

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

Jamova 2, p.p. 3422  
1115 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si



**PODIPLOMSKI  
ŠTUDIJSKI  
GRADBENIŠTVA**

*Konstruktivna smer*

Kandidat:

**MIHAJLO POPOVIĆ, univ.dipl.inž.grad.**

**Trajnostni pristop k utrditvi zidanih zgradb**

Magistrsko delo št.: 207

**Sustainable Approach to the Retrofit of Masonry Buildings**

Master of Science Thesis No.: 207

**Komisija za zagovor:**

***Mentor:***

izr. prof. dr. Roko Žarnić

***Predsednik komisije:***

prof. dr. Goran Turk

***Član:***

doc. dr. Vlatko Bosiljkov

***Član:***

doc. dr. Jana Šelih

Datum zagovora: 5. 3. 2009

Ljubljana, marec 2009



## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **Mihajlo POPOVIĆ** izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom  
»**TRAJNOSTNI PRISTOP K UTRDITVI ZIDANIH ZGRADB**«.

Ljubljana, 26. februar 2009

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 69.059:693(043.3)  
**Avtor:** Mihajlo Popović  
**Mentor:**izr. prof. dr. Roko Žarnić  
**Naslov:** Trajnostni pristop k utrditvi zidanih zgradb  
**Obseg in oprema:** 144 str., 9 pregl., 32 sl., 13 en.  
**Ključne besede:** zidane zgradbe, konstrukcijska utrditev, energetska sanacija, sanacija vlage, trajnost, stroški, kontrolni pregledi, katalog ukrepov, trajnostni pristop

### **Izvleček**

Namen dela je analizirati zagotavljanje ustreznih pogojev prenosa toplote in vlage pri aplikaciji utrditvenih ukrepov ter na podlagi ugotovitev predstaviti ustrezen trajnostni pristop pri utrditvi zidanih zgradb. Na začetku so predstavljeni splošni in materialno-tehnični vzroki za rekonstrukcijo. Nato je predstavljen potek rekonstrukcije v smislu odločanja, zakonodaje in drugih dejavnikov. Navedeni so tudi ukrepi za energetska sanacijo in ukrepi za sanacijo vlage. V nadaljevanju so nato analizirani problemi ter izpostavljene kritične točke pri usklajevanju zahtev konstrukcijske utrditve z zahtevami glede prenosa toplote in vlage. Podrobneje je računsko analiziran vpliv sistematičnega injektiranja kamnitega zidu na gradbeno fizikalne razmere. Trajnostni pristop je argumentiran s trajnostnimi dejavniki in analizo finančne upravičenosti sočasne izvedbe ukrepov za konstrukcijsko utrditev in energetska sanacijo. Dejstvo je, da sočasnost izvedbe lahko prihrani tudi več kot 40 % stroškov glede na fazno izvedbo del. Trajnostni pristop je predstavljen na izbranih utrditvenih ukrepih, kjer po skrbnem načrtovanju in izvedbi ukrepa predlaga protokol kontrolnih pregledov, vzdrževalnih in po potrebi sanacijskih del. Pristop je predstavljen na konkretnih pogosto uporabljenih ukrepih, z interdisciplinarnostjo pa ga je možno prirediti za poljuben utrditveni ukrep. V okviru trajnostnega pristopa je potreben razvoj novih utrditvenih ukrepov, ki bodo v sozvočju s trajnostnim razvojem. Priporočljivo bo prilagoditi tehnično regulativo, ki ureja področje graditve.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 69.059:693(043.3)  
**Author:** Mihajlo Popović  
**Supervisor:** prof. dr. Roko Žarnić  
**Title:** Sustainable Approach to the Retrofit of Masonry Buildings  
**Notes:** 144 p., 9 tab., 32 fig., 13 eq.  
**Key words:** masonry buildings, strengthening, reduction of energy consumption, moisture, improvement of conditions, sustainability, durability, costs, quality check, quality check catalogue, sustainable approach

