovaj pokazatelj odnosi se na ekološke troškove i gubitke u proizvodnji i prijenosu energije s obzirom na vrstu energenata. NRPE može biti veća od FE: od 10% u slučaju opskrbe zgrade plinom, do 300% u slučaju korištenja električne energije proizvedene u elektranama na ugljen. Niske vrijednosti NRPE ukazuju na visoku učinkovitost grijanja i ventilacije i nisku potrošnju energije zgrade ili proizvodnju obnovljive energije na licu mjesta. Zgrada s niskom NRPE je pogodna za klimu.
- ♦ **Ugrađena energija (EE)** energija je koju troše svi procesi povezani s proizvodnjom zgrade, od iskopavanja i prerade prirodnih resursa, proizvodnje i transporta materijala, izgradnje zgrade i njezinih sustava, do svih popravaka i modernizacija. Ugrađena energija ne uključuje radnu potrošnju energije zgrade niti njezinu fazu na kraju životnog vijeka, što bi se razmatralo u pristupu životnog ciklusa.
- ♦ **Kumulativna potražnja za energijom (CED)** pokazatelj je koji se temelji na životnom ciklusu koji uključuje NPPE, EE i energiju povezanu s krajem životnog vijeka zgrade: uklanjanje ili rastavljanje i odlaganje otpada. Ovaj pokazatelj omogućuje projektiranje zgrada smanjenog negativnog utjecaja na okoliš kroz njihov životni ciklus. Razmišljanje o životnom ciklusu dobar je pristup koji se koristi kao podrška odlučivanja o okolišu, iako složenost

8 Za osnovne građevinske materijale mogu se pronaći pokazatelji koji kvantificiraju vađenje sirovina, potrošnju energije u procesu proizvodnje, potrošnju vode, stvaranje otpada i emisiju CO₂. Međutim, pokazatelji mogu varirati. Razlike proizlaze iz različitih proizvodnih procesa i različitih izvora sirovina i energije. Postoji i niz LCA baza podataka i CAD aplikacija, ali uglavnom pripremljenih za specifično tržište. Stoga bi se aplikacije i baze podataka za projektiranje uz korištenje LCA trebale koristiti unutar istog tržišta, ako je moguće. Węglarz, Arkadiusz, Piotr Ziembicki, *Optymalizacja projektowania budynków przyjaznych dla środowiska z wykorzystaniem oceny LCA [u] Fizyka budowli w teorii i praktyce*, t. VII, Nr 44/2015. Kako bi se uskladile informacije o utjecaju proizvoda i građevinskih radova na okoliš, EU je uvela dobrovoljnu ekološku deklaraciju proizvoda (EPD) koja se temelji na standardima ISO 14025 i EN 15804.

9 Dz.U. z 2009 r. nr 43, poz. 346, *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego*.

Procjene životnog ciklusa (LCA) ponekad sprečava njegovu široku uporabu (o LCA raspravlja se u poglavlju 1.3.).⁸

Energetski pregled

Energetski pregled je postupak kojim se utvrđuje profil potrošnje energije određene zgrade ili kompleksa zgrada i niz rješenja (tehničkih, organizacijskih i formalnih) kako bi se racionalizirala i smanjila potrošnja energije. Pregled se provodi prije projekta energetske modernizacije. Objektivno mišljenje o isplativosti pojedinih rješenja podupire optimalno odlučivanje.

Pregled koji provodi ovlaštena osoba za provođenje energetskog pregleda zgrada mora uključivati:

- ♦ Procjenu toplinskih svojstava zgrade, popis sustava koji troše energiju i određivanje energetskih svojstava zgrade.
- ♦ Ukazivanje na racionalne načine smanjenja potrošnje energije.
- ♦ Procjenu isplativosti svakog rješenja uključujući interne i vanjske troškove.
- ♦ Ukazivanje na rješenja koja su optimalna za ispitivanu zgradu u smislu troškova i ishoda: smanjenje potrošnje energije i emisije CO₂.

Postupak je kompliciran, ali njegov učinak je raščlamba troškova, dobiti, razdoblja povrata i drugih ekonomskih pokazatelja za svaku vrstu modernizacije.⁹ Pregled je stoga dobra osnova za donošenje informirane odluke o tome kako isplativo obnoviti ili modernizirati zgradu. Neke subvencije za obnovu zgrada ili njihovih sustava mogu se dodijeliti samo ako se izvrši pregled. To se odnosi, između ostalog, i na projekte sufinancirane iz europskih fondova.

Poboljšanje **energetske učinkovitosti** zgrade (kako bi se ograničila **UE**) oslanja se na smanjenje gubitaka energije kroz:

- ♦ optimiziranu geometriju zgrade – kompaktnost i funkcionalno uređenje interijera
- ♦ toplinsku izolaciju ovojnice, uključujući uklanjanje toplinskih mostova
- ♦ povećani toplinski kapacitet zgrade
- ♦ zrakonepropusnost koja omogućuje eliminaciju nekontroliranih gubitaka topline i prodora vlage
- ♦ energetske učinkovitost vanjskog ostakljenja – toplinsku izolaciju i propusnost sunčeve energije arhitektonskog stakla

Za poboljšanje **operativne energetske učinkovitosti zgrade** (da bi se ograničili **FE** i **NRPE**) moraju se uzeti u obzir dodatni čimbenici:

- ♦ prirodna klimatizacija
- ♦ učinkoviti sustavi grijanja i PTV-a (*DHW-a, op.prev.*)
- ♦ učinkovita ventilacija s povratom energije
- ♦ rasvjeta koja štedi energiju
- ♦ upravljanje energijom

- ♦ proizvodnja i/ili nabava obnovljive energije koja omogućuju uravnoteženje ili ograničavanje potražnje energije koja se crpi iz mreže

Količina utjelovljene energije i kumulativna potražnja za energijom (CED) mogu se smanjiti na sljedeće načine:¹⁰

- ♦ projektiranjem trajnih zgrada za dugotrajno korištenje od stabilnih materijala, koje neće trebati česte popravke
- ♦ preferiranjem materijala proizvedenih u procesima s niskim emisijama i bez problematičnog otpada
- ♦ osiguravanjem lakoće odvajanja različitih elemenata i materijala
- ♦ korištenjem materijala dostupnih lokalno i s visokim stupnjem recikliranja materijala

Preporuča se korištenje prirodnih, obnovljivih i difuzijski otvorenih materijala koji su održivi i dobro reguliraju unutrašnju klimu, kao što su drvo, vapnena žbuka, glina, slama, konoplja, pluto, celuloza i prirodna vuna.

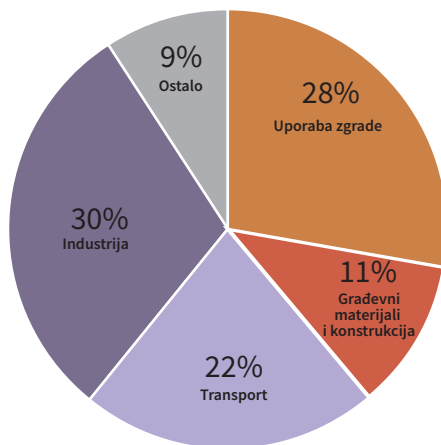
¹⁰ Architecture 2030, *Carbon Smart Materials Palette*.
<https://materialspalette.org/insulation/> (kolovoz 2021).

1.3. Pristup ugljičnog otiska i životnog ciklusa

Ugljični otisak je vrsta ekološkog otiska koji se prevodi u ukupan zbroj emisija stakleničkih plinova (GHG) izravno ili neizravno povezanih sa zgradom tijekom cjeloživotnog ciklusa. Ugljični otisak uključuje emisije povezane s:

- ♦ vađenjem i/ili proizvodnjom i transportom građevnog materijala te procesima izgradnje, obnove i modernizacije (ugrađeni ugljični otisak),
- ♦ građevinskim radovima (korištenje faze ugljičnog otiska),
- ♦ uklanjanjem ili razgradnjom (ugljični otisak na kraju životnog vijeka).

Trenutačno materijali i izgradnja novih objekata čine 11% godišnjih emisija GHG-a (stakleničkih plinova) na globalnoj razini, a korištenje postojećih zgrada (ugljični otisak u zgradarstvu) čini 28% globalnih emisija (sl. 1.).



Sl. 1. Globalne emisije CO₂ po sektorima.¹¹

Otisak faze korištenja (ugrađeni ugljik) može se smanjiti tijekom vremena poboljšanjem energetske učinkovitosti postojećih zgrada ili korištenjem obnovljive energije u njima. Stupanjem na snagu novih standarda energetske učinkovitosti zgrada i planirane masovne obnove / modernizacije (uključujući program Val obnove – Renovation Wave¹²) izgradnja novih zgrada postat će primarni izvor emisija. Već u razdoblju 2020. – 2050. udio ugrađenog ugljika gotovo će se izjednačiti s otiskom korištenja zgrade.¹³

Stoga je osnovno načelo održive urbanizacije i gradnje nastavak korištenja postojećih zgrada i ograničavanje nove gradnje. Većina starijih zgrada trebala bi proći dubinsku energetska obnovu ili modernizaciju, a u nekim slučajevima i prilagodbu novim funkcijama – svojevrsnu reciklažu, što im daje novi život. Čak će i značajan proces rekonstrukcije imati mnogo manji utjecaj

11 Global Alliance for Buildings and Construction, International Energy Agency, *UN Environment Global Status Report 2017*. https://www.worldgbc.org/sites/default/files/UNEP%20188_GABC_en%20%28web%29.pdf (kolovoz 2022).

12 UE, *Fala renovacije: KR i Komisija Europejska razpočinju zajedničku akciju u cilju poboljšanja modernizacije budućnosti*, 18/03/2021, <https://cor.europa.eu/pl/news/Pages/renovation-wave-CoR-and-Commission-launch-cooperation-to-boost-building-overhaul.aspx> (kolovoz 2021).

13 Architecture2030, *Embodied Carbon Actions*, <https://architecture2030.org/new-buildings-embodied/> (kolovoz 2021).

na okoliš od nove građevine, čak i prema najvišim energetske standardima. Kao rezultat energetske modernizacije, ugrađeni ugljični otisak raste relativno beznačajno, dok smanjenje energetske potražnje zgrade (NRPE) može značajno smanjiti radni ugljik. Istodobno se izbjegavaju ili odgađaju emisije vezane uz fazu završetka životnog vijeka (razgradnja i/ili uklanjanje i odlaganje otpada).

Čak i ako je zbog ograničenja očuvanja ili proračuna, dubinska modernizacija određene zgrade nemoguća, njezin će radni ugljik i dalje biti mnogo manji od onog koji bi bio ugrađen u potpuno novom objektu. Stoga **je prije odluke o novogradnji važno uložiti sve napore kako bi se postojeće zgrade u potpunosti iskoristile.**

1.3.1. Analiza ugljičnog otiska

Za procjenu utjecaja zgrada na okoliš koriste se namjenski alati. Najvažnija je procjena životnog ciklusa (LCA).

U skladu s normom EN 15978: 2012, analiziraju se sljedeće faze životnog ciklusa (sl. 2.):

- ♦ **Faza proizvodnja** (A1 – A3) – uključuje emisije vezane uz nabavu i transport sirovina i primarne energije korištene u proizvodnji svih materijala i proizvoda koji se koriste za izgradnju zgrade.
- ♦ **Faza građenja** (A4 i A5) – uključuje procese od ulaza građevinskih proizvoda u tvornicu do završetka građenja: transport materijala i proizvoda, uključujući skladištenje i distribuciju, kao i procese vezane uz izvođenje i opremanje zgrade sustavima, instalacijama i fiksnim elementima.
- ♦ **Faza uporabe** (B1 – B7) – obuhvaća vrijeme od završetka građevinskih radova do uklanjanja ili razgradnje, tj. široki raspon emisija povezanih s radom zgrade: ventilaciju, grijanje, hlađenje, rasvjetu, vodoopskrbu i druge komunalne usluge, kao i održavanje, popravke, preuređenja i adaptacije.
- ♦ **Faza kraja životnog vijeka** (C1 – C4) – obuhvaća uklanjanje ili razgradnju i sve utjecaje uzrokovane njima, npr. transport i zbrinjavanje dijelova i materijala od rušenja.
- ♦ **Vanjski utjecaji** (D) – uključuje uklanjanje ili razgradnju kao izvor predmeta i materijala koji se mogu ponovno upotrijebiti ili reciklirati.

Analizu treba provesti u fazi projektiranja izgradnje, obnove ili modernizacije. To omogućuje implementaciju dugoročnih rješenja kako bi se ograničili negativni utjecaji zgrade na okoliš.

Prije uporabe					Uporaba								Nakon uporabe							
INFORMACIJE O ŽIVOTNOM CIKLUSU ZGRADE													DODATNE INFORMACIJE							
Faza proizvoda			Faza procesa izgradnje		Faza uporabe								Faza na kraju životnog vijeka				Potencijalne koristi i opterećenja			
A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D				
Opskrba sirovinama	Transport	Proizvodnja	Transport	Građenje/ugradnja instalacija	Uporaba	Održavanje	Popravak	Zamjena	Obnova	Radna potrošnja energije	Radna uporaba vode	Uklanjanje /razgradnja	Transport	Prerada otpada	Odlaganje	Popravak, ponovno korištenje, recikliranje - potencijal				
Ugrađeni utjecaj										Radni utjecaj		Ugrađeni utjecaj				Ugrađeni i radni učinak				

Sl. 2. Faze cjeloživotnog ciklusa zgrade.¹⁴

- 14 Ilustracija *Stages of whole-building life cycle assessment (wbLCA)* je preuzeta iz Silva, Vanessa & Pulgrossi, Lizzie. (2020). *When part is too little: cutoff rules' influence on LCA application to whole – building studies*. Conference Windsor 2020: Resilient Comfort, Windsor, UK. https://www.researchgate.net/publication/341494301_When_part_is_too_little_cutoff_rules'_influence_on_LCA_application_to_whole_building_studies (rujan 2021).

- 15 EPD – Environmental Product Declaration – (Deklaracija o zaštiti okoliša proizvoda dokument je koji detaljno opisuje učinak proizvoda na okoliš tijekom cijelog životnog ciklusa (LCA). Definirana je u normi ISO 14025 koja bi trebala omogućiti usporedbu proizvoda iste funkcije. Osnovna norma ISO 14025 (za EPD) dopunjena je 2012. godine normom EN 15804 koja definira temeljne postupke za izradu EPD-ova za građevinske proizvode).

- 16 ASCE/SEI, *Sustainability Guidelines for the Structural Engineer (Wood/Timber chapter)*, <https://sites.google.com/site/seisustainabilitycommittee/resources/publications/guideline-toc> (kolovoz 2021).

1.3.2. Projekt za smanjenje ugljičnog otiska

Prilikom projektiranja energetske obnove ili nadogradnje, ključ za smanjenje emisije ugljika može biti odabir najboljih dostupnih proizvoda za potrebe određenog projekta.

Ugljični otisak građevnih materijala

Jedan od preporučenih smjerova je projektiranje konstrukcijskih elemenata optimiziranih dimenzija u odnosu na predviđenu nosivost i smanjenje udjela materijala koji sadrže cement (uglavnom beton i cementna žbuka). Popularni građevni materijali kao što su aluminij i čelik također imaju visoki ugljični otisak, ali se cement ističe jer je njegova proizvodnja odgovorna za 8% globalne emisije CO₂. Cement također ima nepovoljna svojstva s obzirom na građevinsku fiziku, posebno u konzervatorskim primjenama gdje cementni mort, fuge i žbuke često uzrokuju nepovratna oštećenja povijesne tvari.

Najmanji ugljični otisak karakteriziraju prirodni i lokalni materijali, neprerađeni ili nisko prerađeni, čija proizvodnja i transport ne troše mnogo energije.

Za odabir optimalnog rješenja mogu se tražiti opcije s niskim udjelom ugljika uspoređujući EPD¹⁵ proizvoda iste funkcije, na primjer, ugljični otisak konstruiranih proizvoda od drva naspram ljepljenog lamelnog drva ili ploče na osnovi drva (OSB)

Takva usporedba mora uzeti u obzir projektirana svojstva svakog materijala. Iako konstruirani proizvodi od drva obično imaju veći utjecaj ugljika po jedinici težine od piljene drvene građe, imaju veću čvrstoću pa zahtijevaju manje elemenata što može smanjiti ukupnu emisiju. OSB ima slične karakteristike kao obloga od šperploče, ali OSB ima dvostruko veći ugljični otisak od šperploče.¹⁶ Konstruirani proizvodi od drva kao što je laminirano furnirano drvo

(LVL) i paralelno strugano drvo (PSL) imaju veći utjecaj ugrađenog ugljika od piljene građe i veće su čvrstoće.¹⁷

17 Ibidem.

Utjecaj ugljika kod drvenih proizvoda

Drvo se sve češće vraća u široku uporabu u građevini kao niskougljična, obnovljiva alternativa betonu, čeliku i aluminiju. Drveće tijekom svog životnog vijeka izdvađa ugljik, izvlačeći CO₂ iz atmosfere i pohranjujući ga u svojoj masi i okolnom tlu.¹⁸ Korištenje obnovljenog drva ili drva iz klimatski pametnih šuma, proizvodnja drva bez uporabe fosilnih goriva i davanje prioriteta dugovječnosti zgrada izgrađenih od drva, najbolji su načini za smanjenje ugljičnog otiska drvenih proizvoda.

18 Carbon Smart Materials Palette, Carbon impact of wood products, <https://materialspalette.org/wood/> (kolovoz 2021).

Klimatski pametno šumarstvo¹⁹ ključno je za smanjenje emisija ugljika i izdvajanje atmosferskog ugljika. Određivanje drva iz klimatski pametnih šuma pomaže osigurati da se posječeno drveće zamijeni i da šume nisu degradirane, tako da radne šume održavaju dosljednu ili rastuću razinu izdvajanja ugljika.²⁰

19 Iako još ne postoji dogovorena definicija „klimatski pametnog šumarstva“, njezini atributi mogu uključivati: korištenje dugih razdoblja rotacije, rješavanje pitanja zdravlja, kvalitete vode i njezine retencije te zaštite staništa. Što je najvažnije, treba specificirati drvo koje nije posječeno iz primarnih (starih) šuma jer one skladište više ugljika u vegetaciji i tlu nego mlade šume. Njihovom se sječom također potkopava biološku raznolikost i ekološku složenost.

Emisije ugljika nastaju tijekom transporta, mljevenja i proizvodnje drvenih proizvoda. Lokalno određivanje drva što češće moguće smanjuje emisije stakleničkih plinova iz transporta. Treba uzeti u obzir da cestovni promet troši nekoliko puta više energije od željezničkog i nekoliko desetaka puta više od vodenog transporta.²¹

20 Rainforest Alliance, *What is Sustainable Forestry?* <https://www.rainforest-alliance.org/insights/what-is-sustainable-forestry> (kolovoz 2021).

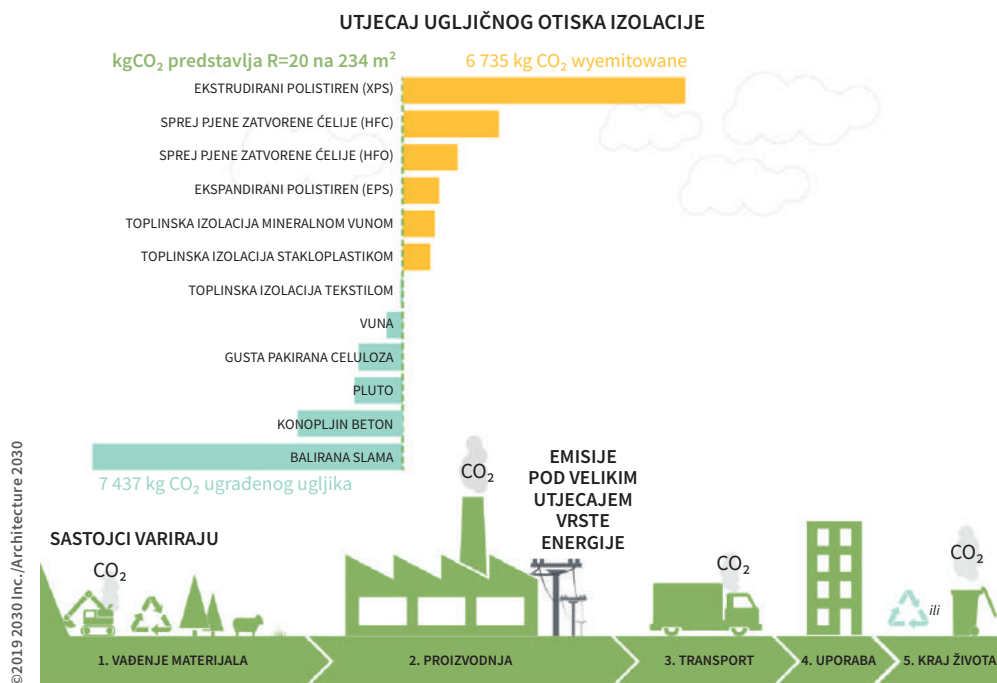
Dio potrošnje energije u pilani temelji se na električnoj energiji, što znači da mješavina mreže koja opskrbljuje pilanu ima značajan utjecaj na njen intenzitet ugljika. Većina preostale potrošnje energije je iz biomase na licu mjesta (drveni ostaci) ili izgaranja fosilnih goriva u pećima za sušenje drvenih proizvoda. Kada su lokalno dostupni, treba specificirati drvene proizvode koji su djelomično ili potpuno sušeni na zraku ili, kao drugi izbor, sušeni korištenjem biomase iz procesa piljenja kao alternativa bez ugljika. Konstruirani drveni proizvodi prolaze daljnju proizvodnju što zahtijeva veću potrošnju energije i povezane emisije. Odgovorne pilane i proizvođači drvenih proizvoda trebaju voditi detaljan popis potrošnje materijala i energije.

21 Loeffler et al. 2016.

Ugljični otisak izolacijskih materijala

Prilikom odabira izolacijskog sustava ili materijala, razmatranje radne učinkovitosti (toplinska svojstva, klimatski zahtjevi, nepropusnost, otpornost na vlagu) i emisije koje nastaju tijekom proizvodnje, transporta, uporabe i brinjanja izolacijskog materijala trebaju biti uravnoteženi.

Najpopularniji izolacijski materijali, kao što su polistireni i – u manjoj, ali još uvijek značajnoj mjeri – mineralna vuna, imaju velike ugljične otiske u fazi proizvodnje. U međuvremenu, prirodne izolacije, izrađene od materijala kao što su celuloza, konoplja, slama, kao i ovčja i drvena vuna, prirodno izdvajaju ugljik i pohranjuju ga tijekom svojeg vijeka trajanja. Njihovom uporabom značajno se smanjuje ukupni ugljični otisak zgrade, ne samo u fazi uporabe/ rada već i u fazi izgradnje/modernizacije i uporabe (sl. 3.).



22 Ilustracija *Carbon Impacts of Insulation* je preuzeta iz *Architecture2030, Why the building sector?* https://architecture2030.org/buildings_problem_why/ (kolovoz 2021). Izvor podataka *Builders for Climate Action – 2019 White Paper Low-Rise Buildings as a Climate Change Solution*.

23 Hammond, Geoff, Craig Jones, *Inventory of Carbon & Energy (ICE), version 1.6a*. University of Bath 2008. <https://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf> (kolovoz 2021).

Sl. 3. Ugljični otisak odabranih izolacijskih materijala.²²

Gdje to projektni zahtjevi dopuštaju, treba odabrati alternative s nižim udjelom ugljika ekspandiranom polistirenu (EPS), ekstrudiranom polistirenu (XPS), poliizocijanuratu (PIR), sustavima strukturno izoliranih ploča (SIPS) i poliuretanu (PUR). Svi oni (osim nekih poliuretana biološkog porijekla proizvedenih iz biljnih ulja) proizvodi su na bazi nafte koji zahtijevaju značajnu količinu energije za proizvodnju. To rezultira visokim udjelom njihovog ugljičnog otiska (polistireni: 86,4–109,2 MJ/kg; poliuretan: 72,1 MJ/kg). Najmanja utjelovljena energija i ugljični otisak karakteriziraju materijale kao što su celuloza (0,94–3,3 MJ/kg), pluto (4 MJ/kg) i drvena vuna (10,8 MJ/kg).²³

1.3.3. Troškovi životnog ciklusa

Mudra alternativa cjenovnim kriterijima koji prečesto određuju odabir najjeftinijih, ali nekvalitetnih materijala i tehnologija niskih performansi je **analiza troškova životnog ciklusa (LCCA/LCC)**. To je pristup koji omogućuje procjenu unutarnjih i vanjskih troškova, koristi i vrijednosti (uključujući novčane koristi) danog rješenja ili cijele zgrade tijekom njezina životnog vijeka.

LCCA može potvrditi valjanost rješenja koja povećavaju troškove kapitalnih ulaganja, ali su trajnija i daju više povrata i koristi u fazi uporabe, kako u smislu ekoloških tako i financijskih dobitaka, te povećavaju preostale vrijednosti zgrade. Primjer je uporaba LED rasvjetle, fotonaponskih panela ili višeslojnog ostakljenja prozora. Analiza može uključivati manje očite odnose

koji omogućuju povećanje održivosti zgrade, uključujući njezinu otpornost na prijetnje iz okoliša.

Eksternalije (vanjski učinci ili prelijevanja) i nenovčane učinke (koristi ili troškovi) također treba uzeti u obzir, a to su očuvanje kulturnih i povijesnih resursa, koristi koje proizlaze iz estetike, sigurnosti ili morala.²⁴ Primjeri nenovčanih atributa mogu uključivati izuzetno tih ventilacijski sustav i očekivani, ali teško kvantificirani porast produktivnosti zbog poboljšanog radnog okruženja. Ovi učinci su izvan standardnog LCCA i obično se detaljno obrađuju kao dio procjene utjecaja na okoliš građevinskih projekata. Međutim ako su značajni, spominjanje očekivanih učinaka (i kvantificiranih i kvalitativnih) treba uključiti u LCCA projekta i uzeti u obzir u konačnoj odluci o ulaganju.²⁵

24 WBDG Historic Preservation Committee, *Historic Preservation*. Updated: 08-23-2019. <https://www.wbdg.org/design-objectives/cost-effective/consider-non-monetary-benefits> (rujan 2021).

25 WBDG Cost-Effective Committee, *Consider Non-Quantifiable Benefits*. Updated: 07-31-2020. <https://www.wbdg.org/design-objectives/cost-effective/consider-non-monetary-benefits> (rujan 2021).

1.4. Opremanje/promjena (eng.retrofit) za sve – univerzalno projektiranje

Pri projektiranju obnove ili modernizacije povijesne građevine uz aspekte energije, klime i kulture treba uzeti u obzir i druge značajke vezane uz održivost i uporabljivost zgrade, uključujući njezinu pristupačnost osobama s posebnim potrebama.

Rampu za invalidska i dječja kolica treba projektirati na način da se nedvosmisleno očuva struktura i cjelovitost povijesnog oblika građevine. Obično se preporučaju otvorene konstrukcije, koje nisu neposredno uz fasadu. U slučaju zaštićenih građevina, preporuča se uporaba visokokvalitetnih tradicionalnih materijala, koji odgovaraju karakteru građevine. Ako je to moguće i ne otežava pristup, rampe treba postaviti na neizložene fasade.

Projekt budućeg lifta treba poštivati kompozicijske vrijednosti, artikulaciju i materijal fasade, arhitektonske detalje kao što su vijenci, frizovi i sl. te oblik i kut krova. Zbog ovih ograničenja najčešće se preporuča ugradnja dizala unutar zgrade, s time da njegova izvedba ne smije bitno utjecati na komunikacijske i povijesne elemente unutrašnjosti zgrade.

Univerzalno projektiranje povećava uporabljivost zgrade i produljuje joj životni vijek, osobito u kontekstu društva koje stari. Omogućuje potpunije korištenje postojećeg građevinskog fonda zgrada i smanjuje potrebu za novim zgradama, čime se smanjuje ugljični otisak građevinskog sektora.

Bibliografija

- Architecture 2030, *Carbon Smart Materials Palette*. <https://materialspalette.org/insulation> (kolovoz 2021).
- Architecture2030, *Embodied Carbon Actions*. <https://architecture2030.org/new-buildings-embodied> (kolovoz 2021).
- Architecture2030, *Why the building sector?* https://architecture2030.org/buildings_problem_why (kolovoz 2021).
- ASCE/SEI, *Sustainability Guidelines for the Structural Engineer (Wood/Timber chapter)*. <https://sites.google.com/site/seisustainabilitycommittee/resources/publications/guideline-toc> (kolovoz 2021).
- BIP, *Projekt uchwały Rady Ministrów w sprawie przyjęcia „Długoterminowej strategii renowacji budynków”*, MRPIIT Warszawa 09.06.2021. <https://www.gov.pl/web/premier/projekt-uchwaly-rady-ministrow-w-sprawie-przyjecia-dlugoterminowej-strategii-renowacji-budynkow2> (rujan 2021).
- Carbon Smart Materials Palette. *Carbon impact of wood products*. <https://materialspalette.org/wood/> (kolovoz 2021).
- Dz.U. 2008 nr 223 poz. 1459 – Ustawa z dnia 21 listopada 2008 r. o wspieraniu termomodernizacji i remontów oraz o centralnej ewidencji emisyjności budynków (Dz.U. z 2018 r. poz. 966).
- Dz.U. 2009 nr 43 poz. 346 – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 marca 2009 r. w sprawie szczegółowego zakresu i form audytu energetycznego oraz części audytu remontowego, wzorów kart audytów, a także algorytmu oceny opłacalności przedsięwzięcia termomodernizacyjnego.
- Economidou, Marina. *Energy renovation*, European Energy Efficiency Platform (E3P). <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/articles/energy-renovation> (svibanj 2022).
- Hammond, Geoff, Craig Jones, *Inventory of Carbon & Energy (ICE), version 1.6a*. University of Bath 2008. <https://perigordvacance.typepad.com/files/inventoryofcarbonandenergy.pdf> (kolovoz 2021).
- Mańkowski, Stanisław, Edward Szczechowiak (uredio), *Opracowanie optymalnych energetycznie typowych rozwiązań strukturalno-materiałowych i instalacyjnych budynków [u] Zamieszkane Budynki. Narodowy Spis Powszechny Ludności i Mieszkań 2011*, GUS, Warszawa 2013.
- Rainforest Alliance, *What is Sustainable Forestry?* <https://www.rainforest-alliance.org/insights/what-is-sustainable-forestry> (kolovoz 2021).
- Silva, Vanessa, Lizzie Pulgrossi, *When part is too little: cutoff rules' influence on LCA application to whole-building studies*. Conference Windsor 2020: Resilient Comfort, Windsor, UK 2020. https://www.researchgate.net/publication/341494301_When_part_is_too_little_cutoff_rules'_influence_on_LCA_application_to_whole_building_studies (rujan 2021).
- UE, *Fala renowacji: KR i Komisja Europejska rozpoczynają współpracę w celu pobudzenia modernizacji budynków*, 18/03/2021. <https://cor.europa.eu/pl/news/Pages/renovation-wave-CoR-and-Commission-launch-cooperation-to-boost-building-overhaul.aspx> (kolovoz 2021).
- WBDG Cost-Effective Committee, *Consider Non-Quantifiable Benefits*. Updated: 07-31-2020, WBDG, Washington, DC. <https://www.wbdg.org/design-objectives/cost-effective/consider-non-monetary-benefits> (rujan 2021).
- WBDG Historic Preservation Committee, *Historic Preservation*. Updated: 08-23-2019. WBDG, Washington, DC. <https://www.wbdg.org/design-objectives/historic-preservation> (rujan 2021).
- Węglarz, Arkadiusz, Piotr Ziembicki, *Optymalizacja projektowania budynków przyjaznych dla środowiska z wykorzystaniem oceny LCA [u] Fizyka budowl i praktyce*, t. VII, Nr 44/2015.

2

Zaštita graditeljske baštine

Łukasz Konarzewski

· Šleski regionalni ured za kulturnu
baštinu

Tomasz Jeleński

· Tehnološko sveučilište u Krakovu

2.1. Ciljevi i načela zaštite arhitektonskog i graditeljskog naslijeđa

Izvanredno arhitektonsko djelo ili skromna građevina mogu se smatrati kulturnom baštinom ako su s vremenom stekli kulturno značenje. Zaštita građevina baštine sastoji se od njihovog ispitivanja, formuliranja teorija i načela konzervacije, donošenja odgovarajuće zakonske regulative te poduzimanja službenih i upravnih radnji.

2.1.1. Razvoj zaštite graditeljske baštine

Znanstveni pristup zaštiti spomenika razvija se od 18.st. Tada su formilirane prve teorije zaštite materijalne kulturne baštine i započela je rasprava o načinima očuvanja i izlaganja povijesnih građevina, njihovoj dostupnosti i širenju znanja o baštini. Prvi uredi za zaštitu spomenika osnovani su u devetnaestom stoljeću. Krakov je bio prvi grad u Europi koji je 1820. osnovao takav ured. Feliks Radwański, arhitekt, profesor na Sveučilištu Jagiellonian i senator Krakovske republike, kao povjerenik za graditeljsku baštinu bio je ovlašten za izdavanje mišljenja o svim projektima koji se odnose na povijesne građevine.

Devetnaestostoljetna teorija očuvanja graditeljske baštine razvila se u sporu na različitim idejama, od purističkih i funkcionalističkih pogleda Violet-le-Duca do utopijskog Ruskinovog koncepta neintervencije, čija bi primjena dovela do neizbježnog uništenja povijesne materije. U konzervatorskim radovima (osobito obnova Krakova nakon požara 1850.) sve se češće uočavala vrijednost slojeva iz različitih povijesnih razdoblja u jednoj zgradi. Camilo Boito, jedan od prvih konzervatora koji je u praksi koristio pouzdana povijesna istraživanja i studije, cijenio je složenost prostornih, funkcionalnih i formalnih struktura u povijesnim građevinama koje su rezultat dogradnje, transformacija i modernizacija. Na prijelazu u devetnaesto stoljeće sudionici međunarodnog kongresa arhitekata složili su se da se u obnovi spomenika ne može držati strogih pravila i da treba tražiti optimalna rješenja za svaki objekt pojedinačno (Četvrti međunarodni kongres arhitekata, Bruxelles, 1897.).

Godine 1903. objavljeno je temeljno djelo Aloisa Riegla u kojem su definirani pojmovi: spomenik, zaštita spomenika i vrijednost baštine. Rieglova teorija ukazuje na subjektivnost procjene vrijednosti koja se mijenja tijekom vremena, ima različite nacionalne i kulturološke konotacije te je također različita za stručnjake i javnost. Kako bi izbjegao sukobe u tumačenju, Riegl je odlučio da spomenik čine samo povijesne, antičke i spomeničke vrijednosti. Kao rezultat toga, poštivanje povijesnog oblika i sadržaja postalo je vodeće načelo očuvanja.²⁶ Ovu teoriju dalje je razvio Walter Frodel, koji je dodatno cijenio upotrebnu vrijednost spomenika. Uporabna vrijednost omogućuje

26 Szmygin, Bogusław, *Teoria zabytku Aloisa Riegla, Ochrona Zabytków*, nr 3/4, 2003.

zaštitu stare zgrade zahvaljujući njezinoj integraciji u suvremeno kulturno, društveno i gospodarsko okruženje.

U 20. stoljeću zaštita spomenika poprima međunarodni karakter. Godine 1931. u Ateni, na Prvom međunarodnom kongresu arhitekata i tehničara povijesnih spomenika, definirana su univerzalna načela konzervatorske djelatnosti. Atenska povelja je, između ostalog, istaknula dvije važne točke:

- ◆ integracija spomenika sa suvremenim svijetom, odnosno uporaba povijesnih građevina kako bi se osigurao kontinuitet njihovog postojanja
- ◆ očuvanje karaktera povijesnih gradova zaštitom čitavih kompleksa i vizura.

Od tada je nastalo nekoliko desetaka međunarodnih dokumenata, uglavnom UNESCO-ovih i ICOMOS-ovih, koji određuju načela i smjernice za zaštitu i očuvanje materijalne kulturne baštine – zgrada, građevinskih sklopova i kulturnih krajolika.²⁷

27 Szmygin, Bogusław, *Vademecum konserwatora zabytków: międzynarodowe normy ochrony dziedzictwa kultury*, Polski Komitet Narodowy ICOMOS Międzynarodowej Rady Ochrony Dziedzictwa Kultury, Warszawa 2015.

2.1.2. Vodeća načela u očuvanju graditeljske baštine

Usprkos promjenama koje se s vremenom javljaju u definiciji graditeljske baštine i metodološkim prijedorima u vezi s opsegom i oblicima zaštite temeljno načelo konzervacije moglo bi se svesti na jednostavnu izreku: **Bolje sačuvati nego popraviti, bolje popraviti nego obnoviti, bolje obnoviti nego konstruirati.**

Također je bitno promatrati očuvanje kao proces u kojem je važno razmišljati unaprijed, a ne usredotočiti se na današnje potrebe. Glavni cilj je očuvati baštinu za buduće generacije. Stoga je teorija zaštite spomenika u određenom smislu preteča razmišljanja o održivosti. Izazov je pronaći metode koje će učinkovito zaštititi kulturnu baštinu, poštujući autentičnost i načelo minimalne intervencije uz zadržavanje uporabljivosti povijesnih građevina, ograničavanje njihovog negativnog utjecaja na okoliš i klimu te jačanje njihove izdržljivosti i otpornosti na prijetnje. Među najvažnijim prijetnjama su potresne uzbude, vojne akcije i siloviti vremenski događaji, uključujući one uzrokovane klimatskim promjenama, kao što su bujične poplave.²⁸

Načela zaštite povijesnih građevina također se mogu razmatrati iz tehničke ili operativne perspektive. S uporabnog gledišta obično je bolje zaštićena zgrada koja ima estetsku i funkcionalnu vrijednost. Lijepi i korisni objekti obično su dobro održavani. Ljepota može biti relativna vrijednost, pa je uloga zgrada prvenstveno određena svojom uporabljivošću. Stoga je prilagodba zgrada baštine suvremenim funkcijama, te poboljšanje njihovih standarda uporabnosti, uključujući energetske učinkovitost, prihvatljiva iz perspektive konzervacije.

Tehnički gledano, građevine najprije treba održavati u dobrom stanju (očuvanjem) i eventualno povećati otpornost njihove izvorne tvari od kemijskih čimbenika, štetnika, mikroorganizama, a prije svega od vode i vlage.

28 DW, *How can we prepare for extreme flooding?* <https://www.dw.com/en/germany-belgium-floods-climate-crisis-adaptation/a-58318340> (kolovoz 2021).

2.1.3. Osnovne prijetnje i potrebe zaštite

Voda, u bilo kojem obliku, velika je prijetnja svakoj zgradi. Kako u interijeru tako i u eksterijeru, može prouzročiti značajnu štetu strukturnom integritetu povijesne građevine i stvoriti brojne vrste oštećenja kojima se treba posvetiti tijekom konzervacije i obnove. Oštećenja od vode također uključuju nastanak plijesni i unutrašnje propadanje zbog štetne razine vlage ili nedostatka kontrole vlažnosti unutar zgrade.

Vlaga također smanjuje učinkovitost toplinske zaštite zgrade. Stoga može značajno povećati potrošnju energije za grijanje, a posredno i ugljični otisak zgrade.

U seizmički aktivnim i rudarskim područjima, potresi i podrhtavanja tla čimbenici su koji zahtijevaju preventivnu zaštitu i rekonstrukciju (vidjeti poglavlje 6.). Prijetnje slične prirode za povijesne građevine predstavljaju vojni sukobi i klimatske promjene. Zaštita od svih vrsta katastrofa može se sastojati u istraživanju, popisu i izradi dokumentacije koja će omogućiti ispravne rekonstrukcije nakon oštećenja.

Rekonstrukcije mogu biti isključivo restauratorske ili sadržavati izmjene koje povećavaju otpornost zgrade na buduće događaje (npr. potrese ili klimatske promjene) i/ili povećavaju funkcionalnost zgrade i smanjuju njezine radne troškove, potrošnju energije i utjecaj na okoliš, uključujući ugljični otisak.

Funkcionalna zgrada niskih radnih troškova lakša je za održavanje i dugotrajnija jer nije u opasnosti od napuštanja što uvijek rezultira brзом degradacijom građevne supstance. Kontinuitet uporabe starih zgrada prije svega ugrožavaju visoki pogonski troškovi, posebice grijanja i popravaka te sve veći zahtjevi korisnika, npr. za sanitarnim čvorovima, dizalima i udobnošću interijera.

Najčešća vrsta prijetnje staroj zgradi je zanemarivanje, protiv kojeg se može boriti podizanjem javne svijesti o vrijednostima baštine i usmjeravanjem programa potpore na vlasnike i upravitelje starih zgrada, potičući aktivnosti očuvanja.

2.2. Područja očuvanja baštine

Zgrade koje čine povijesne urbane i ruralne komplekse ne moraju biti visoke arhitektonske vrijednosti. Ono što treba zaštititi nisu nužno obilježja koja ih izdvajaju među ostalim građevinama, već ona koja ih organski povezuju u prostorne cjeline povijesnog ili krajobraznog značaja.

Očuvanje baštine moglo bi se primijeniti na gradski krajolik i kao dio šireg krajolika. Stoga zahtijeva integraciju različitih vrsta prostornih, društvenih, ekonomskih i okolišnih aspekata. Grad koji nije muzej na otvorenom mora se razvijati i prilagođavati društvu koje se mijenja. Intervencije su neizbježne, no potrebno je raspraviti stupanj intervencije, njezine razmjere i opseg.

Ako je nastavak povijesnog urbanog ili ruralnog sklopa vezan uz proces promjena i transformacija, konzervatorske aktivnosti prvenstveno znače kontrolu i upravljanje promjenama. Jednako je važna identifikacija rizika i planovi za hitne slučajeve koji se uglavnom odnose na seizmičke i okolišne prijetnje uključujući klimatske promjene.

2.3. Sustav zaštite spomenika u Poljskoj

Kulturni krajolik je javno dobro koje se mijenja tijekom vremena. To nažalost uključuje razne deformacije, degradacije, pa čak i uništenje. Glavni cilj zaštite je očuvanje baštinskih građevina i mjesta u izvornom obliku, sa što manje promjena i u što boljem arhitektonskom i tehničkom obliku. U tom kontekstu posebnu odgovornost za stanje graditeljske baštine snose njihovi vlasnici ili korisnici, a uredi za zaštitu spomenika zakonski su ovlašteni nadzirati njihovu zaštitu.

Nepokretni spomenici kao što su zgrade i inženjerske građevine, koji imaju povijesnu ili umjetničku (arhitektonsku) ili znanstvenu vrijednost, zaštićeni su na više načina. Najčešći oblici pravne zaštite su:

- upis u **listu spomenika** (stroga zaštita vanjskog oblika i unutrašnjosti – ako su sačuvani i njihovi elementi uvršteni u rješenje o upisu),²⁹
- prepoznavanje u regionalnoj, a ujedno i općinskoj **evidenciji spomenika** (zaštita vanjskog oblika građevina i obično i onih unutrašnjih zona koje su javno dostupne).³⁰

Drugi način zaštite baštine su **zaštićena područja** koja pokrivaju mjesta s povijesnim zgradama u gradovima i selima, kao i komplekse dvoraca ili palača i vrtova. Nisu sve zgrade koje čine povijesne komplekse ili mjesta nužno visoke arhitektonske vrijednosti. Međutim zaštićene su zbog značajki koje ih organski povezuju u prostornu cjelinu.

Najvažniji element sustava zaštite baštine u Poljskoj je mreža Regionalnih zavoda za zaštitu spomenika (WKZ). Sukladno Zakonu o zaštiti spomenika³¹ njihov je glavni cilj zaštita spomenika i nadzor nad njihovim održavanjem. **Samo održavanje odgovornost je njihovih vlasnika, stanara ili korisnika.**³²

Osoba koja ima zakonsko pravo korištenja spomenika može od WKZ-a zatražiti preporuke u vezi s uporabom, održavanjem, restauracijom, obnovom, modernizacijom ili adaptacijom objekta. WKZ također može nositelju prava na spomenik naložiti izvođenje konzervatorskih ili građevinskih radova ako se ukažu nužnim zbog opasnosti od uništenja ili značajnijeg oštećenja tog objekta.

Regionalni službenici za zaštitu spomenika (regionalni konzervatori) djeluju izravno i neizravno preko općinskih konzervatora s kojima čine konzervatorske službe u regijama. Položaj regionalnog konzervatora jedinstven je u odnosu na druge institucije javne uprave. Štiteći povijesne građevine i kulturni krajolik WKZ mora utjecati na njihove arhitektonske oblike i umjetničke elemente koji oblikuju javni prostor. Suglasnost regionalnog ili općinskog konzervatora potrebna je za:

- sve konzervatorsko-restauratorske, sanacijske, renovacijske, adaptacijske ili modernizacijske aktivnosti u zaštićenoj zgradi

29 Art. 7 Ustawy z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz. U. z 2021 r. poz. 710, 954).

30 Art. 22 Ustawy z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami, op.cit.

31 Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków op.cit.

32 Art. 5. Ustawy z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków..., op.cit.

- ♦ sve radnje koje bi mogle dovesti do narušavanja sadržaja ili izgleda spomenika, npr. postavljanje tehničkih uređaja na njega, kao što su solarni paneli, solarni kolektori ili HVAC uređaji
- ♦ podjelu, promjenu namjene ili promjenu uporabe povijesne građevine
- ♦ bilo koje građevinske radove u blizini navedene nekretnine
- ♦ uklanjanje drveća ili grmlja s područja zaštićenog dobra

Konzervator je dužan donijeti rješenje ili nalog kojim se u pravilu utvrđuje opseg radova, način njihova izvođenja, rok trajanja i izvođača radova. Potreba za konzultacijom s WKZ-om može se odnositi i na nepovijesnu nekretninu koja se nalazi u zaštićenom području ili proizlazi iz odredbi lokalnog plana.

Zbog složenosti poslova koje poduzimaju konzervatorske službe, zakon (u materijalnom smislu) u velikoj mjeri ispunjavaju intuitivno. Nemoguće je zakonski propisati sve kriterije zaštite povijesnih, znanstvenih i umjetničkih vrijednosti povijesnih građevina i kulturnih krajolika. Zaštita spomenika i mjesta nije egzaktna znanost u kojoj se hipoteze mogu provjeravati eksperimentima i utvrđivati dokazima, već se dijelom temelji na humanističkim vrijednostima i zahtijeva razumijevanje zašto određeni objekt ima kulturnu vrijednost i stoga treba posebnu zaštitu.

Odabir kriterija proizlazi iz znanja iz područja estetike, povijesti arhitekture, profesionalnog konzervatorskog iskustva, a u konačnici i povijesne i estetske intuicije. Svaki slučaj je drugačiji i zahtijeva individualno razmatranje, ali i pregovore s vlasnicima i korisnicima spomenika. Konzervatori ovom aspektu posvećuju posebnu pozornost. Investitori trebaju iskoristiti mogućnost dogovaranja rješenja sa zavodom već u fazi projektiranja budućeg djelovanja u sadržaj ili izgled povijesne zgrade.

Regionalni konzervatori mogu prenijeti neke od svojih ovlasti na općinske konzervatore, koji često djeluju kao posrednici između regionalnog zavoda i vlasnika ili korisnika nekretnine koji planira njezinu obnovu ili nadogradnju. Ulogu posrednika u dogovaranju detaljnih rješenja trebali bi imati i arhitekti i drugi stručnjaci uključeni u konzervaciju zadane građevine i odgovorni za tijek planiranih radova. Važno je da arhitekti i projektanti imaju odgovarajuće znanje i iskustvo u radu sa spomenicima.

2.4. Opseg pristupa i zahvata u povijesnim građevinama

Suprotno pojednostavljenoj slici odnosa očuvanja i modernizacije, nema inherentnih proturječja između konzervatorskog pristupa (usredotočenog na zaštitu baštine) i današnjeg modernizacijskog pristupa (fokusanog na održivost, dobrobit, uštedu energije i klimu). Arhitektonsko i građevinsko nasljeđe zahtijeva brižljivu zaštitu jer se radi o neobnovljivom resursu važne društvene vrijednosti. Učinkovita konzervacija održava povijesne građevine u dobrom tehničkom stanju, omogućujući njihovu daljnju uporabu, osiguravajući sigurnost i udobnost te smanjujući potrebu za novom gradnjom. Stoga, osim energetske obnove, očuvanje, konzervacija i restauracija također posjeduju značajan potencijal za ublažavanje klimatskih promjena, te u većini slučajeva ne isključuju mjere za smanjenje potrošnje energije i radnog ugljičnog otiska.

Problemi nastaju u praktičnom pristupu, kada se neki koncepti mogu iskriviti, oko konzervatorskih teorija rastu nesporazumi, a u praksi obnove rutinski se ponavljaju netočna, pa i štetna rješenja. Jedan od štetnih mitova je navodna skupoća mjera očuvanja. Zapravo, konzervatorska paradigma minimalne intervencije uzrokuje temeljno smanjenje opsega i dubine mjera, a time i njihovih troškova. Obnova ili modernizacija, provedena uz korištenje popularnih, naširoko reklamiranih „modernih“ metoda i materijala može biti puno skuplja i, štoviše, netrajna ili čak štetna.



Fot. Jan Piotrowski

Sl. 4. Zgrada Šumskog inspektorata u Elblągu, izgrađena početkom 19. stoljeća te uvrštena u poljski Registar spomenika. Nakon modernizacije od 2017. do 2019., postignuto je smanjenje potrošnje energije za 992.82 GJ/godišnje (90–95% ušteda primarne energije). Također, instalirana je mehanička ventilacija s povratom topline, novi drveni prozori, dizalice topline (s izvorima u zemlji i zraku) te podno grijanje.³³

33 Stowarzyszenie Ochrony Narodowego Dziedzictwa Materialnego, *Konkurs Modernizacja Roku*. <https://www.modernizacjaroku.org.pl/pl/edition/1691/object/1836/budynek-biurowy-nadlesnictwa-elblag> (srpanj 2022).

34 Ovo zapažanje je potvrđeno, između ostalog, analizama koje je provela profesorica Bogumiła J. Rouba. Primjer: kalkulacije troškova radova izrađene su za povijesnu građevinu u kojoj je ukupna površina žbuke cca. 1000 m² od čega je 20 % žbuke nepovratno oštećeno. Izračuni, koje je pripremio profesionalni procjenitelj troškova, uzeli su u obzir sve troškove (skele, sigurnosne mjere, materijale, čišćenje, odlaganje otpada itd.) i razlike u cijenama usluga u nekoliko poljskih gradova. Troškovi radova su obračunati za tri varijante radova: Varijanta A – radikalna sanacija – pretpostavljeno lomljenje cijele stare žbuke, postavljanje nove, bojanje modernim silikatnim bojama. Varijanta B – obnova uglavnom u skladu s konzervatorskom teorijom – podrazumijevala je zamjenu žbuke samo na mjestima oštećenja, na modernu žbuku i bojanje cjeline modernim silikatnim bojama. Opcija C – konzervativna, u potpunosti usklađena s konzervatorskom teorijom – pretpostavljena je zamjena žbuke samo na mjestima oštećenja tradicionalnom (vapneno-pješčanom ili starinskom) žbukom, dopuna sheme boja samo na mjestima rekonstruiranih žbuka, uz moguću korekciju estetika cjeline. Varijanta C – konzervativna konzervacija (najsigurnija i najtrajnija) pokazala se, suprotno uvriježenoj zabludi, dvostruko jeftinijom od varijante B i četiri puta jeftinijom od varijante A.

35 Feilden, Bernard M., *Conservation of Historic Buildings*, Architectural Press, Oxford, Burlington, MA 1997.

36 Bucher, Ward, A.I.A. (ur.), *Dictionary of Building Preservation*, Preservation Press, John Wiley & Sons, New York 1996.

37 ICCROM & Smithsonian Institution, *First Aid to Cultural Heritage in Times of Crisis: Course Glossary*, Smithsonian Institution, Washington, DC 2016.

Postoji kontinuitet pristupa i metoda između pristupa čiste zaštite i radikalne nadogradnje, što omogućuje odabir odgovarajućih mjera koje će se primijeniti u specifičnim slučajevima povijesnih građevina (o ovim mjerama detaljnije se raspravlja u poglavljima 3. – 8.).

Kako bi se izbjegli nepotrebni troškovi i skupe greške, isplati se u fazi projektiranja, a prije kretanja u rad, izvršiti analize i usporediti troškovnike radova u raznim varijantama, od moderne obnove do tradicionalnih konzervatorskih rješenja. Iskustvo pokazuje da se u mnogim slučajevima tradicionalna konzervatorska varijanta, koja je uvijek najsigurnije i najestetičnije rješenje, može pokazati i daleko najjeftinijim³⁴.

Posebni pojmovi koriste se za opisivanje različitih pristupa očuvanju i nadogradnji/opremanju. Potrebno ih je precizno definirati kako ne bi došlo do nesporazuma. U ovom dijelu donosimo kratke definicije konzervatorske terminologije. Ovdje opisani pojmovi raspoređeni su tako da pokrivaju cijeli spektar zahvata, od minimalnog održavanja do dubinske modernizacije i obnove.

Očuvanje

Usredotočava se na održavanje i popravak postojećeg povijesnog materijala i zadržavanje cjelokupnog povijesnog tkiva i oblika posjeda koji se razvijao tijekom vremena. Cilj mu je zadržati zgradu u postojećem stanju. Popravci se moraju izvesti kada je potrebno kako bi se spriječilo daljnje propadanje. Oštećenja i razaranja uzrokovana vodom u svim oblicima, kemijskim sredstvima, svim vrstama štetnika i mikroorganizama moraju se zaustaviti kako bi se očuvala struktura.³⁵ Proces očuvanja također uključuje širok spektar fizičkih metoda održavanja i stabilizacije, kao i odgojnih sredstava.³⁶

Konzervacija

Ovaj izraz znači mudro korištenje i upravljanje zgradom kako bi se spriječile neželjene promjene, kao što su nesuojećajne ili nekompatibilne izmjene, propadanje, uništenje, pogrešna uporaba ili zanemarivanje.

Konzervacija-restauracija

Pojam usvojen međunarodnim konvencijama – obuhvaća sve aktivnosti vezane za zaštitu i obnovu kulturne baštine. Utemeljen je kako bi se prekinule rasprave i otklonile sumnje što su „konzervacija“ i „restauracija“ i koliko se ta dva područja preklapaju.

To znači „svako djelovanje, bilo izravno ili neizravno, na objektu ili spomeniku, poduzeto kako bi se zaštitio njegov materijalni integritet i zajamčilo poštovanje njegovog kulturnog, povijesnog, estetskog ili umjetničkog značaja. Ova definicija uvjetuje prirodu, opseg i ograničenja mjera koje se mogu usvojiti, kao i zahvate koji se mogu izvršiti na kulturnoj baštini.“³⁷

Restauracija

Pojam označava skup aktivnosti koje se primjenjuju na spomenike koji su tehnički i estetski oštećeni radi vraćanja prijašnjeg arhitektonskog oblika te

umjetničke i funkcionalne vrijednosti. Uključuje tretmane kao što su **rekonstrukcija** ili **proširenje** (reintegracija, rekompozicija, integracija), ali u prvom redu se radi o izdvajanju vrijednosti koje su sačuvane u svom autentičnom obliku. Restauracija se provodi na temelju sačuvane arhivske građe i sačuvanih fragmenata građevine. Novi elementi trebaju se uskladiti s cjelinom, ali treba znati razlikovati nove elemente dodane povijesnom tkivu.

Pojam također može značiti proces ili proizvod vraćanja postojeće zgrade u njezino stanje u određenom trenutku njezine povijesti korištenjem, gdje je to moguće, istih građevinskih materijala i metoda. Obično se odabire razdoblje najvećeg povijesnog značaja ili estetskog integriteta. Restauracija se usredotočava na zadržavanje materijala iz najznačajnijeg razdoblja u povijesti građevine, a dopušta uklanjanje svega što je kasnijeg datuma od planiranog razdoblja (nakon temeljite dokumentacije).³⁸

Rehabilitacija (Sanacija, op. prev.)

To je čin ili proces oživljavanja umjetničkih, kulturnih, tehničkih i uporabnih vrijednosti zgrade koji priznaje potrebu za izmjenom ili dogradnjom povijesnog dobra, kako bi se zadovoljile stalne ili promjenjive namjene uz zadržavanje povijesnog karaktera objekta. Vraća nekretninu u stanje korisnosti popravkom ili izmjenom koji omogućuju učinkovito korištenje u strukturi modernog društva uz očuvanje onih dijelova ili obilježja imovine koji su značajni za njezine povijesne, arhitektonske i kulturne vrijednosti.

Renovacija (Obnova, op. prev.)

Pojam se odnosi na proces vraćanja zgrade u dobro stanje i poboljšanja za suvremenu upotrebu, tako da je funkcionalno jednaka novoj zgradi; stoga renovacija može uključivati velike promjene.

U zaštićenim zgradama obnova obično uključuje ili zamjenu sekundarnih ili jako korištenih elemenata koji imaju malu ili nikakvu povijesnu vrijednost, a u postojećem tehničkom stanju negativno utječu na estetiku i funkcionalnost zgrade. Najčešća renoviranja u povijesnim zgradama su krovni elementi i krovne rešetke, interijeri stanova bez ikakvih arhitektonskih detalja, stubišta koja ne zahtijevaju restauraciju, tehničke instalacije, te hidroizolacija temelja.³⁹

Preuređivanje

Termin koji se ne koristi u teoriji konzervacije spomenika, ali je vrlo popularan. Podrazumijeva proces poboljšanja čišćenjem, ukrašavanjem i opremanjem. Može uključivati elemente naknadne ugradnje.

Modificiranje/Modernizacija

Proces modifikacije postojeće zgrade ili prostora za trenutačnu uporabu. Ima tendenciju veće usredotočenosti na estetiku i izgled, a ne samo na funkcionalnost zgrade, obično pokušavajući izgledati novo ili moderno, za razliku od restauracije ili preuređenja.

38 Weeks, Kay, *Historic Preservation Treatment: Toward a Common Language, Cultural Resources Management Vol 19, No. 1, 1996.*

39 Narodowy Instytut Dziedzictwa, *Podstawowe pojęcia z zakresu konserwacji i rewitalizacji*. https://samorzad.nid.pl/baza_wiedzy/podstawowe-pojecia-z-zakresu-konserwacji-i-rewitalizacji (kolovoz 2021).

Nadogradnja (Rekonstrukcija, op.prev.)

Termin koji se ne koristi u teoriji zaštite spomenika, ali je vrlo popularan i koristi se u područjima arhitekture i urbanizma.

Cilj nadogradnje je prvenstveno poboljšati funkcionalnost zgrade dodavanjem nove tehnologije, sustava ili opreme, čineći zgradu učinkovitijom. Nadogradnja često uključuje ugradnju modernog grijanja i/ili ventilacije, ili HVAC sustava, dodatne izolacije ili višeslojnog ostakljenja, pa služi za smanjenje potrošnje energije, ugljičnog otiska i emisije onečišćujućih tvari.

Nadogradnja također može produžiti životni vijek zgrade i smanjiti održavanje.



Fot. Image Produkcija



Fot. Image Produkcija



Fot. Tomasz Jeleński

Sl. 5. Dvorac u Zaboku u Hrvatskoj koji je izrađen 1889. godine, koji je uvršten u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske, te trenutno tamo djeluje Energetski centar Bračak. Nekoć razrušena zgrada bila je obnovljena te su njene instalacije bile modernizirane u skladu s niskoenergetskim standardima. Potrošnja energije za grijanje smanjena je za gotovo 70%, odnosno s inicijalnih 213.0 kWh/m² na 64 kWh/m². Ovim promjenama, razred energetske učinkovitosti promijenjen je iz razreda "E" u niskoenergetski razred "B" s 88% iskorištenih obnovljivih izvora energije. Zgrada je isušena i termalno izolirana iznutra. Nadogradnja je uključivala instalaciju bojlera na pelete s kapacitetom od 80 kW i učinkovitošću od 94.9%, visoko učinkovitog sustava za varijabilni protok radne tvari snage 95.2 kW, ventilacije s preko 90% povrata topline, mikrokogeneratora prirodnog plina za toplu vodu s ugrađenim električnim kapacitetom od 6 kW s termalnom snagom od 14,9 kW, energetski štedljivo LED i T5 osvjetljenje, središnjeg sustava nadzor i kontrolu koji upravlja grijanjem, ventilacijom i klimatizacijom, unutarnjim osvjetljenjem, stanicom za brzo punjenje električnih automobila (2 × 22 kW) te sustavom za odvodnju oborinskih voda.

Prilagodljiva ponovna uporaba

To znači prilagoditi objekt novim funkcijama. Konzervatorski gledano, uvjet za dozvolu adaptacije je očuvanje svih karakterističnih obilježja tkiva i strukture spomenika koji nose umjetničke i povijesne vrijednosti.

Prema propisima RH rekonstrukcija podrazumijeva sljedeće:

1. Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)

Rekonstrukcija građevine je izvedba građevinskih i drugih radova na postojećoj građevini kojima se utječe na ispunjavanje temeljnih zahtjeva za tu građevinu ili kojima se mijenja usklađenost te građevine s lokacijskim uvjetima u skladu s kojima je izgrađena (dograđivanje, nadograđivanje, uklanjanje vanjskog dijela građevine, izvođenje radova radi promjene namjene građevine ili tehnološkog procesa i sl.), odnosno izvedba građevinskih i drugih radova na ruševini postojeće građevine u svrhu njezine obnove.⁴⁰

2. Tehnički propis za građevinske konstrukcije (NN 17/17, 75/20, 7/22)

Obnova građevinskih konstrukcija zgrada nakon potresa

Članak 24.a

(1) Obnova potresom oštećenih građevinskih konstrukcija zgrada obuhvaća popravak i pojačanja konstrukcijskih i/ili nekonstrukcijskih elemenata s razinom obnove koja je primjerena opasnosti područja, oštećenju zgrada i potresnom riziku zgrade, a vezano za potresnu oštetljivost zgrade i njezinu namjenu.

(4) Obnova se provodi na razinu potresne otpornosti prema Prilogu III. ovoga Propisa ili na razinu potresne otpornosti koja je bila propisana u trenutku kada je zgrada izgrađena, s time da je mjerodavan stroži kriterij potresne otpornosti.⁴¹

3. Norma HRN EN 1998-3:2011 (EN 1998-3:2005).⁴²

U smislu ove norme, obnova (en: retrofitting) obuhvaća pojačanje (en: strengthening) neoštećene konstrukcije i popravak (en: repair) konstrukcija oštećenih potresom.

4. Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara.⁴³

Samo navodi moguće način: rekonstrukcija, sanacija i adaptacija kulturnoga dobra.

⁴⁰ Republika Hrvatska, *Zakon o gradnji*, Narodne novine 153/13, 20/17, 39/19, 125/19.

⁴¹ Republika Hrvatska, *Tehnički propis o izmjeni i dopunama propisa za građevinske konstrukcije*, Narodne novine 7/22, 17/17 i 75/20.

⁴² Republika Hrvatska, *Hrvatski normativni dokumenti*. <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+1998-3%3A2011> (kolovoz 2022).

⁴³ Republika Hrvatska, *Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara*, Narodne novine 69/99, 151/03, 157/03, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 44 / 17, 90/18, 32/20, 62/20).

2.5. Nadogradnja povijesnih zgrada u praksi

Iz perspektive konzervatorskih ureda, energetska obnova povijesnih zgrada i njihova prilagodba klimatskim promjenama može biti teška, ali donekle moguća. Ako se predložena tehnička rješenja ne kose s ciljevima zaštite baštine, konzervatorske službe ih prihvaćaju. Štoviše, ako ova rješenja poboljšaju uporabljivost starih zgrada, a time i produžetak njihovog postojanja, ne samo da su prihvaćena nego i preporučena.

Stoga je vrijedno odgovoriti na pitanje koji su, s konzervatorskog stajališta, najčešći problemi i poteškoće s rješenjima nadogradnje.

2.5.1. Zaštita povijesnih interijera

Kod uvođenja tehničkih inovacija u povijesne građevine, većina promjena odnosi se na interijer. Ako su povijesni interijeri i njihovo opremanje izmijenjeni i nema pouzdanih izvora koji bi omogućili njihovu restauraciju, a poboljšanje njihove uporabljivosti nužno je iz praktičnih razloga, nema ograničenja za prihvaćanje novih tehnologija.

Primjeri uključuju nedavno obnovljeno krilo palače Tiele-Winckler u Bytom-Miechowice i palaču Donnersmarck/Mieroszewski u Siemianowice Śląskie. U obje zgrade, zbog preinaka i značajnih oštećenja, nisu sačuvani povijesni interijeri. Oskudni ikonografski podaci nisu dopuštali njihovu rekonstrukciju.



Fot. Ewa Waryś



Fot. © Jan - stock.adobe.com

Sl. 6. Palača Tiele-Winckler u mjestu Bytom - Miechowice koja je izgrađena 1817. te koja je uvrštena u poljski Registar spomenika kao element bivšeg kompleksa palače i parka. Lijevo: Pogled sa zapadne strane na ruševinu aneksa palače. Desno: Obnovljena zgrada (2022.)

Promjenom funkcije bila je potrebna i ugradnja tehničkih uređaja koji zadovoljavaju suvremene standarde.

U palači Bytom-Miechowice bilo je potrebno urediti konferencijsku dvoranu, izložbene prostore i urede. Stoga je postavljena unutrašnja izolacija i uvedena klimatizacija, a unutar stubišta uspješno je izgrađen lift bez značajnijih gubitaka graditeljskog nasljeđa. Bez oštećenja interijera, u cijeloj su zgradi postavljeni i vodovodni i sanitarni čvorovi, te ICT i CCTV sustavi.

U interijerima palače Siemianowice djelomično je sačuvana samo stolarija vrata. Taj dio je obnovljen, a ostatak rekonstruiran. Uređene su nove konferencijske i izložbene dvorane, mjesta za sastanke sa stražnjim i pomoćnim prostorijama, uvedeni su pivarski, gastronomski i komercijalni objekti s potrebnom potporom s odgovarajućim sustavima i instalacijama. Izolirani su gornji strop i kosine krova zgrade. Dobivanju suglasnosti WKZ-a na cjelokupni projekt prethodio je arhivski upit i arhitektonsko-stratigrafsko istraživanje na licu mjesta zbog moguće prisutnosti polikroma.⁴⁴

Ovi primjeri pokazuju da je u pitanju interijera lišenog originalnog uređenja najprije potrebno razmotriti nove funkcije i rješenja za uštedu energije, a tek u sljedećem koraku rekonstrukciju ili novo kreiranje interijera (ako je tako određeno nedostatkom izvornih materijala koji bi mogli uskladiti ili upućivati na stil doba iz kojeg građevina potječe).

Kada su izvorni interijeri i namještaj u velikoj mjeri očuvani, nije u potpunosti isključena ni mogućnost uvođenja novih tehnoloških rješenja. Međutim razmjeri poteškoća i troškovi takvih aktivnosti sve su veći.

Razred spomenika ima veliku, a ponekad i odlučujuću važnost za moguće uvođenje novih rješenja. Iako razredi u Poljskoj više nisu u pravnoj uporabi (zaštićene zgrade nekada su bile razvrstane u pet ili šest razreda), očito je da će standard rješenja biti drugačiji u baroknoj kneževskoj palači nego li u prosječnoj stambenoj kući na prijelazu u 19. stoljeće.

44 Documentacija iz arhiva
Zavoda za zaštitu spomenika
Śleske regije – passim.

2.5.2. Zaštita povijesnih fasada

Modernizacija eksterijera najčešće je povezana s dodatnom izolacijom fasada i ugradnjom uređaja koji proizvode ili štede energiju. Neprihvatljiva je, s konzervatorskog stajališta, uporaba izolacije koja prekriva arhitektonske detalje i/ili mijenja stereometriju građevine, posebno one koja je na listi. Alternativno rješenje za izolaciju ovojnice zgrade može biti postavljanje toplinske izolacije iznutra, što je dopušteno ako nije sačuvan izvorni izgled interijera.

Veliki ventilacijski uređaji ili PV paneli na vidljivim padinama krova zaštićene zgrade ili u zaštićenom području također su teško prihvatljivi. Kao primjer može poslužiti zaštićeno područje u središtu Miasteczko Ślaskie (županija Tarnowskie Góry, Poljska) gdje zbog izgleda mjesta nije dano dopuštenje za postavljanje PV panela na nekoliko zgrada. Odlukama je prethodila analiza mjesta obavljena s promatračkih mjesta na razini ulice. Pogledi s viših razina nisu razmatrani jer na tom području nema značajnijih visinskih dominantni. Budući da velik dio zgrada u ovom području potječe iz modernog doba, paneli se mogu postaviti tamo gdje nisu vidljivi ili će postati praktički neprimjetni.

Konzervatorsko tržište čeka razvoj BAPV-a (foto-naponski sustavi koji se primjenjuju u zgradama), PV rješenja za krovove, prozore i solarne rolete, izgledom sličnih tradicijskim materijalima.

2.5.3. Najčešće greške

Iz perspektive konzervatorskih službi, najveće probleme uzrokuju neodgovorni i nesposobni pokušaji modernizacije povijesnih građevina, čiji je cilj poboljšanje toplinske udobnosti i uštede energije, ali rezultiraju fizičkom degradacijom povijesne tvari i posredno mogu izazvati ugrozu ljudskog zdravlja.

Najčešće greške su:

- ◆ Uklanjanje i zamjena starih, originalnih žbuka.
- ◆ Primjena cementnih mortova na mjestima gdje nisu korišteni cementni ili cementno-vapneni mortovi. Mort i žbuka moraju parametrima i sastavom odgovarati izvornima.
- ◆ Zamjena starih konstrukcijskih elemenata novima, bez analize naprezanja, zbog čega dolazi do različitog toplinskog širenja i različite kapilarnosti, što zatim uzrokuje degradaciju izvornih materijala.
- ◆ Unutrašnje bojenje bojama niske paropropusnosti.
- ◆ Uvođenje modernih slojeva za zaštitu od vlage, parnih brana i membrana, koje su standardne u modernoj gradnji, ali ograničavaju sposobnost stare zgrade da „diše“ (dopušta vlazi da ispari).
- ◆ Zamjena originalne prozorske stolarije. Drvena stolarija izrađena novim tehnologijama (čak i ako oponaša original) može promijeniti mikroklimu interijera i uzrokovati oštećenje dekora i namještaja te pojavu zdravstvene ugroze.
- ◆ Zamjena originalnog poda ili korištenje ljepila s cementom. Stari keramički i kameni podovi polagani su na pješčanu podlogu, ponekad uz dodatak vapnene žbuke ili gline. Nove tehnologije lijepljenja čvrsto izoliraju podlogu i povećavaju razinu vlage u konstrukciji.

Trajnost zgrade i njezina kulturna vrijednost također su pod značajnim utjecajem promjena u susjednom tlu i krajoliku. Lokacija je sastavni dio kulturnog nasljeđa i zahtijeva istu brigu i zaštitu kao i sam spomenik. Posebnu pozornost treba posvetiti pravilnom održavanju krajobraza i kolnika, njihovoj zaštiti ili ponovnom stvaranju povijesnog sastava zelenila i svojstava tla. Uklanjanje drveća ili drugih zasada i brtvljenje površine oko zgrade može promijeniti vlažnost tla i uzrokovati vlaženje zgrade.

Više o tipičnim pogreškama u obnovi povijesnih građevina i kako ih izbjeći pročitajte u sljedećim poglavljima.

Bibliografija

- Bogdanowska, Monika, Andreas W. Komodziński, et al., *Interdyscyplinarny słownik wielojęzyczny konserwacji i restauracji dzieł sztuki i zabytków*, Narodowe Centrum Nauki and Cracow University of Technology, Kraków – Bielefeld 2016. <http://www.imd.pk.edu.pl> (kolovoz 2021).
- Bucher, Ward, A.I.A. (uredio), *Dictionary of Building Preservation*, Preservation Press, John Wiley & Sons, New York 1996.
- DW, *How can we prepare for extreme flooding?* <https://www.dw.com/en/germany-belgium-floods-climate-crisis-adaptation/a-58318340> (kolovoz 2021).
- Dz.U. 2003 nr 162 poz. 1568 – Ustawa z dnia 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami.
- Feilden, Bernard M., *Conservation of Historic Buildings*, Architectural Press, Oxford, Burlington, MA 1997.
- ICCROM & Smithsonian Institution, *First Aid to Cultural Heritage in Times of Crisis: Course Glossary*, Smithsonian Institution, Washington, DC 2016.
- Jeleński, Tomasz, *Practices of Built Heritage Post-Disaster Reconstruction for Resilient Cities*, Buildings 8, no. 4: 53, 2018. DOI: 10.3390/buildings8040053.
- Narodowy Instytut Dziedzictwa, *Podstawowe pojęcia z zakresu konserwacji i rewitalizacji*. https://samorząd.nid.pl/baza_wiedzy/podstawowe-pojecia-z-zakresu-konserwacji-i-rewitalizacji (kolovoz 2021).
- Republika Hrvatska, *Hrvatski normativni dokumenti*, <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+1998-3%3A2011> (kolovoz 2022).
- Republika Hrvatska, *Tehnički propis o izmjeni i dopunama propisa za građevinske konstrukcije*, *Narodne novine* 7/22, 17/17 i 75/20.
- Republika Hrvatska, *Zakon o gradnji*, *Narodne novine* 153/13, 20/17, 39/19, 125/19.
- Republika Hrvatska, *Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara*, *Narodne novine* 69/99, 151/03, 157/03, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 44 / 17, 90/18, 32/20, 62/20).
- Stowarzyszenie Ochrony Narodowego Dziedzictwa Materialnego, *Konkurs Modernizacja Roku*. <https://www.modernizacjaroku.org.pl/pl/edition/1691/object/1836/budynek-biurowy-nadlesnictwa-elblag> (srpanj 2022).
- Szmygin, Bogusław, *Teoria zabytku Aloisa Riegla*, *Ochrona Zabytków*, nr 3/4, 2003.
- Szmygin, Bogusław, *Vademecum konserwatora zabytków: międzynarodowe normy ochrony dziedzictwa kultury*, Polski Komitet Narodowy ICOMOS Międzynarodowej Rady Ochrony Dziedzictwa Kultury, Warszawa 2015.
- Weeks, Kay, *Historic Preservation Treatment: Toward a Common Language*, *Cultural Resources Management* Vol 19, No. 1, 1996.

3

Gradevinski elementi: rješenja za renoviranje i naknadnu ugradnju

Tomasz Jeleński

· Tehnološko sveučilište u Krakovu

Cezary Czemplik

· Poljsko udruženje za prirodne zgrade

Anna Zaręba

· Sveučilište Nikole Kopernika u Torunu

Robert Wójcik

· Sveučilište Warmia i Mazury u Olsztynu

Piotr Kosiński

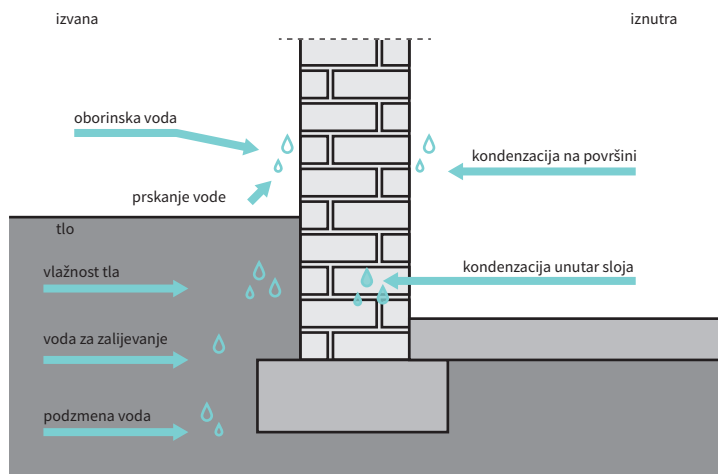
· Sveučilište Warmia i Mazury u Olsztynu

3.1. Temelji i podrum

Tomasz Jeleński • Tehnološko sveučilište u Krakovu

3.1.1. Vлага u temeljima, podrumima i suterrenima

Podkonstrukciju zgrade i čvrste podove prizemlja ugrožava podzemna vlaga i podzemne vode ako se pojavljuju na maloj dubini. Ipak, najviše problema u podrumskoj zoni stvaraju prodor oborinskih voda, prskanja vode i kondenzacija vodene pare (sl. 7).



Sl. 7. Izvori vlage u podkonstrukciji zgrade i sloju sokla.

Vlaga u prizemlju ne ugrožava samo podzemne dijelove zgrade, zbog kapilarnog dizanja može se prenijeti u više dijelove zgrade. Kapilarnost je sponzani porast vode (suprotno gravitaciji) u šupljinama poroznog materijala. Kapilarna voda prodire i upija se u materijal koji ne dolazi u izravan kontakt s izvorom vlage.

Kapilarno djelovanje koje počinje od podkonstrukcije zgrade može uzrokovati vlaženje zidova do nekoliko metara iznad tla. Visina kapilarnog djelovanja ovisi o građevnom materijalu – kohezivniji materijali, npr. keramika, podižu vodu više od makroporoznih materijala.⁴⁵ Ova pojava jedan je od najčešćih uzroka oštećenja zgrada. Vidljivi učinak kapilarnog dizanja je ljuštenje žbuke, nedostaci na materijalu i fugama, cvjetanje soli i razvoj mikroorganizama.

Učinci vlage također uključuju:⁴⁶

- **Smanjenje toplinske otpornosti materijala**

Čak i nekoliko postotaka povećanja vlage uzrokuje povećanje gubitka topline. Na primjer, keramička opeka u umjereno vlažnim uvjetima ima koeficijent toplinske vodljivosti $\lambda = 0,77 \text{ W/mK}$, a za vlažnost od 15% već je oko $1,6 \text{ W/mK}$. Dvostruko povećanje λ zida uzrokuje analogno smanjenje njegovog toplinskog otpora.

45 Rouba, Bogumiła J., *Zawilgocenie jako problem w ochronie obiektów budowlanych i zbiorów muzealnych*. Szreniawa: MNRI PR-S. 2017: 39.

46 Trochonowicz, Maciej, *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, *Budownictwo i Architektura* vol. 7, nr 2/2010, 131 – 144. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPL2-0019-0023> (kolovoz 2021).

♦ Smanjenje čvrstoće materijala i nosivosti konstrukcijskih elemenata

Prekomjerna vlaga uzrokuje degradaciju završnih materijala: boja, žbuke, materijala za oblaganje, drvenih elemenata i elemenata proizvedenih na bazi drveta. Utjecaj vlage na konstrukcijske elemente zgrade mogao bi biti još opasniji. Neki građevni materijali omekšaju pod utjecajem vlage, što je popraćeno smanjenjem njihove čvrstoće. Kretanje vlage otapa tvari koje vežu zidove i smanjuje njihovu nosivost. Vlažna ovojnica zgrade također može biti ozbiljno oštećena zbog cikličkog smrzavanja i odmrzavanja vode sadržane u porama i kapilarama.

♦ Biološka korozija

Povećana vlažnost zraka vrlo često dovodi do procesa destrukcije uzrokovanih gljivicama, kukcima, algama, mahovinama, lišajevima i bakterijama. Biološka korozija mijenja i uništava strukturu zgrade, njezinu izolaciju i završne materijale. Također utječe na ljude koji borave u zaraženim prostorijama, može uzrokovati bolesti dišnih puteva, očiju, zglobova i slabljenje imuniteta organizma

♦ Proces razaranja vezani uz djelovanje soli

Soli topive u vodi ubrajaju se među najopasnije čimbenike koji uništavaju građevine, posebice unutar podrumске zone. Njihove visoke koncentracije mogu dovesti do potpunog uništenja slanih dijelova zgrade. Voda je nositelj soli u građevnim materijalima, a oštećenja nastaju zbog procesa kristalizacije soli tijekom njezinog isparavanja i pojave tzv. kristalizacijskog tlaka.

3.1.2. Strategija zaštite od vlage

Glavna zadaća u očuvanju ili modernizaciji vlažnih zgrada je njihovo isušivanje koje čini koordinirani skup radnji usmjerenih na trajno smanjenje vlage (obično na razinu od 3–6% masene vlažnosti).⁴⁷ To dovodi do smanjenja energetske gubitaka i energetske potreba zgrade te omogućuje daljnje radove energetske modernizacije.

Prva osnovna faza procesa sušenja je uklanjanje izvora vlage. Nažalost, za to ne postoje univerzalne metode (vidjeti poglavlje 3.1.5.). Iskustvo osobe koja provodi ispitivanje vlage često je važnije od tehnologije koja se koristi. Nije dovoljno samo spriječiti specifične uzroke vlage, već i **ograničiti nepotrebne radnje**.⁴⁸

Prije planiranja zaštite od vlage potrebno je osigurati da vlaga djelomično ili u cijelosti nije uzrokovana nedostacima u olucima i odvodnim cijevima zgrade, vodovodnim i odvodnim sustavima te odvodnji. Također treba procijeniti stanje tla i vode: vrstu i svojstva tla, njegovo opterećenje vodom i mogućnost poboljšanja tih uvjeta.

Provedba izolacije od vlage u objektu koji je bio vlažan zbog oštećenja, tehničke istrošenosti ili kapilarnog prodiranja tekućine iz tla je složeno pitanje i praktički svaki slučaj treba razmatrati pojedinačno. Suvremene metode zaštite od vlage neće uvijek biti ispravne, osobito u zgradama izgrađenim tradicijskim tehnologijama.

47 Monczyński, Bartłomiej, *Wtórna hydroizolacja przyziemnych części budynków, Izolacje* 4/2019. <https://www.izolacje.com.pl/artykul/fundamenty/190197,wtorna-hydroizolacja-przyziemnych-czesci-budynkow> (kolovoz 2021).

48 Monczyński, Bartłomiej, *Przyczyny zawilgacania budynków, Izolacje* 1/2020. <https://www.izolacje.com.pl/artykul/fundamenty/194437,przyczyny-zawilgacania-budynkow> (kolovoz 2021).

U prošlosti zgrade nisu bile opremljene izolacijom za zaštitu od vlage u obliku folija, bitumenskih ili kemijskih membrana, ali ipak su bile učinkovito zaštićene od vlage. Glavna strategija zaštite od vlage bila je izravnavanje tla oko zgrade s pravilnim nagibom za odvođenje kišnice. Prirodni materijal s niskom stopom infiltracije poput gline pomiješane s ilovačom (masnom glinom) stavljen je ispod temelja i zalijepljen na zidove temelja, čime je osigurana izvrsna otpornost na vlagu.⁴⁹ Teren blago nagnut od zgrade obično je bio prekriven travom ili drugim biljem. Osim toga sađeni su fasadni vrtovi, čime se povećava evapotranspiracija viška vode iz tla.⁵⁰

Ova su rješenja bila učinkovita i dugotrajna. Problemi se mogu pojaviti uglavnom zbog oštećenih ili začepljenih odvoda i usisnih kanala te iskopavanja ili uzdizanja tla oko zgrada.⁵¹ Iskapanje može oštetiti izvornu zaštitu od vlage, dok podizanje vanjske razine tla iznad unutarnje razine poda uzrokuje upijanje oborinske vode u zgradu.

3.1.3. Uzroci strukturne vlage u povijesnim zgradama

Strukturna vlaga u zgradama je prisutnost neželjene vlage koja je posljedica prodora kiše ili kondenzacije unutar konstrukcija. Visok udio najvećih problema s vlagom odnosi se na podkonstrukciju zgrade i sloj sokla.

Prodorna vlaga

Prodiranje oborinske vode uobičajen je oblik vlage koji se može pojaviti kroz zidove, krovove ili otvore. Uobičajeni nedostaci uključuju greške na krovu, opeci ili zidu, nedostajuće ili napuknute vrhove, nedostajuću ili neispravnu masu oko vrata i prozora, začepljene procjednice, nedostajuće ili neispravne plitvice u dvostrukim zidovima i rupe u zidovima, npr. na mjestima gdje strše cijevi ili kablovi. Svi ti nedostaci mogu pridonijeti vlazi u zgradi. Ono što izravno utječe na podkonstrukciju zgrade su neispravni oluci i odvodnja (drenaža). Voda koja prodire u podkonstrukciju zgrade i sokla može se brzo podići u zidove zgrade i pridonijeti strukturnoj vlazi.

Strukturna vlaga

Od devetnaestog stoljeća nadalje ubrzava se modernizacija gradova podizanjem i brtvljenjem cesta i nogostupa te uporabom cementa otpornog na vodu za žbuku i mort. Ograničavanje površine isparavanja vlage iz zgrada i tla oko njih rezultiralo je nakupljanjem vode u podkonstrukciji i sve većim problemima s trajnom vlagom.

Likvidacija fasadnih vrtova i njihova zamjena betonom oko zidova – uvedena početkom 20. stoljeća radi zaštite objekata od oborinskih voda – ubrzala je procese strukturne vlage i povećala salinitet zidova. Opća pretpostavka da bi betoniranje tla spriječilo natapanje vodom i zemlja ostala suha bila je potpuno pogrešna. Naprotiv, brtvljenje tla povećava nakupljanje vlage koja ne može prirodno ispariti.

Druga česta pogreška bila je nanošenje bitumenske izolacije (učinkovito za većinu novih zgrada) i na stare podkonstrukcije. Nepropusna sekundarna

49 Krause, Paweł, Agnieszka Szymanowska-Gwiżdż, *Sposoby uszczelnienia i metody renowacji zawilgoconych ścian piwnic*, Izolacje 6/2018. <https://www.izolacje.com.pl/arttykul/sciany-stropy/186228,sposoby-uszczelnienia-i-metody-renowacji-zawilgoconych-scian-piwnic> (kolovoz 2021).

50 Rouba, Bogumiła J., *Zawilgoconie jako problem w ochronie obiektów budowlanych i zbiorów muzealnych*, Szreniawa: MNRI PR-S. 2017: 42.

51 The Society for the Protection of Ancient Buildings, *Historic Floors Guidance Note*. London, SPAB 2007. <https://www.spab.org.uk/sites/default/files/documents/MainSociety/Advice/Historic%20Floors%20Guidance%20Note.pdf> (lipanj 2022).

52 Historic England, Energy Efficiency and Historic Buildings: Insulating Solid Ground Floors, English Heritage 2016.

izolacija se rutinski izvodila s vanjske, ali ponekad i s unutarnje strane zidova podruma i za brtvljenje poda podruma. To je izazvalo rizik pogoršanja svih postojećih problema povezanih s vlagom i izazivanje problema u susjednoj konstrukciji, kao što je preusmjeravanje vlage u zidove.⁵² Zarobljavanje i zadržavanje vlage u konstrukciji temelja i podruma pogoršava simptome dizanja vlage. Jedini način prolaza vode je kroz zidove prizemlja, a ponekad i prvog kata koji kapilarno upijaju višak vlage.

Situacija je dodatno pogoršana izmjenom podrumске ventilacije i uvođenjem grijanja u prethodno negrijane podume i suterene, što je rezultiralo intenziviranjem kondenzacije vodene pare.

3.1.4. Uobičajeni problemi zaštite od vlage

Prvi pokušaj otklanjanja problema strukturne vlage bio je uvođenje horizontalnog vlagootpornog sloja (DPC), koji bi prekinuo kapilarno dizanje vode kroz zidove.⁵³ DPC-ovi su postali standardno rješenje na prijelazu u 19. stoljeće.⁵⁴ Njihova trajnost ovisi o pravilnoj njezi i održavanju.

Sve do osamdesetih godina prošlog stoljeća znanstvenici su pokušavali objasniti mehanizme nastanka vlage i njezine učinke, a inženjeri su radili na poboljšanju tehničkih metoda kontrole vlage. Preporučene su drenaže oko zgrada i „prozračne“ žbuke za sanaciju umjesto žbuke na bazi cementa i akrilnih boja za zidanje.

Sve se češće upotrebljavaju sustavne mjere sušenja i zaštite od vlage – sustavi proizvoda jednog proizvođača koji se provode pod nadzorom specijaliziranog konzultanta. Ta rješenja imaju svoje prednosti, ali ponekad i loše posljedice, koje proizlaze iz eliminacije konzervatorskih znanja i korištenja tehnologije koja nije uvijek dobro prilagođena problemima pojedine zgrade i specifičnim uzrocima vlage (sl. 8).⁵⁵

53 Rouba, Bogumiła J., op.cit.: 46.

54 Adamowski, Józef, Jerzy Hoła, Zygmunt Matkowski, *Skuteczność zabezpieczeń przeciwwilgociowych wykonanych w obiekcie zabytkowym*, Materiały Budowlane 3/2010, 50533.

55 Rouba, Bogumiła J., op.cit.: 52.



Fot. Bogumiła J. Rouba

Sl. 8. Kruta folija omotana oko temelja crkve sagrađene od velikih nepravilnih gromada. Folija će zaustaviti isparavanje vode, a ako su fuge ispunjene mortom, stvaraju se uvjeti za kapilarno prodiranje ograničeno isparavanjem i strukturnu vlagu. Foto: Bogumiła Rouba (2012).

Trenutno postoji bogato građevinsko-konzervatorsko znanje koje omogućuje učinkovita rješenja čak i za vrlo teške slučajeve. S druge strane, ustalio se obrazac korištenja tipičnih rješenja, često skupih, a ponekad neučinkovitih ili čak štetnih. Na primjer, drenaža se obično izvodi na mjestima gdje je nepotrebna i stvara opasnost od rahljenja tla. Postoje situacije kada drenaža, umjesto uklanjanja vode, počinje dodatno vlažiti temelj zgrade, pogotovo kada do njega dopire voda s krova. Nepromišljena drenaža narušila je statiku mnogih vrijednih građevina.⁵⁶

3.1.5. Identifikacija izvora vlage

Najčešći uzroci vlage u povijesnim zgradama su:

- Podizanje susjednog tla iznad „linije 0“⁵⁷ zgrade, što rezultira izravnom infiltracijom vode, često u kombinaciji s kapilarnim podizanjem.
- Neispravan profil susjednog terena (bez nagiba ili čak suprotan nagib – prema zgradi).
- Tvrdi površina susjednog tla što rezultira vlaženjem zida ili sokla prskanjem vode.⁵⁸
- Prepreke (kao što su visoki rubnjaci) koje sprečavaju brzo otjecanje vode iz susjednih zgrada.
- Neispravna odvodnja koja uzrokuje infiltraciju oborinskih voda u blizini zgrade.

Posebno su teški slučajevi dugotrajne strukturne vlage uzrokovane brtvljenjem susjedne površine, posebice u vezi s pogreškama profila tla (niveliranja). Što je razina tla viša od izvorne, to više vode može prodrijeti u zgradu.

Relativno su rijetki slučajevi vlage uzrokovane poremećajem hidroloških odnosa. Razina podzemnih voda najviše se mijenja zbog različitih vrsta zadiranja u okoliš – izgradnje brana, regulacije rijeka, ali i opsežnih instalacija i podzemnih građevina.

U praksi od pomoći mogu biti jednostavne metode za utvrđivanje uzroka vlage. Prvo, svatko može izmjeriti visinu razine tla izvana i razinu poda iznutra. Vrijedi fotografirati ili snimiti što se događa s vodom za vrijeme kiše – je li pravilno i brzo odvedena i ocijeđena, prska li zid ili se zadržava uz zgradu u lokvama. Takva zapažanja često omogućuju poduzimanje jednostavnih, ali učinkovitih radnji.⁵⁹

3.1.6. Osnovna pravila uklanjanja vlage

Sušenje može biti dugotrajan, kompliciran i skup postupak, a neučinkovit. Često poduzeti simptomatski tretmani vlage dovode do skrivanja vlage, što je dovoljno za razdoblje od pet godina jamstva koje daju izvođači. Tehničke mjere koje se primjenjuju *ad hoc*, bez analize povijesti zgrade te kronologije i opsega naknadnih popravaka i modernizacija, neće otkloniti nepovoljne promjene koje dovode do prekomjerne vlage.

Osnovno načelo pri sušenju povijesne građevine jest da se sušenje vrši određeno vrijeme i da se metode nadopunjuju (od najjednostavnijih prema

56 Rouba, Bogumiła J., *Projektowanie konserwatorskie, Ochrona Zabytków* 56/1 (240), 57–78.

57 Koncept „linije 0“ uvela je B. J. Rouba kako bi označila razinu na kojoj se susreću dvije strukture s različitim fizičkim svojstvima: neupijajući (obično kameni) temelji i upijajući zidovi. Prepoznavanje „linije 0“ u odnosu na razinu tla oko zgrade omogućuje određivanje postoji li problem bočne infiltracije vode u zidove.

58 Rouba, Bogumiła J., *Zawilgocenie jako problem w ochronie obiektów budowlanych i zbiorów muzealnych (Dampness as a problem in the context of the protection of buildings and museum exhibition items)*, MNRI PR-S, Szreniawa 2017, 35–58.

59 Ibidem: 55.

složenijima). Invazivne metode poput bušenja rupa ili dubokog kopanja zemlje treba izbjegavati u skladu s načelom minimalne intervencije. Najsigurnije je poštivanje integriteta zgrade i vraćanje u početno stanje.

Za vraćanje izvorne (odgovarajuće) vlažnosti elemenata udubljenih u tlo potrebno je izvršiti rekonstrukciju izvornih ili oblikovanje novih kosina oko zgrade. Ponovno profiliranje terena uz zgradu potrebno je izvesti na način da oborinska voda nesmetano otječe iz zgrade prema van. Potrebno je ukloniti sve rubnjake u zoni odvodnje koji blokiraju otjecanje vode (slika 6.).⁶⁰

60 Ibidem: 57

Oštećenja uzrokovana razornim djelovanjem oborinskih voda, prskanjem vode, zaostalog i otopljenog snijega, obično nastaju u zoni sokla. Ako se na sloju sokla pojavi ljuštena boja, cvjetanje soli ili čak odvajanje žbuke, potrebno je sokl trajno zaštititi od prekomjerne vlage. Mekana, zelena i isparljiva podloga trebala bi biti uz sloj sokla, što omogućuje isparavanje. Česta pogreška je da na površini ostane šljunak ili drugi tvrdi materijal, što uzrokuje prskanje vode. Ako je moguće, najbolje ga je pokriti travom ili drugim biljkama koje upijaju kapljice vode i prenose vlagu iz okoline zgrade (slika 7.). Više o tome pogledajte u poglavlju 4.⁶¹

61 Ibidem: 54.

Ukoliko je podzemni dio zgrade hidroizoliran ili ga treba hidroizolirati, uvjet za ispravnu sanaciju sokla je precizni spoj brtvljenja sekundarnog sloja sokla ili dovoljno vodonepropusne postojeće površine sokla s izolacijom podruma.⁶²

62 Monczyński, Bartłomiej, *Uszczelnianie i renowacja cokołów w istniejących budynkach*, Izolacje 10/2020. <https://www.isolacje.com.pl/arttykul/fundamenty/222347,uszczelnianie-i-renowacja-cokolow-w-istniejacych-budynkach> (kolovoz 2021).

Zgrada se može dodatno zaštititi od prodora vode i vlage vanjskom odvodnjom. Međutim tome treba prethoditi ispitivanje podzemnih voda. Primjena cijevne drenaže u prisustvu vezane vode ili kapilarne vode je besmislena jer se ne može odvoditi drenažnim cijevima.⁶³

63 Monczyński, Bartłomiej, *Przyczyny zawilgacania budynków*, Izolacje 1/2020. <https://www.isolacje.com.pl/arttykul/fundamenty/194437,przyczyny-zawilgacania-budynkow> (kolovoz 2021).

Eventualnu drenažu treba postaviti dalje od postojećih objekata. Kako bi se izbjeglo otkrivanje temelja, odvodne cijevi treba postaviti, ako je moguće, na udaljenosti do nekoliko metara od temeljne trake. Kada je dostupan dovoljno

Fot. Bogumiła J. Rouba



Sl. 9. Neispravna nivelacija terena i odvodnja: pločnik iznad „linije 0“ zgrade; novi rubnjak koji će zadržavati vodu uz zid te šljunak od kojeg će se kiša odbijati i vlažiti zid. Foto: Bogumiła J. Rouba, 2012.

Fot. Bogumila J. Rouba



Sl. 10. Ova zgrada ilustrira razorni učinak prskanja vode koja se odbija od tvrde betonske površine. Zidna obloga od klinkera je dotrajala i odvojila se. Drugo uzvišenje s travnjakom uz njega je u izvrsnom stanju. Foto: Bogumila Rouba (2012.).

velik prostor, a tlo dovoljno upijajuće, treba razmotriti raspodjelu drenažne vode po površini gradilišta.

Uvijek je vrijedno razmotriti zelena rješenja koja će pomoći u drenaži tla. Poznati su slučajevi vrlo brze fizičke degradacije povijesnih građevina zbog sječe obližnjih stabala. Veliko stablo može dnevno apsorbirati i ispuštati stotine litara vode iz zemlje. Uklanjanje stabala dovodi do poremećaja u upravljanju vodama. Penjačice, grmlje, pa čak i trava također doprinose prirodnoj regulaciji vlage u tlu (kao što je detaljnije objašnjeno u poglavlju 4.).

Fot. © LOGORYTM - stock.adobe.com



Fot. © Frans - stock.adobe.com

Sl. 11. Zelene fasade na starim zgradama igraju važnu ulogu u očuvanju smjera postolja od prskanja vode i viška transpiracije vlage iz zemlje na razini zidova temelja. Lijevo: Zelena fasada u mjestu Katowice-Nikiszowiec. Desno: zeleni zid u Rotterdam

U slučajevima ozbiljnih poremećaja ravnoteže vlage u povijesnim građevinama, trajni učinci mogu se postići samo kombiniranjem konzervatorskih znanja (stare tehnike, upravljanje vodom, klima, prirodna ventilacija, pojačanje tradicijskih materijala, princip kombiniranja prirodnih materijala s novima te arhitektonska estetika) i tehničkog znanja (građevinski pregled, fizika, statika, ispitivanja čvrstoće, optimizacija metoda i materijala).

Prije primjene tehničkih rješenja potrebno je procijeniti stupanj vlažnosti u odnosu na dopuštene vrijednosti vlage u svakom od materijala. U literaturi se mogu naći različite vrijednosti dopuštene vlažnosti za isti materijal. Metode mjerenja vlažnosti često se temelje na iskustvu stručnjaka koji provode ispitivanja. Jedno od rješenja je primjena kombiniranih mjerenja, što omogućuje brzo mapiranje ispitivanih elemenata mjeračima, a potom odabir mjesta s kojih će se prikupljati materijal za laboratorijska ispitivanja.⁶⁴

3.1.7. Uvjeti za primjenu suvremene hidroizolacije ili izolacije otporne na vlagu

Odabir tehnologije izolacije treba uzeti u obzir vanjske i unutrašnje uvjete zgrade, kao što su materijal temelja, razina podzemne vode, tip tla (propusno/nepropusno) i konfiguraciju lokacije oko zgrade. Projekt također treba razmotriti pitanja fumigacije, desalinizacije i sušenja.

Postupak koji se često preporučuje u slučaju vlage u zgradi, ali izaziva ozbiljne kontroverze, je vertikalna **izolacija otporna na vlagu**. Iskustvo pokazuje da bez temeljitog ispitivanja uzroka vlage takva izolacija može dovesti do pogoršanja problema umjesto da ga riješi. Nakon postavljanja neodgovarajuće izolacije, voda i dalje prodire u strukturu zgrade, dok nova izolacija ne dopušta njezino prirodno otjecanje i isparavanje.⁶⁵

Stoga je osnovno pravilo da se za temelje i podrum ne koristi izolacija otpornu na vlagu tamo gdje nije izvorno primijenjena. Odluci o izolaciji zidova podruma uvijek treba prethoditi analiza stanja očuvanosti objekta, utvrđivanje uzroka uočenih oštećenja te procjena nužnosti planiranog rješenja i hoće li ono riješiti problem.

Ako su zidovi zgrade ozbiljno zahvaćeni kapilarnim podizanjem vlage, učinkovita metoda može biti (ponovno) stvaranje **vlagootpornog sloja (DPC)** koji sprečava prodiranje vlage iz temelja u zid. Prije poduzimanja takve mjere potrebna je dijagnostika na temelju koje se razvija koncept obnove uključujući lokaciju dijafragme, materijale i način primjene, popratne (dodatne) mjere i nužno način dugoročne provjere mjera nakon njihovog završetka.⁶⁶

3.1.8. Primjena mjera za zaštitu od vlage

Sloj otporan na vlagu

Fizičke otpornosti zidova na vodu dokazane su u praksi desetljećima i smatraju se najpouzdanijim načinom sprečavanja kapilarnog dizanja vlage.⁶⁷

64 Trochonowicz, Maciej, *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, Budownictwo i Architektura vol. 7, nr 2/2010, 131 – 144. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPL2-0019-0023>

65 Bajno, Dariusz, Anna Rawska-Skotniczny, *Wybrane zagadnienia dotyczące zabezpieczeń podziemnych części istniejących budynków przed wilgocią*, Izolacje 7-8/2017. <https://www.iszolacje.com.pl/artykul/fundamenty/180430,wybrane-zagadnienia-dotyczace-zabezpieczenia-podziemnych-czesci-istniejacych-budynkow-przed-wilgocią> (kolovoz 2021).

66 Monczyński, Bartłomiej, *Mechaniczne metody wykonywania wtórnych hydroizolacji poziomych*, Izolacje 9/2019. <https://www.iszolacje.com.pl/artykul/fundamenty/192946,mechaniczne-metody-wykonywania-wtornych-hydroizolacji-pozioomych> (kolovoz 2021).

67 WTA Merkblatt 4-7-15/D, *Nachträgliche mechanische Horizontalsperre*, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München 2015: 11.

Međutim nedostatak im je potreba za vrlo ozbiljnim zadiranjem u strukturu zida, što je obično povezano s uvođenjem dodatnih opterećenja. Ova metoda se ne preporuča za starije, masivne zidove zbog opasnosti od pukotina, pa čak i gubitka stabilnosti zida.

Relativno jednostavan i učinkovit, ali invazivan i skup način obnavljanja DPC-a je injektiranje. Ako u zidu postoje pukotine ili šupljine, one se popunjavaju odgovarajućim mortom za injektiranje ili tekućinom na bazi silikata. Ako zid nema pukotina ili šupljina, odmah se može primijeniti injekcija tekućine ili kreme koja stvara horizontalnu dijafragmu pomoću gravitacijske ili tlačne injekcije.

Potonje se može koristiti samo za zidove visoke mehaničke čvrstoće. Također se može izvesti termo-injektiranje kako bi se ubrzalo sušenje i stvaranje hidrofbne dijafragme. Ono omogućuje sušenje zida od pune opeke do 3% masene vlage dnevno. U povijesnim zgradama preporučaju se minimalno invazivne tehnike. Za jako vlažne zidove, brzo sušenje može biti opasno zbog naprezanja od skupljanja, koje može uzrokovati pucanje, raslojavanje i ljuštenje žbuke, polikroma itd.

Šipke za zaštitu od vlage još su jedna metoda stvaranja DPC-a. Šipke koriste aktivne sastojke slične onima koji se nalaze u tekućim ili kremastim tretmanima za dizanje vlage, ali metoda ugradnje je jednostavno umetanje šipki u rupe odgovarajuće veličine izbušene u mortu.

Međutim prije primjene skupih rješenja koja ozbiljno zadiru u strukturu zgrade, vrijedi razmotriti korištenje **neinvazivnih elektroosmotskih sustava**. Ova se tehnika još uvijek razvija i godinama su je konzervatori tretirali s rezervom. Samo najnovija rješenja, potvrđena tek od nekoliko studija, omogućuju učinkovito i sigurno sušenje zgrade bez zadiranja u njezinu strukturu i uz zanemarivu potrošnju električne energije.⁶⁸

Zidovi podruma i suterena

Kod zidova s niskom razinom vlage i slanosti često je dovoljno ukloniti oštećenu žbuku, osobito ako je cementna i nepropusna. Može je se zamijeniti jeftinom vapneno-pješčanom žbukom ili sanacijskom žbukom koja ima izvrsnu paropropusnost i hidrofbnost. Time se omogućuje sušenje i desalinizacija zidova bez oštećenja. Zbog velike poroznosti sanacijskih žbuka, soli koje kristaliziraju sušenjem zida nakupljaju se u porama žbuke ne uzrokujući cvjetanje na zidovima i oštećenje boja. Za povećanje toplinske izolacije mogu se koristiti toplinske izolacijske žbuke visoke paropropusnosti.

Ako se podrumi i suterena griju, potrebno ih je dodatno zaštititi od prevelikih gubitaka topline. Vanjski zidovi podruma mogu se iznutra obložiti mineralnim termoizolacijskim pločama. One reguliraju vlažnost zraka i mikroklimu unutrašnjosti, a zahvaljujući svojstvima toplinske izolacije smanjuju mogućnost kondenzacije vodene pare na zidovima. Visoka lužnatost i brzo sušenje površine sprečavaju razvoj plijesni. Ako se površina zida boji, potrebno je koristiti boju s visokom paropropusnošću.

Mjera koja prati izolaciju podruma ili suterena mora biti odgovarajuće poboljšanje ventilacije. Podrumi u povijesnim zgradama nisu bili grijani već

68 Ekodocieplenia, *Elektrosmoza – osuszanie budynków z 30 letnią gwarancją*. <https://ekodocieplenia.com/elektroosmoza-osuszanie> (rujan 2021). Aquapol, *Rozwiązanie – Zawilgocenie kapilarne*. <https://www.aquapol.pl> (srpanj 2022).

prirodno ventilirani. Njihova prenamjena u uporabljive, grijane podrumne obično zahtijeva učinkovitu mehaničku ventilaciju. Kada topao, vlažan zrak dođe u dodir s hladnijim zidom, vlaga u zraku se kondenzira na hladnoj površini, čineći zid vlažnim. Vrlo učinkovita ventilacija jedini je način da se unutrašnjost osuši i zaštititi od propadanja.

Podrumi i sutereni

Uporaba izolacijskih podova na tlu prvenstveno ovisi o načinu korištenja prostorija. Ako su namijenjene skladištima tada je izolacija poda nepotrebna, a u slučaju skladištenja hrane ili poljoprivrednih proizvoda čak je i štetna. Potrebno je uzeti u obzir da je izoterma tla ispod zgrade obično oko 8 °C.

Toplinski neizolirani podovi ne smiju se brtviti. Tradicionalni podovi na tlu omogućuju isparavanje viška vlage, što pomaže u održavanju ravnoteže topline i vlažnosti. Stoga je neprihvatljivo koristiti paronepropusne podne materijale, bitumenske brtve, membrane ili ljepila i spojeve na bazi cementa.⁶⁹

U slučaju grijanih prostorija potrebno je razmisliti o toplinskoj izolaciji podova. Preporučljivo je koristiti neupijajuće materijale, npr. kruti ekstrudirani polistiren (XPS) ili njegovu zamjenu s nižim ugljičnim otiskom, npr. izolaciju od recikliranog celularnog stakla koja je kemijski inertna i izdržljiva. Debljina sloja je uobičajeno 12–16 cm, ali mora biti odabrana tako da zadovolji trenutno važeći koeficijent prolaza topline za podove na tlu.

Na tako izoliranom podu može se koristiti podno grijanje koje poboljšava toplinske uvjete prostorija. Preporuča se niskotemperaturno grijanje, osobito u interijerima s vrijednim namještajem. Međutim treba imati na umu da su betonski konstrukcijski elementi koji se koriste s podnim grijanjem kruti i reagiraju na pomake i strukturna naprezanja drugačije od tradicijskih konstrukcija koje karakterizira veća fleksibilnost. To može imati neočekivane i nenamjerne posljedice za održavanje strukturnog integriteta zgrade, stoga se takva rješenja ne preporučaju za uporabu u zaštićenim zgradama⁷⁰.

69 Historic England, Energy efficiency and Historic Buildings: Insulating Flat Roofs, London: English Heritage 2012: 20.

70 The Society for the Protection of Ancient Buildings, *Historic Floors Guidance Note*, London, SPAB 2007. <https://www.spab.org.uk/sites/default/files/documents/MainSociety/Advice/Historic%20Floors%20Guidance%20Note.pdf> (lipanj 2022).

3.2. Vanjski zidovi

Tomasz Jeleński • Tehnološko sveučilište u Krakovu

Cezary Czemplik • Poljsko udruženje za prirodne zgrade

Vanjski zid je građevinski element čija potencijalna modernizacija izaziva najviše kontroverzi i zahtijeva razmatranje različitih aspekata učinkovitosti resursa, ublažavanja klimatskih promjena i prilagodbe te građevinske fizike i potrebe očuvanja estetskih i baštinskih vrijednosti.

U nekim slučajevima najbolje rješenje može biti ostaviti zidove onakvima kakvi jesu ili izvršiti samo potrebne popravke. U drugim slučajevima izolacija zidova može poboljšati tehničko stanje i trajnost zgrade, povećati udobnost i smanjiti potrošnju energije, ali i pridonijeti vraćanju sjaja pročelja, rekonstruirati njegov izvorni izgled.

Zidovi su statistički drugi ili treći element zgrade, nakon ventilacije i eventualno krovova, na kojima nastaju najveći gubici energije. S energetskog stajališta glavni je problem gubitak topline, ali različiti klimatski uvjeti na suprotnoj strani vanjskog zida uzrokuju složene fizikalne procese povezane s migracijom topline i vlage. Vлага i temperaturne razlike su pak uzrok kondenzacije vode na površinama i međustropne kondenzacije unutar zida.⁷¹

Vlaga je najveća prijetnja za zgradu i njezine korisnike. Glavni je uzrok tzv. sindroma bolesne zgrade i fizičke degradacije građevinskih konstrukcija. Povećana vlažnost zida mijenja njegova izolacijska svojstva jer se toplina brže gubi kroz vlažnu ovojnicu. Kada se razmatra konstrukcija zidova i njihovih različitih slojeva, potrebno je raspravljati ne samo o toplinskim

⁷¹ Monczyński, Bartłomiej, *Przyczyny zawilgacania budynków, Izolacje* 1/2020. <https://www.izolacje.com.pl/arttykul/fundamenty/194437,przyczyny-zawilgacania-budynkow> (kolovoz 2021).



Fot. Ana Šenhold

Sl. 12. Neboder u Luginjinoj ulici br. 7–9 u Zagrebu, izgrađen između 1957. i 1960. Projektant je Ivan Vitić – jedan od najznačajnijih hrvatskih arhitekata. Uvrštena je u Registar kulturnih dobara Republike Hrvatske. Energetska obnova zgrade iz 2016./2017. rezultirala je uštedom 68% primarne energije i promjenom energetskog razreda iz “E” u “C”, s godišnjom procijenjenom toplinskom potražnjom od 60.62 kWh/m²

svojstvima, već i o složenijim fenomenima termo-vlažnosti, pri čemu treba obratiti pozornost na migraciju vode ili vodene pare kroz zid, kondenzaciju pare i mogućnost uklanjanje viška vlage.

Drugo temeljno pitanje koje treba razmotriti u kontekstu moguće izolacije vanjskih zidova je fasada, koja osim praktičnih funkcija ima i estetsku, a ponekad i povijesnu vrijednost. U velikom broju slučajeva nije dopušteno zadiranje u izgled i sadržaj pročelja, jer bi se time izgubile njegove oblikovne i/ili baštinske vrijednosti. Stoga se ponekad ne može koristiti optimalna metoda toplinske izolacije, odnosno izolacija izvana (vidjeti poglavlje 3.2.3.). U takvim slučajevima preporuča se usredotočiti na druge elemente zgrade koje treba naknadno opremiti ili razmotriti alternativna rješenja, npr. unutrašnja izolacija i/ili nanošenje termoizolacijske žbuke ili boje koju su odobrili konzervatori. Oni mogu poboljšati fizikalne karakteristike fasade bez značajnije promjene izgleda zgrade.

Izolacija zidova može biti nerazumna, ne samo zbog zaštite baštinskih vrijednosti nego i zbog energetske bilance i ekonomske računicе. To se, primjerice, odnosi na objekte koji se povremeno koriste i na one u kojima je dopušten nedostatak pune toplinske udobnosti (+20 °C), npr. u crkvama, hramovima, izložbenim ili sportskim dvoranama i skladišnim zgradama. Unatoč potencijalnoj izolaciji, početno zagrijavanje njihovih zidova i održavanje ugodne temperature u unutrašnjosti i dalje može zahtijevati veliku količinu energije. Bolje rješenje moglo bi biti pružanje lokalne toplinske udobnosti s pomoću niskotemperaturnih infracrvenih grijaćih panela (IR-C) ili prostirki postavljenih ispod radnih stanica ili klupa (grijanje klupa).⁷²

3.2.1. Zidovi, izolacija i građevinska fizika

Konvekcija, difuzija i kondenzacija vode usko su povezani s izolacijskim svojstvima ovojnice zgrade. Voda u vanjskim zidovima može se pojaviti kao posljedica oborina, kapilarnog izdizanja iz tla kroz temelje, te u obliku pare koja se nalazi u zraku i prodire u konstrukciju zgrade. Najteži zadatak je zaštititi zidove od prodora velike količine vlage u zrak. To se događa uglavnom u jesenskim i zimskim razdobljima.