### **Abstract**

The scope of this work is to analyze provision of adequate conditions for heat and moisture transfer when applying strengthening measures. A sustainable approach to the retrofit of masonry buildings is presented as a result. In the beginning the general, material, and technical reasons for retrofit are explained. The process of retrofit in terms of decision-making steps, legislation issues, and other factors is presented next. Further on, measures for reduction of energy consumption, and damp-proofing treatment methods are presented. Problems and critical points of strengthening measures, and their impact on heat and moisture transfer are discussed. The influence of systematic grouting of stone masonry wall on building physics is analysed calculatively. The sustainable approach is grounded using sustainable factors and analysing the financial viability of a concurrent implementation of structural strengthening, and reduction of energy consumption. The fact is that a simultaneous implementation can save more than 40 % of the costs compared to phased or sequential actions. The sustainable approach is illustrated on cases of selected strengthening measures, where - after initial careful planning and subsequent implementation steps - quality check, maintenance, and eventual remedial actions are proposed. The presented frequently used strengthening measures can be easily adapted to a variety of actions using integral planning rules. In the sustainable approach context new measures need to be developed, which will be in tune with sustainable development principles. It would be advisable to adapt technical regulations from the building construction field, as well.

## ZAHVALA

Za pomoč, strokovno vodstvo in cel kup idej pri pripravi magistrskega dela se želim na prvem mestu zahvaliti svojemu mentorju, izr. prof. dr. Roku Žarniću, univ. dipl. inž. grad., za skrben pregled in popravke pa tudi članu komisije doc. dr. Vlatku Bosiljkovu, univ. dipl. inž. grad.

Z nasveti in znanjem so mi izdatno pomagali tudi sodelavci Gradbenega inštituta ZRMK d.o.o., pri katerem sem zaposlen, in kolegi pri partnerskem izvajalskem podjetju Gras d.o.o. Za pregled dela se moram še posebej zahvaliti sodelavcema dr. Samu Gostiču, univ. dipl. inž. grad. in dr. Marjani Šijanec Zavrl, univ. dipl. inž. grad., ki sta s svojimi pripombami in napotki pomembno vplivala na končni izdelek. Nikakor ne smem pozabiti tudi na sodelavca mag. Miho Tomšiča, univ. dipl. ing. grad., ki je s svojim znanjem strokovne angleščine poskrbel za kakovost prevodov.

Za začetno iniciativo, finančno podporo v okviru študija in za razumevanje se posebej zahvaljujem tudi Igorju Janežiču, univ. dipl. inž. grad., direktorju matičnega podjetja Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.

Nenazadnje sem za vsestransko pomoč in potrpežljivost zelo hvaležen svoji ženi Damjani.

## KAZALO VSEBINE

1	UVOD .....	1
1.1	Predstavitev problema .....	1
1.2	Namen magistrskega dela .....	2
2	VZROKI ZA REKONSTRUKCIJO .....	4
2.1	Terminologija .....	4
2.2	Splošno o vzrokih za rekonstrukcijo.....	5
2.3	Propadanje materialov .....	7
2.3.1	Materiali zidanih stavb.....	7
2.3.2	Kamen.....	7
2.3.3	Opeka.....	8
2.3.4	Malte .....	10
2.3.5	Beton.....	12
2.3.6	Železo in jeklo .....	13
2.3.7	Les.....	15
2.4	Izboljšanje zmogljivosti obstoječe zgradbe .....	17
2.5	Zahteve zakonov, predpisov in standardov .....	18
3	POTEK REKONSTRUKCIJE .....	21
4	KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV .....	27
4.1	Splošno .....	27
4.2	Opis ukrepov.....	28
4.2.1	Temeljenje .....	28
4.2.2	Zidovi.....	30
4.2.3	Stropne konstrukcije .....	33
4.2.4	Povezava zgradbe .....	35
5	ENERGETSKA SANACIJA .....	38
5.1	Splošno .....	38
5.2	Opis ukrepov.....	39
5.2.1	Toplotna izolacija neprosojnih konstrukcij .....	39
5.2.2	Okna in vrata.....	39
5.2.3	Sanacija toplotnih mostov .....	40
5.2.4	Strojne inštalacije in obnovljivi viri energije .....	41
6	SANACIJA VLAGE .....	42
6.1	Splošno .....	42
6.2	Sanacija vlage, ki vdira iz terena .....	43
7	SINERGIJA KONSTRUKCIJSKE UTRDITVE IN ENERGETSKE SANACIJE.....	48
7.1	Splošno .....	48

7.2	Kritične točke .....	48
7.3	Analiza vplivov konstrukcijske utrditve na gradbeno fizikalne razmere.....	54
7.4	Računska analiza vpliva sistematičnega injektiranja kamnitih zidov na gradbeno fizikalne razmere	55
7.4.1	Splošno .....	55
7.4.2	Predstavitev računalniškega programa WUFI 4.1 Pro.....	55
7.4.3	Teoretične osnove in vhodni podatki.....	56
7.4.4	Uporabljeni podatki in predpostavke računskega primera.....	64
7.4.5	Rezultati analize .....	73
7.4.6	Komentar rezultatov .....	77
8	TRAJNOSTNI PRISTOP K UTRDITVI ZIDANIH ZGRADB .....	79
8.1	Splošno o trajnosti v tehničnem smislu .....	79
8.2	Rekonstrukcija kot strategija za povečanje trajnosti grajenega okolja .....	80
8.3	Analiza vplivov (stroškov) v življenjski dobi proizvoda ali ukrepa .....	81
8.4	Stroški utrditve in sanacije .....	83
8.4.1	Izhodišča.....	83
8.4.2	Primer stavbe A .....	86
8.4.3	Primer stavbe B .....	88
8.4.4	Ocena stroškov .....	89
8.4.5	Analiza rezultatov s komentarjem .....	94
8.5	Kontrolni pregledi .....	98
8.6	Vzdrževalna dela in odprava napak (sanacija po sanaciji) .....	100
8.7	Konkretni primeri.....	101
8.7.1	Sistematično injektiranje (in hidrofobna bariera) kamnitih zidov .....	101
8.7.2	Armiranobetonski ometi opečnih zidov.....	103
8.7.3	Utrditev lesenih stropov s sovprežnimi armiranobetonskimi estrihi.....	104
8.7.4	Jeklene potresne vezi .....	106
8.7.5	Katalog kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del .....	108
8.8	Nove rešitve.....	110
8.9	Zakoni, predpisi in standardi v službi trajnostnega pristopa .....	111
8.10	Vključevanje naročnika in investitorja .....	114
9	ZAKLJUČKI .....	116
9.1	Ugotovitve .....	116
9.2	Trajnosti pristop .....	117
9.3	Nadaljnje delo .....	120
10	POVZETEK.....	121
11	SUMMARY .....	123
	VIRI.....	125