Kada se zrak ohladi, dio vodene pare koju sadrži pretvara se u vodu (kondenzat vodene pare). To se može dogoditi na hladnim površinama ovojnice zgrade.⁷³ Kondenzat se također može pojaviti unutar zida zbog difuzije pare koja se javlja između različitih slojeva materijala i temperaturnih razlika.⁷⁴ U oba slučaja vlaga uzrokuje različite opasnosti, uključujući razvoj plijesni.

Prilikom projektiranja ovojnice zgrade koristi se nekoliko fizikalnih faktora koji opisuju toplinsku vodljivost, toplinski otpor i otpor difuzije.

- ◆ λ (lambda) [W/(m·K)] – označava karakteristiku toplinske vodljivosti za svaki građevni materijal. Niska vrijednost λ znači nisku toplinsku vodljivost i mogućnost dobivanja relativno visokog toplinskog otpora.
- ◆ $R = d/\lambda$ [(m²·K)/W] – označava toplinski otpor koji je proporcionalan debljini sloja građevne komponente (kao što je zid) i obrnuto proporcionalan njegovoj vodljivosti. Što je manja vrijednost toplinske vodljivosti

72 U slučaju zaštićenih zgrada potrebno je obratiti pozornost na zaštitu povijesne supstance zgrade i namještaja od lokalnog pregrijavanja koje može proizvesti dimenzionalna naprezanja čiji kumulativni učinci mogu dovesti do mehaničkih oštećenja. Međutim niskotemperaturno grijanje zračenjem je relativno bezopasno i za razliku od konvektijskog grijanja ne povećava rizik od pojačane vlažnosti u unutrašnjosti (vidjeti poglavlje 3.7.2.).

73 Pri visokoj vlažnosti zraka opasnost od pojave plijesni javlja se i prije pojave kondenzata. Za procjenu utjecaja vlažnosti zraka na procese kondenzacije vode i razvoja plijesni koristi se parametar relativne vlažnosti.

74 „Intersticijska kondenzacija može nastati kada se vlaga nakuplja unutar pora materijala ili kada se para koja migrira kroz ovojnici susreće sa slojevima na temperaturi koja je niža od točke rosišta.“ Brambilla, Arianna, Alberto Sangiorgio, 3 – *Durability, condensation assessment and prevention*, [u] Brambilla, Arianna, Alberto Sangiorgio (ur.), Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Moisture and Buildings, Woodhead Publishing, 2021, DOI: 10.1016/B978-0-12-821097-0.00006-0, 27–62.

građevinskog elementa (λ) i što je veća debljina sloja (d), veći je toplinski otpor elementa. U građevinskim elementima koji se sastoje od nekoliko slojeva, toplinski otpori pojedinih slojeva se zbrajaju.

- **$U = 1/\Sigma R$ [$W/(m^2 \cdot K)$]** – ukupan koeficijent prijenosa topline, poznat kao U-faktor, označava količinu energije koja prodire kroz element u odnosu na površinu elementa i temperaturnu razliku na obje strane. Za zgrade koje nisu zaštićene, a koje se obnavljaju ili prilagođavaju novoj namjeni, potrebno je podići U-vrijednost vanjskih zidova na standard modernih građevinskih propisa ($U = 0,15 W/(m^2 \cdot K)$). To bi također trebala biti ciljana vrijednost u slučaju nadogradnje za koju nije potrebna građevinska dozvola.
- **μ** (bezdimenzionalno) – faktor otpora difuzije vodene pare koji određuje difuzivnost, tj. kretanje vodene pare u materijalu kao rezultat temperaturne razlike.
- **$sd = \mu \cdot d$ [m]** – faktor difuzijske otpornosti određuje otpornost na difuziju građevinskih materijala, membrana i premaza boje s određenom μ -vrijednošću i debljinom sloja (d).

Difuzijski nepropusni zid je barijera u koju vodena para ne može difundirati, a raspored njezinih slojeva osigurava da nije ugrožena unutarnjom kondenzacijom pri niskim temperaturama. Difuzijska nepropusnost, odnosno sposobnost ograničavanja prodiranja pare kroz ovojnicu zgrade, od presudne je važnosti u nekim od suvremenih strategija toplinske izolacije novih i rekonstruiranih zgrada, posebice pri projektiranju i izvedbi toplinske izolacije s unutrašnje strane.

U povijesnim zgradama korištena je suprotna strategija. **Difuzijski otvorene / kapilarno aktivne** ovojnice (popularno poznate kao „prozračne“) pružaju minimalnu otpornost na paru. Difuzijska otvorenost omogućuje da višak vlage izađe izvan zida, sprečavajući vlagu i biološku koroziju. Difuzijska otvorenost karakterizira većinu tradicijskih konstrukcija izoliranih drvom i prirodnim vlaknima pomiješanim s vapnom ili glinom.

Drugi važan parametar koji opisuje svojstva ovojnice zgrade je **zrakonepropusnost (nepropusnot na zrak)**, izražena koeficijentom n_{50} . Tehnički i građevinski propisi sadrže sljedeće preporuke u pogledu zrakonepropusnosti zgrade:⁷⁵

- zgrada s prirodnom ili hibridnom ventilacijom: $n_{50} \leq 3,0 h^{-1}$
- zgrada s mehaničkom ventilacijom ili klimatizacijom: $n_{50} \leq 1,5 h^{-1}$

Osiguranje zrakonepropusnosti ovojnice prvenstveno je uvjet za učinkovito korištenje ventilacijskih sustava s rekuperacijom (detaljnije opisano u poglavlju 3.6.2.). Preporuča se da ovaj parametar dosegne još niže vrijednosti: $n_{50} = 0,5-1$ kada se provodi provjera razine propuštanja zraka (test vrata s ventilatorom).⁷⁶ Prilagodba zidova na takvu razinu zrakonepropusnosti zahtijeva otklanjanje propuštanja zraka oko prozora i vrata te izolaciju tehničkih propusta.

Ispitivanje vrata s puhanjem potrebno je izvršiti nakon brtvljenja stolarije i prije toplinske izolacije zidova. To će omogućiti prepoznavanje propuštanja zraka u postojećoj strukturi zgrade. Drugo ispitivanje koje se provodi nakon

75 Ministerstwo Rozwoju, *Szczelność dyfuzyjna, Budowlane ABC*, <https://budowlaneabc.gov.pl/charakterystyka-energetyczna-budynkow/informacje-poradnik/okreslenie-oplaczalnych-sposobow-poprawy-efektywnosci-energetycznej-wlasosciowych-dla-typow-budynkow/szczelnosc-dyfuzyjna/> (srpanj 2021).

76 Cilj ispitivanja je istražiti koliko je zgrada propusna za infiltraciju zraka. Kako bi se izvršila ova procjena, zgradu se podvrgava kontroliranim razlikama tlaka i temperature.

izolacije zidova pomoći će u određivanju preciznosti izolacije, što je posebno važno kod difuzijski zatvorene unutarnje izolacije.

Rezultat ispitivanja također je element procjene energetske učinkovitosti zgrade nakon toplinske rekonstrukcije. Može se kombinirati s infracrvenom termografijom i ručnim mjerenjima s anemometrima kako bi se utvrdilo točno mjesto propuštanja zraka.⁷⁷

Zrakonepropusnost zgrade usko je povezana s toplinskom izolacijom, ali nije uvijek neophodna. Neke strategije toplinske nadogradnje zahtijevaju visoku nepropusnost koja mora biti povezana s mehaničkom ventilacijom s povratom topline. To se, primjerice, odnosi na standard *Pasivne kuće* (15 kWh/m²) i njegov ekvivalent za povijesne zgrade – EnerPHit (*Energetska rekonstrukcija s komponentama pasivne kuće*) (25 kWh/m²)⁷⁸. Međutim treba napomenuti da je ovo samo jedna od metoda toplinske nadogradnje i da dobro toplinski izolirana zgrada ne mora nužno biti zrakonepropusna (osobito kada je prirodno ventilirana), a vrlo zrakonepropusna zgrada može gubiti energiju bez odgovarajuće toplinske izolacije svoje ovojnice.

3.2.2. Materijali za zidove

Izbor načina izolacije zidova ovisi o materijalima od kojih je izgrađen. Većina povijesnih zgrada u Poljskoj ima zidove od opeke (83,43%). Svaka deseta zgrada izgrađena je od drveta i ima konstrukciju od balvana (9,44%) ili drvenu konstrukciju ispunjenu raznim materijalima (1,85%). Oko 3% zgrada čine kamene građevine. Preostale građevine skrivaju ispod sloja žbuke razne strukture, od betona i silikata do zemlje i čerpiča ili opeke. Glina u zidovima obično se kombinira sa slamom ili drvenom ivericom kako bi se povećala toplinska izolacija.⁷⁹

Svojstva zidova koja određuju gubitke energije i toplinsku udobnost u interijerima proizlaze iz izolacijskih svojstava materijala i tehnoloških rješenja. Lagani, porozni i vlaknasti materijali obično se odlikuju boljom toplinskom izolacijom (niska vrijednost λ). To je zbog zraka sadržanog u njihovoj strukturi koji je dobar izolator. Teške materijale poput kamena ili keramičke i silikatne opeke karakterizira veća toplinska vodljivost (veća vrijednost λ), što rezultira većim gubicima energije.

Neizolirano žiđe omogućuje brži prijenos topline prema van, pa zrači relativno velike količine energije u okolinu, ali može akumulirati energiju i u svojoj masi. Visok toplinski kapacitet žida stabilizira unutrašnju klimu, što je vrlo poželjno svojstvo jer smanjuje potrebu za hlađenjem interijera ljeti. Teški zidni materijali (veće specifične mase) imaju i druge prednosti, poput visoke tlačne čvrstoće i veće sposobnosti apsorpcije zvuka.

Budući da je toplinski otpor zida (R) proporcionalan njegovoj debljini (d) i obrnuto proporcionalan njegovoj toplinskoj vodljivosti (λ), postizanje dobrih toplinskih svojstava u zidu bez dodatnih izolacijskih slojeva zahtijeva vrlo debele zidove i veliku količinu energije za predgrijavanje zgrade u jesensko-zimskoj sezoni. Danas je vrlo neobično graditi dovoljno debele zidove da se postigne dobra energetska učinkovitost, ali sve je više dokaza da razine

77 Troi, Alexandra, Zeno Bastian (ur.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015.

78 3encult, *Efficient Energy for EU Cultural Heritage*, Funded within FP7, GA No. 260162. <https://www.3encult.eu/en/project/welcome/default.html> (kolovoz 2021).

79 Rozbicka, Małgorzata (ur.), *Raport o stanie zachowania zabytków nieruchomych w Polsce: Zabytki wpisane do rejestru zabytków (księgi rejestru A i C)*, NID, Warszawa 2017.

energetske učinkovitosti tradicijskih zgrada, npr. europskih javnih zgrada prije 1890. godine, mogu biti vrlo visoke i barem odgovarati, a ponekad i premašiti, neke tehnološki najsofisticiranije moderne zgrade.⁸⁰ Jedan od razloga je i taj što tradicijske zgrade ne moraju biti klimatizirane.

Za postizanje najboljih konstrukcijskih i toplinskih parametara vanjskih zidova upotrebljene su različite tehnologije višeslojnih zidova. Tradicijska izolacija zgrada od opeke nekada je imala oblik ventiliranog šupljeg prostora (šupljine) između dva sloja zida. Njegova glavna funkcija bila je smanjiti prolaz vlage u unutrašnjost zgrade. Voda se odvodi kroz otvore (rupe) za ispuštanje na dnu šupljine i iznad prozora. Rupe za ispuštanje također dopuštaju vjetru da stvori struju zraka kroz šupljinu koja prenosi vlagu iz šupljine prema van.⁸¹ Učinkovitost stijenke dvostrukog zida u smanjenju gubitka topline je niska zbog konvekcije zraka u šupljini. Štoviše, u slučaju poremećene izmjene zraka ili punjenja zračnog prostora neodgovarajućim izolacijskim materijalom, šupljina može postati mjesto za kondenzaciju vlage.

Najčešće korištena vrsta izoliranog zida trenutačno je troslojni zid, čiji je toplinski izolacijski sloj od ventilacijske šupljine odvojen paropropusnom membranom i dvoslojni zid koji omogućuje optimalnu kombinaciju fizikalnih svojstava (prednost) od teških materijala (s visokim λ , ali s vrlo dobrim svojstvima nosivosti i akustične izolacije) i lakih (toplinsko izolacijskih) materijala. Ključna odluka je mjesto i materijal izolacijskog sloja.

3.2.3. Položaj sloja toplinske izolacije

Iako izolacija s unutrašnje strane omogućava očuvanje izvornog izgleda fasade, ona mijenja oblik interijera i smanjuje korisnu površinu. Još jedan značajan nedostatak unutrašnje toplinske izolacije mogao bi biti zapreka protoka topline iz unutrašnjosti prema vanjskim slojevima zida u tolikoj mjeri da fasadu čini osjetljivom na smrzavanje (vidjeti više u poglavljima 3.2.8. i 3.4.).

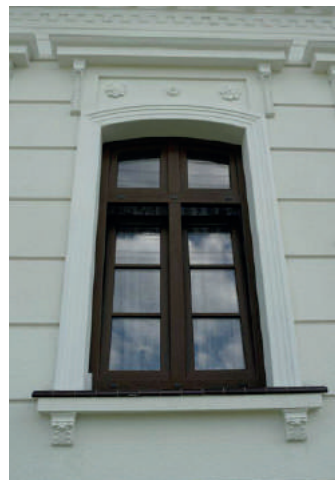
Prema građevinskoj fizici, vanjska toplinska izolacija je bolji izbor jer štiti izvorni zid od oborinskih voda i smrzavanja, smanjuje temperaturne oscilacije, a time i opasnost od kondenzacije vlage u zidu. S toplinskom izolacijom izvana također je lakše osigurati nepropusnost izolacije. Stoga se iza vanjskog izolacijskog sloja izvorna struktura može dobro zaštititi od vlage, mraza i toplinskog naprezanja. Ova vrsta izolacije također omogućava očuvanje izvornih interijera.

Međutim strategije nadogradnje uz korištenje općenito dostupnih vanjskih izolacijskih sustava mogu naići na ograničenja koja proizlaze iz estetskih razloga ili očuvanja baštine. Treba zaštititi izvorne proporcije fasade i njezinih elemenata kao što su arhitektonski ukrasi, freske i grafiti, izvorna žbuka ili ziđe i spojnice ispunjene mortom. Zbog toga zahvati poput vanjske izolacije nisu mogući u većini slučajeva zaštićenih građevina i u zaštićenim područjima. Ako uzvišenje nije vidljivo iz javnog prostora i nema posebnu arhitektonsku vrijednost, konzervatori mogu dopustiti vanjsku izolaciju, ali je važna reverzibilnost njezine primjene, stoga se prednost daje materijalima kao što su suha celuloza/drvena vlakna i ljepilo na bazi gline.

80 CHCfE Consortium, *Cultural Heritage Counts for Europe: Full Report*, International Cultural Centre, Krakov 2015. <http://blogs.encatc.org/culturalheritagecountsforeurope/outcomes> (kolovoz 2021).

81 Matthys, John H., *Masonry: components to assemblages*, ASTM, Philadelphia 1990.

Fot. Jacek Przetakiewicz



Fot. Jacek Przetakiewicz

Sl. 13. Rekonstrukcija povijesne fasade polistirenskim profilima.

Što se tiče povijesnih građevina bez baštinskih vrijednosti, uvijek treba uzeti u obzir vanjsku izolaciju. Mogu se pronaći rješenja za postavljanje vanjske izolacije (koja povećava debljinu zida) uz zadržavanje izvornih proporcija fasade. Kako bi zadržali izvorna prozorska udubljenja i njihove vidljive dimenzije, prozore je potrebno pomaknuti prema van onoliko koliko je debljina nanese izolacije. Takvo premještanje prozora također povećava količinu svjetlosti koja dopire u unutrašnjost i pomaže pri smanjenju toplinskih mostova jer je u novom položaju prozor ugrađen u izolacijski sloj. Za rekonstrukciju izgubljenog karaktera povijesne fasade (npr. na zgradama kojima su odstranjeni ukrasi u 20. stoljeću), vjerne originalne replike ukrasnih elemenata mogu se izraditi u tradicijskoj tehnici štukature (najpreporučljivije) ili alternativno u 3D printanju ili polistirenu i montirati na izolacijski sloj (sl. 13.).⁸²

82 PPHU STYRO Jacek Przetakiewicz, *Sztukateria styropianowa na ścianę*, Lider budowlany. <https://www.liderbudowlany.pl/arttykul/wyposazenie-wnetrz/sztukateria/sztukateria-styropianowa-na-sciane> (srpanj 2021).

3.2.4. Izolacijski materijali i difuzija pare

Za tehnički prikladan izbor izolacijskih materijala važno je prvo definirati strukturu postojećeg zida i procijeniti njegovu paropropusnost (zbroy difuzijskih otpora svih njegovih slojeva). Vлага će prodrijeti na mjesta s relativno najmanjim otporom difuzije, npr. kroz vapneni mort ili nedovoljnu izolaciju oko prozora.

Za zidove s većim otporom na difuziju, npr. zidove od betona, ožbukane cementom ili obložene klinker opekama na cementno-vapnenom mortu, moguće je koristiti izolaciju s većim otporom na difuziju. Za zidove od difuzijski otvorenijih materijala, npr. drvo, silikati, glina ili vapno, potrebno je koristiti izolacijske sustave s manjim otporom na difuziju, ali osiguravajući hidrofobnost vanjskih završnih slojeva, koji će štititi zid od prodiranja vlage.

Raspodjelu vlage u zidu treba analizirati u skladu s normom ISO-13788-2003 ili naprednijim numeričkim metodama.⁸³ S pomoću njih određuju se rizici od kondenzacije unutar zida s obzirom na tokove koji nastaju zbog razlika tlaka

83 Za simulacijsko vrednovanje zidova potrebni su prošireni podaci o fizičkim karakteristikama materijala. Fraunhofer IBP, WUFI-Materialmessung EN. <https://wufi.de/de/service/downloads> (srpanj 2021).

i temperature. Na temelju toga moguće je proračunati vrijeme isparavanja vlage i rizik od njezinog dugotrajnog nakupljanja.

Za organske materijale može se odrediti rizik od razvoja plijesni i gljivica (npr. s pomoću softvera WUFI® Mould).⁸⁴ U praksi je taj rizik najveći u slučaju početne vlage i u razdoblju isparavanja vlage nakon građevinskih radova, a zatim u jesenskom i proljetnom razdoblju, posebice u slučaju povećane vlažnosti materijala nakon zimskog razdoblja.

Vrijedi osigurati da odabrane izolacijske tehnologije omogućuju uklanjanje vlage iz izoliranih zidova. S obzirom na eventualnu vlagu u zidu trebalo bi odlučiti o izboru difuzijsko otvorenih / kapilarno aktivnih materijala koji (nakon uklanjanja izvora vlage i osiguravanja odgovarajuće ventilacije) omogućuju smanjenje razine vlage u zidovima. Međutim uvijek treba pokušati ukloniti višak vlage prije postavljanja izolacije.

Što se tiče uvjeta koji pogoduju stvaranju gljivica na unutarnjim površinama, oni ne ovise samo o izolacijskom materijalu nego prvenstveno o učinkovitosti ventilacije. Česta pogreška je pokušaj sušenja zidova samo zagrijavanjem unutrašnjosti bez aktivnog uklanjanja vlage provjetranjem. Nužna je učinkovita ventilacija, a često je potrebno dodatno pojačati cirkulaciju zraka s pomoću ventilatora ili profesionalnih sušilica zraka.

84 Vereecken, Evy, Staf Roels, *Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation*, Building Physics Section, Building and Environment, Vol. 51, May 2012: 296–310.

3.2.5. Priprema zida za toplinsku izolaciju

Prije nanošenja izolacijskog sloja (iznutra ili izvana), zidove treba zaštititi od prodora vode:

- na mjestima spajanja različitih elemenata fasade, kao što su strehe, oluci, slivnici, balkoni i prozorske klupice,
- od temelja (ispravnom odvodnjom oborinskih voda, povećanom evapotranspiracijom, te kao krajnje rješenje primjenom horizontalnog vlagootpornog sloja (DPC) ako se nastavi kapilarno dizanje – vidjeti poglavlje 3.1.7.).

To je osobito važno kod unutrašnje izolacije zbog povećane opasnosti od smrzavanja vanjskih slojeva kote. Smrzavanje čestica vode unutar zida može uzrokovati mikrooštećenja koja dovode do razaranja žbuke i morta za zidanje, pa čak i oštećenja keramičkih i kamenih fasada. Stoga se istovremeno s unutrašnjom izolacijom preporuča temeljita sanacija fasade. Mogu se koristiti visokokvalitetni proizvodi za impregnaciju i hidrofovizaciju fasada koji ih štite od prodora kišnice, a istovremeno omogućuju migraciju vlage sa zida i njezino isparavanje.

Postojeći zidovi, uključujući i slojeve žbuke, moraju biti konstrukcijski stabilni, bez pukotina kroz koje prodiru toplina i vlaga. Za fasade zakrivljene i nepravilne teksture potrebno je odabrati rješenje koje neće ostaviti praznine između starih i novih slojeva izoliranog zida.

Jednako važno pitanje je identifikacija strukture postojećeg zida. Kod zida posebnu pozornost treba obratiti na moguću prisutnost šupljine. Prilikom rekonstrukcije dvostrukog zida potrebno je voditi računa o **otvorima za ispuštanje zraka koji omogućavaju izmjenu zraka**. Struja zraka kroz

85 Podwysocka, Zuzanna, *Pozbądź się pustki!, Ocieplenie ścian szczelinowych*, Murator 5/2018. https://miesiecznik.murator.pl/budowa/pozbadz-sie-pustki_4128.html (srpanj 2021).

šuplinu neophodna je kako bi se izbjegla kondenzacija vlage. Ispunjavanje dvostrukog zida izolacijom od vlaknaste ili granulatne strukture koja se upuhuje u zračni prostor može značajno smanjiti gubitak topline, ali izolacijski materijal se mora pažljivo odabrati kako ne bi utjecao na „disanje“ zida. Materijali koje preporučuju stručnjaci uključuju celulozu, hidrofovizirani perlit i „zelenu“ (niski ugljični otisak) poliuretansku pjenu s odgođenom reakcijom pjenjenja.⁸⁵

Drvene zgrade nekada su se premazivale bojama različitih svojstava. Prije termičke naknadne instalacije važno je **ukloniti premaze koji ograničavaju difuziju** i zaštititi drvo fungicidnim i insekticidnim zaštitnim sredstvima.

Zasebno pitanje je ispunjavanje požarnih zahtjeva konstrukcije. Ponekad je potrebno osigurati drvenu fasadu na razred vatrootpornosti, što je problematično za ventilirane zidove. Prikladna sredstva obično stvaraju sloj koji smanjuje difuziju. Ovaj problem je karakterističan posebno za poljsko tržište zbog nacionalne specifičnosti procjene požarne kvalifikacije bez širenja požara, što ograničava uporabu boja priznatih u inozemstvu, koje nemaju nacionalni atest za specifične fasadne sustave.

3.2.6. Vanjska izolacija

Vanjsku toplinsku izolaciju potrebno je postaviti na cijelu fasadu. Ostavljanje otkrivenih fragmenata, npr. zbog postojećih ukrasa, ne samo da deformira fasadu već dovodi i do stvaranja toplinskih mostova, povećavajući prijenos topline i vlage kroz otkrivene fragmente.

Jednako je važno, posebno za izolaciju mineralnom vunom, osigurati zrakonepropusnost zidova s unutrašnje strane te vjetronepropusnost s vanjske strane. U slučaju stalne infiltracije vanjskog zraka, temperatura unutar sloja može se smanjiti, što može dovesti do kondenzacije vode. Zaštita od vjetra postiže se vanjskim membranama ili sustavima nepropusnih žbuka, uz vođenje računa o nepropusnosti ugradnje prozora i vrata (vidjeti poglavlje 3.3.3.).

Lagano-mokra metoda: kompozitni sustavi vanjske toplinske izolacije (ETICS)

ETICS je trenutačno najpopularnija metoda izolacije zidova. Na tržištu su dostupni različiti sustavi koji se sastoje od slojeva izolacije, dijelova za montažu, armature i završnih elemenata. Svojstva pojedinog sustava ovise o izolaciji, ljepilima i žbukama koji se u njemu upotrebljavaju. Stoga pri odabiru sustava treba obratiti pozornost na:

- ♦ vrijednost toplinske vodljivosti (λ),
- ♦ volumetrijsku gustoću mase,
- ♦ sposobnost apsorpcije zvuka,
- ♦ otpornost na vodenu paru (μ -vrijednost),
- ♦ osjetljivost na biološke i kemijske čimbenike,
- ♦ ocjenu otpornosti na požar

Za toplinsku izolaciju povijesnih zgrada općenito su prikladniji kapilarno aktivni sustavi s nižim otporom na paru (μ). Veća gustoća izolacijskog materijala označava njegovu bolju sposobnost apsorpcije zvuka i kapacitet skladištenja energije. Važna svojstva su i sposobnost sušenja (oslobađanje vlage) te razina vlažnosti pri kojoj materijal gubi svojstva toplinske izolacije. Primjerice neke mineralne vune gube velik dio svojih izolacijskih svojstava na razini od 2% masenog udjela vlage, dok drvo, celuloza ili ovčja vuna zadržavaju toplinsko izolacijska svojstva i pri većoj vlažnosti. Ovi materijali, zbog svojeg prirodnog podrijetla, imaju i puno manji ugljični otisak.

Izolacije na bazi drva ili drugih biljnih materijala smanjuju ugljični otisak zgrade jer akumuliraju atmosferski ugljik u svojoj masi. Preporučuju se osobito, ali ne isključivo, za izolaciju drveta i drugih tradicijskih građevina s glinom i vapnencem. Zahtijevaju uporabu difuzijskih otvorenih vanjskih slojeva (žbuke, završnih premaza, boje). Sustavi žbuke namijenjeni organskoj vanjskoj izolaciji moraju imati visoku paropropusnost i biti vodootporni.

Dakle ako se ne koriste sustavna rješenja, svi sljedeći slojevi trebaju biti pravilno odabrani, jer će svaki sloj utjecati na sposobnost isparavanja viška vlage sa zida. Premazi s najmanjim otporom na difuziju uključuju mineralne silikatne žbuke, na koje treba upotrijebiti boje s jednako niskim otporom na difuziju. To se odnosi i na obnovu već izoliranih zgrada.

Pogreške u kombinaciji otvorenih difuzijskih žbuka sa završnim slojem s većim otporom na difuziju mogu rezultirati nakupljanjem vlage u slojevima žbuke, njihovim smrzavanjem i bržom degradacijom (smanjenjem svojstava). Također treba napomenuti da kao što toplota prodire u mjesta s najmanjim toplinskim otporom, tako će i vlaga (u struji toplog zraka) brzo prodrijeti u svaki zračni otvor.

Vizualni učinak zidne izolacije u velikoj mjeri ovisi i o vrsti žbuke ili boje. Karakteriziraju ih vrlo različiti parametri, ne samo u pogledu otpornosti na difuziju, već i na otpornost na udar, strukturu, teksturu i refleksiju svjetlosti.⁸⁶ Ponekad mogu imati posebna svojstva kao što su ograničavanje rasta algi i mahovine, samočišćenje, pa čak i razgradnje zagađivača zraka kao što su dušikovi oksidi (NO_x).

Prilikom izolacije fasada povijesnih zgrada treba imati na umu nužnu reverzibilnost svih rješenja. Kapilarna aktivna izolacija pričvršćena ljepilom na bazi gline omogućava uklanjanje izolacije bez ostataka ako to bude bilo potrebno u budućnosti.

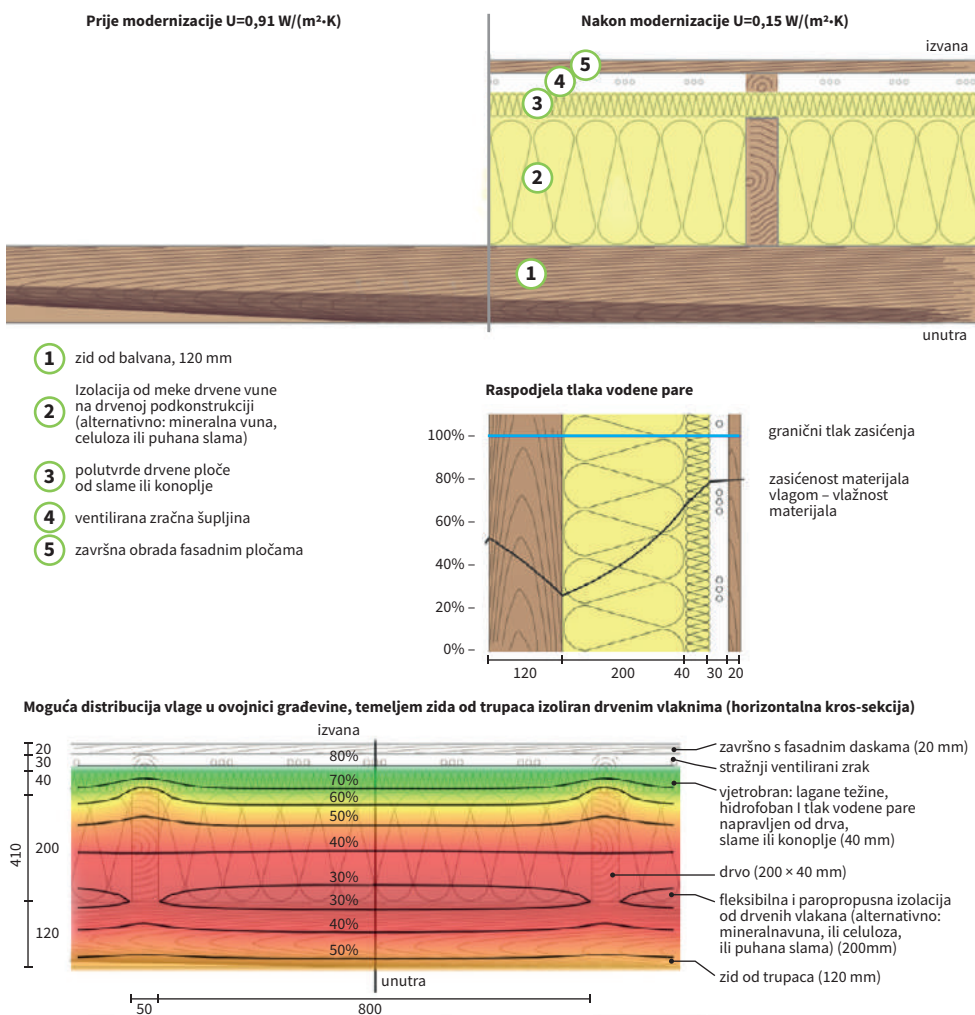
Za posebne primjene mogu se uzeti u obzir proizvodi s određenim svojstvima, npr.:

- vatrootporne vapnenačke silikatne ploče s povećanom otpornošću na pasivni požar;
- ploče resol, XPS i ploče od poliuretanske pjene s visokim termoizolacijskim svojstvima;
- ploče od pjenastog stakla za zaustavljanje kapilarnog dizanja u zidovima;
- aerogel izolacije – kapilarno aktivne, svjetlopropusne, niske toplinske vodljivosti $\lambda = 0,012\text{--}0,030 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ za primjenu, npr. kod obrade detalja prozora i za sprečavanje drugih toplinskih mostova.

86 Chłędziński, Sławomir, Sławomir Zalewski, *Farby elewacyjne – rodzaje, właściwości i zastosowanie, Izolacje 3/2010*. <https://www.izolacje.com.pl/arttykul/sciany-stropy/155410,farby-elewacyjne-rodzaje-wlasciwosci-i-zastosowanie> (rujan 2021).

Lagano-suha metoda: zidovi s ventiliranom šupljinom

Lagano-suha vanjska izolacija odnosi se na tradicijske fasadne tehnike s vanjskom stranom) ili oblogom. Trenutačno rješenje sastoji se od dodavanja sloja difuzno otvorenog izolacijskog materijala: mineralne vune ili manje popularnih, ali vrijednih proizvoda od konoplje, lana, celuloznih vlakana ili meke drvene vune. Zaštita od vjetra i ventilirani zračni raspor važni su između izolacijskog sloja i vanjske strane ili obloge. Jamče zrakonepropusnost zida i smanjuju prijenos vlage iz okoline na izolacijski sloj uz zadržavanje mogućnosti isparavanja vlage iz izoliranog zida (sl.9.). Neophodna je osobito



Sl. 14. Toplinska izolacija drvene zgrade s tehnologijama karakterističnim za difuzijski otvorenu okvirnu konstrukciju. Osim što poboljšava izolaciju, smanjuje vlagu u postojećoj konstrukciji i održava građevinske slojeve na temperaturama iznad 0°C .⁸⁷

87 Ilustracija je preuzeta iz U-wert.net, Ubakus, www.ubakus.de (srpanj 2021).

u slučaju zidova od materijala s niskom otpornošću na difuziju, kao što je drvo ili polovične građe od gline, drveni zidovi s glinom, vapnenac ili čerpič.

Postizanje željenih svojstava zida s ventiliranom šupljinom zahtijeva korištenje materijala s kontroliranom otpornošću na difuziju također u detaljima, npr. oko stolarije. Najsigurnije rješenje su trake od ekspanzivne pjene, ovčje vune, lanene vune ili vlakna konoplje, koje zamjenjuju popularne materijale na bazi poliuretana.

Kod lagano-suhe metode također se može koristiti puhana i prskana izolacija – posebno se preporučuje za izolaciju zidova s nepravilnim površinama. Alternativa popularnim materijalima za puhanu izolaciju kao što su mineralna vuna i celuloza mogu biti drvena vuna ili vlakna od slame. Biološku otpornost na koroziju organske izolacije jamče netoksični impregnati: natrijev amonijak ili borna kiselina. Prilikom odabira proizvođača vrijedi obratiti pažnju na razred slijezanja materijala (S za mineralnu vunu i SH za celulozu) koji odgovara graničnoj mogućnosti slijezanja u 50 godina uporabe.

Osim drva kao vanjske obloge modernih zgrada mogu se upotrijebiti i drugi materijali s relativno niskim ugljičnim otiskom: gips-vlaknaste ploče za vanjsku uporabu i lignocelulozne ploče na bazi tvrdog drva ili one na bazi slame i drugih jednogodišnjih biljnih vlakana. U ovu skupinu fasadnih proizvoda ubrajaju se, na primjer neki od visokotlačnih laminata (HPL) koji se sastoje od slojeva papira impregniranog termoreaktivnim smolama. Neki proizvođači jamče da se materijal sastoji od 30% netoksičnih smola i gotovo 70% drveta pretvorenog u papir – prirodni materijal koji pohranjuje ugljik.

3.2.7. Tehnike toplinske izolacije u prirodnoj gradnji

Tehnologije koje nazivamo prirodnima temelje se na minimalno obrađenim organskim sirovinama koje se kombiniraju s materijalima na bazi gline ili vapna s niskim otporom na difuziju. Pokret za prirodnu gradnju ima za cilj minimizirati negativan ekološki utjecaj, stvarajući zdrav životni okoliš i održavajući kvalitetu zraka u zatvorenom prostoru. To je sredstvo za stvaranje organskih inovacija odozdo prema gore koje se, uz rastuću popularnost, učinkovito koriste i u certificiranim proizvodima koji se mogu koristiti u obnovi javnih zgrada ili stambenih zgrada kojima upravljaju javni subjekti.

Organski građevni materijali imaju nekoliko osnovnih svojstava poželjnih za zaštitu klime: nema potrebe za termičkom obradom, akumulacijom CO₂ u materiji, a njihov resurs se brzo obnavlja. One su niske energije i ugljika (često s negativnim ugljičnim otiskom) jer se temelje na neprerađenoj organskoj tvari. Slama i konoplja mogu se dobiti kao poljoprivredni otpad. Oni se kombiniraju s lokalno dostupnim vapnom ili glinom. Kombinacija organskih materijala s vapnenim i glinenim mortovima moguća je zbog njihove male otpornosti na difuziju i visokog kapaciteta vlage, čime se osigurava odsustvo kondenzacije izvan strukture materijala.

Trajnost organskih materijala potvrđuje stoljetna tradicija njihove uporabe u teškim klimatskim uvjetima. Slama i drugi organski materijali tradicionalno

88 Brzyski, Przemysław, *Historia. Budynki z konopii*, <http://budynkizkonopi.pl/technologie-budowy/historia> (srpanj 2021)

89 Gruber, Herbert, Helmuth Santler, BuildStrawPro-Team, STEP, *Strawbale building Training for European Professionals – U4 Handbuch Wrapping*, ASBN – Austrian Strawbale Network 2017. https://issuu.com/herbertgruber/docs/u4-handbuch-de-web_48699ea3f6068c (srpanj 2021).

su se koristili za punjenje drvenih konstrukcija kako bi se postigla dobra toplinska svojstva. Užad obložena glinenom žbukom osiguravala je nepropusnost zidova od drva, slame, gline, s vapnenim završnim obradama. Već početkom 20. stoljeća u profesionalnoj primjeni uočen je potencijal organskih izolacijskih materijala u obliku strojno rezane slame, a 1980-ih i zgrada od konoplje.⁸⁸ Postoje necertificirana rješenja koja dopuštaju korištenje ovih materijala u neprerađenom obliku za toplinsku izolaciju u obiteljskim kućama, kao proizvod za jediničnu namjenu.⁸⁹

Za izolaciju prskanjem, popularna alternativa pjenama je celuloza proizvedena od otpadnog papira ili konoplje s hidrauličnim vapnom koji pružaju veću otpornost na vlagu i biološke agense, s boljim izolacijskim svojstvima ($\lambda = 0,066 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) od konopljinog betona (beton od konoplje/hemoplit) izrađene u oplati ($\lambda = 0,08 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$). Slične karakteristike ima i takozvana armenska žbuka na bazi drvene strugotine, cementa, vapna ili gline. Ovi se materijali mogu koristiti i u unutrašnjosti.

Materijali na bazi prirodnih organskih resursa, uključujući i reciklirane, koji su ušli u širu proizvodnju i distribuciju uključuju:

- ◆ izolaciju od ovčje vune u obliku mekih ploča, kao i užad koja se upotrebljava za detalje, npr. pri montaži stolarije;
- ◆ izolaciju od prirodnog pluta;
- ◆ izolaciju ploča od slame u drvenoj konstrukciji;
- ◆ pamučne prostirke od recikliranog traperu;
- ◆ izolaciju od slame;
- ◆ listove konoplje (vlakna i šiške);
- ◆ meku izolaciju od konoplje ($\lambda = 0,04 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) – kao alternativu drvenoj i mineralnoj vuni;
- ◆ prostirke od slame i trske.

Kao vanjski završni sloj izolacije od prirodnih materijala upotrebljavaju se:

- ◆ tradicijske glinene žbuke zaštićene nano-silikatnim ili kazeinskim bojama;
- ◆ mješavine slojevite glinene žbuke s dodatkom plutajućeg vapna, koje ne zahtijevaju premaze bojom;
- ◆ tradicijske vapneno-pješčane žbuke nanese u slojevima s mogućim dodacima, npr. obojene u masi.

Individualni se karakter zgradama može dati korištenjem disperzijsko-silikatnih boja ili zanatskih boja namijenjenih prirodnoj gradnji, koje su obično bez biocidnih aditiva. Tradicijska zanatska rješenja omogućuju vraćanje karakterističnog „povijesnog“ izgleda ručno nanesenih žbuka.

3.2.8. Vanjske i unutrašnje izolacijske žbuke

Povoljna su rješenja za zidove, koji se ne mogu izolirati debelim izolacijskim slojevima, izolacijske žbuke na bazi perlita, vermikulita, ekspandirane gline, piljevine ili polistirena, najčešće vezane vapnenom žbukom i stabilizirane cementom. Njihova je toplinska izolacija lošija od klasičnih izolacijskih materijala, ali su takve žbuke difuzijski otvorene ($\mu \leq 7-10$) i mogu se upotrebljavati u slojevima debljine od 1 cm do 6 cm. To im omogućuje upotrebu na zgradama baštine pri restauraciji povijesnih fasada bez povećanja volumena dodatnim slojem izolacije. Također se mogu tretirati kao dopuna izolacijskom kontinuitetu, ograničavajući pojavu toplinskih mostova. Zahvaljujući plastičnosti i mogućnosti variranja debljine materijala, moguće je referirati se na povijesni izgled građevine i to ručno rađenu žbuku ili rustiku.

Izolacijske žbuke zimi povećavaju temperaturu postojećih zidova, sprečavajući njihovo smrzavanje, pa omogućuju upotrebu deblje unutrašnje izolacije. Međutim, ova ovisnost vanjske i unutrašnje izolacije zahtijeva, u svakom slučaju, higrotermalnu procjenu učinaka toplinske obnove.

Izolacijske žbuke također se upotrebljavaju kao unutrašnja izolacija između grijanih i negrijanih prostora. Njihova protupožarna svojstva koriste se za izolaciju zidova i stropova u komunikacijskim prostorima i stubištima.

Izolacijske žbuke koje zahtijevaju završnu obradu, moraju biti prekrivene premazima/bojama dovoljno visoke paropropusnosti.

3.2.9. Unutrašnja izolacija

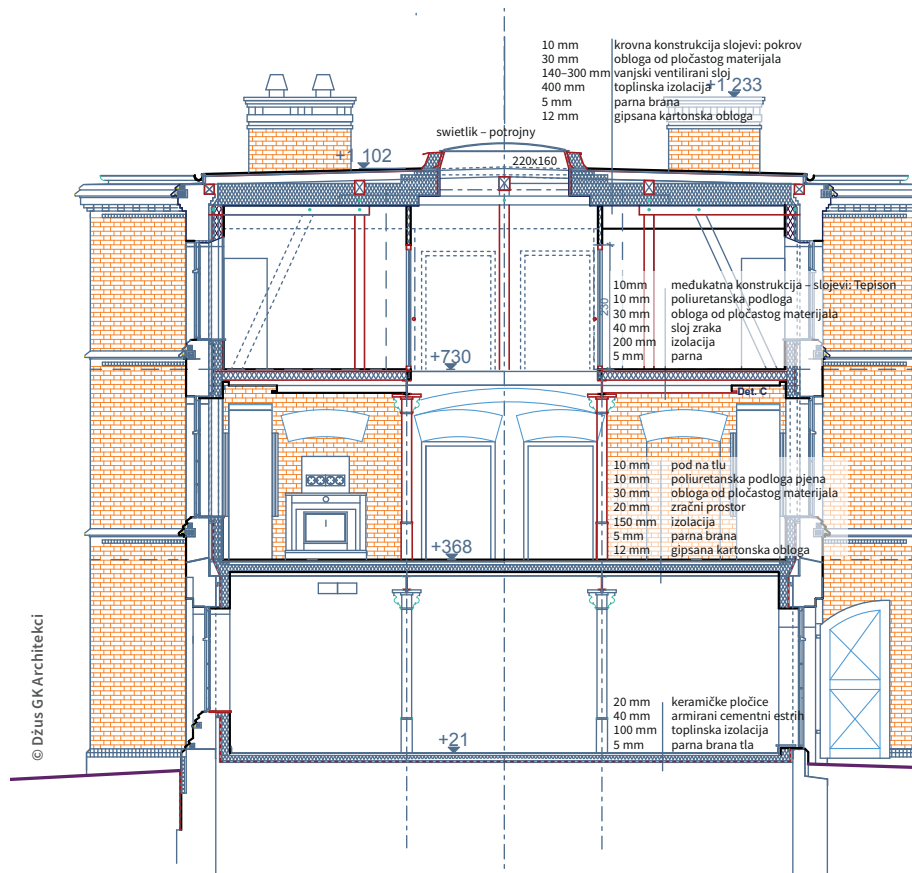
Ako nije moguće napraviti vanjsku toplinsku izolaciju, npr. zbog estetskih razloga ili konzervatorskih ograničenja, moguće je smanjiti gubitke energije i povećati toplinsku udobnost primjenom unutrašnje izolacije. Procjenjuje se da izolacija zida s unutrašnje strane slojem od 4–6 cm prirodne vune može smanjiti gubitak topline za 55%.⁹⁰

Njena primjena sigurna je pod uvjetom da je fasada **dobro zaštićena od prodora vode**. Nakon izolacije unutrašnje strane zida debelim slojem izolacije, bit će izložen smrzavanju (vidjeti poglavlje 3.4.). Stoga zid mora ostati suh, a njegov vanjski sloj bezuvjetno i potpuno nepropusno štititi zid od prodora vode. Jednako je važno pažljivo zaštititi zid od kapilarnog izdizanja iz tla (vidjeti poglavlje 3.1.).

Također, treba uzeti u obzir da ova vrsta izolacije povećava **opasnost od toplinskih mostova** na mjestima spajanja zidova sa stropovima i stolarijom (vidjeti poglavlje 3.4). Stoga je na tim osjetljivim mjestima potrebno osigurati potpunu zaštitu od prodora vlage iz unutrašnjeg zraka i susjednih unutrašnjih pregrada.

Na opasnost od nakupljanja vlage unutar zida utječe i **vlažnost zraka u unutrašnjosti**, zbog čega se unutrašnja izolacija uglavnom primjenjuje u suhim prostorijama ili onima koje se griju samo povremeno. Rizik se povećava za

⁹⁰ Claytec, *Rozwiązania z gliny dla izolacji wewnętrznej*, Handout Innendämmung Layout 08.05.09. <https://docplayer.pl/9257392-Izolacji-wnetrz-claytec-rozwiazania-z-gliny-dla-regulacje-techniczne-wykladnia-sily-izolacji-wspolczynnik-u-oraz-wartosc.html> (srpanj 2021).



Sl. 15. Bivše vojno skladište i poslovna zgrada iz 19. stoljeća na adresi Artyleryjska St. in Olsztyn 3H, koja je prilagođena za stambenu i mješovitu upotrebu. Presjek ravnine s vidljivom izolacijom s unutarnje strane.

91 Kisilewicz, Tomasz, *Pojemność cieplna a komfort termiczny w budynkach energooszczędnych / Heat capacity versus thermal comfort in low energy buildings*, Materiały Budowlane, 9/2014 (505). <https://www.materiałybudowlane.info.pl/images/2014/09/s51-55.pdf> (srpanj 2021).

92 Pawłowski, Krzysztof, *Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce*, Izolacje 3/2018. <https://www.izolacje.com.pl/artykul/sciany-stropy/182305,innowacyjne-rozwiazania-materialow-termoizolacyjnych-w-aspekcie-modernizacji-budynkow-w-polsce> (srpanj 2021).

prostorije sa stalnim izvorom vlage: kupaoalice, kuhinje, učionice, prostorije u kojima ventilacijski sustavi nisu dovoljno učinkoviti za uklanjanje viška vlažnog zraka osobito zimi.

Upotreba unutrašnje izolacije omogućuje brže zagrijavanje unutrašnjeg prostora i smanjenje snage izvora topline, ali će istovremeno unutrašnji prostor djelomično izgubiti sposobnost zaštite od pregrijavanja ljeti.⁹¹ To je posebno važno u kontekstu klimatskih promjena i visokih troškova klimatizacije.

Kapilarno aktivna unutrašnja izolacija

Materijali koji se preporučuju za unutrašnju izolaciju uključuju: mineralne izolacijske ploče izrađene od vrlo laganog tipa AAC s faktorom otpora difuzije $\mu = 3$; klimatske ploče od vapnenog silikata od $\mu = 3-6$ te žbuke za sanaciju toplinske izolacije koje sadrže izrazito lagane granule pjenastog stakla i perlita **što im daje izuzetna** toplinsko-izolacijska svojstva ($\lambda = 0,06-0,11 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$).⁹²

Specifičnost difuzijsko otvorene unutrašnje izolacije je omogućiti privremeno povećanje razine vlage u zidu u zimskom razdoblju, a njezino uklanjanje kroz difuzijsko otvorene slojeve u toplijim razdobljima. Norma ISO 13788:2003 to dopušta pod uvjetom da se sadržaj vlage ne povećava iz godine u godinu.⁹³

Potvrda učinkovite zaštite od dugotrajnog nakupljanja vlage moguća je zahvaljujući simulacijskim metodama uz korištenje odgovarajućeg softvera koji pomaže u dvodimenzionalnoj ocjeni nakupljanja vlage u zidovima, npr. U-WERT, WUFI, DELFINE⁹⁴ ili procjeni trodimenzionalnih toplinskih mostova uz korištenje aplikacija kao što su TriSCO⁹⁵ ili WUFI 3D.

93 Patoka, Krzysztof, *Skropliny i PN-EN ISO 13788:2003, Materiały Budowlane*, 533 (1), 82-84, DOI: 10.15199/33.2017.01.16.

94 LOC.JA.PL, *PN-EN 13788 Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku*, 31.08.2017. <https://www.locja.pl/haslo/pn-en-13788-ciepno-wilgotnoscowe-wlasciwosci-komponentow-budowlanych-i-elementow-budynku,649> (srpanj 2021).

95 Dylla, Andrzej, *Numeryczne projektowanie parametrów ciepłno-wilgotnościowych złączy budowlanych*, [u] *Budownictwo energooszczędne i ekologiczne: I konferencja naukowa: Suwałki, 10-11.06.2010*. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-AGHM-0016-0080> (srpanj 2021).

Fot. Jakub Obarek



Fot. Dżus GK Architekti

Sl. 16. Adaptacija bivšeg vojnog skladišta i poslovne zgrade iz 19. stoljeća na adresi Artyleryjska St. in Olsztyn 3H za stambenu i mješovitu upotrebu dizajnirao je arhitektonski studio Dżus GK koji ima 20 godina iskustva u adaptaciji povijesnih zgrada. Uveden je sloj unutarne izolacije koji je odvojen od originalne strukture zračnim porama provjetrenima na sljemeni krova. Pri zamjeni podnih greda, instalirani su izolirani i provjetreni spojevi drvenih greda kako bi se izbjegli toplinski mostovi, dok su stropovi od armiranog betona i vanjski zidovi na mjestima učvršćeni. Projektanti uvijek pokušavaju iskoristiti postojeće otvore, ventilaciju i dimnjake za dovod i ispušt zrak. Povijesna prozorska stolarija dopunjena je unutrašnjim glaziranjem, a tijekom njihove rekonstrukcije, replike istih prozora imale su visoke toplinske parametre. Navedeni studio implementira ovu vrstu metode za adaptaciju raznih povijesnih zgrada – od samostana koji datiraju iz 17. stoljeća do vojarni iz 19. stoljeća. Rješenja su adekvatno prilagođena za svaku zgradu ovisno o njihovom karakteru i originalnim tehnikama gradnje kako se ne bi narušila njihova povijesna bit.

96 Brambilla, Arianna, Alberto Sangiorgio, op.cit.

Projektanti su zaslužni za odabir tehnologije toplinske izolacije i kroz ocjenu mogućnosti izlaganja povijesnih zidova većoj amplitudi temperaturnih i vlažnih razlika tijekom godine dana. Nakon nanošenja unutrašnje izolacije, snižavanje temperature zida je neizbježno (vidjeti poglavlja 3.2. i 3.4.) pa može doći do međuprostorne kondenzacije unutar izoliranog zida na sučelju između njegovih različitih slojeva. Kako ograničeni potencijal isparavanja smanjuje sposobnost sušenja, to s vremenom dovodi do značajnih destruktivnih posljedica.⁹⁶ Kondenzacija u vanjskim slojevima izloženim smrzavanju dovest će do degradacije zidova, posebno sljubnica. Kondenzacija u unutrašnjim slojevima i na unutrašnjim površinama dovest će do pojave vlage i plijesni.

Za smanjenje količine vlage u difuzijski otvorenim sustavima, moguće je koristiti zidno grijanje. Niskotemperaturno zidno grijanje dobro funkcionira s glinenim i vapnenim mortovima s visokim kapacitetom topline i vlage, što može vratiti veći toplinski kapacitet izoliranih zidova. Povećano nakupljanje i oslobađanje vlage poboljšava regulaciju vlage i cjelokupnu klimu u unutrašnjosti.

Difuzijski otvoreni izolacijski slojevi mogu omogućiti sušenje prethodno vlažnih zidova. Glinene žbuke bez organskih dodataka mogu se nanositi izravno i na mokre zidove u dobro prozračenoj prostoriji, čime se omogućuje izvlačenje vlage i slanosti. Posebne vapnene žbuke, pjenaste ili s dodatkom perlita, također mogu odvoditi vlagu i vezati soli u strukturi materijala.

Unutrašnja izolacija s parnom branom

U slučaju upotrebljavanja zrakonepropusnih izolacijskih membrana (parnih brana), koje sprečavaju migraciju toplog zraka i vlage iz unutrašnjosti prema zidovima, moguće je primijeniti drvenu vunu, mineralnu vunu kao i zrakonepropusne sustave na bazi PIR, PUR, polistirena ili XPS pjene kao unutrašnju toplinsku izolaciju. S obzirom na to da su potonji sintetski i dobiveni iz nafte, imaju mnogo veći ugljični otisak.

Potrebno je koristiti parnu branu otpornosti min. $\sigma_d = 100$, čvrsto zatvorenu na spojevima, jer čak i najmanje curenje u membrani može učiniti da vlaga uđe u zid, koji se neće moći osušiti.

Zaštita od mogućih budućih oštećenja ili probijanja parne brane još je jedan problem koji treba razmotriti. Jedno od preporučenih rješenja za zaštitu membrane je dodavanje tehničkog sloja u koji su rasporedene sve instalacije. Ovaj sloj može biti difuzijski otvoren i djelovati kao tampon koji regulira unutrašnju vlažnost.

Termoreflektirajuće izolacije

Termoreflektirajuće izolacije na bazi aluminijskih folija najčešće se upotrebljavaju kao izolacija za potkrovlja. To su rješenja s visokim otporom difuzije.

Termoreflektirajuće fotokatalitičke žbuke i boje niske difuzijske otpornosti prikladne su za nanošenje i na unutrašnje i na vanjske površine. Njihova mala debljina omogućuje njihovu upotrebu u obnovi objekata baštine. Prema objavama proizvođača, istovremena primjena na obje strane zida, unutrašnjoj i vanjskoj, može značajno smanjiti gubitke topline, usporedivo s upotrebom

debele konvencionalne izolacije.⁹⁷ S obzirom na to da se njihov učinak ne temelji na ograničavanju prijenosa topline (usporevanje vodljivosti toplinskog toka), nego na refleksiji infracrvenih valova, nije moguće ocijeniti njihovu učinkovitost primjenom važećih pravila za proračun toplinske izolacije.

Učinkovitost termoreflektirajuće izolacije zahtijeva potvrdu neovisnim ispitivanjima na većem broju zgrada. Usporedba njihove učinkovitosti s drugim načinima izolacije također zahtijeva izmjene propisa o metodologiji proračuna toplinskih gubitaka koji dopuštaju ekvivalent toplinskom otporu.

3.2.10. Zelene fasade

Mit je da bršljan i druge penjačice negativno utječu na trajnost fasade. Naprotiv, zbog ograničenja insolacije i zaštite od vjetra i oborinskih voda, zelenilo može ublažiti izloženost UV zračenju i toplinskom opterećenju površine zida i ljeti i zimi.

Dok se penje po površinama zidova od opeke, bršljan izlučuje sluz koja može prodrijeti u mikroskopske pukotine i pore na površini kuda se biljka penje. Nakon lijepljenja za fasadu, smjesa se brzo stvrdne, a biljka postaje drvenasta što znači da ne izmjenjuje vlagu sa zidom.⁹⁸

No, posebnu pozornost treba obratiti težini biljaka na fasadi, koja može biti i do nekoliko tona i treba je uzeti u obzir pri projektiranju toplinske nadogradnje. Moguće je projektirati posebne podkonstrukcije (rešetke) koje neće bitno ometati strukturu fasade.

Potiče se inkorporiranje vegetacije u urbana područja, naročito one koja je dom pticama i bezopasnim kukcima. Praznine različitih veličina stoljećima su bile dom crvenim zidarskim pčelama i bumbarima. Tijekom termičke rekonstrukcije potrebno je zaštititi mjesta gniježđenja ptica tijekom sezone razmnožavanja i, ako je to moguće, osigurati namjenska rješenja integriranih kućica za gniježđenja¹⁰⁰ te projektirati odgovarajuća mjesta za kukce kojima su povijesne uzvisine bile prirodno okruženje.

97 Afon Casa, *AfonTermo il Nano Cappotto, isolamento termico a basso spessore*. <http://www.afoncasa.it/prodotti-edilizia/afontermo-il-nanocappotto.html> (srpanj 2021).

98 Borowski, Jacek, *Czy pnącza niszczy elewację?* <https://www.clematis.com.pl/informacje-roslinach/ekspert-rada/dr-hab-jacek-borowski/1133-czy-pnacza-niszczy-elewacje> (srpanj 2021).

100 Dworak, Michał, *Termomodernizacja w Okresie Lęgowym Ptaków, 11,042021, Ptasi Dom*. <https://www.ptasidom.com/budki-legowe-do-termomodernizacji-termomodernizacja-w-okresie-legowym-ptakow/> (srpanj 2021).