## KAZALO SLIK

Slika 3.1: Diagram poteka aktivnosti pri utrditvi (zidane) zgradbe .....	23
Slika 3.2: Diagram poteka posegov v konstrukcijo zaradi zagotovitve njene potresne odpornosti (SIST ENV 1998-1-4, 2000).....	24
Slika 3.3: Povezanost aspektov izboljšanja zmogljivosti zgradbe .....	25
Slika 3.4: Zasnova diagrama poteka za trajnostni pristop k utrditvi zidanih zgradb .....	26
Slika 4.1: Izvedba podbetoniranja in obbetoniranja temeljev .....	29
Slika 4.2: Sistematično injektiranje kamnitega zidu .....	31
Slika 4.3: Izvedba armiranobetonskega ometa opečnega zidu.....	32
Slika 4.4: Utrditev lesenega stropa s sovprežnim armiranobetonskim estrihom oziroma ploščo .....	34
Slika 4.5: Jeklene potresne vezi.....	37
Slika 6.1: Izvedba hidrofobne bariere .....	45
Slika 7.1: Poškodbe vrhnjih slojev ometa injektiranega zidu, do katerih je prišlo zaradi prekratkega časa sušenja zidu v zimskem obdobju .....	49
Slika 7.2: Poškodbe lesenega stropnika, ki je bil po celi dolžini v stiku z injektiranim zidom in brez ustreznega zračenja.....	50
Slika 7.3: Nastanek plesni na stiku z armiranim ometom utrjenega zidu in oboka, do katere je prišlo zaradi neupoštevanja spremembe prenosa toplote in vlage .....	51
Slika 7.4: Globinska sonda je razkrila popolnoma prhle lesene stropnike, preko katerih je bil izveden cementni estrih brez ustrezne zaščite.....	52
Slika 7.5: Demontirane potresne jeklene vezi, kjer je vidna močna prisotnost korozije na navojnih delih palic, ki so bile v stiku z napenjalci iz druge kovine (galvanski člen), korozijski produkti pa so v manjšem obsegu vidni tudi po ostalih površinah vezi .....	53
Slika 7.6: Shema prereza kamnitega zidu z debelinami slojev .....	65
Slika 7.7: Globinska sonda kamnitega zidu, kjer se po odstranitvi večjega delno klesanega kamna iz robne sloja zidu vidi srednji sloj iz manjših kosov kamenja in drobirja z vmesnimi prazninami.....	66
Slika 7.8: Sinusni krivulji temperature in relativne vlažnosti na zunanji strani zidu .....	70
Slika 7.9: Sinusni krivulji temperature in relativne vlažnosti na notranji strani zidu .....	71
Slika 7.10: Vsebnost vlage v slojih zidu .....	74
Slika 7.11: Vsebnost vlage celotnega kamnitega zidu [kg/m <sup>2</sup> ] .....	75
Slika 7.12: Profil temperature [°C], relativne vlažnosti [%] in vsebnosti vlage [kg/m <sup>3</sup> ] kamnitega zidu .....	76
Slika 8.1: Črtna skica tlorisa stavbe A, M 1:200 .....	87
Slika 8.2: Črtna skica tlorisa stavbe B, M 1:100.....	88
Slika 8.3: Stolpična diagrama posameznih izvedbenih in skupnih stroškov.....	94

Slika 8.4: Stolpična diagrama deležev posameznih izvedbenih in skupnih stroškov za utrditev in sanacijo stavb A in B .....	95
Slika 8.5: Stolpični diagrami izvedbenih in skupnih stroškov za utrditev in sanacijo v odvisnosti od sočasnosti oziroma faznega zaporedja izvedbe del .....	97
Slika 8.6: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za sistematično injektiranje (in hidrofobno bariero) kamnitih zidov .....	103
Slika 8.7: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za armiranobetonske omete opečnih zidov .....	104
Slika 8.8: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za utrditev lesenih stropov s sovprežnimi armiranobetonskimi estrihi .....	106
Slika 8.9: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za jeklene potresne vezi .....	107
Slika 9.1: Diagram poteka za trajnostni pristop k utrditvi oziroma prenovi zidanih zgradb .....	119