Fot. © makasana photo - stock.adobe.com



Fot. © promesaartstudio/stock.adobe.com



99 Muzeum Narodowe we Wrocławiu, *Bluszcz*, <https://mnwr.pl/ciekawostki> (lipanj 2022).

Sl. 17. Nacionalni muzej u Wrocławu, izgrađen u periodu od 1883. – 1886. i koji je uvršten u poljski Registar spomenika, prekriven bršljanom. Prve penjačice posadene su prije 25 godina. Biljke su trenutno na vrhuncu svog rasta te će živjeti još desetljećima.⁹⁹

3.3. Stolarija

Anna Zaręba • Sveučilište Nikole Kopernika u Torunu

Tomasz Jeleński • Tehnološko sveučilište u Krakovu

Prozori i vrata među najvažnijim su elementima arhitektonske forme i dekoracije povijesnog pročelja. Najčešće imaju individualno oblikovane oblike i boje, koje naglašavaju sklad proporcija zidova i otvora te utječu na stil i karakter cijele građevine.¹⁰¹ Slikovitost povijesne urbane sredine ogleda se u detaljima, čiji je važan dio stolarija koja značajno utječe na recepciju građevine i gradskog pejzaža. Dakle, izvorna stolarija, kao i limarija i ostakljenje (lijevano staklo, vučeno, valjano, vitraž, itd.) u zaštićenim zgradama i konzervatorskim prostorima podliježu konzervatorskoj zaštiti.

Nažalost, desetljećima u potrazi za toplinskom modernizacijom i uslijed nedovoljnog razumijevanja značaja povijesne građe mnogi su povijesni prozori i vrata nekontrolirano zamijenjeni novima.¹⁰² Uvjerjenje o superiornosti novih tehnologija u odnosu na stare te nedostatak pravnog znanja¹⁰³, rezultiraju elementima stolarije čiji izgled često narušava fasadu i unosi estetski kaos u ulični pejzaž. Štoviše, suvremeni prozori mogu uzrokovati nove probleme, uključujući opasnost po zdravlje, jer narušavaju ravnotežu topline i vlažnosti moderniziranih zgrada.

Iako povijesna stolarija zasigurno ne pruža tako dobru toplinsku izolaciju kao prozori s trostrukim ili četverostrukim ostakljenjem izrađeni najnovijim tehnologijama, ona funkcionira bolje od jednokrilih prozora s dvostrukim staklom. Zahvaljujući dubini kućišta od 9–11 cm, povijesna stolarija osigurava sporu cirkulaciju zagrijanog zraka između vanjskog i unutrašnjeg stakla.

Novoizrađeni prozori, kako plastični tako i drveni, često su previše nepropusni, što može dovesti do narušavanja prirodne ventilacije i kondenzacije vlage. To rezultira razvojem plijesni i gljivica u unutrašnjosti te propadanjem namještaja. Treba napomenuti da zdravlje i udobnost stanara zgrade zahtijevaju 1,5 izmjene zraka na sat, ali ne manje od 20 m³ vanjskog zraka po satu po osobi. To su minimalni zahtjevi, a strujanje svježeg zraka potrebno je dodatno prilagoditi funkciji prostorije. U kuhinji s plinskim štednjakom treba biti najmanje 70 m³/h.¹⁰⁴ Niti jedan novi prozor to neće omogućiti bez odbrtljivanja.¹⁰⁵ U većini slučajeva novi prozori moraju biti nadopunjeni visokoučinkovitom ventilacijom unutrašnjosti.

3.3.1. Renoviranje prozora i vrata

Ako postojeći prozori nisu povijesne vrijednosti s konzervatorskog stajališta, mogu se zamijeniti reprodukcijom povijesnog prozora koji je visoko energetski učinkovit ($U_{w} \leq 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U_{d} \leq 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$) i ispunjava estetske zahtjeve zgrade. Međutim, zbog prevladavajuće potrebe očuvanja kulturne baštine i nerasipanja prirodnih resursa¹⁰⁶, najbolje je rješenje obnoviti originalna vrata i prozore, uključujući i staro ostakljenje.

101 Tajchman, Jan, *Dawna stolarka okienna i jej problematyka konserwatorska wobec nowych zagrożeń*, [u] Emanuel Okoń (ur.), *Zabytkowe budowle drewniane i stolarka architektoniczna wobec współczesnych zagrożeń*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2005.

102 Uključujući PVC prozore.

103 Filipowicz, Paweł, *Rola zaleceń konserwatorskich w procesie inwestycyjnym realizowanym w obiekcie zabytkowym w świetle oczekiwań projektanta i inwestora*, Kurier konserwatorski, 6/2010.

104 Prema poljskom standardu PN-83/B-03430 and PN-83/B-03430/Az3:2000 Wentylacja w budynekach mieszkalnych zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej – Wymagania.

105 Tajchman, Jan, *Chrońmy dawne okna: nowe nie tylko niszczy kompozycję elewacji, ale przede wszystkim nasze zdrowie*, [u] Wojciech Przybyszewski (ur.), *Aedifico et Conservo – eskalacja jakości kształtowania zawodowego w Polsce*, Fundacja Hereditas, Warszawa 2010.

106 Tajchman, Jan, *Stolarka okienna w Polsce. Rozwój i problematyka konserwatorska*, [u] Krzysztof Nowiński (ur.), *Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Seria C, Studia i materiały*, Vol.5, Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1990.

Suprotno uvriježenom mišljenju, postupak može biti jednostavan, primjerice uklanjanje starih premaza boje, popunjavanje malih šupljina, popravak kita i podešavanje okova. To omogućuje čvrsto zatvaranje prozora što značajno poboljšava njegovu toplinsku učinkovitost. Proces obnove može se činiti vrlo kompliciranim, dugotrajnim i skupim, ali kada se obavi pažljivo i uz pridržavanje savjeta stručnjaka, može se izvesti i samostalno. Ono što je važno, takav postupak omogućuje poboljšanje stanja stolarije bez narušavanja prirodne ventilacije unutrašnjeg prostora, što je potrebno starim zgradama kako bi se spriječio razvoj gljivica i plijesni.

Kvaliteta stare stolarije i ostakljenja obično je vrlo visoka. Kada se vrate u izvorni oblik, ne uzrokuju velike gubitke topline. Nakon desetljeća ili stoljeća bivanja na otvorenom, staro drvo je vrlo dobro osušeno, a rizik od daljnjeg savijanja je minimalan.¹⁰⁷

Za dodatno poboljšanje toplinske izolacije zimi, u kućište prozora može se staviti dodatni sloj privremene izolacije. To može biti tkanina od ovčje vune ili sličnog materijala.

107 Tajchman, Jan, *Chrońmy...*, op.cit.: 25.

3.3.2. Modernizacija prozora

Ako nema povijesnog ostakljenja, novo ostakljenje može se poboljšati low-e premazom koji smanjuje emisiju infracrvenog zračenja. Upotreba obloženog okna kao jedine mjere nije dovoljna za podizanje toplinske učinkovitosti povijesnog prozora na najsuvremeniju razinu, ali možda bi bila dobra ako nema drugih opcija.¹⁰⁸

Energetska učinkovitost tradicijskih prozora može se poboljšati prema suvremenim standardima zamjenom unutrašnjih prozorskih krila novima s istim omjerima prečki, ali s dvostrukim ili trostrukim staklom. Iz perspektive građevinske fizike, prednost se daje uvođenju višestrukog ostakljenja u vanjskom krilu. Međutim, s gledišta konzervatora, posebno u zaštićenim građevinama ili zaštićenim područjima, potrebno je usvojiti dva aspekta izvornog izgleda povijesnih prozora: 1) izvorne proporcije između staklene površine, krila i okvira prozora; 2) izgled originalnog ostakljenja. Promjena jednostrukog stakla u moderno višestruko ostakljenje mijenja izgled fasade zbog različitih nijansi i završnih obrada, kao i zbog izmijenjene refleksije i zrcaljenja. Pravilniji odraz modernijeg izgleda također se pojavljuje kada prozorske prečke više ne uzrokuju nešto drugačije nagibe svjetla (mala prozorska stakla).

Tako bi se, ako se sačuvaju povijesni prozori, mogli nadopuniti dodatnim unutrašnjim slojem troslojnih prozora koji preuzimaju funkciju toplinske izolacije, pri čemu vanjski izgled nije ugrožen. Takvo rješenje može povećati vlažnost u unutrašnjosti i stoga se obično mora nadopuniti vrlo učinkovitim ventilacijom.

Moguća poboljšanja također uključuju trostruko ostakljenje ugrađeno u originalni okvir, ali kako okvir nije dovoljno dubok, jedna od mogućnosti je izrezati okvir na dvije ljuške i umetnuti novi sloj, koji se idealno sastoji od izolacijskog materijala kao što je nanoizolacijski flis. Međutim, potrebno je

108 Troi, Alexandra, Zeno Bastian, Eds., *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Basel: Birkhäuser 2015: 145.

napomenuti da u usporedbi s povijesnim staklima, standardna trostruka stakla nisu samo debela (48 mm) nego i teška (30 kg/m²). To često ne odgovara karakteru i stabilnosti povijesnih okvira. Jedan od načina da se smanji ovaj problem (uz veću cijenu) je upotreba tankoslojnog ostakljenja s usporedivim U-vrijednostima, ali samo dvostruko težeg od jednostrukog stakla od 3 mm. U kombinaciji s kriptonom, debljina se može smanjiti na 26 mm.¹⁰⁹

109 Ibidem: 144–146.

Zamjena starih jednostrukih stakla modernim trostrukim staklima s niskim emisijama štedi energiju i poboljšava udobnost, ali kao neželjeni učinak dodatna prozorska stakla i premaz smanjuju prijenos svjetlosti. U posljednje vrijeme postignut je značajan tehnološki napredak u rješavanju ovog problema. Niskoemisijaska trostruka stakla s istim indeksom prijenosa svjetlosti kao i konvencionalna dvostruka stakla mogu se proizvesti uz pomoć antirefleksnih premaza na staklenim površinama. Poboljšanje se također može postići elementima za preusmjeravanje dnevne svjetlosti (kao što su lamele ili prizme) integriranim u staklo.¹¹⁰

110 Ibidem: 25.

3.3.3. Ugradnja prozora i vrata

Često podcijenjen aspekt obnove zgrade i energetske modernizacije je postojanje toplinskih mostova oko starih prozora i vrata koji su pričvršćeni metalnim ankerima i zabrtvljeni papirom i gipsom ili sličnim materijalima. Dojam prozora koji propušta, tzv. „hladnog propuha“ često ne proizlazi iz lošeg stanja samog prozora nego iz načina na koji je stolarija postavljena u zid. U procesu obnove važno je poboljšati način ugradnje prozora i vrata te ukloniti toplinske mostove korištenjem suvremenih izolacijskih materijala. Dodatno poboljšanje bila bi obrada obloga termoizolacijskim materijalima u obliku posebnih žbuka ili termo ploča s visokom paropropusnošću kako bi se izbjegla kondenzacija vlage.

3.3.4. Zamjena stolarije

Kada je potrebna zamjena ili rekonstrukcija stolarije, ona treba točno ponoviti proporcije, podjele ostakljenih prečki, boju originalne stolarije i vrstu stakla, kao i sve ukrasne detalje: profile letvica, rezbarske elemente i okove. Zamjena stolarije u zaštićenoj zgradi zahtijeva podnošenje detaljnog projekta službeniku za zaštitu baštine (ili drugoj odgovarajućoj osobi koja se brine za zaštićene zgrade) kako bi se provjerila ispravnost ponovnog stvaranja značajki izvornih prozora ili vrata.

U svakom slučaju, treba uzeti u obzir da većina stolara ne ponavlja vjerojatno staru tehnologiju izrade stolarije i često koristi šire profile. Jednako je problematično što se moderna stolarija uglavnom izrađuje od degumiranog i osušenog drva koje ne osigurava dugovječnost i može se s vremenom iskriviti. Uključivanje tradicijske stolarije stoga može biti korisno ne samo iz estetskih, nego i iz praktičnih razloga.



Fot. Anna Zaręba

Sl. 18. Palača Saski u mjestu Kutno izgrađena je 1750. te je uvrštena u poljski Registar spomenika. Uništena je u požaru 2003. te je nedavno obnovljena. Slika prikazuje prozor sa starinskim staklom koji udovoljava protuprovalnim standardima te vizualno odgovara originalnim baroknim prozorima.

111 Tajchman, Jan, *Chrońmy...*, op.cit.: 25.

112 Troi, Alexandra, Zeno Bastian, op.cit.: 151.

Neprihvatljivo je zamijeniti stolariju PVC proizvodima zbog nemogućnosti ponovnog stvaranja izvornih dimenzija okvira, debljine prozorskih prečki i njihovog profiliranja. PVC prozori također imaju različite dubine ostakljenja u krilima i krila su različita u okviru, što rezultira smanjenjem veličine stakla (i svjetlosti koja prodire u unutrašnjost) u prosjeku za 20%. Štoviše, PVC prozori namijenjeni su za korištenje tek petnaestak do dvadeset godina.¹¹¹

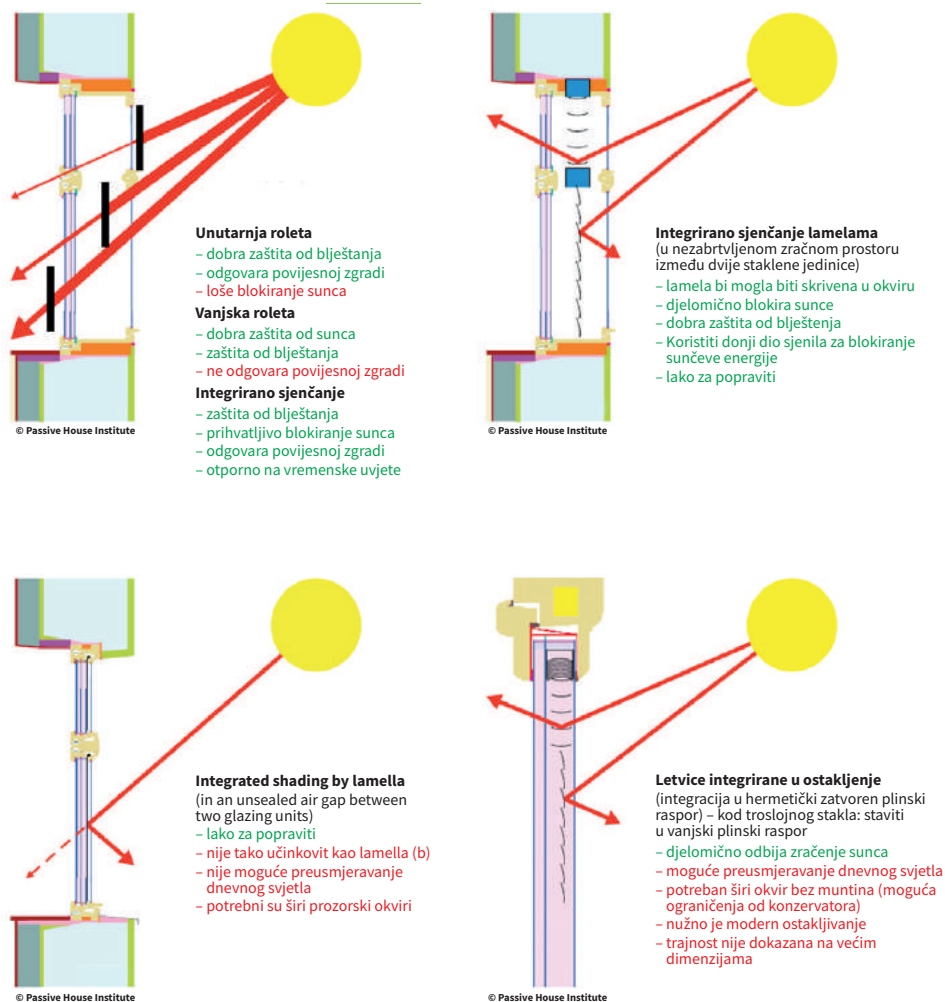
3.3.5. Zasjenjenje prozora

Stari tipovi prozora (krilni, tkalački i poljski) dopuštaju više svjetla u interijere od modernih, što je neupitna prednost u zimskim mjesecima, ali ljeti, posebno u uvjetima klimatskih promjena, može biti problematično.

Najlakše rješenje za zasjenjenje su *grilje* ili *roleta* koje reflektiraju toplinsko zračenje, no one su uistinu učinkovite samo izvana. Uređaji za unutrašnje zasjenjenje ljeti su neučinkoviti jer dopuštaju sunčevoj svjetlosti da uđe u prostoriju i povećavajući opterećenje hlađenja. Ako konzervatorska ograničenja ne dopuštaju vanjsko zasjenjenje, mogu se razmotriti lamelne *rolete* u zračnom međuprostoru između dviju staklenih jedinica prozora s krilom ili kutijastim prozorima. One pružaju zaštitu od odsjaja i otporne su na vremenske uvjete.

Preporučuju se lamelne *rolete* jer je njihov koeficijent zasjenjenja promjenjiv, a mogu i preusmjeravati dnevnu svjetlost pa se zaštita od odsjaja i dnevno osvjjetljenje može osigurati jednim sustavom (sl. 19.).

Ako nema raspoloživog zračnog međurazmaka, opcija su lamelne *rolete* integrirane u staklo, ali ako se oštete, cijela staklena jedinica mora se ukloniti. Lamelne *rolete* trebaju širi razmak za plin i deblja stakla koja se teže integriraju u tanki okvir. Ako okvir prozora mora biti širi da pokrije letvice, zimi se može prikupiti manje sunčeve energije.¹¹² Također iz estetskih i konzervatorskih razloga ovakva rješenja teško bi bila prihvatljiva na istaknutijim mjestima jer integrirane lamelne rolete ne bi odgovarale povijesnom izgledu.



Sl. 19. Različite vrste rješenja za sjenčanje. Izvor: Alexandra Troi, Zeno Bastian (ur.) Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook. (Rješenja energetske učinkovitosti za povijesne zgrade: priručnik.) Basel: Birkhäuser 2015, 150.¹¹³

Manje učinkovito, ali estetsko rješenje može biti uređenje prozorskih mini-vrtova, s visokim ili visećim biljkama, ozelenjivanjem balkona itd.

Ipak, najbolje rješenje za zasjenjenje prozora je ozelenjivanje okoline zgrade. Dovoljno visoka listopadna stabla pružaju prirodnu hladovinu u ljetnoj sezoni, dok u zimskoj sezoni stabla bez lišća propuštaju sunčevu svjetlost u unutrašnjost zgrade. Ostale prednosti drveća i drugih biljaka uključuju učinak evapotranspiracije koja ljeti snižava temperaturu okoline i stvara bolju kvalitetu zraka – čišći i bogatiji kisikom i vlagom.

113 Ilustracija je preuzeta iz Troi, Alexandra, Zeno Bastian (ed), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015, 150. Autor ilustracija © Passive House Institute.

3.4. Podovi, stropovi i ravni krovovi

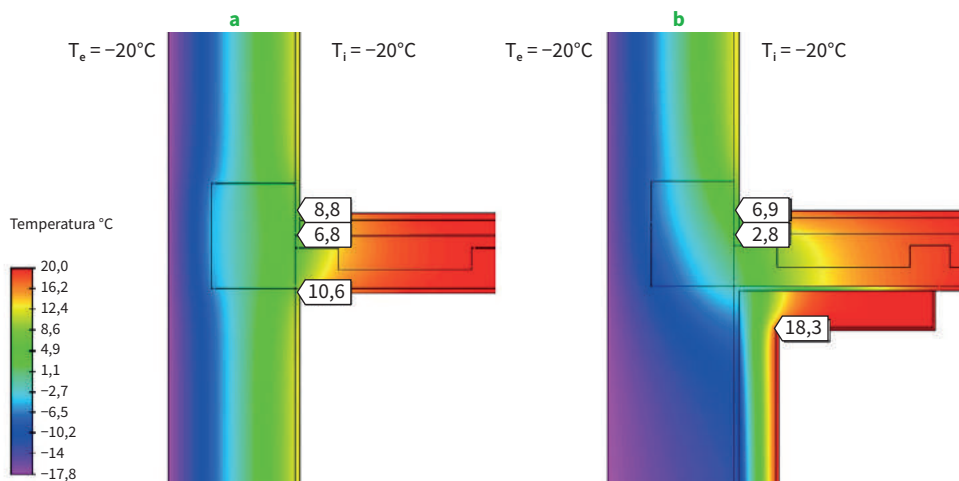
Robert Wójcik i Piotr Kosiński • Sveučilište Warmia i Mazury u Olsztynu

Podovi su vezani uz energetske modernizaciju uglavnom zbog pojava koje se javljaju na mjestima spajanja s ovojnicom zgrade. Zimi dolazi do lokalnog povećanja gustoće toplinskog toka unutar spojeva vanjskih zidova s podovima. To može dovesti do linearnih toplinskih mostova i pada temperature što može rezultirati kondenzacijom vodene pare.¹¹⁴

Stoga je u procesu projektiranja potrebno odrediti koeficijent toplinske sprege pregrade u kojoj nastaju toplinski mostovi. Protok topline i vlage tamo se može detaljno analizirati pomoću naprednih računalnih metoda. Računalne aplikacije omogućuju vizualno određivanje temperaturnih polja i izračunavanje linearnih koeficijenata prijenosa topline λ koji karakteriziraju linearne mostove.

Korištenje, za numeričku analizu, toplinskog toka¹¹⁵ omogućuje određivanje njegove raspodjele i prikaz u obliku dijagrama u boji. Osim toga, tijekom kvantitativne ocjene toplinskih mostova određuju se temperaturni koeficijenti i minimalne unutrašnje temperature. To omogućuje istraživanje utjecaja projektirane izolacije na toplinske i vlažne pojave u unutrašnjim prostorima koji su podvrgnuti toplinskoj modernizaciji.

Primjena toplinske izolacije s vanjske strane štiti izvornu konstrukciju zgrade od toplinskog naprezanja (detaljnije opisujemo u poglavlju 3.2.), dok toplinska izolacija s unutrašnje strane nepovoljno mijenja izvorno temperaturno polje, što je prikazano na sl. 20.



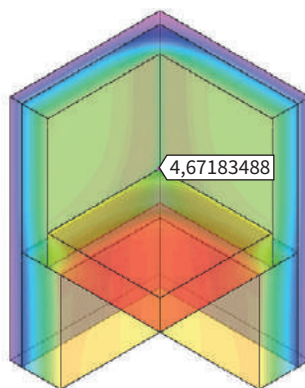
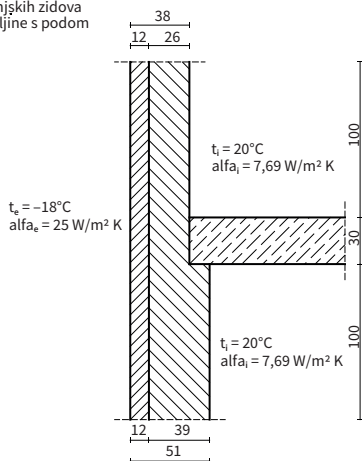
Sl. 20. Promjena 2D temperaturnog polja u spoju grede i bloka poda (tip Klein) i vanjskog zida kao rezultat jednostrane izolacije zida na donjem dijelu s proširenjem na površinu stropa: a – temperaturno polje prije izolacije, b – temperaturno polje nakon izolacije.

114 Klemm, Piotr, et al., *Budownictwo ogólne*, Vol 2. *Fizyka Budowli*, Arkady, Warszawa 2005.

115 Na primjer, aplikacija Algor koju koriste autori.

3D temperaturno polje u spoju vanjskih zidova s podom u kutu prije toplinske izolacije

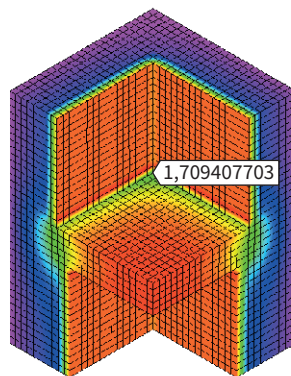
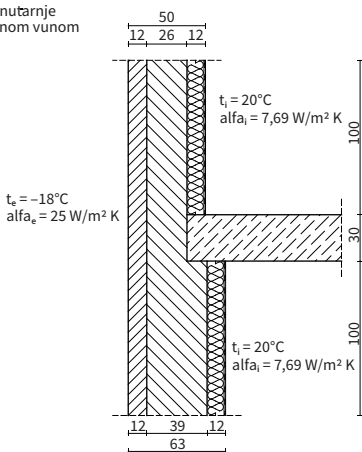
Kutni spojevi vanjskih zidova promjenjive debljine s podom



Temperatura kuta $\theta_{s,min.} = 4,7^\circ\text{C}$

3D temperaturno polje nakon toplinske izolacije s unutarnje strane

Isti čvor nakon unutarnje izolacije mineralnom vunom debljine 12 cm



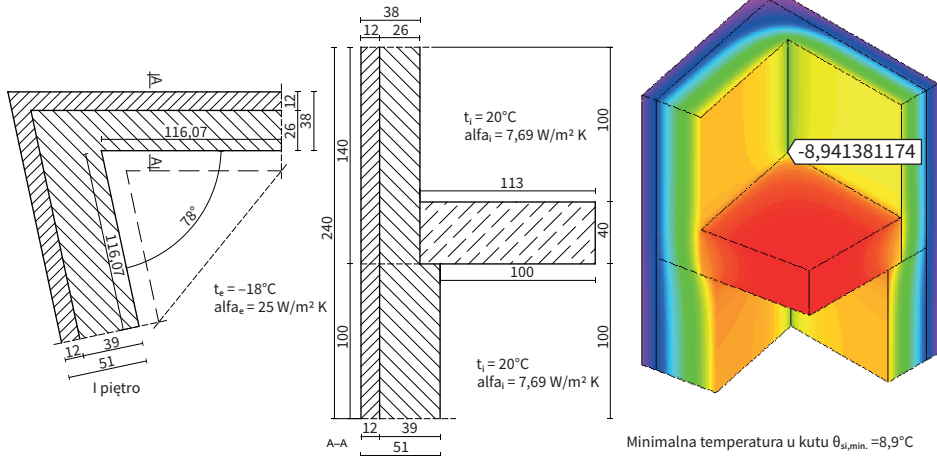
Minimalna temperatura u kutu $\theta_{s,min.} = 1,7^\circ\text{C}$

Sl. 21. Utjecaj unutarnje zidne izolacije na minimalnu temperaturu na unutarnjoj površini čvora

Izolacija s unutrašnje strane ograničava intenzitet toplinskog toka iz unutrašnjosti prema vanjskom zidu i čini zid podložnijim smrzavanju. Promjene su posebno vidljive unutar stropova, jer su konstrukcijski povezani s izvornim vanjskim zidom, stvarajući linearni toplinski most. Time se smanjuje temperatura unutrašnje površine u rubnoj zoni te ona opada u odnosu na stanje prije izolacije. Temperatura u gornjem unutrašnjem rubu pada sa $6,8^\circ\text{C}$ prije toplinske izolacije na $2,8^\circ\text{C}$ nakon izolacije. Stoga, kao rezultat jednostrane izolacije zidova s unutrašnje strane, rizik od kondenzacije i vlage na unutrašnjem zidu značajno se povećava. Slični učinci se također opažaju u slučaju oblaganja cijele unutrašnje strane vanjskog zida zidnim elementima, policama za knjige ili ormarima.

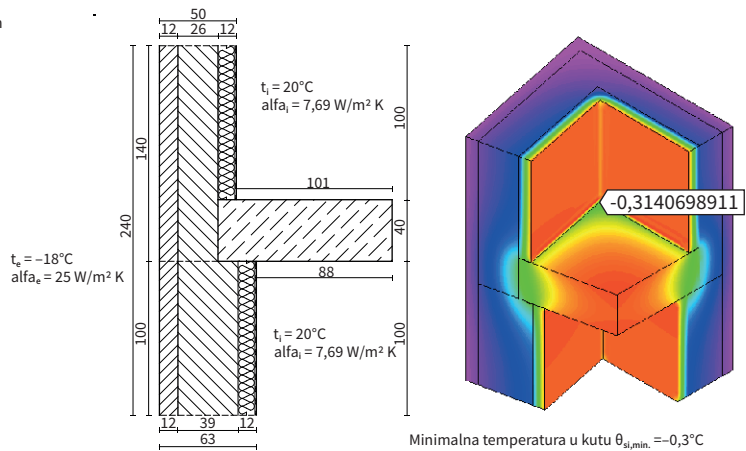
3D temperaturno polje u spoju vanjskih zidova s podom u kutu pod kutom od 78°

Spoj kuta vanjskih zidova s armirano-betonskom pločom



3D temperaturno polje nakon toplinske izolacije s unutarnje strane

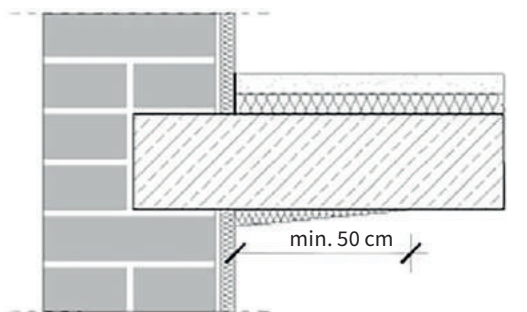
Isti čvor nakon unutarnje izolacije mineralnom vunom debljine 12 cm



Sl. 22. Utjecaj unutarnje zidne izolacije na promjenu minimalne temperature na unutar-njoj površini kuta.

Najveći problem su židovi na sjevernoj strani zgrade i vanjski uglovi. Toplina može intenzivno izlaziti iz kutova kroz relativno velike vanjske površine. Snižavanje temperature na unutrašnjoj površini kutova dodatno je uzrokovano ograničenom cirkulacijom zraka u kutu.

Slike 21. i 22. ilustriraju ovaj problem na primjeru bivše pivovare Piast u Wrocławu. Sl. 12. sažima rezultate koji se odnose na prostorno temperaturno polje u spoju vanjskih zidova različite debljine s gredom i blokom poda. Nakon što su zidovi iznutra izolirani mineralnom vunom debljine 12 cm ($\lambda = 0.45 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), uz rubne uvjete: $t_i = 20^\circ\text{C}$, $t_e = -18^\circ\text{C}$ temperatura u kutu padne s $4,7^\circ\text{C}$ prije toplinske izolacije na $1,7^\circ\text{C}$ nakon izolacije.



Sl. 23. Izolacija toplinskog mosta u spoju monolitnog stropa i vanjskog zida – korištenjem ravne izolacijske ploče na zidu i klinaste izolacije na dnu stropa.

Sl. 22. prikazuje analizu oštrog kuta zgrade od opeke. Nakon toplinske izolacije dolazi do pada temperature u razini poda od $8,9^{\circ}\text{C}$ prije izolacije na $-0,3^{\circ}\text{C}$ nakon izolacije. To rezultira ne samo površinskom kondenzacijom nego i smrzavanjem vlage i kondenzata u cijeloj debljini zida i u unutrašnjosti.

Ako se toplinska izolacija zidova postavlja s unutrašnje strane, nije moguće u potpunosti izbjeći toplinske mostove. Prikazani primjeri pokazuju da neispravna unutrašnja izolacija povećava rizik od kondenzacije na unutrašnjim površinama. Potrebno je procijeniti rizik od kondenzacije i razvoja plijesni na mjestima snižene temperature i suzbijati nepovoljne pojave. Moguća rješenja uključuju:

- proširenje izolacije na unutrašnju pregradu uz vanjski zid;
- dodatno prozračivanje ili grijanje problematičnih rubova/površina uz korištenje infracrvenih (IR-C) radijatora, podnog ili zidnog grijanja i sl.;
- instalaciju protiv kondenzacije koja će povećati temperaturu pretjerano hladnih mjesta.

Produženje izolacije na unutrašnjim pregradama (stropovi i zidovi), na širinu rubnog učinka hlađenja (približno 50 cm), može se izvesti u obliku ravne ploče ili klina koji strši iz kuta i sužava se prema interijeru.

Na slici 23 prikazan je preporučeni način izolacije toplinskih mostova korištenjem izolacijskog klina.

Nije uvijek moguće koristiti izolaciju proširenu na površinu stropa. U tom slučaju treba koristiti alternativna rješenja kao što su površinsko grijanje ili IR-C radijatori. Također, podprozorski položaj konvektora, kritiziran zbog niske učinkovitosti grijanja, u potpunosti je opravdan kada se primjenjuje unutrašnja toplinska izolacija. U slučaju mehaničke ventilacije, ciljani ventilacijski otvori mogu se koristiti za povećanje prijenosa topline i sušenja hladnih mjesta.

Lokalno, u kutovima gdje se strop i pod spajaju s vanjskim zidom, moguće je koristiti antikondenzacijski sustav ili druge uređaje za grijanje kako bi se spriječio učinak toplinskog mosta.

3.4.1. Sustav protiv kondenzacije

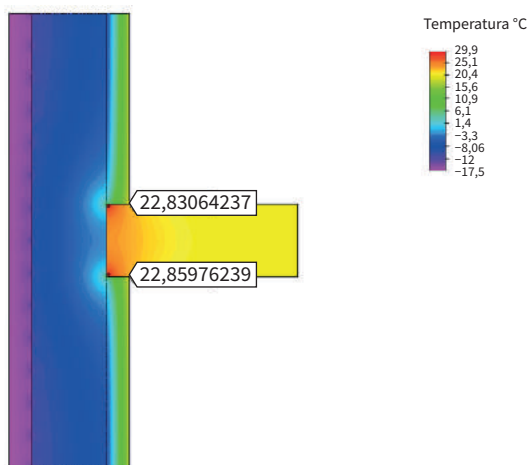
Problemi vezani uz toplinski most mogu se riješiti uvođenjem žice za grijanje u hladni kut. Na taj se način temperatura površine može povisiti za nekoliko stupnjeva, što je dovoljno da spriječi kondenzaciju.¹¹⁶

Taj se efekt koristi primjerice u IN sustavu.¹¹⁷ Njegova ugradnja je jednostavna i omogućuje postavljanje unutrašnje toplinske izolacije na bilo koju razinu toplinskog otpora bez neželjenih pojava vlage u rubnim zonama izoliranih zidova.

Sustav se sastoji od grijaćih kabela koji detektiraju druge izvore topline poput sunčevog zračenja te automatski prilagođavaju svoju snagu grijanja toplini okoline. Niža temperatura okoline rezultira povećanom proizvodnjom topline. Tako se više topline stvara na hladnijim mjestima (npr. u kutovima ili oko prozorskih okvira), a manje na toplijim mjestima, npr. blizu radijatora. Zahvaljujući promjenjivoj snazi grijaćeg kabela, sustav je vrlo energetske učinkovit i samo neznatno povećava troškove grijanja.

Grijaći kabel instaliran u osjetljivim područjima toplinske izolacije može se tretirati kao dopuna postojećem sustavu grijanja, ali zbog niske i promjenjive snage od 5 do 20 W/m (ovisno o temperaturi okoline) njegov je raspon utjecaja ograničen do najhladnijih mjesta linearnih toplinskih mostova, što u dovoljnoj mjeri otklanja štetne pojave kondenzacije i razvoja plijesni. Tijekom toplijih proljetnih i jesenskih dana, kada je osnovno grijanje isključeno, ovojnica zgrade i dalje se može učinkovito zaštititi automatskim regulirajućim sustavom protiv kondenzacije. Vrijedi napomenuti da grijaći kablovi stvaraju zanemarivo električno polje, zahvaljujući kojem ne utječu negativno na zdravlje ljudi.

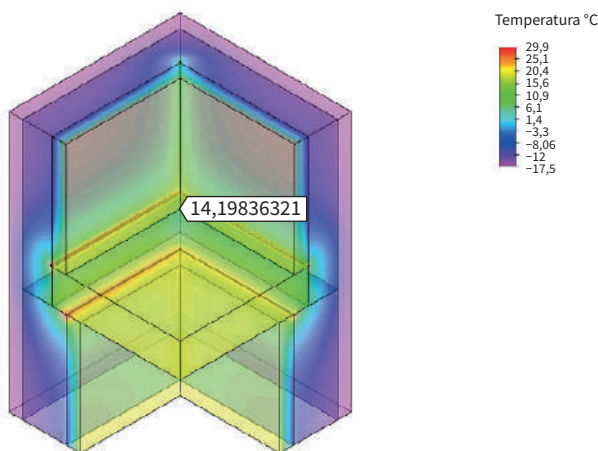
Sl. 24. i 25. pokazuju učinak IN sustava protiv kondenzacije.



Sl. 24. Promjena temperaturnog polja zbog aktiviranja sustava protiv kondenzacije

116 Wójcik, Robert, *Docieplanie budynków od wewnątrz*, Grupa Medium, Warszawa 2017.

117 Wójcik, Robert, *Sposób docieplania przegród budynków od strony wewnętrznej*, 30.11.2012. Poland Patent no 212791.



Sl. 25. Učinak zagrijavanja izoliranog kuta antikondenzacijskim sustavom (3D analiza)

Tehnički podaci primjera sustava izrađenog pomoću komponente T2RED (Raychem):

- | | |
|--------------------------------------|------------------|
| • snaga grijanja | 5–15 W/m |
| • maksimalna duljina kruga grijanja | do 100 m na 10 A |
| • minimalni radijus savijanja | 35 mm |
| • maksimalna proizvedena temperatura | 45 °C |
| • maksimalna temperatura udara | 65 °C |
| • maksimalne dimenzije (Š × V) | 6,0 mm × 8,7 mm |

Analize klimatskih uvjeta provedene, npr. za Varšavu i Wrocław, pokazale su da će se antikondenzacijski sustav koristiti od 12 do 18 dana u godini. Praktično iskustvo prikupljeno, npr. u povijesnim zgradama u Mrągowo, dokazuje da je vrijeme kada je sustav uključen još kraće, unatoč njegovom smještaju u hladnijoj klimatskoj zoni.

3.4.2. Izolacija stropova iznad negrijanih podruma

Izolacija stropova iznad negrijanih podruma može biti problematična. Ovo je poseban slučaj toka topline čiji je vektor usmjeren okomito prema dolje. Stoga je najbolje rješenje izolirati stropove s podrumske strane. Ovdje je ipak potrebno ispuniti nekoliko uvjeta, a to su korištenje sporogorećih materijala (uglavnom vlakno-cementne ploče) i ostavljanje potrebne visine podrumskih prostorija nakon što je strop izoliran. U ovom slučaju nije potrebno proširiti izolaciju na zidove.

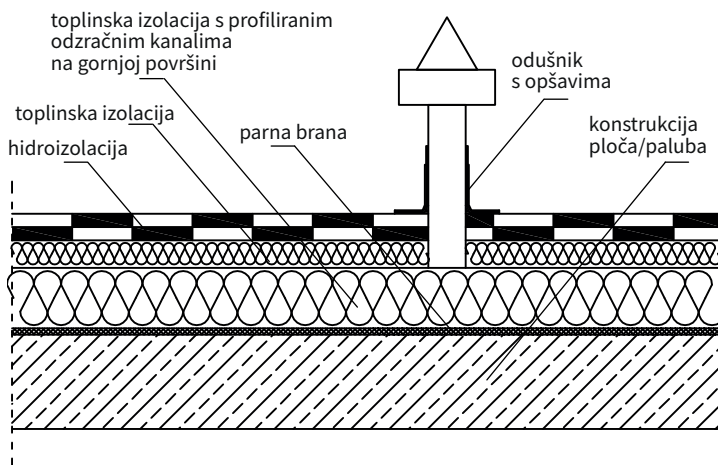
3.4.3. Izolacija ravnih krovova

Toplinska izolacija ovojnice zgrade uvijek nosi rizik od ozbiljnih promjena vlažnosti izvorno izrađenih materijala. S jedne strane, može se riješiti

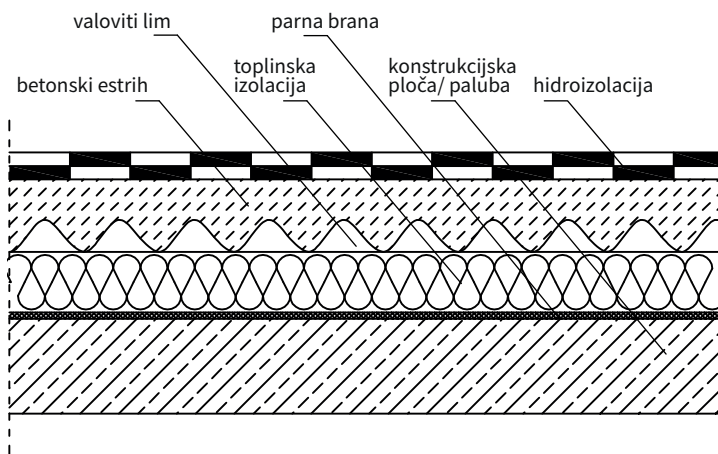
problem velikih toplinskih gubitaka, s druge strane, izolacijski materijali mogu blokirati difuzni tok pare.

Imajući to u vidu, prilikom projektiranja i izvođenja energetske obnove ravnog krova potrebno je detaljno analizirati način odvodnje vlage koja se nakuplja između postojeće konstrukcije i projektirane toplinske izolacije.

Najpopularnije rješenje je izvedba **toplog krova s ventilacijskim otvorima** (sl. 17.). Može se staviti iznad suhih i umjereno vlažnih prostorija (s maksimalnim tlakom vodene pare u zraku od 1200 Pa do 1600 Pa). Preko sloja



Sl. 26. Topli ravni krov s gljivama za ventilaciju – vertikalni presjek



Sl. 27. Topli ravni krov s ventilacijskim kanalima – okomiti presjek

toplinske izolacije i ispod hidroizolacijskog sloja potrebno je izvesti mrežu međusobno povezanih zračnih kanala koje omogućuju provjetravanje viška pare koja prodire uglavnom iz unutrašnjosti zgrade. Kanali malih presjeka nastaju upotrebom odgovarajućih materijala, npr. krovnog filca s grubim zrnom, perforiranog krovnog filca ili kanala profiliranih u toplinskoj izolaciji. Odzračivanje pare moguće je kroz odgovarajuće oblikovane opšave na rubovima krova i sustav ventilacijskih otvora (gljive za ventilaciju na krovu) postavljenih na krovu. Prilikom uklanjanja snijega s krova potrebno je paziti da se ne oštete ventilacijski otvori.

Drugo rješenje je izrada **toplog krova s ventilacijskim kanalima** iznad toplinske izolacije (sl. 18.). To se može učiniti, npr. postavljanjem toplinske izolacije betonskim estrihom na valoviti lim. Kanale stvorene između toplinske izolacije i valovitog lima potrebno je provjetravati pomoću odgovarajuće oblikovanih opšiva s otvorom na podnožju ili ovojnici, parapetnim odzračivanjem (ovisno o konstrukciji krova) ili gljivama za ventilaciju na krovu.

Kao toplinska izolacija može se koristiti mineralna vuna ili prirodni materijali s mnogo manjim ugljičnim otiskom, npr. celuloza ili drvena vlakna u obliku profiliranih ploča ili zapuna.

Zeleni krov

Ravni krovovi s dovoljno visokom nosivosti mogu se toplinski izolirati obrnutim krovom prekrivenim zelenilom. Izravno na izvornu strukturu postavlja se vrlo čvrsta hidroizolacija, koja mora imati nagib od najmanje 1 : 80 kako bi se osiguralo otjecanje kišnice, zatim retenciono-drenažni sloj i vegetacijski sloj. U ekstenzivnoj verziji, koja je najčešća, težina vegetacijskog sloja i biljaka kreće se od 20 do 30 kg/m².

Jedna od prednosti obrnutog krova je da vodonepropusni pokrov sprečava da vodena para iz unutrašnjosti zgrade dođe do izolacije i da se kondenzira unutar nje, dok izolacija održava strukturu toplom, čime se smanjuje rizik od kondenzacije unutar zgrade.¹¹⁸

Prednost zelenih krovova, osim estetskih vrijednosti, je zaštita od buke, puno bolja zaštita od pregrijavanja, **ublažavanje klimatskih promjena**, povećanje biološke raznolikosti i pročišćavanje zraka. Zeleni krov također štiti krovšte od vanjskih utjecaja kao što su temperaturne promjene, inozlacija, vjetar i kiša.¹¹⁹

U kontekstu **prilagodbe klimatskim promjenama**, važna značajka zelenih krovova su njihova hidrološka svojstva jer smanjuju volumen otjecanja oborinskih voda od 30% do 86%, smanjuju vršni protok od 22% do 93% i odgađaju vršni protok do 30 min. Dakle, osim što imaju pozitivan utjecaj na okoliš i zgradu, mogu smanjiti rizik od bujičnih poplava, poplava i erozije tijekom obilnih oborina (vidjeti više o zelenim krovovima u poglavlju 4.2.).¹²⁰

118 Historic England, *Energy Efficiency and Historic Buildings: Insulating Solid Ground Floors*, English Heritage, Swindon 2016.

119 Ipak, treba voditi računa o pravilnoj odvodnji viška kišnice.

120 Yanling Li, Roger W. Babcock, *Green roof hydrologic performance and modeling: a review*. *Water Sci Technol* 1 February 2014; 69 (4): 727 – 738. doi: <https://doi.org/10.2166/wst.2013.770>.

3.5. Kosi krov

Tomasz Jeleński · Tehnološko sveučilište u Krakovu
Cezary Czemplik · Poljsko udruženje za prirodne zgrade

3.5.1. Konzervacija i popravak krova

Pretpostavlja se da krovovi trenutno stvaraju od 8% do 17% svih toplinskih gubitaka u zgradama.¹²¹ Međutim, značajno poboljšanje svojstava termovlažnosti i energetske učinkovitosti zgrade može se postići ponajviše uklanjanjem uzroka vlage u zgradi. Stoga se preporučuje prvo pregledati i po potrebi popraviti nepropusnost krovišta, opšave, oluka i odvodne cijevi.

Pogreške učinjene tijekom naknadne ugradnje krovova uključuju posebno uklanjanje streha, nepravilan kut ovjesa oluka, nedostatak ili nedovoljnu veličinu lijevka za odvodnu cijev, nedostatne poprečne presjeke odvodnih cijevi, te nedovoljno dugačke krajeve odvodnih cijevi, što rezultira i otjecanjem vode preblizu temelja. Sve ove pogreške mogu rezultirati strukturnom vlagom zgrade (vidjeti poglavlje 3.1).

Problemi mogu biti uzrokovani i promjenom krovišta, modifikacijom krovne rešetke te narušavanjem, pa čak i uništavanjem integriteta krovne konstrukcije. Umjesto da zaštititi zgradu, oštećeni krov može je početi uništavati, npr. pucanjem zidova bez prethodnih horizontalnih sila.¹²²

U slučaju zaštićenih građevina, preporučuje se obnova izvornog krovišta potrebnim popravcima upotrebljavajući materijale koji nalikuju izvornom obliku i boji što je više moguće. Ako tehničko stanje krovišta onemogućuje daljnju uporabu, propisi o zaštiti baštine ne zabranjuju zamjenu krovišta novim. Međutim, novo krovište treba zadržati oblik, boju i završnu obradu izvornog, što ne isključuje mogućnost korištenja drugog materijala, npr. recikliranog, te zadržati izvorni izgled oplate uz korištenje trajnih i nekorozivnih materijala kao što je titan-cink lim.

Prilikom popravka i zamjene elemenata krovne rešetke potrebno je koristiti tradicijske spojeve za obradu drva i rekonstruirati sve ukrasne profile izvornih drvenih elemenata kao što su čeone daske, češljevi za strehe i podnožja. Kemijska impregnacija drvenih elemenata je prihvatljiva ako ne mijenja boju drva.¹²³ U slučaju tavana pretvorenih u stambene prostore, može se koristiti paropropusna membrana.

Ako su krovni prozori također od povijesne vrijednosti, ne bi ih trebalo zamijeniti, već postupiti kako je opisano u poglavlju 3.3.1. Dopušteno je ponovno zidanje oštećenih dimnjaka uz zadržavanje oblika, izvornih boja i načina završne obrade uz korištenje povijesno opravdanih materijala, npr. vapneno-pješčane žbuke.¹²⁴

U slučajevima zgrada najveće povijesne vrijednosti,¹²⁵ ne treba primjenjivati daljnje mjere izolacije, ali u većini povijesnih zgrada toplinska izolacija krova je moguća pod uvjetom da su promjene reverzibilne i da je nosivost postojeće konstrukcije određena uz uvjet mogućnosti nošenja težine izolacijskog sustava.

121 Narodowy Instytut Dziedzictwa, *Standardy termomodernizacji obiektów zabytkowych: Wytyczne Generalnego Konserwatora Zabytków dotyczące ochrony wartości dziedzictwa kulturowego w procesie poprawy charakterystyki energetycznej budowli zabytkowych*, NID, Warszawa 2020.

122 Rouba, Bogumiła J., *Zawilgocenie jako problem w ochronie obiektów budowlanych i zbiorów muzealnych (Dampness as a problem in the context of the protection of buildings and museum exhibition items)*. Szreniawa: MNRI PR-S. 2017: 35–58.

123 Bakalarczyk, Szymon, *Zasady remontowania obiektów zabytkowych (Rules of Renovation of Listed Buildings)*, WUOZ, Olsztyn. <https://www.wuoz.olsztyn.pl/zasady-remontowania-zabytkow> (kolovoz 2021).

124 Bakalarczyk, Szymon, op.cit.

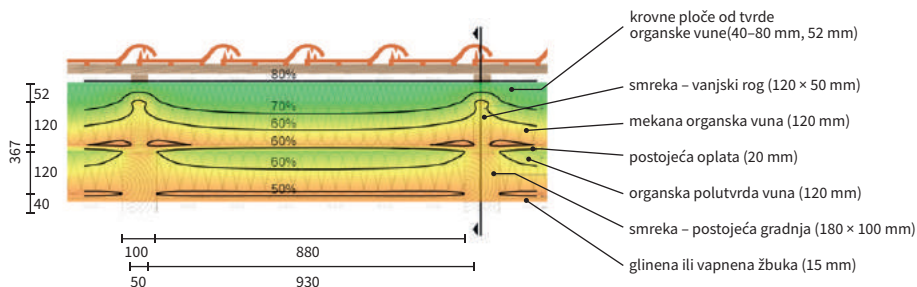
125 Poljski sustav službeno ne uključuje takvu kategoriju, ali se koristi u praksi. Ovo smo spomenuli u Poglavlju 2.

3.5.2. Nadogradnja krova: ventilacija, paropropusnost i zrakonepropusnost zraka

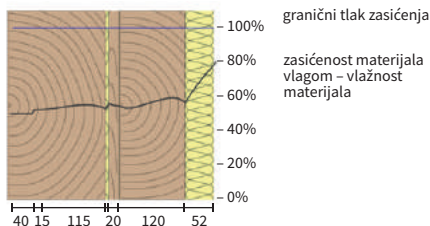
Kada se krov toplinski izolira, najsigurnija strategija obnove je osigurati difuzijsku otvorenost toplinsko-izolacijskog materijala i dobro prozračivati izvana, između toplinske izolacije i krovnog pokrova, te parnu branu s punom nepropusnošću za zrak iz unutrašnjosti (ispod izolacije). To je ključno kako bi se izbjegla konvekcija i difuzija toplog, vlažnog zraka u zatvorenom prostoru što bi moglo dovesti do kondenzacije vodene pare u izolacijskom sloju. Vлага narušava toplinska izolacijska svojstva popularnih izolacijskih materijala, poput mineralne vune, koji nemaju visoki kapacitet za vlagu.

Ako iznutra nije moguća izvedba nepropusne parne barijere, potrebno je primijeniti sustav koji je potpuno otvoren za difuziju. Bitno je da nijedan od izolacijskih i završnih materijala ne djeluje kao prepreka isparavanju viška vlage (sl. 19 i 20). Također je važno da izolacijski materijal omogućuje privremeno nakupljanje vlage bez značajnog gubitka izolacijskih svojstava i da može učinkovito otpuštati vlagu u zrak. Takva svojstva, prije svega, ima prirodna vuna, ali i celuloza, silikati te završni materijali poput gline i vapnene žbuke.

Unutrašnji prostor s visokom vlagom zahtijeva korištenje membrana s promjenjivom difuzijom. To zaustavlja vlažan zrak iz unutrašnjosti i omogućuje uklanjanje viška vlage iz izolacije kada se unutrašnjost osuši.

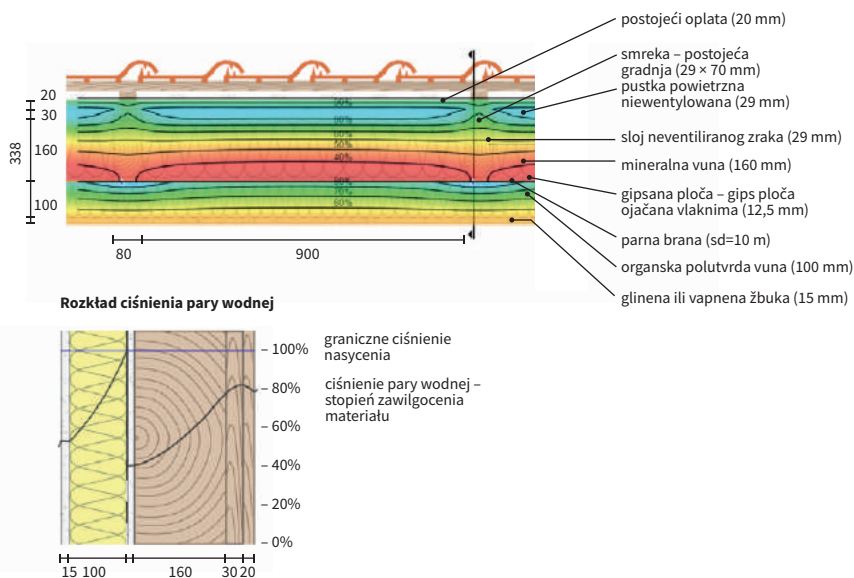


Raspodjela tlaka vodene pare



Sl. 28. Primjer: Difuzijski otvorena organska izolacija ($U=0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$) ne zahtijeva nužno primjenu parne brane s unutarnje strane ako njezina primjena nije moguća. Primjena difuzijski otvorenih materijala osigurava manje razlike u vlažnosti drva i izolacijskih materijala. Svi elementi od drva rade u optimalnim uvjetima. Ipak, potrebno je obratiti pozornost na zaštitu konstrukcijskih elemenata od požara (vidljivih iznutra).¹²⁶

¹²⁶ Ilustracija je preuzeta iz U-wert.net, Ubakus, www.ubakus.de (srpanj 2021).



Sl. 29. Primjer: Postizanje $U=0,15 \text{ W/mK}$ moguće je i u slučaju naknadne **ugradnje prethodno izoliranih krovova**. Postojeća gips ploča (protupožarna zaštita prethodno postavljene izolacije od mineralne vune) obložena je membranom $S_d=10 \text{ m}$, čime je omogućeno dodatnih 10 cm toplinske izolacije drvenom vunom. Završna obrada difuzijsko-otvorenim žbukom (vapnena ili glinena) regulira vlažnost i osigurava sporogoreću površinu.¹²⁷

127 Ilustracija je preuzeta iz U-wert.net, Ubakus, www.ubakus.de (srpanj 2021).

Obično je potrebno, kao u gore opisanim slučajevima, osigurati difuzijsku otvorenost i dobru ventilaciju ispod pločica ili druge obloge. To je najsigurnije rješenje koje omogućuje prirodno sušenje termoizolacijskog sloja u slučaju njegove vlažnosti.

Ako se ne može osigurati difuzija i ventilacija kroz vanjske krovne slojeve, potrebno je ograničiti prodor vlage u konstrukcijski i izolacijski sloj primjenom membrana s određenim koeficijentom difuzije. To mogu biti membrane s promjenjivom difuzijom, ovisno o razini vlage u unutrašnjem prostoru.

Ako je zbog zaštite naslijeđa ili iz estetskih razloga potrebno rogove ostaviti vidljivima iznutra, izvorna krovna konstrukcija može se s gornje strane pokriti izolacijom s dodatnim ojačanjem rogova. Ojačanje konstrukcije posebno je važno u kontekstu promjenjivih klimatskih uvjeta i novih norma vezanih za opterećenje snijegom. Postojeće grede i oplata mogu se u tom slučaju prekriti novom konstrukcijom i toplinskom izolacijom. Ovisno o debljini nove vanjske izolacije, prostor između izvornih rogova možda neće biti potrebno izolirati, tako da unutrašnjost može zadržati izvorni izgled. Međutim, promijenila bi se razina krovništva i izgled strehe.

Kod toplinske izolacije koja je zatvorena za difuziju, kao što je PUR pjena, potrebno je osigurati punu vodonepropusnost izvana jer u slučaju bilo kakvog curenja, vlaga nakupljena unutar krova ima ograničenu mogućnost isparavanja.