## LIST OF FIGURES

Figure 3.1: Flow chart of retrofit activities of a (masonry) building .....	23
Figure 3.2: Flow chart of interventions for achieving earthquake-resistance of the structure (SIST ENV 1998-1-4, 2000).....	24
Figure 3.3: Relationship among different aspects for improving building performance .....	25
Figure 3.4: Flow chart concept of sustainable approach to the retrofit of masonry buildings .....	26
Figure 4.1: Application of reinforced concrete to strengthen the foundations.....	29
Figure 4.2: Systematic grouting of a stone masonry wall.....	31
Figure 4.3: Application of reinforced concrete jacket onto a brick masonry wall.....	32
Figure 4.4: Strengthening of a wooden ceiling with a reinforced concrete slab.....	34
Figure 4.5: Seismic steel ties .....	37
Figure 6.1: Application of a hydrophobic barrier .....	45
Figure 7.1: Defects of external plaster layers of a grouted wall, which occurred due to a very short winter drying period.....	49
Figure 7.2: Defects of a wooden floor beam which has been in contact with grouted wall along its whole length and without proper venting .....	50
Figure 7.3: Mould growth on the contact surface between a wall strengthened with reinforced jacket and a vault, which occurred because changes in heat and moisture transfer were not considered.....	51
Figure 7.4: A depth-probe revealed completely decayed wooden floor beams, upon which a layer of cement mortar without adequate protection was placed.....	52
Figure 7.5: Dismantled seismic steel ties with clearly visible presence of corrosion on the threaded parts of rods, which have been in contact with tensioners made from other metals (galvanic cell); to a smaller extent corrosion products are visible on other areas of ties as well .....	53
Figure 7.6: Cross-section of a stone masonry wall, with thicknesses of layers presented .....	65
Figure 7.7: Depth-probe of a stone masonry wall: removal of a bigger stone from the outer layer reveals a middle layer consisting of smaller pieces of rocks and debris with intermediate voids.....	66
Figure 7.8: Sine curves of external temperature and relative humidity .....	70
Figure 7.9: Sine curves of internal temperature and relative humidity .....	71
Figure 7.10: Water content of wall layers.....	74
Figure 7.11: Total water content of the entire stone masonry wall [kg/m <sup>2</sup> ] .....	75
Figure 7.12: Temperature profile [°C], relative humidity [%] and water content [kg/m <sup>3</sup> ] of a stone masonry wall.....	76
Figure 8.1: Sketch layout of the building A, M 1:200 .....	87
Figure 8.2: Sketch layout of the building B, M 1:100 .....	88
Figure 8.3: Bar charts of individual implementation and common costs for structural strengthening and rehabilitation for buildings A and B per m <sup>2</sup> .....	94

Figure 8.4: Share bar charts of individual implementation and common costs for structural strengthening and rehabilitation for buildings A and B.....	95
Figure 8.5: Bar charts of individual implementation and common costs for structural strengthening and rehabilitation, depending on simultaneous or phased implementation .....	97
Figure 8.6: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for systematic grouting (and hydrophobic barrier) of stone masonry walls .....	103
Figure 8.7: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for reinforced concrete jacket of brick masonry walls.....	104
Figure 8.8: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for wooden ceilings strengthened with reinforced concrete slabs.....	106
Figure 8.9: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for seismic steel ties .....	107
Figure 9.1: Flow chart of sustainable approach to the retrofit of masonry buildings .....	119

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 6.1: Različne injekcijske mase za bariere proti vdoru vlage s principom njihovega delovanja .....	46
Preglednica 7.1: Materialne karakteristike posameznih komponent kamnitega zidu .....	67
Preglednica 7.2 : Materialne karakteristike slojev kamnitega zidu.....	68
Preglednica 7.3: Vsebnost vlage pri relativni vlažnosti 0,8 in prosti zasičenosti.....	69
Preglednica 8.1: Popis ukrepov z enoto in ceno za enoto v letu 2008 .....	84
Preglednica 8.2: Popis skupnih stroškov z enoto in ceno za enoto v letu 2008 .....	86
Preglednica 8.3: Izvedbeni in skupni stroški za stavbo A v letu 2008 .....	90
Preglednica 8.4: Izvedbeni in skupni stroški za stavbo B v letu 2008 .....	92
Preglednica 8.5: Katalog kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del.....	109

## LIST OF TABLES

Table 6.1: Various injection grouts for damp-proofing barriers, and the principle of their function .....	46
Table 7.1: Material characteristics of individual components of a stone masonry wall .....	67
Table 7.2: Material characteristics of stone masonry wall layers.....	68
Table 7.3: Moisture content at relative humidity of 0,8 and at free saturation conditions .....	69
Table 8.1: Inventory of measures with the unit, and the unit price in 2008 .....	84
Table 8.2: Inventory of common costs with the unit, and the unit price in 2008 .....	86
Table 8.3: Implementation and common costs for the building A in 2008 .....	90
Table 8.4: Implementation and common costs for the building B in 2008.....	92
Table 8.5: Catalogue of quality check measures, and subsequent maintenance and rehabilitation work.....	109

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

$A$	koeficient vpijanje (absorpcija) vode
$a_s$	absorptivnost kratkovalovnega sevanja
$\alpha$	koeficient toplotne prestopnosti
$\alpha_k$	konvekcijski koeficient toplotne prestopnosti
$\alpha_s$	radiacijski koeficient toplotne prestopnosti
AB	armiran beton, armiranobetonski
$b$	aproksimacijski faktor
$b$	toplotno prevodnostni dodatek zaradi vlage
$\beta_p$	koeficient prehoda vodne pare
$c$	specifična toplotna
CF	(ang.) confidence factor – faktor zanesljivosti
$D_w$	koeficient transporta tekočin
$D_{ws}$	koeficient transporta tekočin zaradi vpijanja
$D_{ww}$	koeficient transporta tekočin zaradi porazdelitve
$\varphi$	relativna vlažnost
$g_v$	gostota toka vodne pare
$g_w$	gostota toka transporta tekočin
$I$	gostota toplotnega toka sončnega sevanja navpično na površino
IBP	(ang.) Institute for Building Physics – Inštitut za gradbeno fiziko
IDZ	idejna zasnova
KL	(ang.) knowledge level – raven poznavanja oziroma vedenja o zgradbi
LCA	(ang.) Life-cycle analysis – Analiza vplivov / emisij v življenjski dobi
LCCA	(ang.) Life-cycle cost analysis – Analiza stroškov v življenjski dobi
$\lambda$	toplotna prevodnost
$\lambda_o$	toplotna prevodnost suhega materiala
$\lambda(w)$	toplotna prevodnost vlažnega materiala
$m$	masa
$\mu$	difuzijski koeficient vodne pare
$p_u$	pritisk vodne pare okolice
$p_0$	pritisk vodne pare na površini
PGD	projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja
por	poroznost
PZI	projekt za izvedbo
$\rho$	prostorninska gostota
$\rho_s$	gostota suhega materiala
$\rho_{true}$	specifična ali prava gostota
$q$	gostota toplotnega toka
SSE	sprejemniki sončne energije
$T$	temperatura
$\vartheta_u$	temperatura okolice
$\vartheta_0$	temperatura površine
$v / c$	vodo-cementno razmerje
$V_{por}$	prostornina por in praznin

$V_{tot}$	celotna prostornina
$V_{true}$	prostornina matrice materiala
$w$	funkcija vsebnosti vlage (vsebnost vlage, ustrezna relativni vlažnosti)
$w_{80}$	vsebnost vlage pri relativni vlažnosti 80 %
$w_f$	vsebnost vlage pri prosti zasičenosti
$w_{max}$	največja vsebnost vlage
WUFI	(nem.) Wärme- und Feuchtetransport instationär – nestacionaren prehod toplote in vlage
ZGO	Zakon o graditvi objektov
ZVKDS	Zavod za varovanje kulturne dediščine Slovenije





# 1 UVOD

## 1.1 Predstavitev problema

V obstoječem gradbenem fondu srednje Evrope velik del predstavljajo zidane zgradbe. Iz kamna in polne opeke so zidane skoraj vse starejše stavbe, od enodružinskih stanovanjskih hiš do velikih javnih in reprezentančnih stavb. Novejše večje stavbe imajo praviloma skeletno nosilno konstrukcijo z armiranobetonskimi stenastimi jedri, zidana pa so lahko polnila. Na drugi strani so manjše stanovanjske hiše še vedno pretežno zidane, manj je montažnih ali narejenih z uporabo kakega drugega konstrukcijskega sistema. Razlika med starejšimi in novejšimi zidanimi zgradbami je predvsem v tem, da so zidovi novejših stavb zidani iz betonskih in opečnih votlakov ter zidakov iz celičastega betona.