Ako nijedno od rješenja toplinske izolacije krova nije moguće i krovni prostor se neće grijati, potrebno je postaviti izolacijski sloj na pod iznad najviše

grijane etaže. Mogu se koristiti rastresiti materijali na bazi konoplje ili celuloze. Nedostatak ovog rješenja je što potkrovlje postaje negrijani prostor ograničene uporabljivosti.

3.5.3. Adaptacija potkrovlja, obnova krova i nadogradnja gornje etaže

U slučaju neiskorištenih potkrovlja treba razmotriti njihovu adaptaciju, što će rezultirati povećanjem površine zgrade i time olakšati financiranje energetske nadogradnje. Spomenuto se posebno odnosi na višeočeteljske ili nestambene zgrade.

Konzervatori obično prihvaćaju adaptaciju potkrovlja zaštićenih građevina, ali pod određenim uvjetima. Obično se preporučuje postavljanje krovnih prozora na nevidljive površine, dok njihova ugradnja na krovne kosine na frontalnom dijelu ili dijelove vidljive iz različitih smjerova, može biti problematična. Zatim se preporučuje prirodno osvjjetljenje prednjih prostorija putem tunelskih krovnih prozora postavljenih na krovnu površinu koja nije izložena pogledu.

U slučaju obnove, zamjene krovnog pokrova, rekonstrukcije ili adaptacije negrijanog tavana u toplo, uporabljivo potkrovlje, važno je procijeniti nosivost postojeće krovne konstrukcije i težinu izolacije i/ili novog pokrova te prilagoditi konstrukciju novim zahtjevima nosivosti. Zbog istrošenosti materijala, pukotina i općeg slabljenja mnoge povijesne građevine bez temeljite obnove neće zadovoljiti nove zahtjeve.



Fot. Ewa Mackiewicz



Fot. Ewa Mackiewicz

Sl. 30. Palača u Rzychówu izgrađena 1888. te je uvrštena u poljski Registar spomenika. U tijeku je modernizacija palače koju provodi Zaklada za zaštitu spomenika kulture. Dosad je obnova uključivala fasade i krov, čije je krovšte prilagođeno za dodavanje fotonaponskih panela na nevidljivom i ravnom dijelu. Novi krov također omogućava skrivanje tehničkih elemenata ventilacijskog sustava za povrat topline. Instalirane su replike povijesnih prozora koji su imali visoke toplinske parametre te su izolirani stropovi na prvom katu. Planovi uključuju ugradnju fotonaponskih panela s uređajem za elektrolizu, odnosno za proizvodnju „zelenog“ vodika, kao i vodikovu gorivu ćeliju za opskrbu palače sa strujom, kao i energetski učinkovit sustav grijanja te senzor i automatizirani sustav za praćenje potrošnje energije. Također je u planu ponovno „oživjeti“ povijesni tlocrt parka.

128 Ibidem.

Ako je potrebno održati skladan izgled krova kao u konzervatorskom području, nedopustivo je izdizanje krovšta radi izolacije, čime bi se promijenio profil i proporcije krova, posebice strehe i ruba krovšta s olucima. Toplinska izolacija s unutrašnje strane obično je dopuštena između rogova, ali rogovi moraju ostati vidljivi. U zgradama bez povijesne vrijednosti krovna izolacija je moguća i ispod rogova.¹²⁸

U zaštićenim i u nezaštićenim zgradama položaj i raspored krovni prozora mora biti prilagođen kompozicijskim osima koje su definirane prozorima na pročelju. Time će se očuvati sklad i cjelovitost cijelog uzvišenja. Ovo načelo treba poštivati i u slučaju projektiranja dodatnog gornjeg kata.

Ako struktura zgrade i arhitektonski/baštinski kontekst dopuštaju izgradnju dodatnog gornjeg kata, to je u pogledu zaštite klime korisno. Dogradnja etaže podliježe obveznoj građevinskoj dozvoli koja zahtijeva da se cijela zgrada prilagodi zahtjevima važećeg zakona o gradnji.

3.5.4. Pokrivanje krova

Glavni problem pri naknadnoj ugradnji krova može nastati zbog povećanog opterećenja krova. Stoga je ključno pitanje za odabir novog krovšta i dodatne izolacije njihova težina. Drugo važno pitanje je ugljični otisak proizvodnje krovnog materijala. Osim estetike, ovdje su najpovoljniji lakši krovni pokrivači od asfaltne šindre ili tradicijskih limova. Ugljični otisak krovnog pokrivača može biti i do + 56 kg CO₂ kod aluminijskog lima; + 13–16 kg CO₂ kod pločica; 4,5 kg CO₂ kod asfaltne šindre (sl. 31.) ili može imati negativnu vrijednost u slučaju šindre od slame, trske i drva, koje su sposobne akumulirati CO₂ u organskoj tvari.

Organski materijali također djeluju kao toplinska izolacija i štite unutrašnjost od pregrijavanja, što se u slučaju tvrdog krovšta može postići u ograničenom opsegu i samo primjenom svijetlih boja ili reflektirajućim završnim obradama. Spomenuto zbog arhitektonskih/pejzažnih karakteristika možda nije prihvatljivo. Međutim, korištenje organskih krovova u višeobiteljskim i zgradama javne namjene u širim razmjerima ograničeno je zahtjevima zaštite od požara i obveznim održavanjem svakih 5–10 godina.

U proračunu životnog vijeka materijala treba uzeti u obzir njihovu trajnost. Ona je najveća kod keramičkih krovšta, zatim kod metalnih krovšta od bakra i cinka, a najmanja kod organskih i bitumenskih materijala. Kada je zgrada projektirana za dugi uporabni vijek, upotreba izdržljivih materijala može biti korisna za ugljični otisak, čak i ako njihova proizvodnja privremeno stvara veće emisije CO₂.

Zanimljiva alternativa rješenjima na bazi keramičkih ili betonskih crjepova mogu biti kompozitni crjepovi od recikliranog PET-a, koji vizualno podsjećaju na keramičke crjepove, ali su 40% jeftiniji i 50% lakši. Lakši crjepovi mogu se montirati na staru krovnu rešetku bez potrebe za njezinim pojačanjem ili potpunom pregradnjom. Čak i ako se pojavi potreba za zamjenom rešetke, manja težina krovšta generira 40% smanjene troškove konstrukcijskog materijala i 30% smanjene troškove transporta.¹²⁹

129 Tileco, *Dachówki kompozytowe - alternatywa w pokryciach dachowych* (Composite Tiles – An Alternative Solution to Roofing), Dekarz i Cieśla 21.12.2017, <http://fachowydekarz.pl/dachowki-kompozytowe-alternatywa-pokryciach-dachowych> (srpanj 2021).



Sl. 31. Karakteristike krovnih materijala u smislu utjecaja njihovih proizvodnih procesa na klimu. Ilustracija *The construction material pyramid* razvijen od CINARK – Centre for Industrialised Architecture, The Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation, je preuzeta iz www.materialepyramiden.dk/# (srpanj 2021). Uvedene su varijable: GWP, kg, no filter, 1m² roof cladding.¹³⁰

Novo, ali skupo rješenje su solarni crjepovi s integriranim fotonaponskim ćelijama, koje će postupno smanjiti ugljični otisak zgrade. Smanjenje cijena ćelija, kao i izum Olge Malinkiewicz – tiskane, elastične i prozirne perovskitne solarne ćelije, uskoro bi mogli poboljšati dostupnost i asortiman materijala s integriranim fotonaponskim elementima, omogućujući njihovu upotrebu i u zaštićenim zgradama.¹³¹ (Više o korištenju fotonapona može se naći u poglavlju 5.2.).

Druga opcija može biti zeleni krov. Zeleni krovovi poznati su od davnina, kako u južnoj tako i u sjevernoj Europi. Mogu se primjenjivati i na ravnim i na kosim krovovima i dobro funkcioniraju u većini klimatskih uvjeta. Kao dodatni izolacijski sloj štite zgrade od pregrijavanja, mraza, buke, te vrlo učinkovito sprečavaju širenje požara. (Više o zelenim krovovima vidjeti u poglavljima 2.1.1.2 i 4.1.1.1.).

3.5.5. Prirodni izolacijski materijali

Proizvodnja izolacijskih materijala također troši velike količine energije. Na primjer, 8 kWh konačne energije koristi se za proizvodnju 1 kg mineralne vune, što znači visoku emisiju CO₂, posebno u uvjetima elektroenergetskog sustava Poljske.¹³²

Od niskoemisijских materijala najzanimljivije su celulozna i drvena vuna te manje popularna ovčja vuna, koja ima izvrsna vodootporna

130 Ilustracija *The construction material pyramid* razvijen od CINARK – Centre for Industrialised Architecture, The Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation, je preuzeta iz www.materialepyramiden.dk/# (srpanj 2021). Uvedene su varijable: GWP, kg, no filter, 1m² roof cladding.

131 Saule Technologies, *Building Attached Photovoltaics*. <https://sauletech.com/bapv> (lipanj 2022).

132 KAPE, *Ekspertyza w zakresie określenia optycznych podejść do modernizacji właściwych dla danego typu budynków i strefy klimatycznej* (Analysis of the cost effectiveness of retrofitting strategies for different building types and climate zones), KAPE, Warszawa 2020.

133 The University of Waikato, *Wool fibre properties*, Science Learning Hub. <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/875-wool-fibre-properties> (ožujak 2022).

134 Pawłowski, Krzysztof, *Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce (Innovative solutions for thermal insulation materials in the aspect of retrofitting of buildings in Poland)*, Izolacje 3/2018. <https://www.izolacje.com.pl/artykul/sciany-stropy/182305,innowacyjne-rozwiazania-materialow-termoizolacyjnych-w-aspekcie-modernizacji-budynkow-w-polsce> (srpanj 2021).

i temperaturno-regulirajuća svojstva, neutralizira štetne tvari i osigurava izolaciju od buke.¹³³ Izolacijske ploče od ovčje vune imaju toplinsku vodljivost $\lambda = 0,0385 \text{ W/(mK)}$ i nasipnu gustoću $\rho = 14\text{--}100 \text{ kg/m}^3$. Korištenje materijala veće gustoće i toplinskog kapaciteta dodatno smanjuje pregrijavanje tijekom ljeta.

Posebno nizak ugljični otisak karakterizira ekspanzirane plutene ploče koje u svojoj strukturi ne sadrže poliuretan. Ploče od pluta za toplinsku izolaciju kosih drvenih krovova imaju toplinsku vodljivost $\lambda = 0,037 \text{ W/(mK)}$.¹³⁴

Popularnije alternative uobičajenoj mineralnoj vuni u kombinaciji s parnom branom mogu prvenstveno biti prirodni vlaknasti materijali: drvo, konoplja i vlakna slame. Jedna od njihovih prednosti je ta što ne zahtijevaju nužno ventilirani prostor ispod daske ili pločica. Umjesto pune daske, rogovi se mogu obložiti difuzijski otvorenim polukrutim izolacijskim pločama i dodatno izolirati s donje strane celulozom, drvenom vunom ili difuzijski otvorenom poliuretanskom pjenom. U takvim je slučajevima stambena potkrovlja potrebno iznutra zaštititi od požara u skladu s klasom EI 30, prekrivanjem izolacije, npr. vlaknastim pločama s vatrostalnom žbukom.

Sposobnost akumulacije CO_2 u sustavu za naknadnu ugradnju krova na bazi organskih materijala veća je nego kod zidova i može iznositi čak $\sim 47 \text{ kg/m}^2 \text{ CO}_2$.

3.5.6. Termoreflektirajuća i vakuumska izolacija

Termoreflektirajuća izolacija izrađena je od mjehuraste folije prekrivene aluminijskom folijom ili se sastoji od više slojeva metalizirane folije, vate, reflektirajućih umetaka i/ili pjene. Njezina učinkovitost temelji se na sprečavanju konvekcije i refleksije toplinskog zračenja u unutrašnjost zgrade. Ova svojstva i učinci ne odražavaju se na koeficijent toplinskog otpora (R-vrijednost) ili metodologiju proračuna koeficijenta prijenosa topline (U-vrijednost), stoga se učinkovitost takve izolacije ne može izravno usporediti s ranije opisanim rješenjima. Proizvođači navode da tanka termoreflektirajuća ploča smanjuje gubitak toplinske energije kao 20 cm sloja mineralne vune. Međutim, takva svojstva mogu se postići samo bez izravnog kontakta ili izmjene topline s drugim materijalima.¹³⁵ Stoga reflektirajuća toplinska izolacija mora uvijek biti smještena u zračnu šuplinu, npr. između rogova.

Termoreflektirajuća izolacija također pokazuje paroizolacijska svojstva $S_d = 5\text{--}50$, pa je potrebno paziti da se čvrsto ugradi. Obično je osigurana od oštećenja gips pločama. Cijeli sustav ima mali unutrašnji toplinski kapacitet.

Još jedno alternativno rješenje može biti vakuumska izolacija (difuzijski zatvorena) koja omogućuje koeficijent vodljivosti od oko $\lambda = 0,007 \text{ W/(mK)}$ na temelju učinka vakuuma zarobljenog u folijama. Zahvaljujući niskoj toplinskoj vodljivosti (λ ili k), takva izolacija može zadovoljiti zahtjeve za teorijsku provjeru toplinskog otpora ovojnice. Nažalost, trajnost ovog rješenja nije dovoljno dokazana za usporedbu s tradicijskim organskim izolacijama.

135 Aluthermo, *Aluthermo®QUATTRO*. <https://aluthermo.com.pl/produkty/aluthermo-quattro> (srpanj 2021).

3.6. Sustav ventilacije

Tomasz Jeleński • Tehnološko sveučilište u Krakovu

U većini zgrada ventilacijski sustav odgovoran je za najveće gubitke energije. Statistički gledano, u stambenim zgradama u Poljskoj, 30–40% energije gubi se kroz ventilaciju.¹³⁶ Istodobno, učinkovita ventilacija je neophodna u svakoj zgradi. Nedovoljna izmjena zraka uzrokuje ozbiljne prijetnje zdravlju ljudi i kvaliteti građevina.

Većina povijesnih zgrada ovisi o prirodnoj, pasivnoj ventilaciji. Oslanja se na toplinski tlak uzrokovan razlikama u temperaturi i gustoći zraka između unutrašnjeg i vanjskog te na tlak vjetrova uzrokovan vanjskim vjetrom. Iskorišteni i zagrijani zrak odvodi se kroz kanale za prozračivanje dimnjaka zahvaljujući efektu dimnjaka. Sustav kanala nadopunjen je raznim otvorima kroz koja u unutrašnjost struji svjež i obično hladniji zrak. Dodatno provjetravanje osigurava se otvaranjem prozora.

Takav sustav ne dopušta kontrolu količine izmijenjenog zraka. Količine protoka zraka pasivnog dimnjaka uvelike ovisi o vremenskim prilikama i stanovima uz rizik od prekomjerne ili nedostatne ventilacije. Ponekad je razmjena zraka previsoka, što uzrokuje nepotrebno velike gubitke energije, a ponekad preniska – zbog začepljenja ili izmjene ventilacijskih kanala ili brtvljenja ovojnice zgrade. To se često događa nakon zamjene postojećih prozora s vrlo tijesnim prozorima (vidjeti poglavlje 3.3.). Zatvaranje dovoda zraka uzrokuje prestanak rada prirodne ventilacije, što može rezultirati visokom relativnom vlagom unutrašnjeg zraka, čak i preko 80%.¹³⁷

Ako se vlaga koju stvaraju stanari ne odzrač, povećava se rizik od razvoja plijesni na toplinskim mostovima (vidjeti poglavlja 2. i 3.). Pri relativnoj vlažnosti zraka od 60%, plijesan se može pojaviti već pri površinskoj temperaturi od 15,5 °C i nižoj.¹³⁸ Takve površinske temperature uobičajene su unutar starih zgrada s premalo izolacije.

Postoje tri glavna zahtjeva za stope izmjene zraka u zgradama.¹³⁹

- Kako bi protok zraka bio dovoljan za odvođenje vlage, mirisa i CO₂ koje stvaraju stanari, preporučuje se protok dovodnog zraka od 20–30 m³/h po osobi.
- Onečišćenje zraka, mirisi i vlaga koji nastaju u „mokrim“ prostorijama trebali bi biti odvedeni protokom odvodnog zraka u rasponu od 40–60 m³/h za kuhinje i pomoćne prostorije, do 40 m³/h za kupaonice i 20 m³/h za zahode.
- Bez obzira na broj stanara, uvijek treba osigurati minimalnu brzinu izmjene zraka od 0,3 1/h, kako bi se uklonila pozadinska kontaminacija i mirisi. U starim zgradama, bez novog namještaja ili građevinskog materijala, pozadinska kontaminacija može biti niska, stoga bi brzina izmjene zraka od 0,2 1/h mogla biti dovoljna.

Preporučene izmjene zraka po satu ne smiju se prekoračiti kako se ne bi trošila energija zagrijanog zraka tijekom razdoblja grijanja. S druge strane, nedovoljna izmjena zraka može rezultirati potencijalnim negativnim učincima na zdravlje i dobrobit stanara. Simptomi lošeg ventilacijskog sustava

136 Narodowy Instytut Dziedzictwa, *Standardy termomodernizacji obiektów zabytkowych: Wytoczne Gerałnego Konserwatora Zabytków dotyczące ochrony wartości dziedzictwa kulturowego w procesie poprawy charakterystyki energetycznej budowli zabytkowych*, Warszawa: NID 2020: 32.

137 Kaliszuk-Wietecha Agnieszka, et al., *Opracowanie dotyczące możliwości termomodernizacji budynków zabytkowych ze szczególnym uwzględnieniem docieplenia przegród pionowych*, NID, Warszawa 2019.

138 Troi, Alexandra, Zeno Bastian, Eds., *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Basel: Birkhäuser 2015: 20.

139 Ibidem.

moгу uključivati umor, nadražene sluznice, bolesti dišnog sustava ili česte glavobolje.

Uobičajeni je cilj kontrolirati izmjenu zraka, tj. zatvoriti ovojnicu zgrade, uključujući stolariju i instalacijske propuste, zamijeniti pasivni ventilacijski sustav mehaničkim s funkcijom rekuperacije. Takav sustav iz zraka oporavlja velik dio toplinske energije, a ponekad i hladnoću ili vlagu, ako je potrebno. Zahvaljujući središnjem izmjenjivaču topline ili spajanju manjih jedinica za povrat topline, moguće je kontrolirati količinu izmijenjenog zraka, što osigurava zdrave i ugodne uvjete te uštedu energije.

3.6.1. Obnova pasivnog ventilacijskog sustava

Ako ugradnja mehaničke ventilacije u zgradu nije moguća, a nepropusnost je poboljšana tijekom energetske rekonstrukcije, potrebno je pasivni ventilacijski sustav dovesti u stanje maksimalne učinkovitosti otkrivanjem začepljenih ventilacijskih rešetki, deblokiranjem kanala i obnavljanjem originalnog rasporeda prostorija ako su bile podijeljene. Osobito u poslijeratnom razdoblju u zemljama srednje i istočne Europe bile su česte preinake prostranih građanskih stanova pregradnim zidovima, koji su razdvajali manje prostorije, od kojih su neke time bile lišene pristupa ventilacijskim kanalima.

Ako je nakon vraćanja izvorne učinkovitosti prirodne ventilacije zrak još uvijek prevlažan preporučuje se ponovno potpuno otvaranje prozora najmanje četiri puta dnevno za dovoljnu kvalitetu zraka i sprečavanje razvoja plijesni. Potpuno će otvaranje prozora na 3–5 minuta dovesti do mnogo nižih

140 Ibidem.

gubitaka topline, nego da su otvoreni tijekom duljeg razdoblja, a imaju isti učinak na kvalitetu zraka.¹⁴⁰ Kada se pravilno održava i podupire redovitim prozračivanjem, prirodna ventilacija posebno dobro funkcionira u zgradama s visokim toplinskim kapacitetom.

141 Ibidem.

Međutim, gdje god je to prihvatljivo i tehnički izvedivo, potrebno je nastaviti s ugradnjom mehaničkog ventilacijskog sustava s povratom topline. Tako se gubici topline ventilacije mogu znatno smanjiti i do 90%.¹⁴¹ Kvaliteta zraka također je poboljšana jer se dovodni zrak filtrira i predgrijava povratom topline i njegova pravilna opskrba ne mora se oslanjati na rutinu stanara.

Jedna od najvećih prednosti mehaničke ventilacije je to što ustupa mjesto poboljšanju nepropusnosti ovojnice zgrade, što dovodi do daljnje uštede energije, a smanjuje rizike, npr. koji proizlaze iz ugradnje unutrašnje izolacije ili uvođenja grijanja u adaptirani podrum ili tavan (vidjeti poglavlja 3.2. i 3.4.).

3.6.2. Mehanički i sustavi povrata topline

Prije početka nadogradnje koja uključuje izolaciju vanjskih zidova i/ili stolarije potrebno je ocijeniti ventilacijski sustav. Ocjena treba slijediti zakonske propise i norme.¹⁴² To je osnova za formuliranje preporuka o mogućoj

142 Kaliszuk-Wietecha, Agnieszka, et al., op.cit: 18.

modernizaciji ventilacijskog sustava. Drugo, treba razmotriti sustav koji nudi dugotrajnost, učinkovitost resursa i isplative uštede na dugi rok.

Široko korištena u novogradnji, rekuperacija toplotin uklanja zrak opterećen vlagom iz vlažnih prostorija zgrade. Zatim izvlači energiju iz zraka prije nego što je izbaci u atmosferu i koristi tu energiju za zagrijavanje svježeg zraka koji se isporučuje u stambene ili radne prostore unutrašnjosti. Govoreći o energetske učinkovitosti, povrat topline je vrlo koristan, ali instalacija cijelog sustava zahtijeva opsežne radove, kanale koji prolaze u različite prostorije ugrožavajući estetske i povijesne vrijednosti zgrade.

Pri određivanju trasa za nove ventilacijske kanale potrebno je poštivati povijesnu supstancu i razmotriti korištenje postojećih okna, uspona, brazdi, udubljenja i otvora nakon prethodnih instalacija. Nove ventilacijske uspone i zračne kanale treba postaviti prvenstveno u bivše pasivne ventilacijske i dimovodne cijevi opremljene odgovarajućim umetcima. Ako je potrebno primijeniti vidljive elemente, tijek instalacije treba prilagoditi arhitektonskom obliku zgrade – i njenom pročelju i interijeru.

Prilikom projektiranja vanjskih elemenata potrebno je uzeti u obzir sastav fasade i krova. Kanalski sustav potrebno je položiti na način da se može sakriti uz vijence, strehe, odvodne cijevi, oluke, istake i druge arhitektonske elemente.¹⁴³ Boje novih elemenata trebale bi se uklopiti u boje zidova.

Dovod svježeg zraka i/ili odvod ispušnog zraka mogu biti dopušteni na krovu ako su skriveni. No, prije svega treba koristiti raspoloživa rješenja koja omogućuju skrivanje tehničkih uređaja ispod razine terena ili u samostojećem obliku u prikladnom arhitektonskom rasporedu.

Ako je zgrada zaštićena, nije dopušteno zadiranje u izvorni arhitektonski i slikarski dekor. Nije prihvatljivo postavljati instalacije po uglovima prostorija i ravnini zidova. Ugradnji u debljinu žbuke treba prethoditi konzervatorski pregled kako bi se utvrdila moguća prisutnost polikroma. Općenito, na vidljivoj fasadi nisu dopušteni otvori za ventilaciju ili kanali. Uvjetno, ako nisu dokazane druge mogućnosti, dopušteni su neki nenagrdjujući elementi instalacije na stražnjoj koti, koji ne zadiru u njezinu povijesnu supstancu.

3.6.3. Izbor mehaničkog ventilacijskog sustava

Postoji nekoliko varijanti mehaničkih ventilacijskih sustava s povratom topline (MVHR). Osnova za odabir optimalnog rješenja je odluka je li za određenu zgradu prikladniji centralizirani ili decentralizirani sustav. Ne postoje opća pravila kojih bi se trebalo pridržavati pri donošenju ove odluke, bilo u pogledu zahtjeva za očuvanjem ili troškova. Izbor treba proizaći iz analize strukture, stanja i potreba zgrade. Također, potrebno je razumjeti značajke dostupnih ventilacijskih uređaja i razlike između sustava.

Centralni ventilacijski sustav (CVS) temelji se na korištenju jednog izmjenjivača topline i dva ventilatora za dovod i odvod zraka za cijelu zgradu. Potrebno je uzeti u obzir težinu i veličinu središnje jedinice te prostor za dovodne i odvodne kanale.

¹⁴³ Bakalarczyk, Szymon, *Zasady remontowania obiektów zabytkowych (Rules of Renovation of Listed Buildings)*, WUOZ, Olsztyn. <https://www.wuoz.olsztyn.pl/zasady-remontowania-zabytkow> (kolovoz 2021).

Prednosti CVS-a:

- ♦ značajno se smanjuje broj otvora koje je potrebno napraviti. Ako su dovod svježeg zraka i izlaz odsisnog zraka postavljeni na krov ili kanalizirani pod zemljom, otvori na fasadi nisu potrebni;
- ♦ centralna jedinica se može postaviti u strojarnicu ili vani, što je također velika prednost u smislu zvučne zaštite i održavanja;
- ♦ visoko učinkovite jedinice dostupne su u različitim veličinama;
- ♦ u većini slučajeva CVS ima niže troškove ulaganja i održavanja od decentraliziranog ventilacijskog sustava (DVS).

Nedostaci CVS-a:

- ♦ troškovi planiranja su relativno visoki, osobito u povijesnim zgradama za koje je potrebno pronaći rješenja po mjeri;
- ♦ prostorija za postrojenje za smještaj centralne jedinice nije dostupna u svim slučajevima i potrebno je osigurati prostor za sustav kanala. Stari dimnjaci se ponekad mogu koristiti za vertikalne ventilacijske kanale, ali je također neophodna horizontalna distribucija;
- ♦ ako kanal prolazi kroz vatrootporne elemente odjeljka, potrebne su dodatne mjere zaštite od požara.

Decentralizirani ventilacijski sustav (DVS) koristi nekoliko manjih jedinica za povrat topline za određene zone ili stambene prostore.

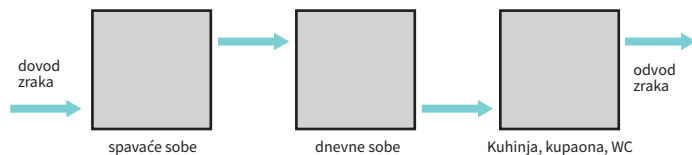
Prednosti DVS-a:

- ♦ pomaže u izbjegavanju postavljanja cijevi, ako je jedinica postavljena blizu ovojnice zgrade ili ugrađena u zid;
- ♦ posebna prostorija za postrojenje nije potrebna, a jedinica za povrat topline može se postaviti izravno u prostorije;
- ♦ prostorije nisu međusobno povezane zračnim kanalima, što povećava zaštitu od požara;
- ♦ troškovi planiranja i instalacije su niski jer su ugrađeni standardizirani sustavi;
- ♦ svakom jedinicom korisnik može izravno upravljati.

Nedostaci DVS-a:

- ♦ svaka jedinica treba dovod svježeg zraka i odvod prema van, najčešće kroz fasadu (zid ili prozor). Obično se ne prihvaća u zaštićenim zgradama i zonama zaštite. Treba pronaći rješenja koja su prihvatljiva i u skladu s načelima očuvanja baštine;
- ♦ budući da se sustav najčešće postavlja izravno u nastanjene prostorije, mora se osigurati zvučna zaštita;
- ♦ lakoća pristupa radi održavanja i servisa može biti još jedan problematičan zahtjev, posebno u slučaju višestambenih zgrada sa stanovima u najmu.

Načelo **kaskadne ventilacije** pomaže u pronalaženju optimalne učinkovitosti u pogledu brzine protoka i kanala. Na primjer, zrak se iz zone dovodnog zraka (spavaće sobe, dnevne sobe itd.) vodi preko prijenosne zone (npr. hodnici) u zonu odvodnog zraka (kuhinje, kupaonice, zahodi i pomoćne prostorije). Međutim, ako se i dnevne sobe smatraju prijenosnom zonom, tada je dovodni zrak potrebno osigurati samo za spavaće sobe i prevesti preko dnevnih soba

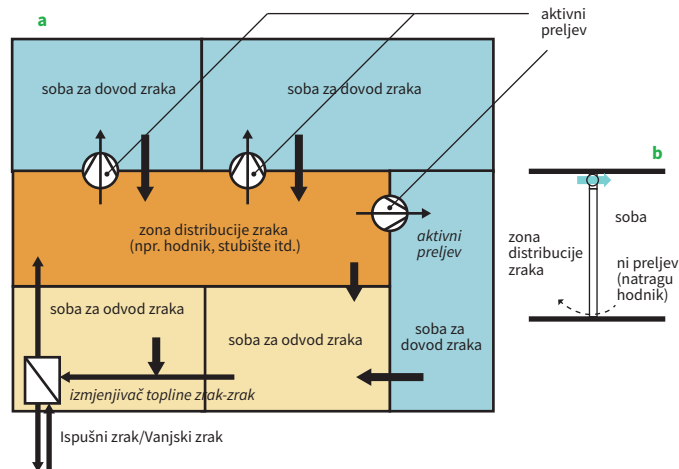


Sl. 32. Princip kaskadne ventilacije: dovod zraka samo u spavaće sobe.¹⁴⁵

i hodnika u zone odvodnog zraka (sl. 32.). Ovaj princip olakšava izgradnju energetski učinkovitog i isplativog ventilacijskog sustava, omogućujući smanjenje broja i duljine dovodnih zračnih kanala što je posebno važno za povijesne zgrade.¹⁴⁴

U nekim zaštićenim zgradama iz arhitektonskih ili konzervatorskih razloga ne smije se instalirati kanal za dovod zraka. Primjena **aktivnog preljevnog ventilacijskog sustava** tada može biti dobro rješenje, posebno kod preuređenja stambene zgrade. Jedinica za povrat topline uzima odvodni zrak iz zahoda, kuhinje itd., npr. kroz redundantne dimnjačke ventilacijske kanale. Jedinica opskrbljuje zagrijanim svježim zrakom u distribucijsku zonu (hodnici, stubišta, itd.). Mali ventilatori potrebni su za odvođenje zraka iz hodnika u prostorije za dovod zraka (aktivni preljev) (sl. 33.). To omogućuje izbjegavanje mreže vertikalnih i horizontalnih kanala za dovod zraka jer se stubište i hodnici koriste kao kanali. Nedostatak ovog sustava u odnosu na kaskadnu ventilaciju je manja učinkovitost ventilacije, jer dio iskorištenog zraka odlazi u razvodnu zonu (zbog pasivnog preljeva) gdje se miješa sa svježim zrakom.

Za projekte manjeg opsega i u zgradama u kojima nije moguće ugraditi sveobuhvatnu mehaničku ventilaciju, može se razmotriti ugradnja jedne ili više **jednosobnih jedinica za povrat topline**. Mogu biti vrlo korisni za kuhinje i kupaonice, vraćajući do 80% topline koja bi se inače izgubila pri ekstrakciji. Jedinice za rekuperaciju topline za jednu sobu ne zahtijevaju kanale i mogu koristiti postojeće kanale za ventilaciju i zidne obloge, što instalaciju čini mnogo lakšom i minimalno invazivnom.



Sl. 33. Aktivni preljevni ventilacijski sustav – dovodni zrak se dovodi u distribucijsku zonu, mali ventilatori pojedinačno odzračuju prostorije dovodnog zraka.¹⁴⁶

¹⁴⁴ Troi Alexandra, Zeno Bastian, Eds., op.cit.: 159

¹⁴⁵ Ilustracija je preuzeta iz Troi, Alexandra, Zeno Bastian (ed), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015, 159.

¹⁴⁶ Ilustracija je preuzeta iz Troi, Alexandra, Zeno Bastian (ed), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015, 160.

2.6.4. Ugradnja jedinice za povrat topline

U slučaju centralnog ventilacijskog sustava (CVS), glavna jedinica se obično nalazi u potkrovlju, podrumu ili izvan zgrade. U decentraliziranom sustavu ventilacije (DVS), jedinice se obično ugrađuju na unutrašnje površine fasada ili u stropni prostor. U svakom slučaju, jedinica za povrat topline treba biti postavljena što bliže ovojnici zgrade kako bi kanali bili kratki. Ako je jedinica postavljena izvan ovojnice, topli kanal s odvodnim i dovodnim zrakom između jedinice i ovojnice mora biti dobro izoliran. Ako je jedinica ugrađena u zid, duljina hladnog kanala smanjuje se na apsolutni minimum, čime se štede troškovi materijala i montaže, gubitka topline i troškova održavanja. U slučaju građevine koja je zaštićena, potrebno je razjasniti može li se ventilacijski sustav montirati na unutrašnju površinu vanjskog zida ili prozora.

U slučaju ugradnje u zid, postoje različita mjesta na kojima se takva jedinica može montirati: ispod prozora ako nema radijatora, pored prozora ili iznad prozora, ako ima dovoljno prostora i to ne utječe na nosivost nadvoja. DVS izmjenjivači topline često su ravni kako bi se smanjila debljina jedinice postavljene na zid ili dubina spuštenog stropa.

Ako konzervatorski zahtjevi zabranjuju otvore na fasadi, potrebno je detaljnije istražiti građevinsku konstrukciju. Ako dimnjaci više nisu u upotrebi, mogli bi poslužiti kao okna za ventilacijske kanale. Druga mogućnost je da se kanali za ispušni i dovodni zrak ukopaju u zemlju i uvuku u podrum ili suteran, ako se tamo želi postaviti centralni sustav.

Općenito, dovod svježeg zraka i izlaz odvodnog zraka zahtijevaju dva kanala, a time i dva otvora u ovojnici zgrade. Sustavi koaksijalnih kanala mogu pomoći da se minimizira broj otvora jer jedan koaksijalni kanal može istodobno prenositi zrak na oba načina. Svježi zrak se uvlači u zgradu kroz prstenasti otvor, dok se ispušni zrak ispuhuje kroz središnju cijev.¹⁴⁷ Tu su i zidni mini rekuperatori za decentralizirane sustave koji naizmjenično dovode i odvođe zrak kroz jedan otvor.

Kada je zgrada izolirana izvana, u izolacijski sloj može se postaviti kompaktni rekuperator, a ventilacijska dovodna i odvodna rešetka može se ugraditi u prozorski otvor. To je možda najdiskretniji način ugradnje decentraliziranog zidnog rekuperatora (sl. 34.).

147 Sibille, Elisabeth, et al., *Development of a coaxial-duct as outdoor air inlet and exhaust air outlet for ventilation units*. 18. Internationale Passivhaus TagungAt, Aachen 2014, DOI: 10.13140/2.1.1212.5448.



©Alnor

Sl. 34. Primjer decentraliziranog rekuperatora ugrađenog u vanjski izolacijski sloj. Na prozorskom otvoru vidljiva je vanjska ventilacijska (dovodna i odvodna) rešetka. Sa zidnim maskirnim elementom unutar prostorije, oni su jedini vidljivi dijelovi rekuperatora.

3.7. Sustav grijanja

Tomasz Jeleński • Tehnološko sveučilište u Krakovu

Uloga sustava grijanja je zagrijavanje zgrade i priprema potrošne tople vode. Pravilno odabran i projektiran sustav poboljšava toplinsku udobnost, štiti zgradu od oštećenja i smanjuje potrošnju energije.

Sustav obično uključuje izvor topline ili priključak na toplinsku mrežu (daljinsko grijanje) i odašiljače topline kao što su radijatori, konvektori ili površinski emiteri (podni, zidni, stropni). Sustavi grijanja koji nisu priključeni na mrežu i nemaju centralni izvor topline sastoje se od emitera topline koji se napajaju izravno električnom energijom. Koriste se rjeđe zbog većih komunalnih troškova.

3.7.1. Izvor topline

Izvor topline, kao osnovni element tipičnog sustava grijanja, ima najveći utjecaj na okoliš, odnosno potrošnju energije; emisije CO₂; emisije onečišćujućih tvari u zrak (lebdjeće čestice (PM), benzo(a)piren (B(a)P), sumporov dioksid (SO₂), dušikovi oksidi (NO_x)) i proizvodnje otpada poput pepela ili troske.

Sveobuhvatnom i dubinskom energetsom obnovom zgrade uporabom vlastitog izvora topline gotovo uvijek se zamjenjuje stari izvor topline. Ako u blizini zgrade postoji mreža grijanja, vrijedi prepoznati mogućnost priključenja na nju. Ovo je često najpovoljnije rješenje zbog smanjenja emisija i zbog isplativosti grijanja (vidjeti tablicu 3.7.4.).

Ako zgrada ima vlastiti izvor topline, važno je pravilno planirati faze obnove kako bi ugradnji učinkovitog sustava grijanja prethodilo smanjenje potražnje za toplinom, npr. poboljšanjem toplinske izolacije ovojnice zgrade i ventilacijskog sustava (vidjeti poglavlja 3.1. – 3.6.). Ako se ovo smanjenje ne razmotri unaprijed, novi sustav grijanja može biti predimenzioniran što bi uzrokovalo nepotrebno veće troškove ulaganja, i što je još važnije, veću potrošnju energije nakon energetske obnove.

Određivanje zahtjeva za toplinskom energijom zgrade dio je energetske pregleda (vidjeti poglavlje 1.2.). Ako se postupak profesionalne inspekcije ne može provesti, mogu se koristiti alati kao što je CiepłoWłaściwie.pl (<https://cieplo.app>). To pomaže osobama bez specijaliziranog obrazovanja da procijene toplinsku snagu potrebnu za grijanje zgrade i troškove grijanja različitim sustavima i izvorima energije te da izračunaju koja rješenja, npr. izolacija ovojnice, novi ventilacijski sustav, zamjena sustava grijanja ili kombinacija ovih, bi bila najučinkovitija u smislu troškova i koristi.

Za procjenu potreba za toplinskom energijom mogu se koristiti i alati za procjenu energetske učinkovitosti. Jedan od najjednostavnijih za korištenje, čak i ako je najopsežniji jer ima više kriterija, je Ekodom kalkulator (ekodom.edu.pl), koji ne samo da izračunava potrošnju energije, nego i emisije CO₂. Sadrži modul za odabir rješenja energetske modernizacije, koji omogućuje promatranje promjena u vrijednostima energije i emisije za različite

uvjete insolacije, različite ventilacijske sustave, vrste prozora, izolacijske materijale i debljinu njihovih slojeva te različite vrste izvora topline i struja. Kalkulator se temelji na standardima i klimatskim podacima iz 27 zemalja EU. Zahvaljujući takvim alatima moguće je provjeriti pojedine elemente i postojeće i projektirane sustave određene zgrade, uključujući sustave grijanja uzimajući u obzir njihov utjecaj na potrošnju energije i emisije. Takvi alati izvede pojednostavljeni energetske pregled određujući procijenjene troškove i učinke modernizacije.¹⁴⁸

148 Kalkulator je besplatan i vrlo jednostavan za korištenje, no za profesionalnu procjenu karakteristika građevine potrebno je koristiti namjenski softver, npr.: Arcadia Thermo, Sankom, Certo, ili Intersoft.

Obnovljivi izvori toplinske energije

Toplina je najveća svjetska krajnja potrošna energija, koja čini gotovo polovicu globalne konačne potrošnje energije u 2021. Opskrba toplinom, koja je pridonijela više od 40% (13,1 Gt) globalnih emisija CO₂ povezanih s energijom u 2020., ostaje u velikoj mjeri ovisna o fosilnom gorivu. U zgradama se troši 46% topline, najviše za grijanje prostora i vode. Obnovljivi izvori energije (OIE) doprinijeli su samo s 11% (23 EJ) energije koja se koristi za toplinu 2020. godine.¹⁴⁹

149 IEA, *Renewables 2021*, IEA, Paris 2021. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021> (lipanj 2022).

Zbog potreba za ublažavanjem klimatskih promjena i povećanja profitabilnosti, budućnost nedvojbeno pripada sustavima grijanja na OIE. Tehnologije obnovljivih izvora topline uključuju biogoriva, solarno grijanje i geotermalno grijanje uključujući sustave toplinske pumpe iz zemlje (GSHP) (vidjeti više u poglavlju 5.).

Najpopularnije obnovljivo gorivo je biomasa. Spaljivanje ostataka drvene industrije, energetskih usjeva ili poljoprivrednih ostataka klimatski je neutralno. Kada se biomasa sagori, samo se atmosferski CO₂ izdvojen tijekom rasta biljaka vraća u atmosferu. Međutim, izgaranje biomase u kotlovima koji opskrbljuju pojedinačne zgrade uzrokuje emisiju iznimno velikih količina čestica (PM) (vidjeti poglavlja 3.7.2. i 3.8.5.). Postrojenja bez odgovarajućih elektrofiltera emitiraju čak i veće količine PM od onih na ugljen. Iz tog razloga nije preporučljivo, pa je čak i lokalno zabranjeno (npr. u Krakovu) spaljivanje biomase u urbaniziranim područjima. Stoga je korištenje OIE u distributivnom grijanju moguće uglavnom u sustavima koji se temelje na električnoj energiji.

Električni sustav grijanja

Ugljični otisak električnih sustava ovisi o načinu proizvodnje električne energije. Kako se udio obnovljive energije u energetskom sustavu povećava, smanjuje se ugljični otisak grijanja zgrada na električnu energiju.

Prednosti električnih sustava grijanja su relativno niska cijena instalacije, uključujući cijenu emitera, i praktičnost korištenja zbog automatizacije bez održavanja i upravljanja. Nedostatak je visoka i rastuća cijena kupnje električne energije. Što je manja potrošnja energije zgrade, isplativije je koristiti električne uređaje za grijanje. Trenutno je električno grijanje isplativo uglavnom u zgradama s najboljim energetske standardima i kada se električna energija proizvodi na licu mjesta.

Kako bi se smanjila potreba za energijom, može se koristiti dizalica topline koja troši oko tri puta manje energije od jednostavnih električnih grijača i, ovisno o godišnjem dobu, može stvarati toplinu ili hladnoću. Opskrbom toplinske pumpe iz vlastitih OIE npr. fotonapona (PV), postiže se značajno smanjenje potražnje za primarnom energijom zgrade. Kombinacija toplinske pumpe s PV instalacijom trenutno je najučinkovitija metoda dovodenja zgrade na standard nulte ili čak plus energije.

Alternativno rješenje toplinske pumpe je električni grijač u ventilacijskoj jedinici koji zagrijava ventilacijski zrak. Povećava operativne troškove, ali eliminira potrebu opremanja zgrade zasebnim sustavom grijanja. Ovo rješenje može se koristiti u zgradama s minimalnim zahtjevom za toplinom, npr. u pasivnom standardu. Topla voda za kućanstvo može se pripremati većinu dana u godini u instalacijama solarnih ili hibridnih kolektora i grijati električnim grijačem samo u oblačnim danima.

3.7.2. Izbor izvora energije i uređaja za grijanje

Za procjenu izvora energije u smislu njihovog utjecaja na okoliš može se koristiti nekoliko pokazatelja, npr. koeficijent **utroška neobnovljive primarne energije** na proizvodnju i isporuku energije ili energenta (Wi). Vrijednosti ovog koeficijenta u Poljskoj, u skladu s uredbom ministra infrastrukture i razvoja,¹⁵⁰ prikazane su u tablici 3.7.1. Što je Wi-vrijednost niža, to je manja potrošnja neobnovljivih fosilnih goriva.

Tablica 3.7.1. Koeficijent utroška neobnovljive primarne energije na proizvodnju i isporuku energije ili energenta (Wi).

Način opskrbe zgrade	Vrsta energije ili nositelj energije	Wi vrijednost
Proizvodnja energije u zgradi	Sunčeva energija, energija vjetra i geotermalna energija	0,00
	Biomasa	0,20
	Bioplin	0,50
	Lož ulje	1,10
	Plin	
	Ugljen	
Daljinsko grijanje iz kogeneracijskog postrojenja (CHP)	Biomasa, bioplin	0,15
	Bitumenski ugljen ili plin	0,80
Daljinsko grijanje iz postrojenja za izgaranje	Plin ili lož ulje	1,20
	Bitumenski ugljen	1,30
Elektroenergetski sustav	Struja	3,00

150 Dz.U. 2015 poz. 376 – Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej.

Drugi pokazatelj je razred energetske učinkovitosti uređaja za grijanje, koji je ključan za **konačnu potrošnju energije u fazi rada zgrade**. Na razini EU okvirne obveze za označavanje proizvoda koji koriste energiju, uključujući

151 EUR-Lex, *Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2017 setting a framework for energy labelling and repealing Directive 2010/30/EU* (Text with EEA relevance). EUR-lex, Document 32017R1369. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1369> (kolovoz 2021).

152 Popis je dopunjen modernim jedinicama za distribuciju topline s učinkovitošću u rasponu od 98 – 99 %, koje nisu obuhvaćene obvezom označavanja. KAPE, *Analiza inwestycji budowlanej pod kątem możliwości ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko*, KAPE, Warszawa 2020.

153 Ibidem: 63 – 64.

izvore topline, implementirane su Uredbom Europskog parlamenta i Vijeća.¹⁵¹ Vrijednosti energetske razrede osnovnih izvora topline prikazane su u tablici 3.7.2.

Tablica 3.7.2. Klase Razredi energetske učinkovitosti uređaja za grijanje.¹⁵²

Izvor topline	Razred energetske učinkovitosti
Toplinske pumpe izvora zemlje	A+++
Dizalice topline na zrak (plinske i električne)	A++, A+
Kogeneracija (plin)	
Plinski kotlovi u kombinaciji s dizalicom topline ili solarnim kolektorom	
Kotlovi na biomasu	
Toplinski čvorovi (neki)	
Kondenzacijski kotlovi	A
Kotlovi na biomasu	
Toplinski čvorovi (neki)	
Kotlovi na kruta goriva (ugljen)	B, C, D
Nekondenzacijski plinski kotlovi	

Najvažniji pokazatelj koji određuje **utjecaj različitih izvora topline na klimu** je količina **emisije CO₂**. Prema Nacionalnoj agenciji za očuvanje energije (KAPE, 2020.), na temelju podataka Nacionalnog centra za upravljanje emisijama (KOBIZE) za 2018. godinu,¹⁵³ vrijednosti indeksa emisije CO₂, ovisno o vrsti goriva ili energije koja se koristi, su one prikazane u tablici 3.7.3.

Tablica 3.7.3. Utjecaj izvora topline na klimu (emisije CO₂) ovisno o vrsti goriva ili energije koja se koristi.

Način opskrbe zgrade energijom	Vrsta energije ili nositelj energije	Emisija CO ₂ kg/GJ
Lokalna proizvodnja energije u zgradi	Sunčeva energija	0,00
	Energija vjetra	
	Geotermalna energija	
	Biomasu	
	Bioplin	
	Lož ulje	77,4
	Prirodni plin	55,5
	Ukapljeni plin	63,1
	Bitumenski ugljen	94,7
	Lignit	104,1
Daljinsko grijanje iz kogeneracijskog postrojenja	Biomasu, bioplin	0,0
	Bitumenski ugljen	136,0
Daljinsko grijanje iz postrojenja za izgaranje	Plin	74,4
	Bitumenski ugljen	143,7
Elektroenergetski sustav	Struja	216,1

Zagađenje česticama i otpad

Jedan od osnovnih pokazatelja koji omogućuje odabir najboljeg izvora topline za zgradu je vrijednost emisije PM10 čestica. Emisije PM-a nemaju značajan utjecaj na klimu, ali predstavljaju vrlo ozbiljnu prijetnju zdravlju i životu u regiji emisije.

KAPE je 2020. sastavio vrijednosti faktora emisije PM10 za Poljsku, ovisno o vrsti goriva ili energenta.¹⁵⁴ Obnovljivi izvori koji koriste sunčevu, geotermalnu energiju ili energiju vjetra ne uzrokuju nikakve emisije PM-a. U slučaju daljinske topline i električne energije, emisija PM-a je zanemariva jer su instalacije opremljene elektrofilterima.

154 KAPE, op.cit., 63 – 64.

Čvrsta goriva imaju najviše indekse emisije PM10. Izgaranje ugljena, čak i visokokvalitetnog bitumenskog ugljen, u kotlu koji zadovoljava zahtjeve klase 5 uzrokuje emisiju od 16 g/GJ.¹⁵⁵ Još ozbiljniji pokazatelj emisije PM10 odnosi se na biomasu, uključujući i drvo, čije izgaranje u kotlu klase 5 uzrokuje emisiju od čak 18 g/GJ. U tom kontekstu, plinovita goriva su relativno čista: 0,5–0,7 g/GJ.

155 Sukladno standardu PN-EN 303-5:201218.

Kako bi se dodatno smanjio negativan utjecaj zgrada na okoliš, treba koristiti izvore topline koji ne stvaraju čvrsti otpad. Količina i toksičnost otpada najveća su u slučaju sagorijevanja ugljena. Pepeo nastaje i u procesu izgaranja biomase, ali je njegova količina znatno manja, a toksičnost zanemariva.

S obzirom na utjecaj na okoliš, najbolji izvori su oni s najmanjim mogućim emisijama CO₂ i PM. Zapis prikazan u tablici 3.7.4. pokazuje da su rješenja grijanja s nultim utjecajem na okoliš u fazi rada dostupna. Međutim, njihova uporaba u svim povijesnim građevinama nije moguća, uglavnom zbog odredbi o očuvanju baštine i ograničene dostupnosti daljinskog grijanja.

Treba napomenuti da kotlovi klase 5 mogu kontinuirano proizvoditi niske temperature dimne plinove koji, kada se ispuštaju kroz veliki, hladni dimnjak, nose rizik od kondenzacije vlage. Kako bi se to riješilo, često je potrebna nova keramička obloga dimnjaka otporna na sumpornu kiselinu.

Izbor emitera topline

Svi sustavi grijanja osim zračnog, zahtijevaju ugradnju radijatora, konvektora ili površinskih emitera s parametrima komplementarnim odabranom izvoru topline i potrebama svake prostorije. Samo precizan odabir emitera omogućuje istodobnu toplinsku udobnost i energetska učinkovitost. Potrebno je uzeti u obzir dominantnu metodu izmjene topline (konvekcijsku ili radijalnu), kao i mjesto emitera i, u slučaju hidrauličkih sustava, temperature dovoda i povrata.

Izvori topline koji štede energiju, kao što su dizalice topline i kondenzacijski kotlovi, postižu visoku učinkovitost u kombinaciji s niskotemperaturnim emiterima. Površinsko grijanje često se preporučuje kao optimalno rješenje: ekonomično, bez vidljivih emitera i pruža zdraviju, stabilniju unutrašnju klimu bez konvekcije topline i prašine. Međutim, ugradnja podnog ili zidnog

156 KAPE, op.cit., 66.

Tablica 3.7.4. Vrijednosti indeksa emisije PM10 i CO₂ ovisno o vrsti izvora topline i sustava grijanja.¹⁵⁶

Izvor topline	Ukupna učinkovitost emisije	Emisija PM10 (g/GJ)	Emisija CO ₂ (kg/GJ)
Automatizirani kotao na biomasu	0,69	26,1	0,0
Kotao na lož ulje	0,73	4,1	106,0
Kondenzacijski plinski kotao	0,79	0,6	70,3
Kotao na tekući plin	0,79	0,9	83,0
Automatizirani kotao na ugljen, klasa 5	0,69	23,2	137,2
Toplinski čvor – daljinsko grijanje iz kogeneracijskog postrojenja (CHP) – biomasa, bioplin	0,83	0,0	0,0
daljinsko grijanje iz kogeneracijskog postrojenja (CHP) – ugljen	0,83	0,0	163,9
daljinsko grijanje iz postrojenja za izgaranje – plin	0,83	0,0	89,6
daljinsko grijanje iz ložišta – bitumenski ugljen	0,83	0,0	173,1
Toplinska pumpa izvora zemlje (GSHP)	2,97	0,0	72,8
Toplinska pumpa izvora zemlje (GSHP) – 100% solarno napajanje	2,97	0,0	0,0
Toplinska pumpa s izvorom zraka	2,21	0,0	97,8
Toplinska pumpa s izvorom zraka – 100% solarno napajanje	2,21	0,0	0,0
Električni sustav grijanja	0,90	0,0	240,1

Na temelju gornje tablice KAPE preporučuje rješenja raspoređena u tri kategorije: III – standardno, II – bolje i I – najbolje (tablica 3.7.5.).

grijanja zahtijeva vrlo ozbiljno miješanje u građevnu supstancu. Ako to nije moguće, onda se mogu koristiti radijatori i/ili konvektori s odgovarajuće odabranim parametrima. Najmanje preporučeno rješenje je spojiti i instalaciju površinskog grijanja i radijatore/kolektore na jedan izvor topline. Takav sustav je manje učinkovit i zahtijeva skupi sustav koji omogućuje neovisnu kontrolu ciklusa grijanja na nižim i višim temperaturama.

U svakom slučaju, najbolje je povjeriti odabir emitera topline stručnjacima. Alternativno, možete koristiti alate za izračunavanje približne snage emitera za svaku prostoriju na temelju osnovnih parametara zgrade.

Relativno najjednostavniji za projektiranje i upravljanje su sustavi bez centralnog izvora topline u kojima električna energija izravno opskrbljuje svaki emiter topline. Međutim, takav sustav koristi puno više energije u radu od sustava s jednim izvorom topline kao što je plinski kotao ili toplinska pumpa.

Među električnim odašiljačima topline, infracrvene ploče ili prostirke karakteriziraju relativno najmanja potrošnja energije. Posljednjih godina dobivaju na popularnosti, uglavnom zbog nižih investicijskih troškova od centralnog grijanja i nižih operativnih troškova od električnih konvektora, ali

Tablica 3.7.5. Izvori topline dodijeljeni kategorijama koje je predložio KAPE.

Kategorija	Primjer izvora topline		
III	Kondenzacijski plinski kotao energetske učinkovitosti razreda A ili višeg	Daljinsko grijanje – W1 koeficijent do 1,1	Automatizirani kotao na biomasu, klasa 5, energetske učinkovitosti razreda A ili višeg
II	Kondenzacijski plinski kotao energetske učinkovitosti razreda A+ ili višeg s dizalicom topline ili solarnim kolektorom	Daljinsko grijanje iz kogeneracijskog postrojenja (CHP) – W1 koeficijent do 0,8	Toplinska pumpa zemlja (GSHP) energetske učinkovitosti razreda A+ ili višeg
I	-	Daljinsko grijanje iz kogeneracijskog postrojenja (CHP) – W1 koeficijent do 0,5	Toplinska pumpa zemlja (GSHP) energetske učinkovitosti razreda A++ ili višeg – solarno napajanje

imaju i druga povoljna svojstva koja mogu pristajati povijesnim zgradama. Konkretno, ne zagrijavaju zrak, tako da u njemu nema nakupljanja vlage. Za razliku od konvencionalnog grijanja najčešće temeljenog na konvekciji, infracrveni prijenos energije je izravan, bez velikih gubitaka na zagrijavanje zraka. Energija zračenja prenosi se izravno od izvora do objekta. To se također odnosi na ljudsku kožu i odjeću koja upija infracrvenu energiju.

Neapsorpcija infracrvene energije zrakom rezultira značajnim uštedama energije, zdravijom unutrašnjom klimom i učinkovitijim uklanjanjem vlage. Za unutarnjom grijanje preporučuje se korištenje odašiljača dugovalnog infracrvenog zračenja (IR-C) valne duljine od 3–1000 mikrona, koji ne prodire duboko u kožu i može čak imati određene terapijske prednosti. Istu vrstu zračenja emitiraju i tradicijske keramičke (kaljeve) peći.

3.7.3. Razmatranja o grijanju zgrada baštine

Svako od dostupnih rješenja s ciljem pružanja toplinske udobnosti uključuje zadiranje u estetiku i/ili supstancu povijesne građevine i njezinu mikroklimu te može imati destruktivan učinak na strukturu baštine i namještaj.

U tradicionalnim zgradama skokovi vanjske temperature i relativne vlažnosti zraka prirodno se apsorbiraju i izgladuju. Takozvana prirodna mikroklima unutrašnjosti starih zgrada u ograničenoj mjeri ovisi o vanjskim uvjetima.¹⁵⁷ Također, često neadekvatno grijanje je destabilizirajući čimbenik, osobito u kombinaciji sa:

- ♦ strukturalnom vlagom (vidjeti poglavlje 3.1.);
- ♦ nekompatibilnim materijalima za izolaciju i završnu obradu (npr. polistirenska pjena, cementne ili akrilne žbuke ili akrilne boje) s niskom paropropusnošću (vidjeti poglavlja 3.2., 3.4. i 3.5.);
- ♦ nedovoljnim ili nepravilnim radom ventilacijskih sustava (vidjeti poglavlje 3.6.).

¹⁵⁷ Rouba, Bogumiła J. *Klimat we wnętrzach zabytkowych kościołów z punktu widzenia konserwatora dzieł sztuki. Roczniki humanistyczne Tom L, zeszyt 4 – 2002, 239 – 248.*

Što je unutrašnja klima nestabilnija, procesi propadanja su brži. Najveću prijetnju uzrokuju sustavi koji rade samo povremeno i destabiliziraju unutrašnju klimu. Posljedica je progresivno oštećenje namještaja, pa čak i građevinske konstrukcije, koje može proizaći iz kumulativnih učinaka dimenzijskih promjena i naprezanja, kondenzacije vodene pare, mikrobioloških opasnosti, migracije soli i kristalizacije, migracije sastojaka tvari topivih u vodi, korozije metala i drva itd. Sustavi koji primarno zagrijavaju zrak (konvektori), povećavaju njegovu vlažnost. Kada se velika količina vlage dovodi u topli zrak, npr. tijekom okupljanja ljudi, može doći do kondenzacije vode koja se kondenzira na hladnijim površinama u unutrašnjosti. Sustavi s visokom temperaturom grijaćih tijela, kao grijalice, IR – A i IR-B radijatori, mogu pretjerano isušiti i oštetiti grijane predmete, isušiti zrak i pojačati njegovo kruženje, što ubrzava površinsku kontaminaciju zbog elektrostatičkih pojava.¹⁵⁸

Specifičnija situacija pojavljuje se u zgradama velikih kubičnih volumena i povremene uporabe, kao što su crkve ili neke tržnice, izložbene dvorane. Ne treba ih sve grijati. Velika, negrijana zgrada apsorbira fluktuacije vanjske temperature i relativne vlage¹⁵⁹. Primjerice, goleme gotičke crkve imaju izuzetno stabilnu unutrašnju klimu, gdje dnevne temperaturne amplitude 70–75% dana u godini ne prelaze 1 K, a dnevne fluktuacije vlažnosti ne prelaze 5%. Prijelaz iz jeseni u zimu i iz zime u proljeće kod njih je izrazito nježan. U tim crkvama gotovo nikad nema kondenzacije, iako unutrašnja strana svodova i zidova može imati temperature ispod 0 Celzijevih stupnjeva. Tamo pohranjena umjetnička djela obično su u savršenom stanju. Čak i povremeno pojavljivanje velikih skupina ljudi uzrokuje tek neznatno povećanje vlažnosti i temperature zraka. Ali uvođenje grijanja može dovesti do opasne destabilizacije njihove klime.¹⁶⁰ Konzervatori se slažu da se takve zgrade ne smiju grijati. Osnovni toplinski komfor, zahvaljujući prirodnom prijenosu geotermalne energije, osigurava originalno, neizolirano čvrsto prizemlje koje tijekom cijele godine ima stabilnu temperaturu od oko 8 Celzijevih stupnjeva.¹⁶¹

Situacija može biti drugačija u malim, kamenim zgradama, gdje su klimatski uvjeti često znatno lošiji. Pažljivo dizajnirano grijanje može pomoći u poboljšanju unutrašnje klime. No, pravilno grijanje nije moguće ostvariti ako se ne riješe problemi vlage, neispravne ventilacije i kondenzacije vodene pare.

Različiti sustavi grijanja imaju svoje prednosti i nedostatke, a pozitivni učinci se mogu postići kada se sustav optimalno prilagodi interijeru.¹⁶² Uvođenje grijanja trebalo bi poboljšati udobnost ljudima, sigurnost za povijesnu obnovu, stvoriti uvjete za očuvanje same zgrade, tako da ne može narušiti klimatsku ravnotežu zgrade. Što nam je više stalo do usporavanja procesa propadanja, to više pažnje treba posvetiti stabilnosti klime i njezinim optimalnim parametrima.¹⁶³

Stoga se pri projektiranju grijanja u zgradama baštine treba pridržavati nekoliko osnovnih pravila.¹⁶⁴

- ♦ Sustav grijanja treba stabilizirati temperaturu i vlagu, stoga se ne preporučuju neki ekonomični sustavi koji rade samo nekoliko dana mjesečno.
- ♦ Ne smiju se koristiti plinski grijači koji ispuštaju produkte izgaranja, a koji su opasni za ljude i povijesne interijere.

158 Rouba, Bogumiła J. *Zagadnienia klimatu a bezpieczeństwo zabytków. Chłodnictwo i Klimatyzacja: Miesięcznik dla praktyków*, 7 (220) s. 48 – 56.

159 Historic England, *Energy Efficiency and Historic Buildings: Insulating Solid Ground Floors*. English Heritage 2016.

160 Rouba, Bogumiła J., op.cit.

161 The Society for the Protection of Ancient Buildings, *Historic Floors Guidance Note*, SPAB, London 2007. <https://www.spab.org.uk/sites/default/files/documents/MainSociety/Advice/Historic%20Floors%20Guidance%20Note.pdf> (lipanj 2022).

162 Cathedral and Church Buildings Division, *Church Heating: Approaches*. Cathedral and Church Buildings Division, August 2021. https://www.churchofengland.org/sites/default/files/2021-09/Heating_approaches.pdf (lipanj 2022).

163 Rouba, Bogumiła J. *Zagadnienia...* op.cit.

164 Rouba, Bogumiła J. *Klimat...* op.cit.

- ♦ Ne smije se koristiti ventilacijsko grijanje koje povećava intenzitet širenja prašine i isušivanje namještaja.
- ♦ Sustavi grijanja s malom inercijom i jednostavnom kontrolom preporučuju se za ograničavanje unosa topline kada unutrašnjost zagrijava sunčeva ili tjelesna toplina. Ovaj uvjet, dakle, isključuje, grijanje skladišta i ograničava korištenje podnog grijanja na mjestima gdje se okuplja puno ljudi.
- ♦ Emiteri grijanja ne smiju biti lokalizirani na način koji bi mogao dovesti do pregrijavanja elemenata zgrade ili vrijednog namještaja.

Sve instalacije trebale bi slijediti načela ublažavanja, minimiziranja i reverzibilnosti. Instalacija grijanja jedna je od faza pri projektiranju i izgradnji zgrade, a prilikom projektiranja novog sustava treba razmisliti o tome kako će se ona ukloniti i zamijeniti. Način na koji su emiteri topline povezani s glavnom infrastrukturom potrebno je pažljivo osmisliti kako bi se lako mogla poduzeti zamjena dijelova sustava kraćeg vijeka trajanja. Projektom se treba planirati estetika zgrade uz važnost obraćanja pozornosti na detalje.¹⁶⁵

¹⁶⁵ Historic England, *Heating Design Considerations*, English Heritage, Swindon 2021. <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/building-services-engineering/heating-historic-buildings/heating-design-considerations> (lipanj 2022).

Bibliografija

- 3encult, *Efficient Energy for EU Cultural Heritage*, Funded within FP7, GA No. 260162. <https://www.3encult.eu/en/project/welcome/default.html> (kolovoz 2021).
- Adamowski, Józef, Jerzy Hoła, Zygmunt Matkowski, *Skuteczność zabezpieczeń przeciwwilgociowych wykonanych w obiekcie zabytkowym*, Materiały Budowlane 3/2010, 50533.
- Afon Casa, *AfonTermo il Nano Cappotto, isolamento termico a basso spessore*. <http://www.afoncasa.it/prodotti-edilizia/afontermo-il-nanocappotto.html> (srpanj 2021).
- Aluthermo, *Aluthermo*QUATTRO*. <https://aluthermo.com.pl/produkt/aluthermo-quattro> (srpanj 2021).
- Aquapol, *Rozwiązanie – Zawilgocenie kapilarne*. <https://www.aquapol.pl> (srpanj 2022).
- Bajno, Dariusz, Anna Rawska-Skotniczny, *Wybrane zagadnienia dotyczące zabezpieczeń podziemnych części istniejących budynków przed wilgocią*. Izolacje 7-8/2017. <https://www.isolacje.com.pl/arttykul/fundamenty/180430,wybrane-zagadnienia-dotyczace-zabezpiecen-podziemnych-czesci-istniejacych-budynkow-przed-wilgocią> (kolovoz 2021).
- Bakalarczyk, Szymon, *Zasady remontowania obiektów zabytkowych (Rules of Renovation of Listed Buildings)*, WUOZ, Olsztyn. <https://www.wuoz.olsztyn.pl/zasady-remontowania-zabytkow> (kolovoz 2021).
- Borowski, Jacek, *Czy pncza niszczy elewacje?* <https://www.clematis.com.pl/informacje-o-roslinach/ekspert-rada/dr-hab-jacek-borowski/1133-czy-pncza-niszczy-elewacje> (srpanj 2021).
- Brambilla, Arianna, Alberto Sangiorgio, 3 - *Durability, condensation assessment and prevention*, [u] Arianna Brambilla, Alberto Sangiorgio (uredio), *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, Moisture and Buildings*, Woodhead Publishing, 2021, DOI: 10.1016/B978-0-12-821097-0.00006-0, 27-62.
- Brzyski, Przemysław, *Historia. Budynki z konopii*. <http://budynkizkonopii.pl/technologie-budowy/historia> (srpanj 2021).
- Cathedral and Church Buildings Division, *Church Heating: Approaches*. Church House Publishing, London 2021. https://www.churchofengland.org/sites/default/files/2021-09/Heating_approaches.pdf (lipanj 2022).
- CHCfE Consortium, *Cultural Heritage Counts for Europe: Full Report*, International Cultural Centre, Krakov 2015. <http://blogs.encatc.org/culturalheritagecountsforeurope/outcomes> (kolovoz 2021).
- Chłodziński, Sławomir, *Farby elewacyjne – rodzaje, właściwości i zastosowanie*, Izolacje 3/2010. <https://www.isolacje.com.pl/arttykul/sciany-stropy/155410,farby-elewacyjne-rodzaje-wlasciwosci-i-zastosowanie> (rujan 2021).
- CINARK – Centre for Industrialised Architecture, *Materialepyramiden*, The Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation.
- Claytec, *Rozwiązania z gliny dla izolacji wnetrz*, Handout Innendämmung Layout 08.05.09. <https://docplayer.pl/9257392-Izolacji-wnetrz-claytec-rozwiazania-z-gliny-dla-regulacje-techniczne-wykladnia-sily-izolacji-wspolczynnik-u-oraz-wartosc.html> (srpanj 2021).
- Dworak, Michał, *Termomodernizacja w Okresie Lęgowym Ptaków*, Ptasi Dom, 11.04.2021. <https://www.ptasidom.com/budki-legowe-do-termomodernizacji/termomodernizacja-w-okresie-legowym-ptakow> (srpanj 2021).
- Dylla, A., *Numeryczne projektowanie parametrów ciepłno-wilgotnościowych złączy budowlanych*, [u] *Budownictwo energooszczędne i ekologiczne*: I konferencja naukowa: Suwałki, 10-11.06.2010. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-AGHM-0016-0080> (srpanj 2021).
- Dz.U. 2002 nr 75 poz. 690 – *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*.
- Dz.U. 2015 poz. 376 – *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 27 lutego 2015 r. w sprawie metodologii wyznaczania charakterystyki energetycznej budynku lub części budynku oraz świadectw charakterystyki energetycznej*.
- Dz.U. 2017 poz. 2285 – *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*.
- Dz.U. 2019 poz. 1065 – *Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie*.
- Ekodocieplenia, *Elektrosmoza – osuszanie budynków z 30 letnią gwarancją*. <https://ekodocieplenia.com/elektrosmoza-osuszanie> (rujan 2021).
- EUR-Lex, *Regulation (EU) 2017/1369 of the European Parliament and of the Council of 4 July 2017 setting a framework for energy labelling and repealing Directive 2010/30/EU (Text with EEA relevance)*. Document 32017R1369. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/?uri=CELEX%3A32017R1369> (kolovoz 2021).
- Filipowicz, Paweł, *Rola zaleceń konserwatorskich w procesie inwestycyjnym realizowanym w obiekcie zabytkowym w świetle oczekiwań projektanta i inwestora*, Kurier konserwatorski, 6/2010.
- Fraunhofer IBP, *WUFI-Materialmessung EN*. <https://wufi.de/de/service/downloads> (srpanj 2021).

Gruber, Herbert, Helmuth Santler, BuildStrawPro-Team, STEP, *Strawbale building Training for European Professionals - U4 Handbuch Wrapping*, ASBN: Austrian Strawbale Network 2017. https://issuu.com/herbertgruber/docs/u4-handbuch-de-web_48699ea3f6068c (srpanj 2021).

Historic England, *Energy Efficiency and Historic Buildings: Insulating Solid Ground Floors*, English Heritage, Swindon 2016.

Historic England, *Heating Design Considerations*, English Heritage, Swindon 2021. <https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/building-services-engineering/heating-historic-buildings/heating-design-considerations> (lipanj 2022).

IEA, *Renewables 2021*, IEA, Paris 2021. <https://www.iea.org/reports/renewables-2021> (lipanj 2022).

Kaliszuk-Wietecha, Agnieszka, et al., *Opracowanie dotyczące możliwości termomodernizacji budynków zabytkowych ze szczególnym uwzględnieniem docieplenia przegród pionowych*, NID, Warszawa 2019.

KAPE, *Analiza inwestycji budowlanej pod kątem możliwości ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko*, KAPE, Warszawa 2020.

KAPE, *Ekspertryza w zakresie określenia opłacalnych podejść do modernizacji właściwych dla danego typu budynków i strefy klimatycznej (Analysis of the cost effectiveness of retrofitting strategies for different building types and climate zones)*, KAPE, Warszawa 2020.

Kisilewicz, Tomasz, *Pojemność ciepła a komfort termiczny w budynkach energooszczędnych / Heat capacity versus thermal comfort in low energy buildings*, Materiały Budowlane, 9/2014 (505). <https://www.materiaלבudowlane.info.pl/images/2014/09/s51-55.pdf> (srpanj 2021).

Klemm, Piotr, et al., *Budownictwo ogólne*, Vol 2. *Fizyka Budowli*. Arkady, Warszawa 2005.

Krause, Paweł, Agnieszka Szymanowska-Gwiżdż, *Sposoby uszczelnienia i metody renowacji zawilgoconych ścian piwnic*. Izolacje 6/2018. <https://www.isolacje.com.pl/artukul/sciany-stropy/186228,sposoby-uszczelnienia-i-metody-renowacji-zawilgoconych-scian-piwnic> (kolovoz 2021).

LOCJA.PL, *PN-EN 13788: Ciepłno-wilgotnościowe właściwości komponentów budowlanych i elementów budynku*, 31.08.2017. <https://www.locja.pl/haslo/pn-en-13788-ciepłno-wilgotnościowe-właściwości-komponentów-budowlanych-i-elementów-budynku,649> (srpanj 2021).

Matthys, John H., *Masonry: components to assemblages*. ASTM, Philadelphia 1990.

Ministerstwo Rozwoju, *Szczelność dyfuzyjna*, Budowlane ABC. <https://budowlaneabc.gov.pl/charakterystyka-energetyczna-budynkow/informacje-poradnik-okreslenie-opłacalnych-sposobow-poprawy-efektywności-energetycznej-właściwych-dla-typów-budynkow/szczelność-dyfuzyjna> (srpanj 2021).

Monczyński, Bartłomiej, *Mechaniczne metody wykonywania wtórnych hydroizolacji poziomych*. Izolacje 9/2019. <https://www.isolacje.com.pl/artukul/fundamenty/192946,mechaniczne-metody-wykonywania-wtórnych-hydroizolacji-poziomych> (kolovoz 2021).

Monczyński, Bartłomiej, *Przyczyny zawilgacania budynków*, Izolacje 1/2020. <https://www.isolacje.com.pl/artukul/fundamenty/194437,przyczyny-zawilgacania-budynkow> (kolovoz 2021).

Monczyński, Bartłomiej, *Uszczelnianie i renowacja cokołów w istniejących budynkach*. Izolacje 10/2020. <https://www.isolacje.com.pl/artukul/fundamenty/222347,uszczelnianie-i-renowacja-cokolow-w-istniejących-budynkach> (kolovoz 2021).

Monczyński, Bartłomiej, *Wtórna hydroizolacja przyziemnych części budynków*, Izolacje 4/2019. <https://www.isolacje.com.pl/artukul/fundamenty/190197,wtórna-hydroizolacja-przyziemnych-części-budynkow> (kolovoz 2021).

Narodowy Instytut Dziedzictwa, *Standardy termomodernizacji obiektów zabytkowych: Wytyczne Generalnego Konserwatora Zabytków dotyczące ochrony wartości dziedzictwa kulturowego w procesie poprawy charakterystyki energetycznej budowli zabytkowych*, NID, Warszawa 2020.

Patoka, Krzysztof, *Skropliny i PN-EN ISO 13788:2003*, Materiały Budowlane, 533 (1), 82-84, DOI:10.15199/33.2017.01.16.

Pawłowski, Krzysztof, *Innowacyjne rozwiązania materiałów termoizolacyjnych w aspekcie modernizacji budynków w Polsce (Innovative solutions for thermal insulation materials in the aspect of retrofitting of buildings in Poland)*, Izolacje 3/2018. <https://www.isolacje.com.pl/artukul/sciany-stropy/182305,nowacyjne-rozwiazania-materiałow-termoizolacyjnych-w-aspekcie-modernizacji-budynkow-w-polsce> (srpanj 2021).

Podwysocka, Zuzanna, *Pozbądź się pustki!*, Ocieplanie ścian szczelinowych, Murator 5/2018. https://miesiecznik.murator.pl/budowa/pozbadz-sie-pustki_4128.html (srpanj 2021).

PPHU STYRO Jacek Przetakiewicz, *Sztukateria styropianowa na ścianę*, Lider budowlany. <https://www.liderbudowlany.pl/artukul/wyposazenie-wnetrz/sztukateria/sztukateria-styropianowa-na-sciane> (srpanj 2021).

Rouba, Bogumiła J., *Klimat we wnętrzach zabytkowych kościołów z punktu widzenia konserwatora dzieł sztuki*, Roczniki humanistyczne, Tom L, zeszyt 4 – 2002, 239-248.

Rouba, Bogumiła J., *Projektowanie konserwatorskie*. Ochrona Zabytków 56/1 (240), 57-78.

Rouba, Bogumiła J. *Zagadnienia klimatu a bezpieczeństwo zabytków*. Chłodnictwo i Klimatyzacja: Miesięcznik dla praktyków, 7 (220), 48-56.

- Rouba, Bogumiła J., *Zawilgocenie jako problem w ochronie obiektów budowlanych i zbiorów muzealnych (Dampness as a problem in the context of the protection of buildings and museum exhibition items)*, MNRIPR-S, Szreniawa 2017, 35-58.
- Rozbicka, Małgorzata (uredio), *Raport o stanie zachowania zabytków nieruchomych w Polsce: Zabytki wpisane do rejestru zabytków (ksiegi rejestru A i C)*, NID, Warszawa 2017.
- Saule Technologies, *Building Attached Photovoltaics*. <https://sauletech.com/bapv> (lipanj 2022).
- Sibille, Elisabeth, et al., *Development of a coaxial-duct as outdoor air inlet and exhaust air outlet for ventilation units*. 18. Internationale Passivhaus TagungAt, Aachen 2014, DOI: 10.13140/2.1.1212.5448.
- Sobotka, Anna, Kazimierz Linczowski, Aleksandra Radziejowska, *Substitution of Building Components in Historic Buildings*, Sustainability 13, no. 16: 9211, 2021. DOI: 10.3390/su13169211.
- STYRO, *Listwy i gzymsy*. <https://styro.pl/listwy-i-gzymsy.php> (srpanj 2021).
- Tajchman, Jan, *Chrońmy dawne okna: nowe nie tylko niszczą kompozycję elewacji, ale przede wszystkim nasze zdrowie*, [u] Wojciech Przybyszewski (uredio), *Aedifico et Conseruo – eskalacja jakości kształtowania zawodowego w Polsce*, Fundacja Hereditas, Warszawa 2010.
- Tajchman, Jan, *Dawna stolarka okienna i jej problematyka konserwatorska wobec nowych zagrożeń*, [u] Emanuel Okoń (uredio), *Zabytkowe budowle drewniane i stolarka architektoniczna wobec współczesnych zagrożeń*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2005.
- Tajchman, Jan, *Stolarka okienna w Polsce. Rozwój i problematyka konserwatorska*, [u] Krzysztof Nowiński (uredio), *Biblioteka Muzealnictwa i Ochrony Zabytków, Seria C, Studia i materiały*, Vol.5, Ośrodek Dokumentacji Zabytków, Warszawa 1990.
- The Society for the Protection of Ancient Buildings, *Historic Floors Guidance Note*, SPAB, London 2007. <https://www.spab.org.uk/sites/default/files/documents/MainSociety/Advice/Historic%20Floors%20Guidance%20Note.pdf> (lipanj 2022).
- The University of Waikato, *Wool fibre properties*, Science Learning Hub. <https://www.sciencelearn.org.nz/resources/875-wool-fibre-properties> (ożujak 2022).
- Tileco, *Dachówki kompozytowe - alternatywa w pokryciach dachowych (Composite Tiles - An Alternative Solution to Roofing)*, Dekarz i Cieśla 21.12.2017. <http://fachowydekarz.pl/dachowki-kompozytowe-alternatywa-pokryciach-dachowych> (srpanj 2021).
- Trochonowicz, Maciej, *Wilgoć w obiektach budowlanych. Problematyka badań wilgotnościowych*, Budownictwo i Architektura vol. 7, nr 2/2010, 131-144. <http://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-article-BPL2-0019-0023> (kolovoz 2021).
- Troi, Alexandra, Zeno Bastian (uredio), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*. Birkhäuser, Basel 2015.
- Vereecken, Evy, Staf Roels, *Review of mould prediction models and their influence on mould risk evaluation*, Building Physics Section, Building and Environment, Vol. 51, May 2012, 296-310.
- Wójcik, Robert, *Sposób docieplania przegród budynków od strony wewnętrznej*. 30.11.2012. Poland Patent no 212791.
- Wójcik, Robert, *Docieplanie budynków od wewnątrz*, Grupa Medium, Warszawa 2017.
- WTA Merkblatt 4-7-15/D, *Nachträgliche mechanische Horizontalsperre*, Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V., München 2015.
- Yanling, Li, Roger W. Babcock, *Green roof hydrologic performance and modeling: a review*, Water Sci Technol 1 February 2014; 69 (4), 727-738, DOI: 10.2166/wst.2013.770.

4

Zelenilo

Anna Zaręba

· Sveučilište Nikole Kopernika u Torunu

Tomasz Jeleński

· Tehnološko sveučilište u Krakovu

Rehabilitacija, obnova i poboljšanje urbanog zelenila nužni su za suočavanje s novim klimatskim izazovima. Zelena rješenja imaju potencijal poboljšati vanjsku i unutrašnju klimu bez narušavanja vrijednosti baštine starih gradova i velikih gradova. U kontekstu napretka urbanizacije i klimatskih promjena, mitigacijski i adaptacijski potencijal zelenila te njegova sposobnost poboljšanja kvalitete života u urbaniziranoj sredini iznimno su vrijedni, što znanost i praksa urbanog upravljanja sve više potvrđuju¹⁶⁶

Međutim, potrebno je prevladati nekoliko izazova. Osnova je zaštititi postojeće zelenilo, posebice velika listopadna stabala koja apsorbiraju velike količine CO₂ i oslobađaju kisik, vlaže i čiste zrak od zagađivača, bore se protiv efekta urbanog toplinskog otoka i apsorbiraju kišnicu smanjujući rizik od bujičnih poplava. Stabla su ugrožena tijekom obnove i građevinskih radova kada im se može oštetiti korijenski sustav ili ograničiti pristup vodi i hranjivim tvarima, npr. brtvljenjem tla.¹⁶⁷

166 Naumann, Sandra, et al., (ur. Tomasz Jeleński), *Addressing climate change in cities. Policy instruments to promote urban nature-based solutions*, Berlin – Krakov: Sendzimir Foundation, 2020. <https://sendzimir.org.pl/en/publications/policy-instruments-to-promote-urban-nature-based-solutions/> (kolovoz 2022).

167 Pomianowska, Halina, *Ochrona drzew w procesie inwestycyjnym. Zał. nr 1 do Programu ochrony środowiska dla miasta Torunia na lata 2021–2024, z uwzględnieniem perspektywy do roku 2028*, Toruń Municipality, Toruń 2021. Ziemiańska Monika, Suchocka Marzena, *Planowanie i zasady ochrony drzew w procesie inwestycyjnym*, [w] *Przyroda w mieście: rozwiązania, Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 4*, Fundacja Sendzimira, Krakov 2013, 13–27. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/02/ZRZ4_all.pdf (lipanj 2022).

4.1. Rješenja utemeljena na prirodi

Dostupne su mnoge publikacije o rješenjima utemeljenim na prirodi (NBS), uključujući i veliku zbirku znanstvenih izvora, vodiča i knjižica u izdanju Zaklade Sendzimir.¹⁶⁸ NBS podržava funkcije i uporabivost ekosustava u okruženju zgrada i u urbanim sredinama. Oni promiču fitoremedijaciju, urbanu biološku raznolikost i upravljanje prirodnim vodama, poboljšavajući klimu, kvalitetu života i urbanu otpornost.¹⁶⁹

Postoje razna plavo-zelena rješenja koja se mogu integrirati s povijesnim zgradama i lokalitetima.¹⁷⁰ Neki od njih korišteni su stoljećima i stoga se dobro slažu s objektima baštine.

Bez obzira na karakter i kontekst zgrade i lokacije, širok izbor NBS-a omogućuje maksimiziranje potencijala usluga ekosustava u svim vrstama okruženja, arhitektonskih konteksta i krajolika – od sela, seoskog krajolika i povijesnog gradskog krajolika do gusto izgrađenih urbanih područja i redefiniranih gradskih pejzaža. Neinvazivni karakter zelenila omogućuje njegovu integraciju s arhitekturom pokrivajući različite površine same zgrade i susjednog terena u dvorištima i uličnom pejzažu.

Oko zgrada je važno tražiti metode za otklanjanje površina i poboljšanje njihove propusnosti i potencijala isparavanja (vidjeti poglavlje 3.1.). Osobito je važno u gradovima koji su sve više u opasnosti od bujičnih poplava uzrokovanih jakim kišnim nevremenima i uvenuća biljaka tijekom dugih sušnih razdoblja. Bujice su posljedica sve veće količine površinskog otjecanja sa zatvorenih površina koje uzrokuje preopterećenje kanalizacijskog sustava.

168 Mogu se dobiti na engleskom i poljskom: Sendzimir Foundation, Publications. <https://sendzimir.org.pl/en/publications/> (lipanj 2022).

169 Naumann, Sandra, McKenna Davis, Ewa Iwaszuk, Mona Freundt, Linda Mederake, *Addressing climate change in cities. Policy instruments to promote urban nature-based solutions* / Naumann, Sandra et al., Tomasz Jeleński (transl. and ed.), *Biękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu – narzędzia strategiczne*. Berlin – Kraków: Fundacja Sendzimira 2020.

170 Iwaszuk, Ewa, et al., *Catalogue of urban nature-based solutions*, Sendzimir Foundation, Berlin – Kraków 2019. <https://sendzimir.org.pl/en/publications/catalogue-of-urban-nature-based-solutions/> (kolovoz 2022).



Fot. Natalia Szablowska

Sl. 35. Uređenje dvorišta kao dio projekta revitalizacije četvrti u gradskom središtu u ulici Pończoszniaków u Gdanjsku. Uvedene su restrikcije za prilaz automobilima te je povećana razina bioraznolikosti kroz sadnju penjačica i cvijeća na fasadama.

Povećanje propusnosti tla i skupljanje kišnice s krovova najbolji je način zaštite zgrada, infrastrukture i zelenila od rastućeg rizika poplava i suše.¹⁷¹

Sljedeći korak trebao bi biti razvoj predvrtova i fasadnih vrtova, ozelenjivanje unutrašnjih dvorišta, zidova i krovova. Zeleni pokrov štiti zgrade od pregrijavanja ljeti i hladni zrak koji se može koristiti za prirodno prozračivanje unutrašnjeg prostora bez klimatizacije.

Prednji vrtovi, fasadni vrtovi i zelena dvorišta također su često zaboravljeni načini za prirodnu drenažu tla uz zgradu. Biljke učinkovito reguliraju količinu vode u zemlji, štiteći podrum od vlage. Korijenski sustav poput prirodne pumpe uvlači mlaz vode u mlaz transpiracije i prenosi ga preko ksilema do listova gdje voda isparava. Nisko raslinje zasađeno izravno na stazi sokla dodatno štiti zidove od prskanja vode koja se odbija od tla (vidjeti poglavlje 3.1.6.).

Najbolji gradski odvlaživači tla su stabla koja zahtijevaju vodu, primjerice vrbe, grabovi i johe, kao i biljke penjačice i formirana ulična stabla¹⁷² koja ljeti dodatno daju hlad. Kao prirodnu drenažu ruba zgrade mogu se koristiti visoke trajnice s debelim stabljikama, poput sljeza, ali i ruža, hortenzija i suncokreta, kao i puzavice s razvijenim sustavom grana te ukrasne trave koje podnose i suhe i vlažne uvjete.

Važno je odabrati biljke koje odgovaraju karakteru i stilu zgrade.¹⁷³ Sljezovi i suncokreti dobro idu uz seoske građevine, ruže i oblikovana stabla uz dvorce i palače, ukrasne trave idu uz modernu arhitekturu, dok su biljke penjačice stilski neutralne i mogu se naći uz gotovo sve vrste zgrada.



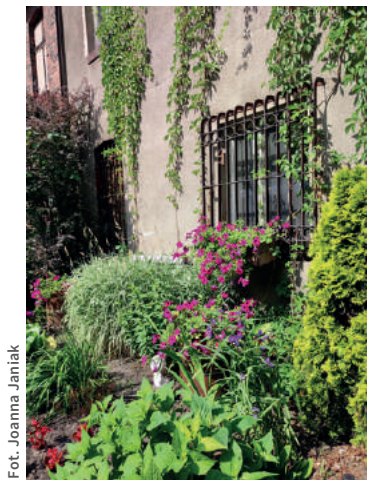
Fot. Marcin Surowiec

Sl. 36. Uređivanje dvorišta u stambenoj kući na adresi Władysława IV 11a u Gdanjsku koja je uvrštena u mjesni Registar spomenika te koja se nalazi na području koje je uvršteno u poljski Registar spomenika kao dio povijesnog urbanog kompleksa luke Nowy. Tijekom revitalizacije, poboljšano je otjecanje oborinskih voda na zgradi, čvrsto tlo zamijenjeno je propusnim i polupropusnim površinama te je posađeno zelenilo, uključujući i biljke koje zahtijevaju puno vode poput močvarnog hrasta, akacije i raznih penjačica.

171 Wagner Iwona, Krauze Kinga, *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście? [w:] Woda w mieście, Zrównoważony Rozwój – Zastosowania* 5, Fundacja Sendzimira, Kraków 2014, 77–95. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/02/ZRZ5_all.pdf (lipanj 2022).

172 Vrlo dobri za oblikovanje su lipa, grab, javor, lijeska i vrba. Povijesno gledano, najčešće su se birale voćke, uglavnom zato što su ih građevine štatile od vjetra, što je rezultiralo učinkovitijim usjevima, a urbana klima omogućila je i sadnju egzotičnijih i termofilnijih vrsta poput marelica. Mitkowska, Anna, Katarzyna Łakomy, Katarzyna Hodor, *Historia ogrodów europejskiego kręgu kulturowego, cz. II: Od manieryzmu do końca XIX wieku*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013. Staniewska, Anna, Jan Skrzycki, *Sady w krajobrazie, między archetypem raju, a współczesnym ogrodem użytkowym*, Czasopismo Techniczne. Architektura, R. 109 (2012), Z. 30, 8-A.

173 Zachariasz, Agata, *Zabytkowe ogrody – problemy rewitalizacji, utrzymania i zarządzania w świetle zaleceń Karty Florenckiej, [u] Zarządzanie krajobrazem kulturowym*. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG, 10 (2008): 150-161.



Fot. Joanna Janiak



Fot. Joanna Janiak

Sl. 37. Uređivanje dvorišta stambene kuće na adresi Gliwicka 97 u Katowicama, koja je izgrađena početkom 20. stoljeća te kojom upravlja Mjesni ured za stanovanje. Stanari su uz potporu Društva Zielone Załęże posadili brojne vrste cvijeća poput hoste, flokse, puzave kleke, rudbekija, aubriete, božura, hortenzija, iglica, petunija, ukrasnih trava, žednjaka i puzavaca poput istočnoazijske trodijelne lozike, peterolisne lozice te začina mente, timijana i origana i ostalih. Navedeno bilje posađeno je u zemlji i u velikim drvenim sanducima, a u vrtu se nalazi i tank sa kišnicom.

4.1.1. Upravljanje oborinskim vodama

174 Naumann, Sandra, McKenna Davis, Ewa Iwaszuk, Mona Freundt, Linda Mederake (ed. Tomasz Jeleński), *Błękitno-zielona infrastruktura dla łagodzenia zmian klimatu – narzędzia strategiczne*. Berlin – Kraków: Fundacja Sendzimira, 2020.

175 Szmidt-Jaworska, Adriana, Jan Kopcewicz, *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.

176 Zeleni zidovi djeluju slično, iako su manje učinkoviti.

Otjecanje oborinske vode može se zaustaviti u kišnim vrtovima u zemlji ili u kontejnerima. Rješenja temeljena na prirodi mogu također uključivati retencijske bazene i bioretencijske bazene koji dopuštaju da se voda infiltrira u tlo.¹⁷⁴ Međutim, ribnjaci, bazeni i biljke s ekstenzivnim korijenskim sustavom ne bi se smjeli nalaziti neposredno uz građevinu, već na sigurnoj udaljenosti koja ovisi o lokalnim uvjetima tla.¹⁷⁵

Uklanjanje brtvila s površina i stvaranje kišnih vrtova koji ograničavaju i odgađaju površinsko otjecanje može se nadopuniti prikupljanjem kišnice s krova za korištenje u zgradi, npr. za ispiranje zahoda i zalijevanje biljaka u sušnim razdobljima. Još korisnije za klimu moglo bi biti ozelenjivanje krova.¹⁷⁶

4.2. Zeleni krov

Postoje mnoge vrste zelenih krovova. Lagani/ekstenzivni namijenjeni su travama i lišajevima, te teži/intenzivni, vrtini, s raznim zelenilom i rekreacijskim funkcijama. Zbog raznolikosti rješenja, ozelenjavanje je moguće i na ravnim i na kosim krovovima.

Već i nekoliko centimetara visok zeleni sloj dovoljan je za zadržavanje i nakupljanje kišnice pa može rasteretiti gradsku kanalizaciju i izbjeći prelijevanje tijekom obilnih oborina. Zeleni krov uvijek vrijedi obogatiti retencijskim drenažnim sustavom kako bi se apsorbirala količina kišnice po kvadratnom metru koja je potrebna za određeno područje. Intenzivni zeleni krovovi mogu poslužiti i kao krovni vrtovi (više o prednostima zelenih krovova i njihovoj konstrukciji vidjeti u poglavlju 3.4.3).

Međutim, ugradnja zelenog krova na povijesnoj zgradi može biti teža nego na novoj. Problem obično nije u nosivosti zidova, već u povijesnim rešetkama. Njihova nosivost ili tehničko stanje može biti nedovoljno. Također, mogu biti podvrgnuti konzervatorskoj zaštiti. Njihova zamjena konstrukcijom novog tipa nepovratno bi uništila karakter zgrade i bila bi u sukobu s konzervatorskom etikom.

Stoga je vrijedno razmotriti, u opravdanim slučajevima, uklanjanje nosive funkcije s povijesnih rešetki i izgradnju nove konstrukcije preko stare. Nova konstrukcija veće nosivosti mogla bi imati toplinsku izolaciju i zeleni krov, što bi bilo korisno za ublažavanje klimatskih promjena. Istodobno, zamjena starih konstrukcijskih elemenata ne bi bila potrebna, oni bi ostali vidljivi iznutra, a proces njihova konzerviranja mogao bi se ograničiti na zaštitu rešetki od gljivica i plijesni.

Bibliografija

Iwaszuk, Ewa, et al., *Catalogue of urban nature-based solutions*, Sendzimir Foundation, Berlin – Krakov 2019. <https://sendzimir.org.pl/en/publications/catalogue-of-urban-nature-based-solutions/> (kolovoz 2022).

Mitkowska, Anna, Katarzyna Łakomy, Katarzyna Hodor, *Historia ogrodów europejskiego kręgu kulturowego, cz. II: Od manierizmu do końca XIX wieku*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Krakov 2013.

Naumann, Sandra, et al., (uredio Tomasz Jeleński), *Addressing climate change in cities. Policy instruments to promote urban nature-based solutions*, Berlin – Krakov: Sendzimir Foundation, 2020. <https://sendzimir.org.pl/en/publications/policy-instruments-to-promote-urban-nature-based-solutions/> (kolovoz 2022).

Pomianowska, Halina, *Ochrona drzew w procesie inwestycyjnym. Zał. nr 1 do Programu ochrony środowiska dla miasta Torunia na lata 2021 – 2024, z uwzględnieniem perspektywy do roku 2028*, Toruń Municipality, Toruń 2021.

Sendzimir Foundation, *Publications*. <https://sendzimir.org.pl/en/publications> (lipanj 2022).

Staniewska, Anna, Jan Skrzycki, *Sady w krajobrazie, między archetypem raju, a współczesnym ogrodem użytkowym*, Czasopismo Techniczne. Architektura, R. 109 (2012), Z. 30, 8-A.

Szmidt-Jaworska, Adriana, Jan Kopcewicz, *Fizjologia roślin*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.

Wagner Iwona, Krauze Kinga, *Jak bezpiecznie zatrzymać wodę opadową w mieście?* [w] *Woda w mieście, Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 5*, Fundacja Sendzimira, Krakov 2014, 77-95. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/02/ZRZ5_all.pdf (lipanj 2022).

Zachariasz, Agata, *Zabytkowe ogrody – problemy rewaloryzacji, utrzymania i zarządzania w świetle zaleceń Karty Florenckiej*, [u] *Zarządzanie krajobrazem kulturowym*. Prace Komisji Krajobrazu Kulturowego PTG, 10 (2008): 150-161.

Ziemiańska Monika, Suchocka Marzena, *Planowanie i zasady ochrony drzew w procesie inwestycyjnym*, [w] *Przyroda w mieście: rozwiązania, Zrównoważony Rozwój – Zastosowania 4*, Fundacja Sendzimira, Krakov 2013, 13-27. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/02/ZRZ4_all.pdf (lipanj 2022).

Ziemiańska, Monika, Marzena Suchocka, *Ochrona drzew na placu budowy*. Fundacja Sendzimira, Krakov 2013. https://sendzimir.org.pl/wp-content/uploads/2019/08/ZRZ4_str_69-85.pdf (lipanj 2022).

5

Prikupljanje energije

Tomasz Jeleński

• Tehnološko sveučilište u Krakovu

Prikupljanje energije iz okoline vrlo je važan način za smanjenje energetske potražnje zgrade i utjecaja na okoliš. To je moguće zahvaljujući novim tehnologijama obnovljivih izvora energije, posebno solarnim panelima, toplinskim pumpama i solarnim bojlerima/kolektorima. Njihova instalacija značajno smanjuje operativnu energetska učinkovitost zgrade, ali stvara financijske i okolišne troškove, privremeno povećavajući ugrađenu energiju i ugljični otisak zgrade. Temeljni postupak energetske modernizacije stoga bi trebao biti traženje rješenja koja bi omogućila optimizaciju pasivnog korištenja sunčevog zračenja zimi i sprečavanje pregrijavanja unutrašnjih prostora ljeti.

5.1. Dobici energije okoline

Energetska modernizacija kroz izolaciju ovojnice ili obnova/zamjena prozora može donekle smanjiti pasivni energetske dobitak, a time i svrhovitost i učinkovitost toplinske modernizacije. Stoga bi energetske bilance i pregledi trebali uzeti u obzir dobitke sunčeve energije koja prodire kroz krovove, zidove i prozore, kao i mogućnost pasivne zaštite od pregrijavanja (o tome detaljnije raspravljamo u poglavljima 3.2.10., 3.3. i 4.).

Povijesne građevine podignute tradicijskim tehnikama zidanja i stolarije koriste prirodna rješenja koja osiguravaju klimatsku sigurnost i osnovnu toplinsku udobnost. Graditelji su vodili računa o konstrukcijama koje akumuliraju toplinu, optimalnom položaju peći i dobrim ventilacijskim sustavima uključujući otvorene prozore u podrumima, pasivne ventilacijske dimnjake i krovne otvore. Zbog toga je svaka povijesna građevina imala svoju jedinstvenu, dobro uspostavljenu klimatsku ravnotežu, koja je uključivala hladne, nikad grijane podrum, suterene i tavane, hladna stubišta i tople stambene prostore.

Uvođenje nepropusnosti ovojnice i bitna promjena energetske parametara povijesne građevine od tradicijskih materijala narušavaju tu ravnotežu, ponekad stvaranu tijekom stoljeća,¹⁷⁷ a umjesto smanjenja troškova, mogu ih povećati. Racionalno opravdanje nastalih ekonomskih i okolišnih troškova može biti povećanje udobnosti korištenja i/ili korisne površine zgrade prilagodbom potkrovlja i/ili podruma stambenim/radnim prostorima, kao i zamjenom tradicijskih sustava grijanja na bazi izgaranja krutih goriva sa sustavima koji koriste čistiju i obnovljivu energiju (vidjeti poglavlje 3.7.).

Nastojeći smanjiti primarnu energiju koja se koristi za grijanje, sustavi obnovljivih izvora energije (OIE) mogu se primijeniti u okviru projekata rekonstrukcije kako bi se podmirila visoka potrošnja energije energijom iz obnovljivih izvora. Jedan od najizazovnijih problema integracije OIE je očuvanje izvornog oblika građevine i baštinske vrijednosti krajolika. Stoga, uz proučavanje utjecaja dostupnih OIE na estetski i fizički oblik zgrade, treba razmotriti opseg zamjene konvencionalnih izvora energije.

177 Narodowy Instytut Dziedzictwa, Wytoczne generalnego konserwatora zabytków dotyczące ochrony wartości dziedzictwa kulturowego w procesie poprawy charakterystyki energetycznej budowli zabytkowych: Załącznik nr 1 do pisma Generalnego Konserwatora Zabytków o sygnaturze DOZ.070.2.2020. JW z dnia 28 lutego 2020.

5.2. Fotonapon

PV ima značajne prednosti kao izvor energije. Jednom instaliran, njegov rad ne stvara zagađenje niti emisije stakleničkih plinova. Pokazuje jednostavnu skalabilnost u pogledu potreba za energijom. Silicij od kojeg se grade ploče ima veliku dostupnost u Zemljinoj kori, iako su ostali potrebni materijali rijetki i na kraju će ograničiti sadašnju fotonaponsku tehnologiju.

Solarna proizvodnja električne energije ima najveću gustoću snage među obnovljivim izvorima energije¹⁷⁸ što je čini najprikladnijom za urbana područja. Njezina učinkovitost brzo raste, dok troškovi masovne proizvodnje brzo padaju. Smanjenje troškova omogućilo je PV rast kao pristupačan izvor energije. Zbog skalabilne prirode PV-a, mnoga kućanstva u Europi sada mogu proizvoditi vlastitu električnu energiju po cijeni znatno nižoj od stopa koje zahtijevaju komunalna poduzeća. PV instalacije bi idealno mogle raditi 100 godina ili čak više¹⁷⁹ uz malo održavanja ili intervencije nakon početnog postavljanja. Nakon početnih troškova izgradnje solarne instalacije, operativni troškovi iznimno su niski u usporedbi s drugim energetske tehnologijama.

PV sustav bi trebao biti dimenzioniran, ako je moguće, tako da odgovara barem individualnim potrebama zgrade, ali se mogu uzeti u obzir i buduće potrebe. Kako se iz tehničke perspektive gotovo svaki dio zgrade koji je dobro izložen sunčevoj svjetlosti može koristiti za PV integraciju, projekt instalacije nudi određeni stupanj slobode.

Osnovni uvjet za ovu tehnologiju je dovoljno čvrsta i nezasjenjena površina za solarne ćelije, po mogućnosti okrenuta prema jugu. Iako PV radi u uvjetima difuznog zračenja, učinkovitost ćelija okrenutih u drugim smjerovima je smanjena jer su dobici solarnog polja izravno proporcionalni sunčevom zračenju. Stoga je također važno osigurati da moguća proširenja zgrada i rast stabala neće zasjeniti solarne ćelije u budućnosti.

5.2.1. PV primjene u zgradama i četvrtima baštine

Glavne kote i dominantne linije krova povijesnih zgrada treba izbjegavati prilikom postavljanja standardnih fotonaponskih panela kako bi se smanjio njihov vizualni utjecaj. Ponekad će se paneli možda morati smjestiti uz zgradu, ako postoje propisi koji zahtijevaju održavanje njezina povijesnog izgleda, i ako postoji prikladno mjesto na lokaciji za postavljanje PV instalacije bez ometanja pogleda.

Ograničenja zaštite baštine mogu se riješiti sve dostupnijim solarnim tehnologijama integriranim s građevinskim elementima. Fotonaponski uređaji integrirani u zgrade (BIPV) i fotonaponski uređaji primijenjeni u zgradama (BAPV) mogu biti prikladni za izravnu primjenu na povijesnim zgradama.¹⁸⁰ Postavljanje PV-a može se vremenski uskladiti sa zamjenom krovnog pokrivača. Tamo gdje je potrebno zamijeniti krov od crijeva ili škrljeva, može biti puno isplativije ugraditi PV crijev kao novi krovni pokrivač. Polikristalni

178 Smil, Vaclav, *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*, MIT Press, Cambridge, MA 2003.

179 Chianese, Domenico, et al., *Analysis of weathered c-Si PV modules*, [u] *Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 3. 2922–2926, Vol.3 (2003). https://www.researchgate.net/publication/224749017_Analysis_of_weathered_c-Si_PV_modules (lipanj 2021).

180 Kandt, Alicen, et al., *Implementing Solar PV Projects on Historic Buildings and in Historic Districts*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 2011. https://www.researchgate.net/publication/255247360_Implementing_Solar_PV_Projects_on_Historic_Buildings_and_in_Historic_Districts (lipanj 2022).

181 Troi, Alexandra, Zeno Bastian (ur.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015.

182 Saule Technologies, *Building Attached Photovoltaics*. <https://sauletech.com/bapv> (lipanj 2022).

183 Ibidem: 180.

184 ML System, *Q GLASS – New Quantum Era*. <https://mlsystem.pl/q-glass-for-construction-industry/?lang=en> (lipanj 2022).

185 Roberts, Josh, Frances Bodman, Robert Rybski, *Energetyka obywatelska: modelowe rozwiązania prawne promujące obywatelską własność odnawialnych źródeł energii*, Warszawa 2015.

moduli mogu se proizvesti tako da po obliku i boji odgovaraju postojećem krovnom pokrovu.¹⁸¹

PV niz obično se postavlja na krovove. Kako se tehnologija razvija, fotona-ponske ćelije se sve više mogu ugrađivati u druge elemente zgrade kao što su ostakljenje, suncobrani i zidovi. Nedavno razvijene tehnologije uključuju prozirne perovskitne ćelije koje se tiskaju na različite materijale, omogućujući intervencije niskog utjecaja koje bi konzervatori mogli prihvatiti.¹⁸²

Jedno od rješenja mogla bi biti integracija PV-a sa zgradom kroz zamjenu stakala zatamnjenom, ali prozirnom PV jedinicom s dvostrukim staklom, osiguravajući višu razinu sjene unutar koje bi to rješenje moglo biti prihvatljivo, a na nekim lokacijama i korisno.¹⁸³ Najinovativnija rješenja su 1-komorne i 2-komorne staklene jedinice visokih koeficijenata toplinske izolacije koje zahvaljujući premazu kvantnih točaka na staklu generiraju električnu energiju uz održavanje vrlo dobrih parametara prijenosa svjetlosti (85%).¹⁸⁴ Jedini čimbenik koji ograničava korištenje takvih fotonaponskih ostakljenja u nekim zgradama baštine mogao bi biti njegova malo drugačija boja i karakter refleksije u usporedbi s originalnim staklom proizvedenim korištenjem tradicijskih tehnologija (vidjeti poglavlje 3.3.2.).

Alternativno rješenje za kompenzaciju kumulativne potražnje za energijom i ugljičnog otiska povijesnog dobra bilo bi sudjelovanje vlasnika u energetskejoj zadruzi koja vodi fotonaponsku farmu izvan područja baštine.¹⁸⁵

5.3. Solarna toplinska energija

Solarni grijači vode koriste prirodno sunčevo zračenje za zagrijavanje vode. Sustav uključuje solarni kolektor i spremnik, a obično se instalira s rezervnim konvencionalnim uređajem za grijanje koji osigurava toplu vodu za oblačnih dana i tijekom vremena velike potražnje.

Solarni grijači vode obično se koriste za pripremu potrošne tople vode. Također je moguće ugraditi predimenzionirani sustav i njime dopuniti grijanje prostora. Osim toga, solarni toplinski sustavi često se koriste za grijanje bazena.

Proizvode se dva glavna tipa solarnih kolektora: ravni pločasti i vakuumski cijevni kolektor (ETC). Potonji nadmašuje ravne ploče u oblačnim ili hladnim uvjetima jer učinkovitost ETC-a ne opada tako brzo kada vanjska temperatura zraka padne.¹⁸⁶

Osnovni je zahtjev za ove sustave prostor za solarne kolektore s direktnim sunčevim zračenjem. Najčešće se postavljaju na krovne padine s jugozapadnom i jugoistočnom orijentacijom i nagibom od 30–50 stupnjeva. Ako je krovni prostor okrenut prema jugu iznad glavne kote i vidljiv s javnog prostora, implementacija sustava možda neće biti dopuštena. Moguće rješenje je ugradnja kolektora na pomoćnim zgradama ili podređenim proširenjima gdje je skriven od pogleda. To smanjuje vizualni utjecaj i može zadovoljiti zahtjeve planiranja

Ovisno o mjestu postavljanja, potrebna su strukturalna istraživanja, kao što je slučaj s integracijom krova. Postojeća konstrukcija mora imati dovoljnu nosivost da podnese težinu kolektora i opterećenje vjetra.

186 Hudon, Kate, *Chapter 20: Solar Energy – Water Heating*, [u] Trevor M. Letcher (ur.), *Future Energy* (Second Edition), Elsevier 2014: 433–451, DOI: 10.1016/B978-0-08-099424-6.00020-X.

5.4. Geotermalna energija i dizalice topline povezane s tlom

Dizalica topline povezana s tlom (GSHP) iskorištava relativnu postojanost temperature zemlje kroz godišnja doba. Koristi ukopane cijevi (kolektorsku petlju) za izvlačenje energije iz zemlje i povećava temperaturu tekućine za prijenos topline unutar petlje na oko 50 °C kako bi se koristila za grijanje prostora i vode. Ako ima dovoljno prostora, petlja kolektora može se položiti horizontalno u rov najmanje 1 m ispod terena. Tamo gdje nema mjesta za to, mogu se izbušiti vertikalne bušotine za izvlačenje topline s dubine između 90 m i 160 m. Bušotine su obično skuplje za ugradnju i moraju biti pravilno raspoređene jer ako su preblizu jedna drugoj, učinkovitost sustava će biti smanjena.

Zahtjevi za takav sustav su prostor za dizalicu topline, prostor u tlu, sustav distribucije grijanja te visoka razina izolacije i zrakonepropusnosti ovojnice zgrade. GSHP nisu prikladni za one povijesne građevine kod kojih nije moguće poboljšati zrakonepropusnost i izolaciju.

GSHP osiguravaju veću učinkovitost kada je temperatura kruga grijanja niža. Dobra je praksa distribuirati energiju iz crpki preko podnog grijanja ili većih radijatora, ali prva opcija je poželjnija. Osim najbolje izvedbe, podno grijanje je i najdiskretnije, iako tamo gdje postoji originalni pod potrebno je pažljivo razmotriti opcije kako se ne bi oštetila originalna struktura. Trebalo bi biti moguće podići originalni pod i ponovno ga položiti na podni sustav. Alternativno, nove podne obloge u skladu s karakterom građevine mogu biti dopuštene u zgradama bez izvornih podova.

Tamo gdje već postoje sustavi centralnog grijanja, ponekad je moguće koristiti stare radijatore, ako su predimenzionirani za potrebe adaptirane zgrade. Nakon poboljšanja zrakonepropusnosti i toplinske izolacije ovojnice, potreba za toplinom je manja, a veličina starih radijatora može kompenzirati nižu temperaturu vode iz GSHP-a. Novi, niskotemperaturni radijatori mogu biti opcija, ali su glomazni što ih čini potencijalno vizualno nametljivima..

Neke dizalice topline mogu se prilagoditi tijekom toplijih razdoblja kako bi ohladile zgradu. Međutim, dizalica topline optimizirana je za grijanje, pa ako ne postoji apsolutni zahtjev za hlađenjem, bolje je odabrati jeftiniju, neneverzibilnu dizalicu topline.

U slučaju zaštićene zgrade ili područja pod konzervatorskim nadzorom, vizualni utjecaj sustava dizalice topline može biti ključan za dozvolu planiranja i konzervacije. Ako će između izvora topline i dizalice topline biti potrebne cijevi, bit će potrebno pronaći put kroz vanjski zid ili ispod njega koji ne uzrokuje nepopravljivu štetu. Ako se u tome uspije, povijesna zgrada može imati korist od stalnog grijanja na niskim temperaturama koje je poželjno za zaštitu njezine strukture i sadržaja.

5.5. Biomasa

Kao obnovljivi izvor energije, biomasa se može izravno koristiti za proizvodnju topline izgaranjem. Moderni sustavi grijanja na biomasu mogu osigurati grijanje prostora i vode i dolaze u širokom rasponu veličina, od pojedinačnih sobnih grijača do sustava za cijelu kuću. Oni mogu zadovoljiti sve godišnje potrebe za grijanjem.

Osnovni zahtjevi za ove sustave su stalni izvor goriva (cjepanice, peleti ili drvena sječka), prostor za sustav grijanja (štednjak ili bojler i bojler tople vode ako postoji), prostor za skladištenje goriva (postojeće spremište, garaža ili ponekad se može koristiti gospodarska zgrada), dimovod (može biti postojeći dimnjak, iako će možda morati biti obložen, što može biti relativno skupo) i odgovarajuća ventilacija. Ako nema dimnjaka, može se postaviti novi dimnjak koji izlazi iz zgrade kroz krov ili zid, što diskretnije i dalje od prednje kote.¹⁸⁷

Gorivo se ručno ili automatski dovodi u sustav. Automatski sustavi općenito su učinkovitiji.

Sustavi na biomasu moraju biti odgovarajuće veličine za zgradu i za potrebe grijanja korisnika. Ovi sustavi djeluju učinkovitije kada rade blizu svog maksimalnog kapaciteta, tako da će preveliki sustav smanjiti njegovu učinkovitost.

Postoje dvije glavne vrste sustava biomase:

- peći snage oko 6–12 kW koje daju izravnu toplinu u prostoriju u kojoj su postavljene. Ova se topline može proširiti na susjedne prostorije, a možda i na sobe na katu. Peći se također mogu spojiti na pomoćni bojler koji osigurava toplu vodu za potrebe potrošne tople vode ili za grijanje prostora putem sustava centralnog grijanja;
- kotlovi snage najmanje 15 kW. Djeluju tako da zagrijavaju vodu koja se zatim može pohraniti u veliki spremnik i koristiti za grijanje prostora putem sustava centralnog grijanja i potrošne tople vode. Voda se može dovoditi pri različitim temperaturama i tlakovima ovisno o odabiru emitera topline (vidjeti poglavlje 3.7.2.2.).

Mnoge stare nekretnine projektirane su i izgrađene sa sustavima grijanja na kruta goriva te imaju kamine i dimnjake idealne za postavljanje modernih peći. To je uobičajena strategija nadogradnje jer ih nizak vizualni utjecaj i visoka učinkovitost, čak i u slabo izoliranim zgradama, čine izvrsnom opcijom za tradicijski građene nekretnine koje često imaju propuh i imaju slabiju izolaciju. Međutim, ventilacijski sustav će možda trebati poboljšanja za ventilaciju opreme i cjevovoda te za opskrbu zraka potrebnog za izgaranje.¹⁸⁸

Značajan nedostatak peći i kotlova na biomasu je vrlo visoka emisija lebdećih čestica (PM) iz sustava koji nisu opremljeni skupim elektrofilterima. Zbog toga se takvi sustavi ne smiju upotrebljavati u područjima gdje je zbog zaštite zraka zabranjena uporaba krutih goriva, kao što je slučaj u Krakovu, i u načelu se ne smiju koristiti u urbanim područjima.

187 Troi, Alexandra, Zeno Bastian, op.cit.: 184.

188 Ibidem: 184–185.

5.6. Vjetrenjače

Osnovni zahtjevi vjetrosustava su prikladni uvjeti na gradilištu s odgovarajućom brzinom vjetra i prostorom za ugradnju turbine. Turbine se moraju postaviti na razumno izloženo mjesto i na visinama gdje su brzine vjetra velike (iznad 5–6 m/s), bez prepreka, drveća ili drugih objekata koji bi mogli uzrokovati turbulenciju i ugroziti rad turbine. Treba razmotriti buduće prepreke, poput rasta stabala ili novih zgrada. Stoga je turbine često teško uspješno integrirati u urbano okruženje i prikladnije su za ruralna područja.

Većina vjetroturbina ima horizontalnu os. Turbine s okomitom osovinom često su manje učinkovite, ali bolje rade u područjima gdje je turbulencija zraka uobičajena, što ih čini potencijalno održivijim za urbana područja.

Glavne komponente sustava uključuju stup (fiksiran izravno na zgradu ili samostojeći) i osnovne električne komponente. Za stupove koji se montiraju na zgradu potrebno je konstrukcijsko ispitivanje zgrade kako bi se osiguralo preuzimanje opterećenja od instalacije bez naknadnih oštećenja. Proces ugradnje ili bilo koje vibracije također može utjecati na konstrukciju građevine. Turbine ugrađene u zgrade često nisu dopuštene na povijesnim zgradama radi njihovog vizualnog utjecaja. To čini samostojeće turbine postavljene na stup održivijima za većinu baštinskih objekata.

189 Ibidem: 181–182.

Potrebno je pažljivo razmotriti još dva potencijalna problema:¹⁸⁹

- ♦ vjetroturbine proizvode određenu buku, koja se može čuti na određenoj udaljenosti;
- ♦ oštrice koje se okreću mogu stvoriti svjetlucanje i sjene. Ako se protežu na posjed ili vrt, mogli bi biti neugodni.

Bibliografija

Chianese, Domenico, et al., *Analysis of weathered c-Si PV modules*, [u] *Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 3. 2922–2926, Vol.3 (2003). https://www.researchgate.net/publication/224749017_Analysis_of_weathered_c-Si_PV_modules (lipanj 2021).

Hudon, Kate, *Chapter 20: Solar Energy – Water Heating*, [u] Trevor M. Letcher (uredio), *Future Energy* (Second Edition), Elsevier 2014: 433–451, DOI: 10.1016/B978-0-08-099424-6.00020-X.

Kandt, Alicen, et al., *Implementing Solar PV Projects on Historic Buildings and in Historic Districts*. National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado 2011. https://www.researchgate.net/publication/255247360_Implementing_Solar_PV_Projects_on_Historic_Buildings_and_in_Historic_Districts (lipanj 2022).

ML System, *Q GLASS – New Quantum Era*. <https://mlsystem.pl/q-glass-for-construction-industry/?lang=en> (lipanj 2022).

Narodowy Instytut Dziedzictwa, *Wytyczne generalnego konserwatora zabytków dotyczące ochrony wartości dziedzictwa kulturowego w procesie poprawy charakterystyki energetycznej budowli zabytkowych: Załącznik nr 1 do pisma Generalnego Konserwatora Zabytków o sygnaturze DOZ.070.2.2020. JW z dnia 28 lutego 2020.*

Roberts, Josh, Frances Bodman, Robert Rybski, *Energetyka obywatelska: modelowe rozwiązania prawne promujące obywatelską własność odnawialnych źródeł energii*, ClientEarth, Warszawa 2015.

Saule Technologies, *Building Attached Photovoltaics*. <https://sauletech.com/bapv> (lipanj 2022).

Smil, Vaclav, *Energy at the Crossroads: Global Perspectives and Uncertainties*, MIT Press, Cambridge, MA 2003.

Troi Alexandra, Zeno Bastian (uredio), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015.

6

Seizmička aktivnost koja utječe na povijesne građevine

Mihaela Zamolo

• Hrvatski savjet za zelenu gradnju

Problemi uslijed potresa vezani uz povijesne zgrade i zgrade kulturne baštine uvijek predstavljaju određene izazove u pogledu povećanja njihove otpornosti na potrese. Cilj je poboljšati mehaničku otpornost i stabilnost što se može provesti prije ili nakon potresa, tijekom konzervacije, popravka ili rekonstrukcije. Specifični izazovi odnose se na zaštitu i očuvanje vrijednosti kulturne, arhitektonske i graditeljske baštine uz sigurnost i otpornost na djelovanja potresa. Sve europske seizmički aktivne zemlje (Italija, Grčka, Turska, balkanske zemlje i Hrvatska) bore se da zaštite graditeljske kulturne baštine i produže im trajanje nakon potresa.

6.1. Zaštićene građevine u Hrvatskoj

Građevine kulturne baštine nalaze se na području cijele Republike Hrvatske. Predstavljaju različita razdoblja povijesti arhitekture od prapovijesti do modernog funkcionalizma. Mnoge građevine kulturne baštine, posebno iz doba baroka i rokoka, imaju vrijedne oslikane freske, skulpture i inventar koji je potrebno sačuvati. Spomenici kulture upisani su u Registar kulturnih dobara. Baza podataka sadrži informacije o zaštićenim kulturnim dobrima i kulturno-povijesnim cjelinama. U Registru se nalazi oko 4200 pojedinačno zaštićenih spomenika od čega je 1643 sakralne i 1100 stambene i mješovite stambeno-poslovne namjene. Oko 130 građevina je preventivno zaštićeno, a 10 je pod zaštitom UNESCO-a. Od 391 zaštićene kulturno-povijesne cjeline, 184 su ruralne, 180 urbane i ostale, dok je 9 preventivno zaštićeno. Broj građevina u zaštićenim kulturno-povijesnim područjima prelazi 100 tisuća, uključujući 4017 u zagrebačkoj zoni A i 9371 u zagrebačkoj zoni B. Ostale kulturno-povijesne cjeline su znatno manje.

6.1.1. Karakteristike građevina kulturne baštine u Republici Hrvatskoj

Uglavnom su to tradicijske građevine, većim dijelom građene prije sredine 20. stoljeća. Tradicijske su zbog vrste konstrukcije i materijala. Većina njih su zidane zgrade (od ziđa). Vertikalni nosivi elementi su zidovi i stupovi od kamena (lomljenog ili klesanog) ili od opeke s vapnenim mortom ili niske vlačne čvrstoće. Podne konstrukcije su uglavnom od drvenih grednika ili svodova i lukova. Upotreba betona javlja se nakon 1920. godine i minimalno je zastupljena. Visina zgrada varira od 2 kata u ruralnim područjima do 5 etaža iznad zemlje obično s podrumima. U sakralnim građevinama uobičajeni materijali su kamen, opeka, drvo, lijevano željezo i čelik. Manji broj spomenika (kuće, kapelice i sl.) ima konstrukcije od drva/drvene građe.

Građevine kulturne baštine u Hrvatskoj se smatraju tradicijskim i zato što su izgrađene prije 1964. godine kada su doneseni prvi propisi za građenje potresno otpornih građevina u Republici Hrvatskoj (u to vrijeme SFRJ). Stoga, očekuje se da imaju dovoljnu otpornost na vertikalna djelovanja, ali nisku potresnu otpornost na horizontalna djelovanja što se pokazalo tijekom potresa.

Prema važećim propisima (Eurokodovima), očekuje se da će imati oko 4 puta manju potresnu otpornost. Međutim, često nas pozitivno iznenade.

Gotovo sve građevine kulturne baštine, zbog nedostatka specifičnih znanja, dostupnih tehnologija i materijala, te nedostatka provjere na potresna djelovanja, imaju izvorne nedostatke:

- ◆ nedovoljna otpornost konstrukcije od ziđa, (cjelokupne konstrukcije, dominantni zidovi u jednoj ravni);
- ◆ nepravilan raspored zidova u tlocrtu i po visini;
- ◆ niska vlačna čvrstoća nosivih zidova (kameni ili opečni elementi sa slabim mortom);
- ◆ nepostojanje veznih zidova;
- ◆ nedovoljna nosivost i stabilnost zidova okomitih na njihovu ravninu;
- ◆ fleksibilne stropne konstrukcije s drvenim grednicima ne prenose seizmička djelovanja na zidove u svim smjerovima;
- ◆ loši spojevi drvenih greda i zidova (ležajevi, oslonci);
- ◆ neodgovarajuća konstrukcija krova;
- ◆ oštetljiva stubišna (konzolna) konstrukcija;
- ◆ nedostaci temelja i tla.

U većim javnim zgradama, palačama i sakralnim građevinama nedostaci uključuju i ponašanje svodova i lukova (debljina, materijali, spojna sredstva, zatege, oslonci), ponašanje kupola (zatege, oslonci), ponašanje tornjeva i zvonika (visine, materijali, veze s konstrukcijom, vitkost), zbog nepovoljne ukupne strukture (velike dimenzije, materijali: kamen, opeka i slabi mort). Stambene i javne zgrade građene od 1920. do 1965., s krutim stropovima, iznenađujuće su povoljnije od prethodnih.

Postoje i stečeni nedostaci u zgradama kulturne baštine, kao što su:

- ◆ starost i neodržavanje,
- ◆ nekontrolirana rekonstrukcija zidova i stropnih konstrukcija,
- ◆ neispravne nadogradnje,
- ◆ atmosfersko djelovanje,
- ◆ vlaga,
- ◆ zapuštena podloge temelja,
- ◆ prethodna izvanredna događanja (npr. potres ili požar).

Tijekom Domovinskog rata (1991. – 1995.) oštećeno je te naknadno obnovljeno čak 2400 građevina kulturne baštine.¹⁹⁰ Neke građevine doživjele su potres u Zagrebu (1880.) i Petrinji (1909.), nakon čega su i obnovljene (npr. crkva sv. Katarine u Zagrebu).

190 Domovinski rat od 1991. do 1995. godine u kojem je oštećeno ili potpuno uništeno 2423 (ili 1.859.169 m²) spomenika kulture od ukupno tada evidentiranih 7023. U SMŽ (Petrinjska regija) oštećene su 243 od 413, a u gradu Zagrebu 82 od 493 pojedinačno zaštićene građevine. Sve su obnovljene, ali se malo vodilo računa o njihovoj potresnoj otpornosti. Vraćene su uglavnom u prvobitno stanje u smislu vertikalne otpornosti i stabilnosti te seizmičke potresne otpornosti. Međutim, postojale su neke razlike u pristupu. Potres u Petrinji otkrio je dobre primjere ponašanja (crkva sv. Lovre u Petrinji) i loše primjere ponašanja (crkva sv. Marije Magdalene).

6.2. Potresni rizik

Potresni rizik je kritičan za zgrade. To je rezultat kombinacije četiriju čimbenika: seizmičke opasnosti regije (potres), lokalnih uvjeta podzemlja, ranjivosti zgrade i izloženosti, tj. koncentracije zgrada. U Hrvatskoj potresni rizik nije ocijenjen kao najveći rizik u usporedbi s drugim elementarnim nepogodama, ali je vrlo značajan zbog nepredvidivosti nastanka.

- ♦ **Potresni rizik:** u Europi nastaje zbog međusobne konvergencije Afričke ploče s Euroazijskom. Hrvatska se nalazi na rubu ovog seizmološki aktivnog područja s umjerenim i visokim seizmičkim opasnostima. Prema procjeni¹⁹¹ i Mercallijevoj ljestvici, na oko 36% teritorija postoji velika opasnost od potresa magnitude 8–9 stupnjeva, dok se opasnost od 7 stupnjeva predviđa na oko 56% područja. Seizmičke karte pojedinih područja ukazuju na vršno ubrzanje tla, uz određenu vjerojatnost pojave i povratno razdoblje (475 godina). Temeljene su na seizmičkim studijama. Iz njih dobiveni spektri odziva tla koriste se za proračun seizmičkog djelovanja na konstrukciju (Eurokod 8).
- ♦ **Lokalno podzemlje:** učinci potresa ovise o dubini i udaljenosti hipocentra potresa kao i lokalnom podzemlju. Meko podzemlje dovodi do potresa i do deset puta većeg intenziteta nego na stijeni.
- ♦ **Ranjivost zgrade:** ovisi o tipu konstrukcije zgrade. Gotovo sve građevine izgrađene u Hrvatskoj do sredine 20. stoljeća, uključujući i zgrade kulturne baštine bez armiranobetonskih elemenata, vrlo su osjetljive na potresna djelovanja, a prema EMS ljestvici svrstavaju se u razred ranjivosti B (A do F, gdje je A – najranjiviji).
- ♦ **Izloženost:** visoka gustoća, visoko razvijena područja poput gradova imaju veću vrijednost koncentracije rizika od ruralnih regija.¹⁹²

¹⁹¹ Atalic, Josip, Marta Savor Novak, Mario Uros, *Seismic risk for Croatia: overview of research activities and present assessments with guidelines for the future*, Građevinar, 71(10) 2019. DOI: 10.14256/JCE.2732.2019.

¹⁹² Primjerice, Zagreb ima najveći rizik, iako njegova seizmička opasnost nije najveća.

6.3. Ponašanje i oštećenja zgrada u potresu

Gradevine kulturne baštine izložene su različitim djelovanjima i utjecajima tijekom svog životnog vijeka, koji je znatno duži od projektnog uporabnog vijeka modernih zgrada (50 godina). Klimatske promjene i povezane prirodne katastrofe, kao što su poplave, oluje i uragani, požari, lavine, bujice i potresi uzrokuju veliku materijalnu štetu i oduzimaju ljudske živote zbog neadekvatnih graditeljskih propisa. Gotovo sve prirodne katastrofe su predvidive osim potresa, koji je predvidljiv samo po jačini, lokaciji i povratnom razdoblju, ali ne i vremenu kada će se dogoditi sljedeći događaj.

Oštećenja se uglavnom javljaju na gornjoj konstrukciji, posebno na dimnjacima, krovu i zidovima zabata. Može se raditi i o razdvajanju zidova u dva okomita smjera zbog nedostatka veznih zidova, oštećenju spojeva zidova i/ili podne konstrukcije (drvene grede naslonjene na zid), oštećenju parapetnih zidova, nadvoja, oko otvora i na stropnim konstrukcijama. Osim toga, značajna oštećenja nastaju na stubištima velikih zgrada (palača, stanova) i na pregradnim zidovima, koji često preuzimaju značajan dio potresnog djelovanja. Oštećenja mogu nastati i na nosivim zidovima (vertikalne, dijagonalne, X pukotine, drobljenje). Mnoge se zgrade ruše zbog gubitka mehaničke otpornosti i stabilnosti. U palačama i sakralnim zgradama mogu se oštetiti i kule, kupole, svodovi i lukovi. Često oštećenja nisu jasno vidljiva s vanjske strane zgrade (na nosivim zidovima), ali su unutrašnji elementi konstrukcije znatno oštećeni.

6.4. Popravak, obnova i rekonstrukcija nakon potresa

Prvo što treba učiniti nakon potresa je brzi pregled radi zaštite ljudskih života i imovine od mogućih naknadnih potresa. Oštećene građevine treba poduprijeti korištenjem privremenih podkonstrukcija kako bi se spriječilo urušavanje pojedinih dijelova, te zaštititi od vremenskih nepogoda oblaganjem šperpločama, drvenim pločama i sl. To su standardna rješenja koja je potrebno primijeniti prije konzervacije i restauracije. Nepoduzimanjem ovih mjera dolazi do daljnje degradacije nosivosti cijele nosive konstrukcije te manjka stabilnosti pojedinih dijelova građevine.

Druga je faza preliminarno istraživanje koje uključuje prikupljanje dokumentacije, izmjeru i snimanje konstrukcije te odabir pravih rješenja za obnovu. Potrebno je analizirati i konzervatorski i restauratorski potencijal zgrade.

Prilikom odabira rješenja za potresnu obnovu konstrukcije potrebno je zadovoljiti zahtjeve mehaničke otpornosti i stabilnosti. Pritom se ne smije narušiti vrijednost kulturne baštine.¹⁹³

Renoviranje treba tretirati kao priliku za „Ponovno izgraditi bolje” (BBB),¹⁹⁴ što može uključivati energetska obnova i poboljšanje drugih temeljnih zahtjeva, npr. akustika, zdravlje korisnika, zajednički projekt, ponovna upotreba i recikliranje materijala i trajnost. Prilika je to da zgrada postane održivija, ali obavezno je očuvanje vrijednosti kulturne baštine i postizanje zadovoljavajuće potresne otpornosti.

Za zaštitu i očuvanje kulturne baštine različit je pristup obnovi za pojedinačno zaštićene zgrade ili zgrade unutar kulturnog povijesne cjeline.¹⁹⁵

Popravak, obnova i rekonstrukcija uključuju tri pojma:

- **Kratkoročno** podrazumijeva hitno uklanjanje jako oštećenih i nestabilnih konstrukcijskih elemenata, kao što su dimnjaci, tornjevi ili arhitektonski ukrasi, i privremeno osiguranje svih elemenata radi zaštite ljudi i zgrade, kao i popravke kojima bi se spriječila daljnja oštećenja i omogućilo korištenje zgrada s nekonstruktivnim oštećenjima. Ove mjere uključuju zaštitu ili evakuaciju pokretnih kulturnih dobara.
- **Srednjoročno** uključuje obnovu zgrada te konzervaciju i restauraciju oštećene kulturne baštine.
- **Dugoročno** uključuje potpunu obnovu zgrada kulturne baštine kako bi se smanjila njihova ranjivost, a istodobno očuvala njihova arhitektonska i povijesna vrijednosti. Posebnu pozornost treba posvetiti restituciji pročelja povijesnih zgrada, jer su ona obično vitalna za povijesni gradski pejzaž.

Svaka građevina kulturne baštine mora biti popravljena ili rekonstruirana ili obnovljena kao replika.

193 Republika Hrvatska, „Zakon o zaštiti i očuvanju kulturnih dobara”, „Odluka o provedbi popisa štete na nepokretnim kulturnim dobrima uzrokovanih potresom u Gradu Zagrebu i okolici”, Narodne novine 69/99, 151/03, 157/03, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 44/17, 90/18, 32/20, 62/20.; Konvencija o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine, NN Međunarodni ugovori 12/93, usvojeno, Pariz 1972., u Hrvatskoj od 1991.

194 Hallegatte, Stephane Maruyama Rentschler, Jun Erik Walsh, Brian James, *Building back better: achieving resilience through stronger, faster, and more inclusive post-disaster reconstruction* (English). Washington, D.C.: World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/420321528985115831/Building-back-better-achieving-resilience-through-stronger-faster-and-more-inclusive-post-disaster-reconstruction> (lipanj 2022).

195 Republika Hrvatska, *Zakon o obnovi potresom oštećenih zgrada u Gradu Zagrebu, Krapinsko-zagorskoj, Zagrebačkoj, Sisačko-moslavačkoj i Karlovačkoj županiji*, Narodne novine 102/20, 10/21, 117/21.; Republika Hrvatska, *Program mjera za obnovu potresom oštećenih objekata Grada Zagrebu, Krapinsko-zagorskoj, Zagrebačkoj, Sisačko-moslavačkoj i Karlovačkoj županiji*, Narodne novine 137/21.

6.5. Izazovi

Teško je pomiriti sve zakonske zahtjeve za sigurnost spomenika kulture od potresnog djelovanja sa zahtjevima zaštite i očuvanja kulturnih vrijednosti i zahtjevima klimatske obnove. Za pronalaženje optimalnih rješenja u pojedinim slučajevima potreban je interdisciplinarni pristup i bliska suradnja specijalista i stručnjaka.

Mora se uzeti u obzir da sve građevine kulturne baštine imaju malu potresnu otpornost, a one koje su pretrpjele potres dodatno smanjenu. Treba usvojiti strategije za pojačanje ovih zgrada kako bi preživjele sljedeći potres. Seizmička aktivnost raste zbog klimatskih promjena.

Bibliografija

Atalic, Josip, Marta Savor Novak, Mario Uros, *Seismic risk for Croatia: overview of research activities and present assessments with guidelines for the future*, Građevinar, 71(10) 2019. DOI: 10.14256/JCE.2732.2019.

Hallegatte, Stephane, Maruyama Rentschler, Jun Erik Walsh, Brian James, *Building back better: achieving resilience through stronger, faster, and more inclusive post-disaster reconstruction (English)*. World Bank Group, Washington, DC. <http://documents.worldbank.org/curated/en/420321528985115831/Building-back-better-achieving-resilience-through-stronger-faster-and-more-inclusive-post-disaster-reconstruction> (lipanj 2022).

Republika Hrvatska, *Act on the Protection and Preservation of Cultural Heritage, Decision on the implementation of the inventory of damage to immovable cultural property caused by the earthquake in the City of Zagreb and its surroundings*, Official Gazette 69/99, 151/03, 157/03, 87/09, 88/10, 61/11, 25/12, 136/12, 157/13, 152/14, 44 / 17, 90/18, 32/20, 62/20).

Republika Hrvatska, *Act on the Reconstruction of Earthquake-Damaged Buildings in the City of Zagreb, Krapina-Zagorje County, Zagreb County, Sisak-Moslavina County and Karlovac County*, Official Gazette 102/20, 10/21, 117/21.

Republika Hrvatska, *Programme of measures for the reconstruction of earthquake-damaged buildings in the City of Zagreb, Krapina-Zagorje County, Zagreb County, Sisak-Moslavina County and Karlovac County*, Official Gazette 137/21.

UNESCO, *Convention Concerning the Protection of World Cultural and Natural Heritage*. <https://whc.unesco.org/en/conventiontext> (lipanj 2022).

7

Algoritmi

Tomasz Jeleński

• Tehnološko sveučilište u Krakovu

Različita rješenja za stvaranje resursno učinkovitijih zgrada, poboljšanje uštede energije i klimatski prihvatljivu zaštitu nije moguće primijeniti u svakoj situaciji. Svaka građevina ima drugačiju povijest i specifične uvjete, stoga pri projektiranju obnove ili adaptacije opseg radova i izbor mjera treba odabrati individualno i uz korištenje konzervatorskih znanja. Međutim, takav pristup usporava procese projektiranja i donošenja odluka te formalne dogovore u slučaju zaštićenih zgrada.

Izazov je pronaći praktične alate u skladu sa zaštitom kulturne baštine, poštujući načelo minimalne intervencije, a istovremeno poboljšati upotrebljivost povijesnih građevina, smanjiti njihov utjecaj na okoliš i povećati njihovu otpornost na različite prijetnje.

U našim intervjuima različiti dionici procesa konzervacije i obnove priznali su da kompleksnost problema uzrokuje nesporazume i sukobe te da se odluke često donose intuitivno. Premalo je praktičnih znanja i smjernica koje bi olakšale i ubrzale suradnju investitora i projekatanta s konzervatorima te dovoljno učinkovite analize slučaja kao temelja za donošenje odluka. S druge strane, ako se pojave univerzalne smjernice, one su često prerigidne i ne dopuštaju pojedinačna rješenja po mjeri.

Naš prijedlog, koji bi mogao olakšati napredovanje kroz kompliciranu materiju konzervacije, obnove ili nadogradnje, je algoritam, tj. alat koji sugerira načine kako nastaviti kroz procese analize i projektiranja. Algoritam je slijed radnji ili postupak koji vodi do izvedbe određenog zadatka olakšavajući rješenje problema u konačnom vremenu. Algoritam mora biti zadan u obliku određenog skupa aktivnosti koje treba izvršiti, s naznakom njihovih posljedica. Ima za cilj dovesti nas od određenog početnog stanja do željenog krajnjeg stanja.

U složenim zadacima, algoritamsko razmišljanje olakšava hvatanje višestrukih niti, obrađujući pažnju na važne detalje i međusobne veze, te predviđa što bi se moglo dogoditi i kamo će nas svaki korak odvesti.

Alat koji predlažemo prvenstveno je usmjeren na otklanjanje grešaka koje se često čine tijekom renoviranja i naknadnog ugrađivanja. Algoritam nas vodi određenim putem razmišljanja i ukazuje na optimalna rješenja, uzimajući u obzir specifične čimbenike i pojedinačne uvjete zgrade.

Prvi korak u algoritmu koji je ovdje predložen je odabir izolacije. Kao što je opisano u prethodnim poglavljima, znamo da se to često sastoji u prekrivanju zgrade debelim slojem suvremenog izolacijskog materijala, što obično dovodi do određenih problema i može biti opasno za zgradu i korisnike. Učinak nije samo gubitak arhitektonske vrijednosti, već i progresivna vlaga, biološka korozija i degradacija vrijedne tvari.

Ako se zidove zbog njihovih arhitektonskih vrijednosti ili fizikalnih svojstava ne može ili ne želi izolirati, najbolje ih je podvrgnuti samo konzervatorskim obradama. Zidovi povijesnih građevina, posebno onih izgrađenih prije Prvog svjetskog rata, masivni su, imaju visok toplinski kapacitet i, ako se pravilno održavaju, dobra toplinska svojstva. No, treba uzeti u obzir mogućnost zadiranja u druge elemente građevine: konzerviranje ili obnova stolarije,

uklanjanje toplinskih mostova, izolacija stropova i/ili krova, ozelenjivanje zgrade i terena.

Sljedeći korak, možda težak, ali koji značajno smanjuje potrošnju energije i ugljični otisak, mogao bi biti modernizacija sustava grijanja i/ili ventilacijskog sustava za povrat energije iz ispušnog zraka. Učinkovita ventilacija može pak omogućiti izolaciju zgrade iznutra, što je sigurno za zgradu samo ako je fasada zaštićena od utjecaja smrzavanja.

Svaki od glavnih elemenata algoritma povezan je s ostalima. Povratne informacije se uzimaju u obzir, tj. kako određena odluka utječe na druga pitanja.

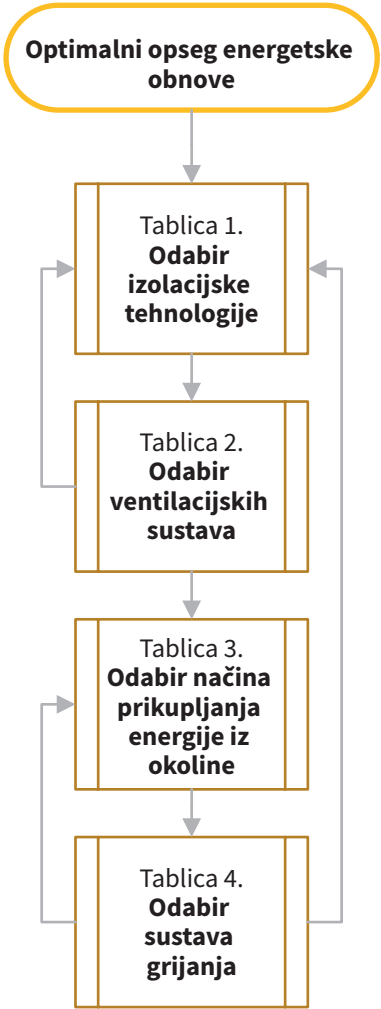
Također, u našem algoritmu obraćamo pozornost na šire kriterije zaštite okoliša i otpornosti. Bez njihovog uzimanja u obzir naše djelovanje neće biti održivo. To postaje osobito važno u vrijeme klimatske krize. Okolišni kriteriji uključuju, prije svega, ugljični otisak obnove, ali i njegov utjecaj na klimu shvaćenu više lokalno, npr. ograničavajući učinak urbanog toplinskog otoka, smanjujući zagađenje prašinom i površinsko otjecanje te štiteći zgradu od iznenadnih poplava.

Osim na okolišu, održivi razvoj temelji se na još dva stupa: društvenom i ekonomskom, dakle, utječe na kvalitetu života i troškove. Uzimamo u obzir te čimbenike, posebno u pogledu zaštite estetskih i baštinskih vrijednosti, univerzalnih kriterija dizajna, odabira obnovljivih izvora energije i društveno-ekonomskih vanjskih učinaka. Svaki od predloženih algoritama sadrži blokove koji se odnose na društvene i ekonomske vrijednosti.

Ovaj je alat testiran i poboljšan tijekom radionica projekta Climate Change Mitigation in Heritage Buildings u Bielsko-Biały, Mysłowicama i Olsztynu (Poljska), te Koprivnici, Rijeci i Zagrebu (Hrvatska) (vidjeti poglavlje 8.).

On-line verziju algoritama i publikacije možete preuzeti putem QR-koda.





8

Studije slučaja

Tomasz Jeleński

· Tehnološko sveučilište u Krakovu

Ewelina Pękała

· Zaklada Sendzimir

Agnieszka Czachowska

· Zaklada Sendzimir

8.1. Uvod

Ewelina Pękała • Zaklada Sendzimir

Poglavlje predstavlja izbor radova sudionika edukativnog programa koji se održao u dvije faze pod nazivom „Renovacija i modernizacija zgrada kulturne baštine u doba klimatske krize“. Edukativni su program proveli zaklada Sendzimir iz Poljske i Hrvatski savjet za zelenu gradnju (CGBC) u sklopu projekta „Climate Mitigation in Heritage Buildings“.

Prva faza edukativnog programa temeljila se na tečaju koji se održao online u jesen 2021. godine na engleskom i poljskom jeziku. Više od 100 najaktivnijih sudionika odabrano je i pozvano na sudjelovanje u drugoj fazi edukativnog programa – radionice uživo organizirane u tri poljska i tri hrvatska grada. U svakom se gradu uspostavila suradnja s lokalnim partnerima koji su predložili po tri zgrade kojima je potrebna obnova.

Timove su sačinjavali sudionici edukativnog programa i lokalni dionici koji su zajednički radili na slučajevima predloženih zgrada. Zadatak je bio razviti preporuke i smjernice za restauraciju, rehabilitaciju ili obnovu predmetnih zgrada. Edukativni karakter radionice predviđen je s ciljem suradnje sudionika u timovima koji su se sastojali od predstavnika različitih sektora i struka. Multidisciplinarnost timova pružila je mogućnost za višekriterijsku analizu uvjeta i širok obuhvat mogućih rješenja vodeći prema identifikaciji optimalnih mjera koje će poboljšati energetska svojstva zgrada i unutrašnje uvjete za udobnost korisnika prostora, a uz zaštitu vrijednosti baštine.

Referentna radna skupina uključivala je sljedeće sudionike:

- ♦ konzervator,
- ♦ arhitekt,
- ♦ energetski savjetnik,
- ♦ građevinar,



Fot. Tomasz Jeleński

Sl. 38. Posjet radne grupe uživo I. gramatičkoj školi u Olsztynu.

- ♦ izvođač,
- ♦ predstavnik investitora ili korisnika zgrade,
- ♦ predstavnik jedinice lokalne samouprave.

Tijekom provođenja procesa obnove prioritetni interesi različitih dionika su često oprečni i kolaborativna analiza specifičnih slučajeva iz različitih perspektiva može biti teško provediva ili gotovo neizvediva. Zbog toga je jedan od važnijih prioriteta unutar projekta bio osigurati uvjete za informiranu raspravu. Provedene radionice su relevantan pokazatelj da interdisciplinarna suradnja, pri provedbi analize u potrazi za optimalnim smjernicama, može generirati uspješna rješenja. Naizgled nepovoljni uvjeti mogu isporučiti skladan dogovor i predložiti rješenja za oprečne ciljeve, a s uspješnim rezultatom za prilagodbu klimatskim promjenama.

Razrađene studije i koncepti generirani tijekom i poslije radionica ovdje su sažeto predstavljeni. Koncepti su uručeni lokalnim partnerima koji će zatim procijeniti u kojoj mjeri će koristiti predložena rješenja.

Zgrade za koje su sudionici radionica razvili preporuke revitalizacije i modernizacije

Bielsko-Biała

Lokalni partner: Općinski odjel za stambeno upravljanje



Sl. 39. Vila u ulici Głowackiego broj 3, izgrađena 1930-ih, uvrštena u registar spomenika, Fotografija: Ewelina Pękała



Sl. 40. Obiteljska kuća u ulici Grażyńskiego broj 67, izgrađena 1914., upisana u registar spomenika. Fotografija: Agnieszka Czachowska



Sl. 41. Zgrada mješovite namjene na 78/80/82 Słowackiego ulica, izgrađena početkom 20. stoljeća, uvrštena u registar spomenika. Fotografija: Tomasz Jeleński

Koprivnica

Lokalni partner: Grad Koprivnica – Upravni odjel za prostorno uređenje



Sl. 42. Trgovačko-stambena zgrada, Trg bana J. Jelačića 1, izgrađena krajem 18. stoljeća (iza 1772.), nalazi se u Registru zaštićenih kulturnih dobara RH, Fotografija: Ana Šenhold



Sl. 43. Sinagoga, Svilarška ulica 10, izgrađena 1875., nalazi se u Registru zaštićenih kulturnih dobara RH, Fotografija: Ana Šenhold



Sl. 44. Kuća Malančec – zgrada mješovite namjene, ulica Đure Ester 12, izgrađena 1902., nalazi se u Registru zaštićenih kulturnih dobara RH, Fotografija: Ana Šenhold

Mysłowice

Lokalni partner: Općina Mysłowice, Odjel za arhitekturu, planiranje i strategiju



Sl. 45. Gradska vijećnica Mysłowice u ulici Powstańców 1, izgrađena 1866.–1868., upisana u Registar spomenika. Fotografija: Ewelina Pękała



Sl. 46. Sportska dvorana u ulici Piastów 20, izgrađena 1912., planirana za upis u Registar spomenika. Fotografija: Agnieszka Czachowska



Sl. 47. Stambena zgrada u ulici Grunwaldzka 22, izgrađena 1891.–1892., upisana u Registar spomenika Poljske. Fotografija: Krystian Kopka

Olsztyn

Lokalni partner: Gradski ured za zaštitu spomenika grada Olsztyna



Sl. 48. Bivša stražarnica u kompleksu Konjičke vojarnje u ulici Dąbrowskiego 4a, izgrađena 1885.–1886., upisana u Registru spomenika Poljske. Fotografija: Ewelina Pękała



Sl. 49. I. gimnazija u ulici Mickiewicza 6, izgrađena 1886.–1887., upisana u Registar spomenika Poljske. Fotografija: Tomasz Jeleński



Sl. 50. Vila C. Hermenau u ulici Niepodległości 85, sjedište Arke, Udruga za pomoć djeci i obitelji, izgrađena 1903., uvrštena u Registar spomenika Poljske. Fotografija: Celina Łozowska

Rijeka

Lokalni partner: Grad Rijeka – odjel za kulturu



Sl. 51. Zgrada javne namjene – Filodrammatice na Korzu 28, izgrađena 1891. godine, upisana u Registar kulturnih dobara Hrvatske. Fotografija: Ana Šenhold



Sl. 52. Upravna zgrada na Titovom trgu 3, građena od 1922. do 1974. godine, upisana u Registar kulturnih dobara Hrvatske kao kulturno-povijesna cjelina. Fotografija: Jana Kačar



Sl. 53. Hrvatski kulturni dom na Sušaku u Strossmayerovoj 1, izgrađen 1938. godine, upisan u Registar kulturnih dobara Hrvatske kao kulturno-povijesna cjelina. Fotografija: Dean Miculinić

Zagreb

Lokalni partner: Grad Zagreb – Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje



Sl. 54. Palača Gvozdanović u Visokoj 8, izgrađena na prijelazu iz 19. stoljeća, upisana u Registar kulturnih dobara Hrvatske. Fotografija: Aleksandar Jelovac



Sl. 55. Upravna zgrada na Trgu Stjepana Radića 1, građena od 1956. do 1958. godine, upisana u Registar kulturnih dobara Hrvatske. Fotografija: Aleksandar Jelovac



Sl. 56. Dječji vrtić Vjeverica na Ksaverskoj cesti 14, izgrađen 1975. godine, upisan u Registar kulturnih dobara Hrvatske kao kulturno-povijesna cjelina. Fotografija: Ana Šenhold

8.2. Višenamjenska zgrada zgrada mješovite uporabe koja datira s početka 20. stoljeća

ul. Słowackiego 78/80/82, Bielsko-Biała, Poljska

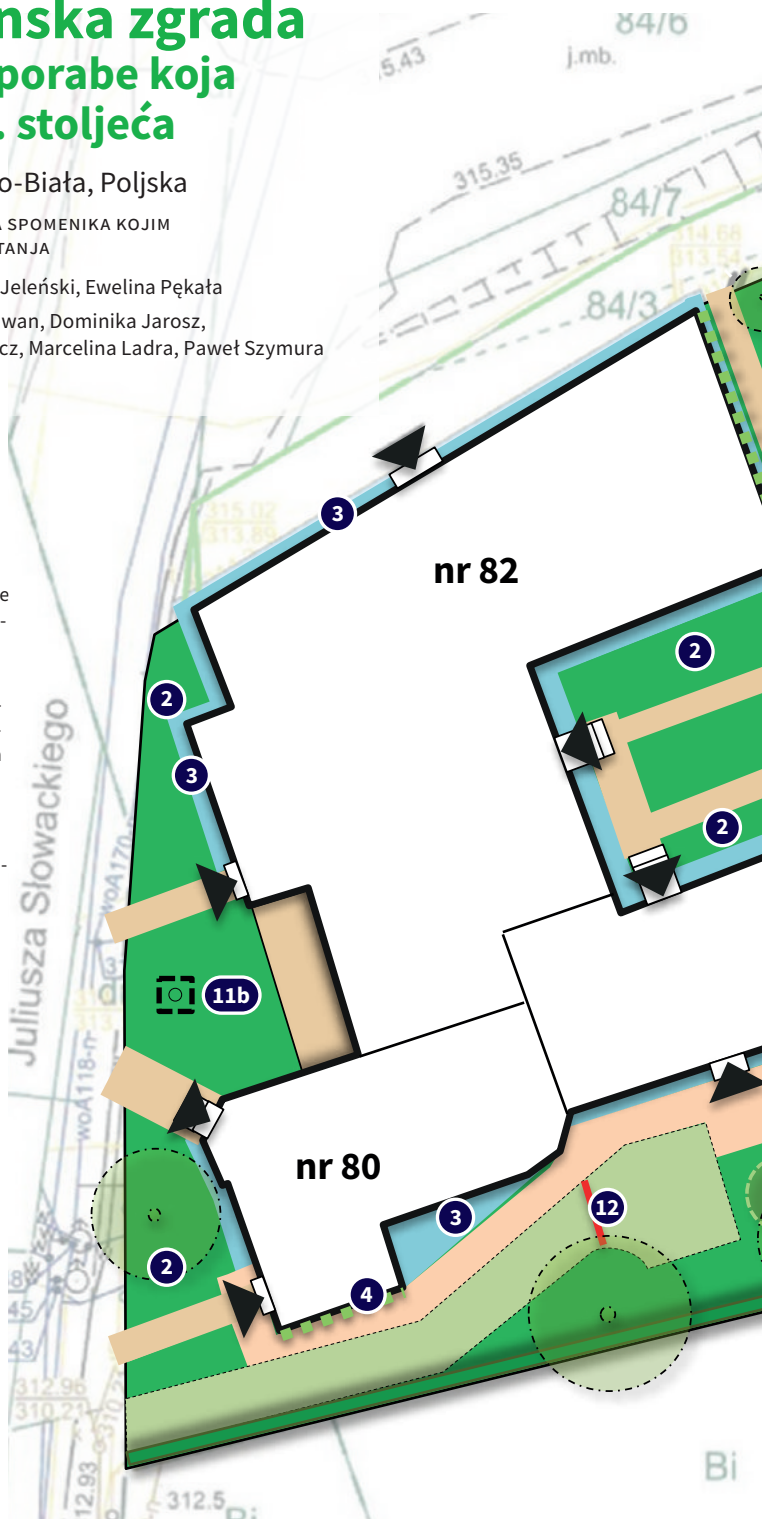
ZGRADA JE NA POPISU OPĆINSKOG REGISTRA SPOMENIKA KOJIM
UPRAVLJA OPĆINSKI ODJEL ZA STAMBENA PITANJA

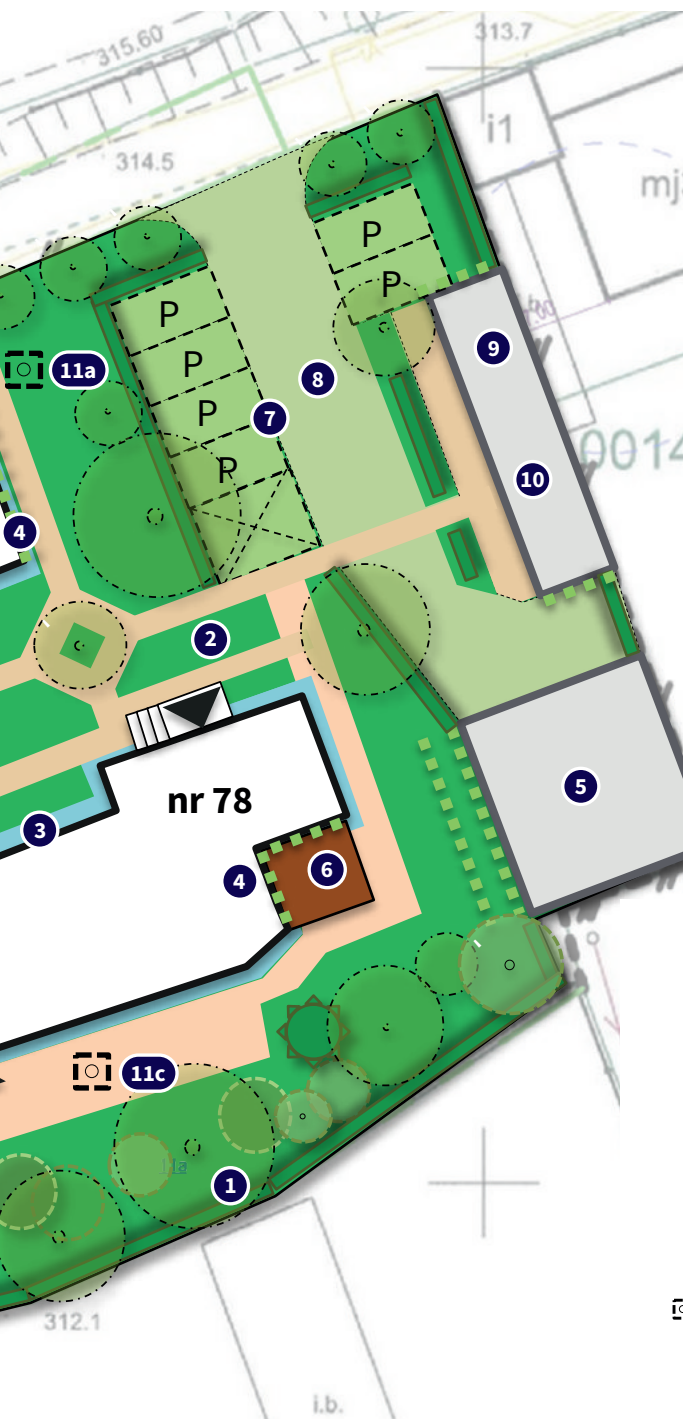
SAŽETAK PROJEKTOG KONCEPTA Tomasz Jeleński, Ewelina Pękała

RADNA SKUPINA Bogna Drałus, Wiktor Iwan, Dominika Jarosz,
Małgorzata Juchniewicz, Marcelina Ladra, Paweł Szymura

PROJEKT UREĐENJA PODRUČJA

- 1 Očuvati postojeća stabla (bijeli jasen, obična smreka, sremza).
- 2 Saditi polugrmove (npr. zimzelen) i cvatuće grmove (ruže, metličaste hortenzije, jorgovani, rododendroni, crvene hudike).
- 3 Zamijeniti nepropusno tlo i šljunak uz podnožje s vertikalnim vrtovima uz pročelja zgrada; minimalno 60 cm širine s trajnicama, polugrmovima, grmovima, travama i penjačicama.
- 4 Na zidove bez prozora predvidjeti penjačice koje ne zahtijevaju pomoćne rešetke (trolisna lozica (*Parthenocissus tricuspidata*) i bršljan (*Hedera helix* L.)).
- 5 Zadržati garažu za dva automobila bez promjene namjene, a na jugoistočnom zidu implementirati pergolu za penjačice (klematis, svilenkasta glicinija ili kineska glicinija).
- 6 Izgraditi terasu za društvene aktivnosti.
- 7 Parkirna mjesta odvojena sa živicom; ukloniti betonske i čelične ograde.





- 8** Tvrdi i nepropusne površine zamijeniti s tri tipa propusnih površina:

kamene ploče bez kosine na prolazima, minimalno 1,2 širine za osobe smanjene pokretljivosti

propusne mreže za opločenje na drugim pristupnim i parkirališnim površinama

kompozitne ploče

- 9** Kontejnere za odvajanje otpada postaviti u postojeće gospodarske zgrade.

- 10** Dijelove gospodarske zgrade organizirati kao prostorije za kolica i bicikle; uz zidove bez vrata (otvora) posaditi penjačice (bršljan i vinova loza).

- 11** Izvesti prikupljanje kišnice s krovova; implementirati 2–3 podzemna spremnika u kojima će se prikupljati voda za sanitarije i zalijevanje biljnog materijala; višak kišnice rasporediti na objekte udaljene od kuće.

- 12** Izgraditi linijsku odvodnju povezanu na sustav odvodnje putem separatora.

- Osigurati stambene jedinice u prizemlju sa zasebnim ulazima.
- Predvidjeti stambenu jedinicu u prizemlju za osobe s invaliditetom.
- Osigurati kuhinju, kupaoonicu i sobe za svaku stambenu jedinicu zasebno.

Legenda

- vertikalni vrt uz pročelja zgrada
- biljke penjačice
- pergola
- terasa
- **11a-c** podzemni spremnici za kišnicu
- linijska odvodnja

Sl. 57. Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Autor crteža je Tomasz Jeleński i temeljen je na izvještaju s radionice

Višenamjenska zgrada

ul. Słowackiego 78/80/82, Bielsko-Biała, Poljska

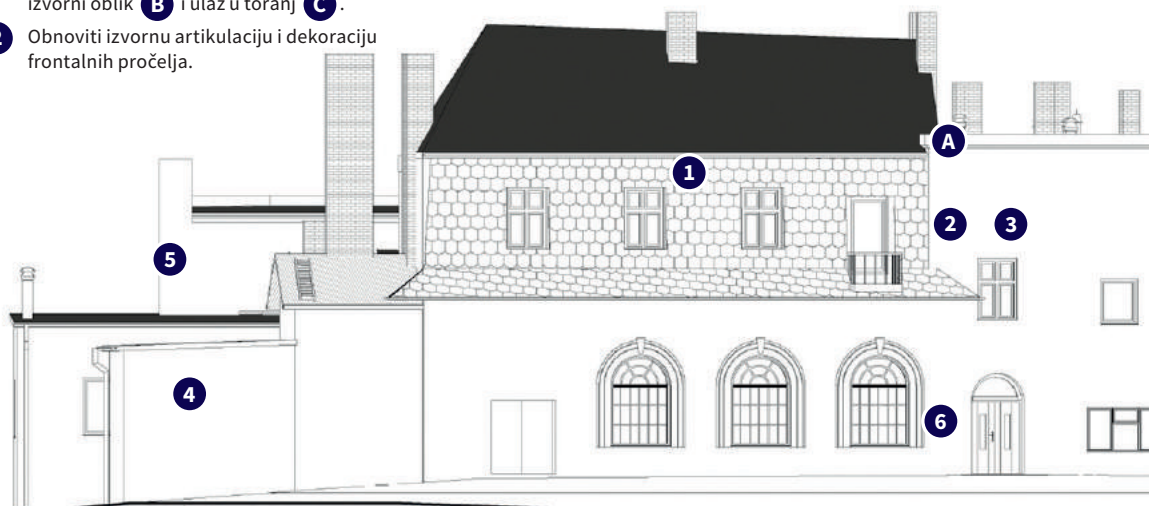
OBNOVA I OPREMANJE/PROMJENA ZGRADE

II. Elewacja Północno Zachodnia – stan obecny

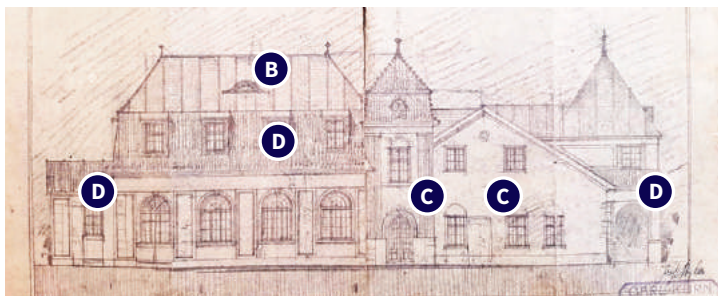
- 1 Obnoviti oblik zgrade Słowackiego 82 – ukloniti sekundarni krov **A**, rekonstruirati izvorni oblik **B** i ulaz u toranj **C**.
- 2 Obnoviti izvornu artikulaciju i dekoraciju frontalnih pročelja.

- 3 Koristiti toplinsko-izolacijsku žbuku na rekonstruiranim elementima te tamo gdje žbuka treba biti zamijenjena. Uzeti u obzir toplinsko-izolacijske boje.
- 4 Ukloniti dogradnju iz područja vrta; obnoviti osnovnu artikulaciju pročelja orijentiranih prema vrtu.

© Pracownia Projektowa ARCHIDOM Bernard Łopacz



Sl. 58. Trenutno stanje i predložene točke intervencije na sjeverozapadnom uzvišenju. Crtež dolazi iz projekta „Rekonstrukcija, renovacija i energetska modernizacija stambenih i uslužnih zgrada s pratećom infrastrukturom i rušenje ostalih zgrada” Pracownia Projektowa ARCHIDOM Bernarda Łopacza. Crtež napravila Magdalena Zawojka.



Sl. 59. Predložene točke intervencije na sjeverozapadnom uzvišenju koje se nalaze u pozadini originalnog arhitektonskog projekta Carla Korna. Crtež dolazi iz Arhiva konzervatora mjesne baštine iz mjesta Bielsko-Biała.

Podrumi

- Ukloniti nepropusne boje i oštećenu žbuku; intenzivno provjetravati oko dvije godine kako bi se prostor osušio prirodnim putem. Pratiti razinu vlage. Sljedeće se aktivnosti trebaju temeljiti na rezultatima praćenja razine vlage.

Krovovi i tavan

- Tijekom rekonstrukcije izvornih oblika krovišta obnoviti oštećenu konstrukciju ili zamijeniti s novom gdje je potrebno; toplinski izolirati krovove celulozom ili drvenom vunom.

- Ojačati krovnu konstrukciju zgrade na adresi Słowackiego 78 za dodatno opterećenje fotonaponskih panela.
- Zamijeniti pokrov na br. 78 i br. 80 u profilirani limeni pokrov u prirodnoj sivoj (cink) ili svijetlo sivoj boji.
- Obnoviti krov na adresi Słowackiego 82 običnim keramičkim pločicama u prirodnoj boji pečene opeke.
- Podove iznad stambenih jedinica izolirati celuloznom izolacijom.
- Zamjena krovne konstrukcije u gospodarskim zgradama s produženjem rogova za min. 1,2 m u sklopu konstrukcije pergole; zaštititi vanjske elemente paropropusnom (kapilarno aktivnom), vodoodbojnom impregnacijom.

- 5** Pročelja orijentirana prema vrtu izolirati drvenom vunom ili nekim drugim prirodnim materijalom, a u krajnjem slučaju mineralnom vunom.

- 6** Obnova ili restauracija povijesne stolarije uz prilagodbu važećim propisima. Prilikom obnove prozora **D** uzeti u obzir višeslojne prozore.



Stropovi

- U zgradi na adresi Słowackiego 78 zamijeniti stropove oštećene zbog propuštanja vlage i urušavanja krova; uzeti u obzir korištenje RECTOLIGHT tehnologije.
- Održavati preostale stropove i osigurati dodatne podne grede i zvučnu izolaciju.
- U potkrovlju ukloniti betonski estrih s oplata.
- Izolirati podrumске stropove.

Stubišta

- U zgradi na adresi Słowackiego 78 obnoviti drveno stubište.
- U zgradi na adresi Słowackiego 80 ukloniti OSB ploče, procijeniti stanje očuvanosti i eventualnu potrebu obnove konstruktivnih elemenata, obnoviti drvena gazišta uz zadržavanje izvornih profila; obnoviti metalne elemente i drvenu ogradu.
- U zgradi Słowackiego 82 obnoviti kamene terrazzo stepenice.

Ostala rješenja

- Predvidjeti krovne prozore na stražnjim stranama krovovišta, koji nisu vidljivi s ulice, za adaptaciju tavana za stanovanje.
- Ukloniti nepropusne boje i oštećenu žbuku; sanirati i dovršiti zidove, stropove i podove kapilarno aktivnom, paropropusnom žbukom, završnim premazima i bojama.
- Ukloniti plinske instalacije i uređaje; spojiti na toplinsku mrežu i osigurati odgovarajuće radijatore i instalacije PTV-a.
- Osigurati gravitacijske ventilacijske kanale za sve stambene jedinice. Može doći u obzir mehanička ventilacija s povratom topline, ali naglasak treba staviti na educiranje stanara o njezinoj pravilnoj uporabi.
- Razmotriti uvođenje mehaničke ventilacije s povratom topline u servisnim jedinicama.
- Mogu se uvesti fotonaponski paneli na krovove gospodarskih zgrada (za napajanje zajedničkih prostorija) i krovne kosine glavnih zgrada (osobito br. 78) koje nisu vidljive s ulice.
- Sveobuhvatno modernizirati elektroinstalacije.
- Ugraditi LED rasvjetu u svim objektima.
- Ugraditi vanjsku rasvjetu sa senzorom pokreta u zajedničkim prostorijama.
- Koristiti kišnicu iz podzemnih spremnika za ispiranje zahoda i održavanje vrta. Uzeti u obzir recikliranje sive vode za ispiranje WC školjke.
- Uključiti stanare u radove na obnovi i uređenje okoliša.
- Nakon obnove zgrada potrebno je osigurati obuku za stanare o pravilnom korištenju, ostvarivim uštedama i mogućim gubicima uzrokovanim nepravilnim korištenjem sadržaja.

8.3. Bivša stražarnica u kompleksu Konjičke vojarne, izgrađena u razdoblju od 1885. do 1886.

ul. Dąbrowskiego 4a, Olsztyn, Poljska

UVRŠTENA U REGISTAR SPOMENIKA POLJSKE

KOJOM UPRAVLJA ODJEL ZA GRADSKO STANOVANJE U OLSZTYNU

SAŽETAK IDEJNOG RJEŠENJA

Tomasz Jeleński, Ewelina Pękała

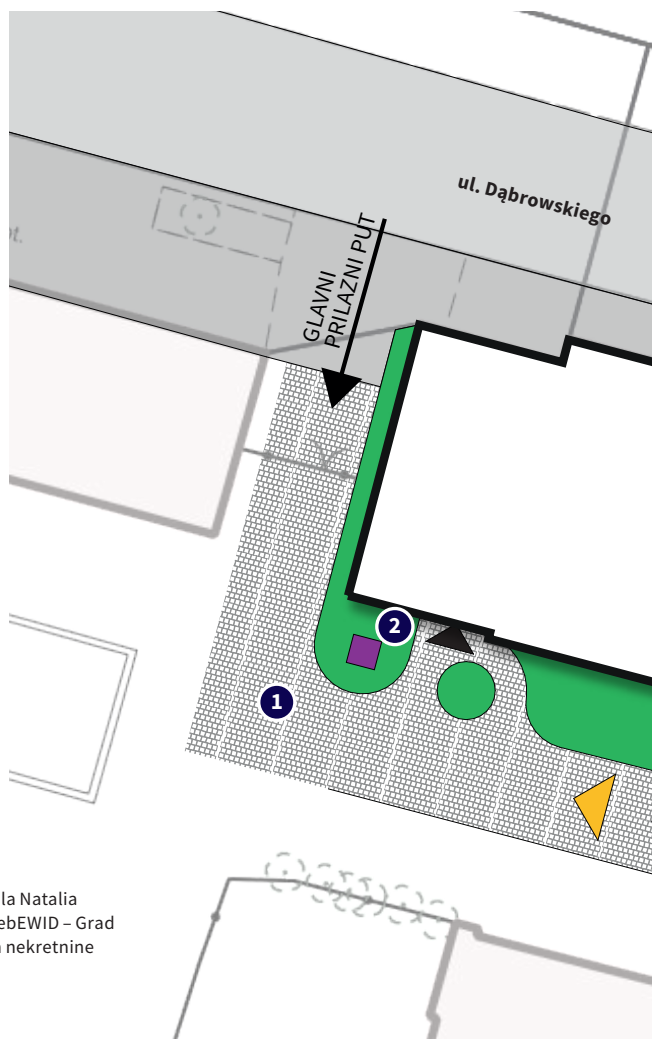
RADIONICA PROJEKTANTSKE GRUPE

Mirostawa Aziukiewicz, Anna Bobko, Jakub Gołębiwski,
Natalia Hasso-Agopsowicz, Bartosz Lewiński,
Emanuel Okoń, Piotr Wiszowaty

PLAN LOKACJE

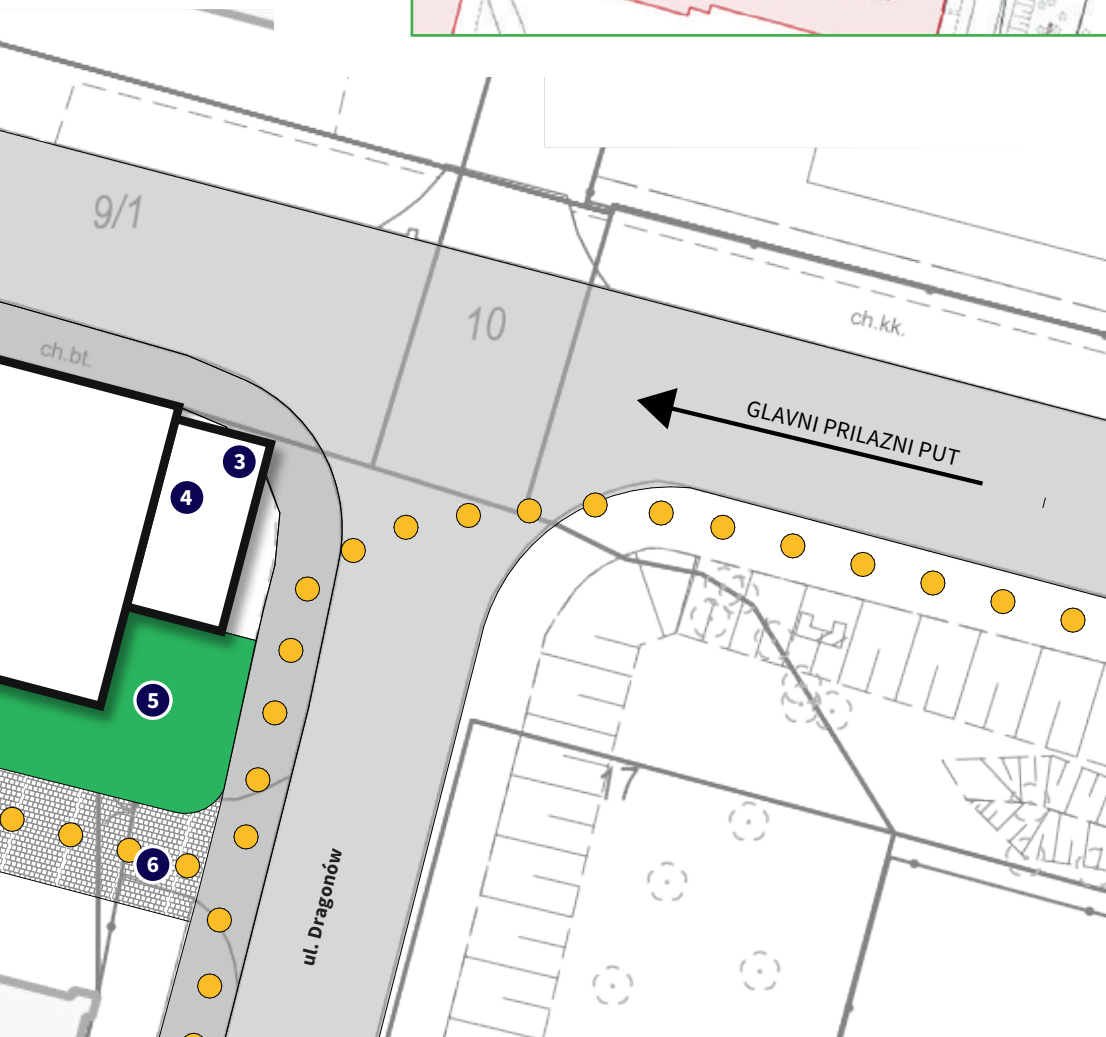
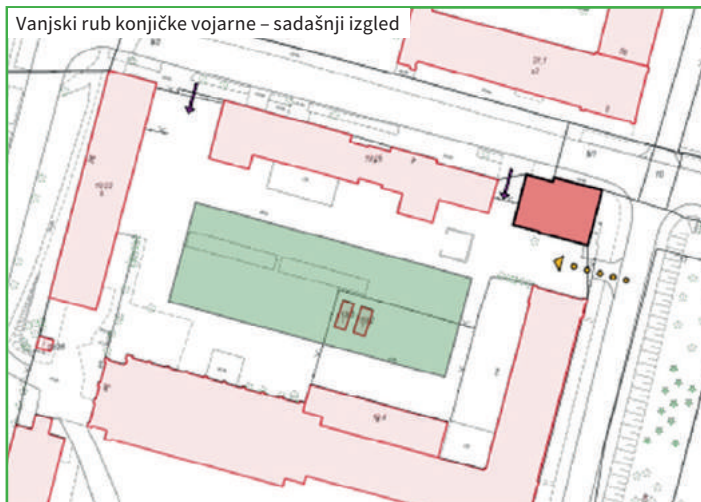
Preporuča se skupljanje kišnice s dijela krova u podzemni spremnik (s preljevom u upijajući bunar) koja služi za zalijevanje zelenila.

- 1 Pješački putevi popločani recikliranim prirodnim kamenom
- 2 Moguća lokacija toplinske pumpe – moderno kućište obavijeno bršljanom
- 3 Najizloženija strana zgrade
- 4 Rekonstrukcija trijema na temelju foto dokumentacije
- 5 Predložena trava i nisko bilje oko zgrade – evapotranspiracija viška vlage iz tla
- 6 Glavni pješački ulaz do povijesnog kompleksa vojarne i protupožarni prilaz



Sl. 60. Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Crtež napravila Natalia Hasso-Agopsowicz na temelju ishoda radionica. Izvor mape: WebEWID – Grad Olsztyn, Katalog javnih e-usluga Ureda za geodeziju i Uprave za nekretnine okruga Olsztyn

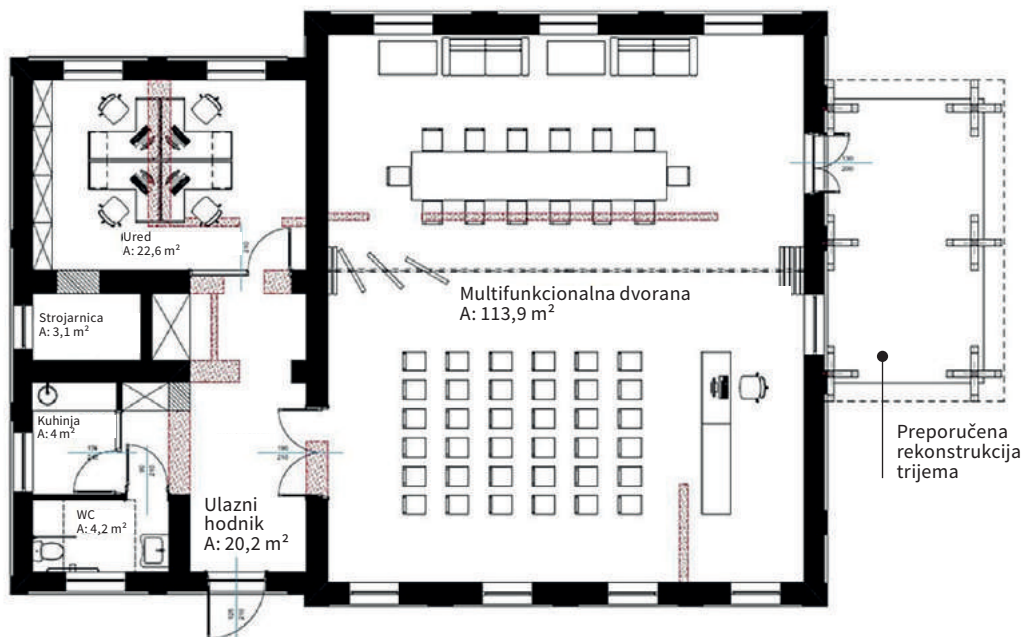
Vanjski rub konjičke vojarne – sadašnji izgled



Bivša stražarnica u kompleksu Konjičke vojarne

ul. Dąbrowskiego 4a, Olsztyn

RENOVACIJA I OBNOVA ZGRADE



Sl. 61. Koncept adaptacije zgrade - plan prizemlja. Autori: Jakub Gołębiewski i Natalia Hasso-Agopsowicz. Crtež napravio Jakub Gołębiewski

PODRUM

Potrebno je izvršiti arhitektonsko istraživanje kako bi se utvrdilo ima li zgrada podrum.

PROČELJA

Stanje izvorne supstance još uvijek omogućuje obnovu baštinskih vrijednosti građevine.

Potrebno je obnoviti izvorne elemente: kompoziciju i artikulaciju pročelja, uključujući ritam prozora i vrata na izvornom mjestu i obliku.

STOLARIJA PROZORA I VRATA

Preporuča se rekonstruirati stolariju korištenjem tradicijskih materijala, u suvremenoj tehnologiji, vraćajući izvorne pregrade i profile temeljene na ikonografiji.

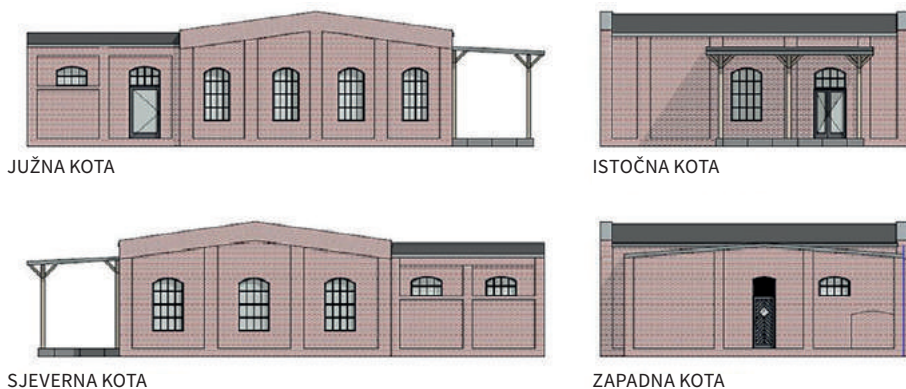
Preporuča se odstupanje zbog proširenja aktivnog krila ulaznih vrata kako bi se prilagodilo potrebama osoba s invaliditetom.

Boje treba temeljiti sukladno istraživanjima poduzetim na izvornoj stolariji kompleksa a Vojarne.

KROV

Preporuča se vratiti izvornu geometriju krova i rekonstruirati parapete, kao i:

- Na dvije zasjenjene kosine uvesti zeleni krov toplinski izoliran pjenušastim staklom.
- Na osunčanim kosinama postaviti PV panele iznad bitumenskog krovišta s toplinskom izolacijom od celulozne vune ventiliranom ispod krovišta.
- Zamijeniti oštećene rogove i rešetke. Predložena je drvena konstrukcija projektirana da nosi opterećenje zelenog krova i projektirane fotonaponske instalacije. U višenamjenskoj dvorani trebaju biti izložene rešetke (i donji dijelovi rogova).
- Potreban je novi sustav oluka s odvodom kišnice sa zelenog krova u upijajući bunar i sa osunčanih kosina u podzemni spremnik.



Sl. 62. Predložena rekonstrukcija fasade (s rampom za invalidska kolica na ulazu). Crtež napravio Jakub Gołębiowski

INTERIJER

Interijeri nemaju originalnih elemenata.

Potrebno je osigurati nove električne, multimedijalne i alarmne instalacije te nove vodovodne i kanalizacijske instalacije s priključkom na komunalni sustav vodovoda i odvodnje.

Preporuča se toplinski izolirati:

- perimetralne zidove iznutra (npr. izolacijskim pločama od kalcij-silikata ili toplinsko-izolacijskim žbukama),
- strop u uredu i prostorijama (s celulozom),
- podove (s pjenastim staklom).

Nanesite keramički pod na niskotemperaturni sustav grijanja vode (potrebni su široki dilatacijski spojevi između poda i zidova).

VENTILACIJSKI SUSTAV

Preporuča se mehanička ventilacija s povratom topline, s dvije jedinice za obradu zraka (NW1 i NW2) postavljene u potkrovlju iznad ureda i prostorijama i s krovnim odvodom zraka (kroz postojeći dimnjak) i dovodom zraka integriranim u nekorištena vrata u zapadnom pročelju.

- NW1 sustav ventilacije ureda i prostorija: dovod zraka preko prozora, odvod u toaletu i strojarnici;
- NW2 sustav ventilacije višenamjenske dvorane: dovod zraka iznad prozora, odvod u središtu dvorane.

SISTEM GRIJANJA

Preporuča se toplinska pumpa zrak-voda u kombinaciji sa sustavom podnog grijanja. Vanjska dizalica topline smještena je na južnom pročelju; kondenzat je odveden u infiltracijsku sadilicu. Unutarnja jedinica u strojarnici zajedno s međuspremnikom tople vode kapaciteta otprilike 200–300 l, spojenim na četiri petlje podnog grijanja.

Električni protočni grijači u kuhinji i WC-u.

RES (Renewable Energy Sources = Obnovljivi izvori energije)

Zahvaljujući dizalici topline, zgrada će sakupljati energiju okoline kako bi pokrila većinu svojih potreba za energijom za grijanje, što će značajno smanjiti potrošnju finalne energije (FE).

Proizvodnja energije u krovnom PV sustavu značajno će smanjiti potrošnju neobnovljive primarne energije (NRPE).

DRUŠTVENA PARTICIPACIJA

Preporuča se da administrator uspostavi dijalog s potencijalnim korisnicima (NGOs) kako bi se doradila optimalna projektna rješenja.



Sl. 63. Projekt arhitektonske obnove - pogled sa sjeveroistoka. Prikaz napravio Jakub Gołębiowski.



Sl. 64. Projekt arhitektonske obnove - pogled sa zapada. Prikaz napravio Jakub Gołębiowski.

8.4. Prva gimnazija izgrađena u razdoblju od 1886. do 1887.

ul. Mickiewicza 6, Olsztyn, Poljska

UPISANA U REGISTAR SPOMENIKA POLJSKE
KOJOM UPRAVLJA OPĆINA OLSZTYN

SAŽETAK IDEJNOG RJEŠENJA

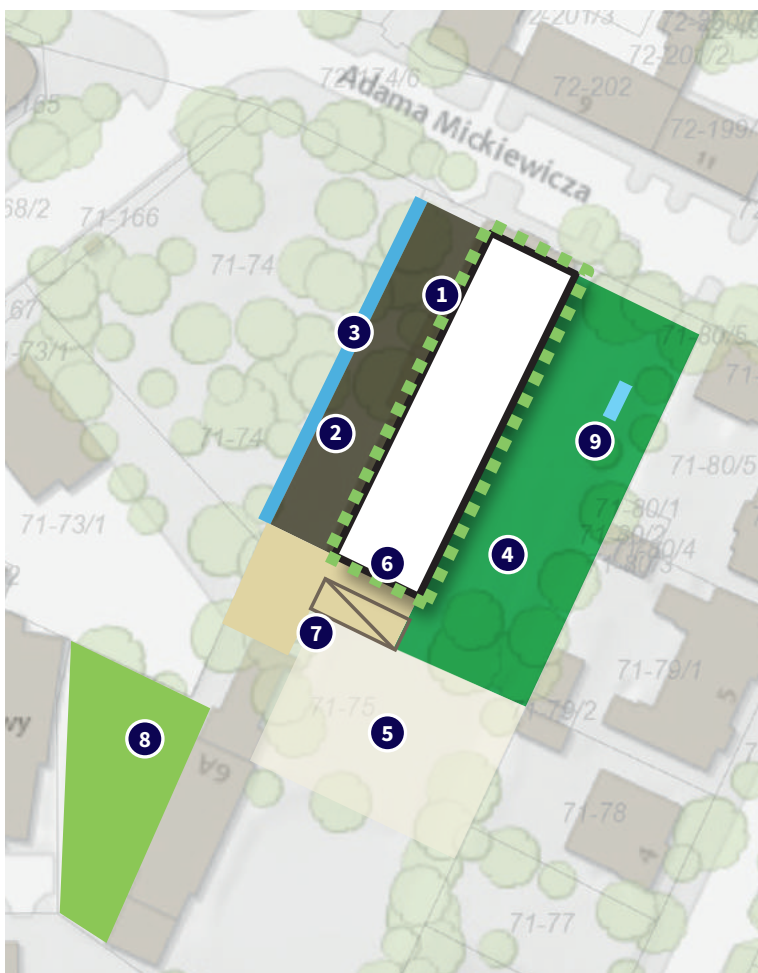
Tomasz Jeleński, Agnieszka Czachowska

RADIONICA PROJEKTANTSKE GRUPE

Sylvia Brzezińska, Marcin Gregorowicz, Paweł Haczkowski,
Agnieszka Kaczurba, Nina Kowiel-Zielińska, Piotr Poptawski,
Krzysztof Soszyński, Łukasz Szymański, Agata Zapart

PLAN LOKACIJE

- 1 Ukloniti beton i asfalt uz sloj postolja, razbrtviti površinu, kreirati fasadne vrtove, posaditi zelenilo koje upija vlagu.
- 2 Ukloniti asfaltnu podlogu, profilirati blagu kosinu za odvođenje vode od objekta prema projektiranoj bioswali; postaviti podzemni spremnik za kišnicu (skuplja vodu sa zapadne strane krova); nanijeti polupropusnu podkonstrukciju i površine; reciklirati kaldrmu za popločavanje parkirnog mjesta; na pješačkim stazama koristiti kamen za popločavanje bez skošenja.
- 3 Izgraditi bioswale (odvodnju oborinskih voda).



Prva gimnazija izgrađena u razdoblju od 1886. do 1887.

ul. Mickiewicza 6, Olsztyn, Poljska

RENOVACIJA I OBNOVA ZGRADE

PODRUM

- Ne kopati tlo uz zidove temelja. Nema potrebe za vanjskom izolacijom.
- Popraviti oštećene fuge na postolju; primijeniti fasadne vrtove, odnosno zeleni pojas koji sprječava prskanje vode i ispuštanje viška vode i vlage iz tla na zidove podruma.
- Unutrašnjost: ukloniti obloge, nepropusne boje i oštećenu žbuku kako bi se omogućilo isparavanje/sušenje zidova; ogoliti veću površinu zidova u sanitarnim prostorijama uklanjanjem nepotrebnih pločica.
- Na vlažnim mjestima – oštećenu žbuku zamijeniti vapneno-pješčanom ili sanacijskom žbukom; uvijek koristiti boje s visokom paropropusnošću.

PROČELJA

- Preporučuju se konzervatorski radovi na pročelju zgrade: analiza pukotina; čišćenje, desalinizacija, punjenje šupljina u opekama i spojevima; zamjena sekundarnih rešetki podrumskih prozora replikama sačuvanih originala.

VENTILACIJSKI SUSTAV

- Trenutna ventilacija dimnjaka je nedovoljna. Potrebno je popisati ventilacijske kanale i ispitati/poboljšati njihovu prohodnost i učinkovitost.
- Preporučeno rješenje, zbog potrebe povećanja izmjene zraka u obrazovnoj zgradi, te mogućih velikih ušteda finalne energije, je uvođenje mehaničkog ventilacijskog sustava s povratom topline, npr. kaskadnog sustava (dovod zraka u učionice – odvod iz hodnika i sanitarnih prostorija) korištenjem postojećih ventilacijskih kanala dimnjaka i neiskorištenih dimovodnih kanala.
- Neophodan uvjet za pravilno strujanje zraka je stalno otvaranje krmenih prozora između učionica i hodnika ili ugradnja aktivnih ventilatora strujanja.
- Rekuperator zraka bi se nalazio u potkrovlju, u dijelu koji nije preuređen u učionice.

STOLARIJA PROZORA I VRATA

Način obnove prozora ovisit će o vrsti ventilacije u zgradi.

- ako je ostavljena ventilacija dimnjaka – u prostorijama s povećanom vlagom, nepropusne prozore treba opremiti difuzorima
- ako se primjenjuje mehanička ventilacija – potrebno je brtvljenje svih prozora i vrata. U novouređenim prostorijama u potkrovlju – potrebno je izolirati prozore dodavanjem unutarnjih krila s dvostrukim/trostrukim staklom.

Vitraci – razmisliti o dodatnom unutarnjem ostakljenju kao toplinskom štitu.

KROV I POTKROVLJE

Preporuča se sanacija krovista, proširenje dimnjaka iznad krova, popravak opšivke, postavljanje snjegobrana i oluka za zaštitu od lišća.

Kod adaptacije dijelova potkrovlja u učionice – potrebna je izolacija njihovih krovnih dijelova, vanjskih zidova i unutarnjih zidova sa strane negrijanih tavanskih prostora (Vidjeti sliku XX).

U negrijanom dijelu potkrovlja:

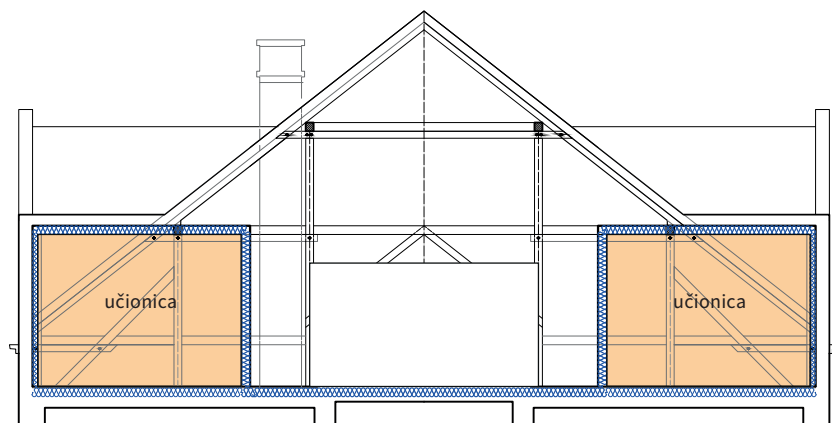
- izolirati cijeli pod i ovojnicu dvorane (Sl. 67)
- obnoviti pod od dasaka – maksimalno koristiti izvorni materijal

Koristiti celulozu za sve vrste toplinske izolacije zbog zanemarivog ugljičnog otiska, povoljnih parametara i niske cijene.

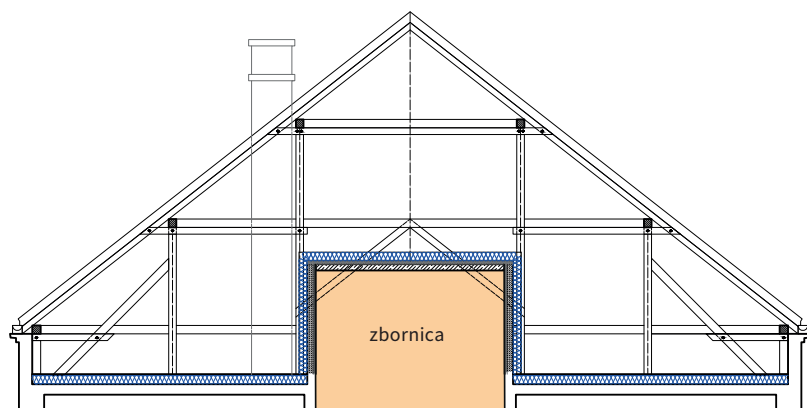
UNIVERZALNI DIZAJN

Prilagoditi zgradu potrebama osoba s invaliditetom:

- ugraditi dizalo u okno odvojeno od učionica uz stubište
- postaviti stubišni lift između južnog ulaza i prizemlja
- prilagoditi toalete



Sl. 66. Poprečni presjek tavana: toplinska izolacija prostora prilagođenih za sobe za učionice. Crtež napravila Agata Zapart



Sl. 67. Poprečni presjek tavana: toplinska izolacija poda i ovojnice kongresne dvorane.. Crtež napravila Agata Zapart.

SISTEM GRIJANJA

Planiranu modernizaciju toplinske podstanice moguće je nadopuniti dizalicom topline zrak-voda s vanjskom jedinicom u vrtu. Nakon ugradnje dizalice topline, daljinsko grijanje bi se koristilo samo pri vrlo niskim vanjskim temperaturama.

Također se preporučuje:

- ugradnja niskotemperaturnih radijatora, daljinski upravljanih; primijeniti algoritam za snižavanje temperature u prostorijama koje se trenutno ne koriste, također noću i praznicima
- zasebno mjerenje i upravljanje sustavom grijanja u sportskim dvoranama
- opskrba centralnim grijanjem adaptiranih tavanjskih prostorija

UPRAVLJANJE VODOM

Opremiti sve slavine perlatorima. Prilikom zamjene slavina, ugraditi beskontaktno infracrvene slavine. Kod modernizacije vodoopskrbe – odvojiti instalaciju za ispiranje WC-a i opskrbiti je kišnicom iz podzemnog spremnika koji se nalazi na zapadnoj strani objekta.

ELEKTRIČNE INSTALACIJE

Neophodna je inventura rasvjetnih tijela i zamjena fluorescentnih svjetiljki LED diodama. Razmisliti o ugradnji automatske kontrole svjetla.

8.5. Višestambena zgrada izgrađena u razdoblju od 1891. do 1892.

ul. Grunwaldzka 22, Mystowice, Poljska

UVRŠTENA U REGISTAR SPOMENIKA POLJSKE
KOJOM UPRAVLJA OPĆINSKI ODJEL ZA STAMBENA PITANJA

SAŽETAK IDEJNOG RJEŠENJA

Tomasz Jeleński, Ewelina Pękała

RADIONICA PROJEKTANTSKE GRUPE

Katarzyna Buda, Krystian Kopka, Ewa Krzysztoń,
Dobrawa Skonieczna-Gawlik, Natalia Szablowska

PLAN LOKACIJE

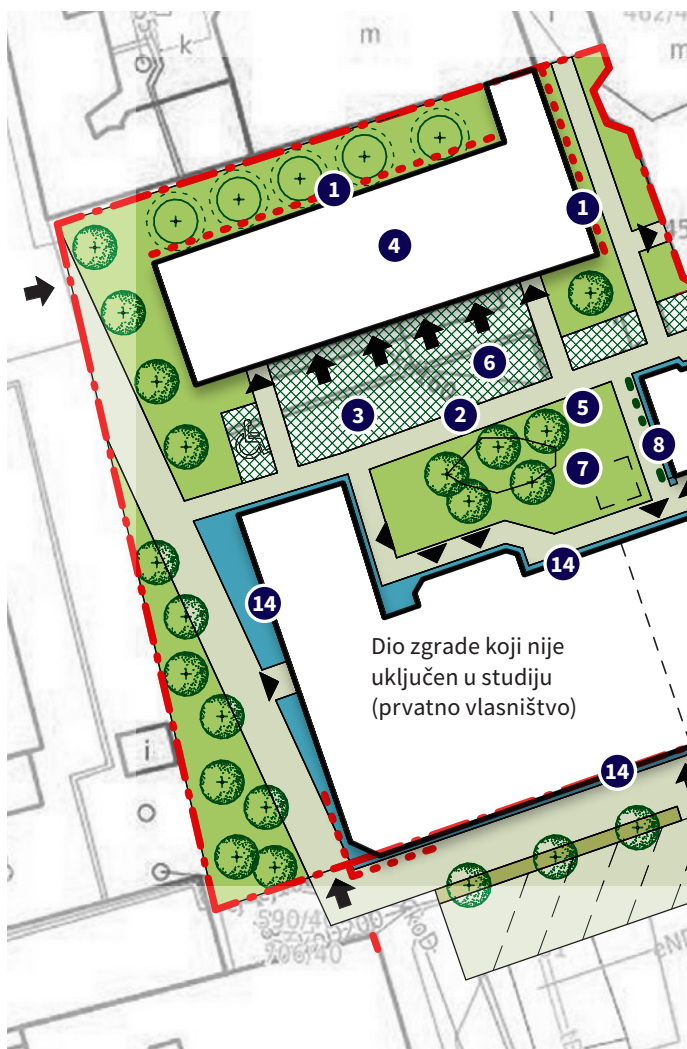
- 1 Neposredna blizina do susjednih zgrada**
→ Potrebna je procjena protupožarne zaštite
- 2 Održavanje i popločavanje postojećih pješačkih staza**
→ Poboljšanje kvalitete poluprivatnog prostora
→ Maksimiziranje potencijala lokacije
→ Očekivanja stanara
- 3 Ograničavanje ulaska automobila u dvorište, održavanje parkirnih mjesta za osobe s invaliditetom**
→ Poboljšanje kvalitete poluprivatnog prostora
→ Maksimiziranje potencijala lokacije
- 4 Očuvanje “spremišta za kočiju” uvođenjem servisne funkcije**
→ Maksimiziranje potencijala mjesta bez povećanja ugljičnog otiska

Razvoj lokacije – trenutno stanje:

- Izgrađena površina 52%
- Popločana površina 6%
- Polupropusna površina 42%
- Zelena površina 0%

Razvoj lokacije – projekt:

- Izgrađena površina 52%
- Popločana površina 14%
- Polupropusna površina 8%
- Zelena površina 26%





5 Povećanje rekreacijskih i zelenih površina, uvođenje kišnih vrtova

- Bioretencija, redukcija otjecanja oborinskih voda
- Evapotranspiracija – zaštita od toplinskog otoka i vlage u zgradama
- Pобољшanje kvalitete zraka
- Društvene funkcije

6 Polupropusno popločavanje

- Smanjenje otjecanja oborinskih voda

7 Popravlak odvodnih cijevi; sakupljanje kišnice sa krova u podzemni spremnik sa prelivom u kišni vrt

- Smanjenje otjecanja oborinskih voda
- Zalijevanje biljaka

8 Ozelenjivanje slijepog zida biljkama penjačicama, zadržavajući izvornu arhitektonsku tektoniku

- Zaštita građevine od vlage
- Pобољшanje kvalitete zraka

9 Obnova restorana u kutu prizemlja

- Maksimiziranje potencijala mjesta

10 Izgradnja rampi

- Pristupačnost za osobe s invaliditetom

11 Spajanje odvodnih cijevi na sustav otpadnih voda

- Zaštita od vlage

12 Obnova kafića na pločniku

- Maksimiziranje potencijala lokacije
- Društvena funkcija
- Uređenje mjesta

13 Obnova uličnog drveća (Glog, Robinia Umbraculifera)

- Zaštita od učinka toplinskog otoka
- Usluge ekosustava

14 Uvođenje fasadnih vrtova oko zgrade (gdje je moguće)

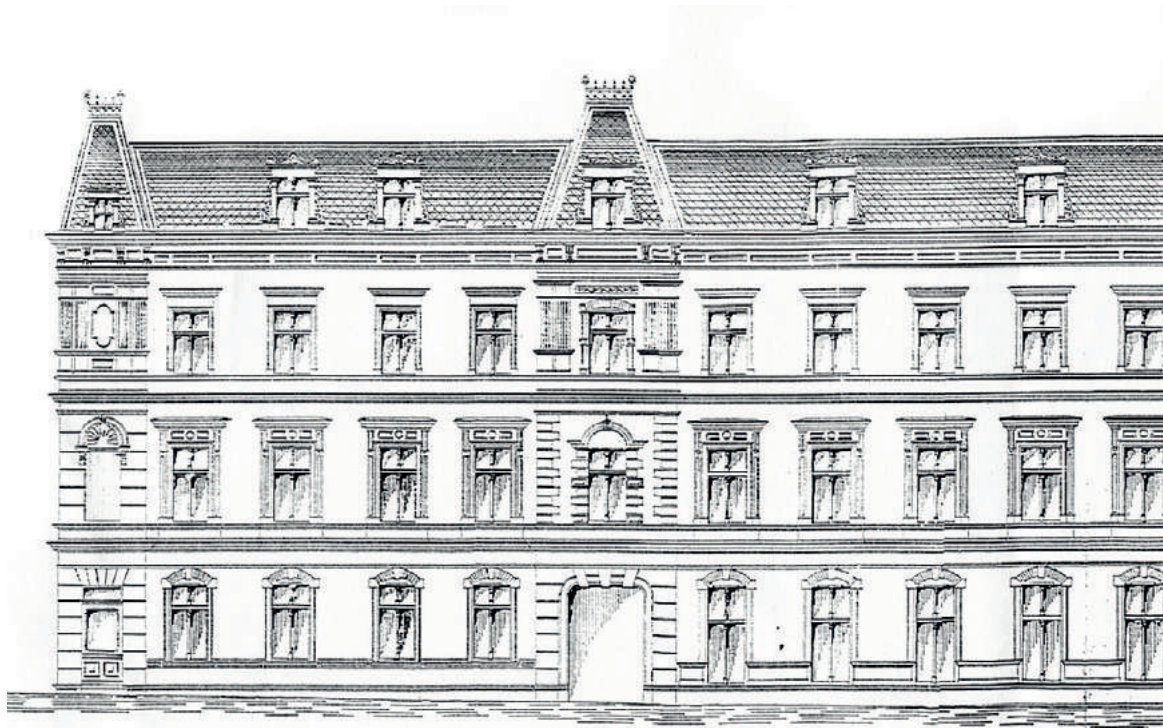
- Evapotranspiracija – uklanjanje vlage
- Estetika
- Uređenje mjesta

Sl. 68. Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Napravila Natalia Szablowska na temelju ishoda radionica. Izvor mape: Općinski odjel za stambena pitanja.

Višestambena zgrada izgrađena

ul. Grunwaldzka 22, Mystowice, Poljska

RENOVACIJA I OBNOVA ZGRADE



Sl. 69. Južna i istočna pročelja (prošireno). Crtež napravio arhitekt E. Knaut. Dokumenti građevinske inspekcije iz mjesta Mystowice (1891–1902), Arhiv grada Mystowice

PODRUM

Predlaže se koristiti suteran kao wine bar ili restoran pivovaru.

Zbog mikroklimе i izvornog karaktera podruma, moguće je djelomično obnoviti skladišnu funkciju (npr. vinski podrum). U tu svrhu potrebno je odblokirati i osigurati postojeće kanale.

PROČELJA

Vratiti povijesni izgled pročelja: čišćenje i dopuna površina od opeka, restauracija štukature, dopuna detalja, uklanjanje sekundarnih prebojavanja, te vraćanje izvornih boja građevine prema elaboratu temeljenom na izvornom projektu, stratigrafiji i programu obnove.

STOLARIJA PROZORA I VRATA

Vratiti povijesni izgled prozora i vanjskih vrata.

Razmotriti ugradnju Quantum Glassa (fotonaponska stakla visoke transparentnosti i toplinskih svojstava).

KROV

Nakon detaljne analize nosivosti krovne konstrukcije treba razmisliti o pojačanju ili zamjeni krovnog nosača, te o zamjeni krovišta dvorišnih kosina, uzimajući u obzir potrebu toplinske izolacije krova i mogućnost postavljanja fotonaponskih panela na njegovim nevidljivim kosinama.

POTKROVLJE

U stambenom potkrovlju potrebne su adaptacija i toplinska izolacija.



VENTILACIJSKI SUSTAV

Potrebno je analizirati učinkovitost različitih vrsta ventilacije. Zbog vlage u objektu preporuča se zamijeniti ventilaciju dimnjaka mehaničkom ventilacijom s povratom topline. Pri projektiranju trasa novih ventilacijskih kanala mogu se koristiti postojeći dimnjaci i uspon pomoćnih prostorija na podestima stubišta.

SISTEM GRIJANJA

Svi stanovi moraju biti priključeni na centralno grijanje sa zasebnim mjerenjem za svaki od njih.

RES (Renewable Energy Sources = Obnovljivi izvori energije)

Razmotriti mogućnost uvođenja fotonaponskih panela (na nevidljivim krovnim kosinama) ili ostakljenja u Q Glass tehnologiji.

ENERGETSKA UČINKOVITOST

Nakon priključenja svih stanova na toplinsku mrežu, obnove ili modernizacije prozora i vrata, izolacije krova, postavljanja fotonaponskih panela i promjene ventilacije dimnjaka u ventilaciju izmjenjivača topline, procijenjene uštede energije bit će najmanje 30%.

8.6. Dječji vrtić Vjeverica

ul. Ksaverska cesta 14, Zagreb, Hrvatska

UVRŠTEN U GRADSKI REGISTAR KULTURNIH DOBARA
KOJIM UPRAVLJA GRAD ZAGREB

SAŽETAK SMJERNICA ZA OBNOVU

RADIONICA PROJEKTANTSKE GRUPE

Tomasz Jeleński, Hrvoje Bartulović, Agnieszka Czachowska,
Hrvoje Bartulović, Kristina Spigl Uhlr, Marko Premec,
Mirna Sabljak, Jasmina Smokvina

PLAN LOKACIJE

- Građevina se proteže u smjeru od sjevera prema jugu ispod brda Medvednice koja pruža zaštitu od jakih vjetrova. Segmentirana je tako da prati nagib terena.
- Parkirna mjesta smještena na jugozapadu zgrade, u blizini glavnog ulaza, dobro su uklopljena u okolno zelenilo.
- Prilaz se nalazi na sjevernoj strani građevinske parcele s lako dostupnim servisnim i evakuacijskim pristupom.
- Osigurana je pristupačnost za osobe s invaliditetom.
- Drveće i krajolik integrirani su u arhitekturu; zelene površine su izravno dostupne iz objekata zgrade. Dječje igralište se nalazi u hladu okolnog drveća.
- Zbog višegodišnjeg stalnog korištenja vanjskih sadržaja, popločenje je djelomično oštećeno i potrebno ga je zamijeniti.
- Što se tiče dolje predloženih rješenja za rekonstrukciju, ugradnja dizalice topline ne bi narušila vizualne kvalitete lokacije, a travnjak bi se vratio u početno stanje.
- Primjena solarnih panela uvažavala bi postojeće zelenilo i ne bi uzrokovala značajne promjene u krajoliku.



Sl. 70. Pogled iz zraka na gradilište vrtića. Izvor mape: ZG-geo-portal, Informacijski sustav prostornog uređenja grada Zagreba. Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i strategijsko planiranje.

OBNOVA I REKONSTRUKCIJA ZGRADE

- Zgrada se nalazi u prosječnom stanju, bez vlage, plijesni i drugih oštećenja.
- Obnovi je potrebno pristupiti uz maksimalno poštivanje izvornog rješenja pojedinih elemenata i cjeline, a sve u dogovoru s konzervatorom i vlasnikom autorskih prava arhitektonskog djela.
- Glavni nedostaci su gubici energije kroz ventilaciju, nedovoljna izolacija i stanje postojeće drvene stolarije.

VANJSKI ZIDOVİ

- Potrebno je provjeriti stanje armiranog betona na mjestima gdje je bio ožbuk. Nakon sanacije eventualnih oštećenja treba provjeriti moguću debljinu termo žbuke s obzirom na površine spojeva zidova.

- Kod nanošenja termo žbuke potrebno je održati ili obnoviti teksturu uzorka okomitih utora.
- Ukoliko nije moguće nanositi toplinsku žbuku, potrebno je razmisliti o mogućnosti primjene novih tehnologija kao što je nano-termoizolacijski premaz koji mora biti certificiran te imati izjavu o svojstvima i drugu relevantnu dokumentaciju sukladno zakonu.

OTPORNOST NA POTRES

- Zgrada nema većih vidljivih oštećenja od nedavnih potresa. Potrebno je pregledati čelične stupove i njihov rad u spoju s armirano-betonskim pločama, krovnu konstrukciju i konstruktivne dilatacijske spojnice ukoliko postoje. Čelični stupovi imaju visoku arhitektonsku vrijednost i potrebno ih je tretirati s posebnom pažnjom. Sve sanacijske mjere ovise o rezultatima ispitivanja.



Fot. Boris Magaš

Sl. 71. Dječji vrtić "Vjeverica" u parku Mihaljevac u Zagrebu, projektirao arhitekt Boris Magaš 1973. – 1975.

Dječji vrtić Vjeverica

ul. Ksaverska cesta 14, Zagreb, Hrvatska

STOLARIJA PROZORA I VRATA

- Stolariju treba detaljno pregledati. Krila i okove treba popraviti, ako je moguće, ili modernizirati, izbjegavajući nepotrebnu demontažu postojećih okvira ugrađenih u armiranobetonsku konstrukciju, te dopuniti automatiziranom kontrolom. Lamelirano drvo treba smatrati prvim izborom materijala prilikom zamjene oštećenih krila.
- Potrebno je obnoviti postojeće zasjenjenje prozora i ispitati mogućnost ugradnje automatskog upravljanja povezanog sa Centralnim sustavom kontrole i upravljanja (CCMS).

KROV

- Krov je potrebno toplinski izolirati, s gornje ili donje strane armiranobetonske ploče. Odluka će ovisiti o promišljanju arhitektonskih i stolarskih detalja. Poželjni su ekološki prihvatljivi materijali, ali potrebno je uzeti u obzir i čimbenike kao što su: izračun energetske učinkovitosti, otpornost na vatru, položaj požarnih sektora u zgradi i požarne klase izolacija. Preporuča se korištenje vakumskih izolacijskih ploča minimalne debljine potrebne za postizanje željenih energetskih svojstava, kako bi se sačuvali arhitektonski detalji i minimalno utjecalo na izgled zgrade.
- Nedostatak okapnica na izloženim dijelovima betonskih elemenata predstavlja veliki problem te je potrebno postaviti nove kojima će se spriječiti propadanje koje dovodi do pojave gljivica i plijesni.
- Zeleni krov nije moguće izvesti na cijelom objektu. Niz krovnih kosina u obliku trokuta ključni je element arhitektonskog dizajna koji s izvornim materijalom stoji u kontrastu s okolnim krajolikom.
- No, postoji nekoliko manjih dijelova zgrade s ravnim krovovima koji bi se eventualno mogli ozeleniti.

UPRAVLJANJE OBORINSKIM VODAMA

- Postojeći sustav odvodnje oborinske vode s kosina krovišta odvodi u okolni teren. Potrebno je provjeriti propusnost tog sustava i ispitati njegovu sposobnost odvodnje. Ako je nedovoljan, potrebno je korigirati njegove dimenzije, ali u duhu izvornog idejnog rješenja.
- Potrebno je ispitati prohodnost drenažnih cijevi te hidro i toplinsku izolaciju temeljnih zidova. Ako su neadekvatni, treba ih zamijeniti novima.
- Odvodnja se može nadograditi za prikupljanje kišnice u spremniku. S obzirom na velike krovne površine, prikupljena voda bi se mogla koristiti za sanitarne potrebe objekta i/ili zalijevanje vrta.

ZAŠTITA OD POŽARA

- Nije uočena podjela građevine na protupožarne sektore, stoga se predlaže minimalno razdvajanje sektora objekata koji uključuje kotlovnice, kuhinju i ostale servisne i tehničke prostorije.
- Treba razmotriti mogućnost podjele prostora vrtića na zasebne sektore.
- Neophodno je potrebno ispitati stanje čeličnih stupova i tretirati ih premazima koji osiguravaju traženi REI 90.
- Preporuča se implementacija sustava za dojavu požara kao već uspostavljenog standarda za javne zgrade. Također treba razmisliti o izvedbi vanjske i unutarnje hidrantske mreže.
- Obilaskom zgrade se dobio jasan uvid u vatrogasni pristup i operativne zone na zapadnoj strani objekta, koja je uglavnom bez otvora, ali ne i jasan uvid u pristup s istočne strane. Potrebno je provjeriti prohodnost i ukloniti eventualne prepreke.

CENTRALNI SUSTAV KONTROLE I UPRAVLJANJA

- Predlaže se središnji nadzorni sustav za grijanje, hlađenje i ventilaciju povezan sa senzorima sobne temperature i kvalitete zraka. Sustav bi podigao udobnost i omogućio optimalno korištenje energije za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju (HVAC).
- Cjelokupni sustav rasvjete već je opremljen LED svjetiljkama, ali ga je moguće dodatno optimizirati i integracijom sa Centralnim sustavom kontrole i upravljanja (CCMS).

VENTILACIJA

- Preporuča se korištenje postojećih otvora: prozora, krovnih prozora, krovnih kupola itd. za prirodnu ventilaciju i hlađenje tijekom ljetnih noći te predvidjeti sustav daljinskog upravljanja sa senzorima koji se spajaju na CCMS.
- Ugradnja termostatskih senzora i senzora kvalitete zraka omogućila bi automatiziranu kontrolu prirodne ventilacije kroz prozore (npr. VELUX ACTIVE s NETATMO sustavom ventilacije temeljenom na pametnom senzoru).
- Tijekom razdoblja grijanja centralna jedinica koja omogućuje povrat topline treba osigurati ventilaciju. Postoje prostorije s HVAC sustavom, gdje se ista može postaviti. Potrebno je mehaničku ventilaciju uskladiti s ostalim zahtjevima, npr. sigurnosti od požara, pravilnim dimenzioniranjem distribucijskih kanala, prigušivanjem buke, itd.

SUSTAV GRIJANJA I HLAĐENJA

- Nakon povećanja toplinske izolacije krovova, zidova i podova, potrebno je pronaći optimalno rješenje HVAC sustava kako bi se osigurala energetska samodostatnost, te kako bi se zgrada grijala bez potrebe za vanjskim izvorom primarne energije.

- Umjesto postojećeg sustava grijanja s radijatorima, predlaže se izvedba grijanja i hlađenja putem ventilokonvektora. Podjela zgrade na zone omogućila bi automatsku regulaciju temperature pomoću CCMS-a, čime bi se osigurala dodatne uštede programiranjem temperature u svim zonama zasebno (npr. 14°C kada se ne koriste, 22°C kada su djeca u prostorijama).
- Potrebno je ispitati je li moguća ugradnja Geotermalne toplinske pumpe (GHP) s horizontalnom kolektorskom petljom ili vertikalnim bušotinama i koja je učinkovitija. Neki vertikalni GHP mogu raditi u pasivnom načinu hlađenja koristeći temperaturu podzemne vode. Oni ne pokreću kompresor tijekom razdoblja niskog toplinskog opterećenja kako bi se osigurala dodatne uštede energije.
- U 2017. godini moderniziran je sustav PTV-a u kuhinji, uvođenjem solarnih kolektora. Predlaže se njegovo povezivanje s CCMS-om.
- Dizalice topline potrebno je dimenzionirati tako da u kombinaciji s postojećim solarnim kolektorima daju optimalnu količinu tople vode.

RES (Renewable Energy Sources = Obnovljivi izvori energije)

- Zahvaljujući dizalici topline, zgrada bi prikupljala energiju okoline kako bi pokrila većinu svojih potreba za energijom za grijanje, što će značajno smanjiti konačnu potrošnju energije (FE).
- Također je potrebno ispitati mogućnost korištenja PV panela za napajanje dizalice topline. PV ćelije mogu se ugraditi na krovne dijelove koji bi bili prikladni za ugradnju integriranu u krovnu konstrukciju, u dogovoru s vlasnikom autorskih prava arhitektonskog projekta i Zavodom za zaštitu spomenika.

Popis ilustracija

1. Globalne emisije CO₂ po sektorima.
2. Faze cjeloživotnog ciklusa zgrade.
3. Ugljični otisak odabranih izolacijskih materijala. Ilustracija je preuzeta iz: Architecture2030, *Why the building sector?* https://architecture2030.org/buildings_problem_why/ (kolovoz 2021). Izvor podataka: *Builders for Climate Action - 2019 White Paper Low-Rise Buildings as a Climate Change Solution*.
4. Palača August Abegg u Elblągu – ured šumarije Elblągpho. Fotografija: Jan Piotrowski.
5. Dvorac u Zaboku, Hrvatska. Fotografija u gornjem lijevom i desnom kutu: IMage Produkcije. Fotografija: Tomasz Jeleński ispod.
6. Palača Tiele-Winckler u mjestu Bytom – Miechowice. Fotografija lijevo: Ewa Waryś te fotografija desno: © Jan – stock.adobe.com.
7. Izvori vlage u podkonstrukciji zgrade i sloju sokla.
8. Temelji crkve – greške u izolaciji. Fotografija: Bogumiła J. Rouba.
9. Neispravna nivelacija terena – primjer. Fotografija: Bogumiła J. Rouba.
10. Razorni učinak prskanja vode koja se odbija od tvrde betonske površine – primjer. Fotografija: Bogumiła J. Rouba.
11. Zelene fasade na povijesnim građevinama. Fotografija lijevo: © LOGORTM – stock.adobe.com, fotografija desno: © Frans – stock.adobe.com.
12. Vitičev neboder u Zagrebu (1957.–1960.). Fotografija: Ana Šenhold, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
13. Rekonstrukcija povijesne fasade polistirenskim profilima. Fotografija: Jacek Przetakiewicz, www.styro.pl.
14. Toplinska izolacija drvene zgrade s tehnologijama karakterističnim za difuzijsko otvorenu okvirnu konstrukciju. Ilustracija je preuzeta iz: www.ubakus.de.
15. Presjek ravnine poslovne zgrade iz 19. stoljeća, projekt prilagodbe u Olsztynu, s vidljivom izolacijom s unutarnje strane. Projekt: Dżus GK Architekci.
16. Adaptacija bivšeg vojnog skladišta u Olsztynu. Fotografija lijevo: Dżus GK Architekci, fotografija desno: Jakub Obarek.
17. Nacionalni muzej u Wrocławu. Fotografija gore: © promesaartstudiostock.adobe.com, fotografija ispod: © makasana photo – stock.adobe.com.
18. Obnovljeni prozor palace Saski u mjestu Kutno. Fotografija: Anna Zaręba.
19. Različite vrste rješenja za sjenčanje. Ilustracija preuzeta iz: Troi Alexandra, Bastian Zeno (ed.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015, 150. Autor crteža: © Passive House Institute.
20. Promjena 2D temperaturnog polja u spoju grede i bloka poda (tip Klein) i vanjskog zida kao rezultat jednostrane izolacije zida.
21. Utjecaj unutarnje zidne izolacije na minimalnu temperaturu na unutarnjoj površini čvora.
22. Utjecaj unutarnje zidne izolacije na promjenu minimalne temperature na unutarnjoj površini kuta.
23. Izolacija toplinskog mosta u spoju monolitnog stropa i vanjskog zida.
24. Promjena temperaturnog polja zbog aktiviranja sustava protiv kondenzacije.
25. Učinak zagrijavanja izoliranog kuta antikondenzacijskim sustavom (3D analiza).
26. Topli ravni krov s gljivama za ventilaciju – vertikalni presjek.
27. Topli ravni krov s ventilacijskim kanalima – okomiti presjek.
28. Primjer primjene difuzijski otvorenih izolacijskih materijala. Ilustracija je preuzeta iz: www.ubakus.de.
29. Primjer ugradnje prethodno izoliranih krovova. Ilustracija je preuzeta iz: www.ubakus.de.
30. Palača u Rzuchówu. Fotografija: Ewa Mackiewicz.

31. Karakteristike krovnih materijala u smislu utjecaja njihovih proizvodnih procesa na klimu. Ilustracija *The construction material pyramid* razvijen od CINARK – Centre for Industrialised Architecture, The Royal Danish Academy – Architecture, Design, Conservation, je preuzeta iz: www.materialepyramiden.dk/#.
32. Princip kaskadne ventilacije: dovod zraka samo u spavaće sobe. Ilustracija preuzeta iz: Troi Alexandra, Bastian Zeno (ed.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015, 159.
33. Aktivni dovod zraka – dijagram. Crtež preuzet od: Troi Alexandra, Bastian Zeno (ed.), *Energy Efficiency Solutions for Historic Buildings: A Handbook*, Birkhäuser, Basel 2015, 160.
34. Primjer decentraliziranog rekuperatora ugrađenog u vanjski izolacijski sloj. Ilustracija je preuzeta iz: © Alnor.
35. Uređenje dvorišta u ul. Hosiery, Main Town, Gdańsk. Fotografija: Natalia Szablowska.
36. Uređenje dvorišta u ul. Władysława IV 11a, Nowy Port, Gdańsk. Fotografija: Marcin Surowiec.
37. Uređenje dvorišta u ul. Gliwicka 97, Katowice. Fotografija: Joanna Janiak.
38. Posjet radne grupe uživo I. gramatičkoj školi u Olsztynu. Fotografija: Tomasz Jeleński.
39. Vila u Bielsko-Biała. Fotografija: Ewelina Pekała, Zaklada Sendzimir.
40. Obiteljska kuća u Bielsko-Biała. Fotografija: Agnieszka Czachowska, Zaklada Sendzimir.
41. Zgrada mješovite namjene u Bielsko-Biała. Fotografija: Tomasz Jeleński.
42. Trgovačko-stambena zgrada u Koprivnici. Fotografija: Ana Šenhold, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
43. Sinagoga u Koprivnici. Fotografija: Ana Šenhold, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
44. Zgrada mješovite namjene u Koprivnici. Fotografija: Ana Šenhold, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
45. Gradska vijećnica Mystowice. Fotografija: Ewelina Pekała, Zaklada Sendzimir.
46. Sportska dvorana Mystowice. Fotografija: Agnieszka Czachowska, Zaklada Sendzimir.
47. Stambena zgrada u Mystowicama. Fotografija: Krystian Kopka.
48. Bivša stražarnica u kompleksu Konjičke vojarne u Olsztynu. Fotografija: Ewelina Pekała, Zaklada Sendzimir.
49. I. gimnazija u Olsztynu. Fotografija: Tomasz Jeleński.
50. Vila C. Hermenau u Olsztynu. Fotografija: Celina Łozowska.
51. Zgrada javne namjene – Filodrammatica u Rijeci. Fotografija: Ana Šenhold, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
52. Upravna zgrada u Rijeci. Fotografija: Jana Kačar.
53. Hrvatski kulturni dom na Sušaku. Fotografija: Dean Miculinić.
54. Palača Gvozdanović u Zagrebu. Fotografija: Aleksandar Jelovac, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
55. Upravna zgrada u Zagrebu. Fotografija: Aleksandar Jelovac, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
56. Dječji vrtić Vjeverica u Zagrebu. Fotografija: Ana Šenhold, Hrvatski savjet za zelenu gradnju.
57. Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Autor crteža je Tomasz Jeleński i temeljen je na izvještaju s radionice.
58. Trenutno stanje i predložene točke intervencije na sjeverozapadnom uzvišenju. Crtež dolazi iz projekta *Rekonstrukcija, renovacija i energetska modernizacija stambenih i uslužnih zgrada s pratećom infrastrukturom i rušenje ostalih zgrada* Pracownia Projektowa ARCHIDOM Bernarda Łopacza. Crtež napravila Magdalena Zawajska.
59. Predložene točke intervencije na sjeverozapadnom uzvišenju koje se nalaze u pozadini originalnog arhitektonskog projekta Carla Korna. Crtež dolazi iz Arhiva konzervatora mjesne baštine iz mjesta Bielsko-Biała.
60. Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Crtež napravila Natalia Hasso-Agopsowicz na temelju ishoda radionica. Izvor mape: WebEWID – Grad Olsztyn, Katalog javnih e-usluga Ureda za geodeziju i Uprave za nekretnine okruga Olsztyn.

- 61.** Koncept adaptacije zgrade – plan prizemlja. Autori: Jakub Gołębiewski i Natalia Hasso-Agopsowicz. Crtež napravio Jakub Gołębiewski.
- 62.** Predložena rekonstrukcija fasade (s rampom za invalidska kolica na ulazu). Crtež napravio Jakub Gołębiewski.
- 63.** Projekt arhitektonske obnove – pogled sa sjeveroistoka. Prikaz napravio Jakub Gołębiewski.
- 64.** Projekt arhitektonske obnove – pogled sa zapada. Prikaz napravio Jakub Gołębiewski.
- 65.** Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Crtež napravila Agata Zapart na temelju ishoda radionica. Izvor mape: MSIPMO, Informacijski sustav prostornog uređenja grada Olsztyna.
- 66.** Poprečni presjek tavana: toplinska izolacija prostora prilagođenih za sobe za učionice. Crtež napravila Agata Zapart.
- 67.** Poprečni presjek tavana: toplinska izolacija poda i ovojnice kongresne dvorane.. Crtež napravila Agata Zapart.
- 68.** Konceptualni prijedlog uređenja lokacije. Napravila Natalia Szablowska na temelju ishoda radionica. Izvor mape: Općinski odjel za stambena pitanja.
- 69.** Južna i istočna pročelja (prošireno). Crtež napravio arhitekt E. Knaut. Dokumenti građevinske inspekcije iz mjesta Mystowice (1891–1902), Arhiv grada Mystowice.
- 70.** Pogled iz zraka na gradilište vrtića. Izvor mape: ZGGEO-PORTAL, Informacijski sustav prostornog uređenja grada Zagreba. Gradski ured za gospodarstvo, ekološku održivost i stratejsko planiranje.
- 71.** Dječji vrtić “Vjeverica” u parku Mihaljevac u Zagrebu, projektirao arhitekt Boris Magaš 1973. –1975. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mihaljevac-Vjeverica-kindergarten-Boris-Magas.jpg>.