Glede na veliko zastopanost zidanih zgradb in njihovo relativno visoko starost se vse bolj izpostavlja potreba po kakovostnih konstrukcijskih posegih na tovrstnih objektih. Pri novejših zgradbah gre predvsem za manjše rekonstrukcije in sanacije, pri starejših pa za celovite konstrukcijske posege, ki so podlaga za ohranjanje obstoječega gradbenega fonda. Slednje je potrebno tako zaradi prostorskih in ekonomskih potreb, okoljevarstvenih razlogov kot tudi zaradi ohranjanja kulturne dediščine ter revitalizacije starih vaških in mestnih jeder. Pri tem so glede na konstrukcijsko zasnovo, način gradnje in uporabljene materiale zidanih zgradb potrebni temu prilagojeni konstrukcijski posegi.

Ukrepi za utrditev, sanacijo in zaščito konstrukcij so največkrat zahtevni interdisciplinarni strokovni posegi. Konstrukcijske ukrepe je namreč praviloma potrebno uskladiti z arhitekturnimi zahtevami, zahtevami spomeniškega varstva ter spoznanji s področja gradbene fizike. Izvedeni posegi na konstrukciji morajo biti prostorsko nemoteči, estetski oziroma čim manj vidni, zagotavljati pa morajo tudi ugodje bivanja in trajnost objekta.

Ob rekonstrukciji (zidane) zgradbe moramo torej le-tej zagotoviti ustrezno nosilnost in stabilnost ter potresno odpornost skladno s predpisi in aktualnimi dognanji stroke. To dosežemo z utrditvenimi ukrepi, s katerimi izboljšamo zmogljivost nosilne konstrukcije

zgradbe. Po drugi strani ob konstrukcijski utrditvi zgradbe ne smemo pozabiti na sanacijo oziroma nekonstrukcijske ukrepe, s katerimi ne izboljšamo neposredno nosilnosti zgradbe, izboljšamo pa njeno funkcionalnost, ekonomičnost in ugodje bivanja. Sanacijski ukrepi z zagotavljanjem ustreznih gradbeno fizikalnih pogojev poleg tega neposredno vplivajo tudi na trajnost utrditvenih ukrepov, kar se v vsakdanji praksi veliko premalo upošteva.

## 1.2 Namen magistrskega dela

Vemo, da je za ustrezno trajnost predpisanih in izvedenih utrditvenih kot tudi ostalih ukrepov in s tem trajnost celotne konstrukcije oziroma zgradbe potreben interdisciplinaren pristop. Konstrukcijsko utrditev je potrebno izvesti ob upoštevanju zakonitosti gradbene fizike oziroma prenosa toplote in vlage ter zahteve obeh strok uskladiti, uspešnost izvedenih posegov pa kontrolirati in odpraviti morebitne napake. Sočasno s konstrukcijsko utrditvijo je potrebno zagotoviti tudi ustrezne gradbeno fizikalne razmere za celotno zgradbo. Vse ukrepe je potrebno storiti v okviru nekega predpisanega postopka, ki bo s postopnim delom in upoštevanjem različnih dejavnikov zagotavljal čim boljše rezultate. Tak postopek poimenujemo *trajnostni pristop*.

Na začetku magistrskega dela so zato predstavljeni splošni vzroki za rekonstrukcijo, materialno-tehnični vzroki za rekonstrukcijo, potek rekonstrukcije, ukrepi za konstrukcijsko utrditev zidanih zgradb in ukrepi za zagotavljanje ustreznih gradbeno fizikalnih pogojev. V nadaljevanju so nato predstavljeni in analizirani problemi ter izpostavljene kritične točke pri usklajevanju konstrukcijske utrditve z gradbeno fiziko oziroma zahtevami glede prenosa toplote in vlage. Podrobneje je računsko analiziran vpliv sistematičnega injektiranja kamnitega zidu na gradbeno fizikalne razmere.

Namen magistrskega dela je na podlagi ugotovitev o močni povezanosti utrditvenih ukrepov s prenosom toplote in vlage ter posledično vplivom na trajnost stavbe predstaviti nujnost trajnostnega pristopa k utrditvi zidanih stavb, trajnostni pristop predstaviti in ga tudi promovirati. V vsakdanji praksi se namreč temu problemu oziroma spoznanju posveča premalo pozornosti. Potreba po trajnostnem pristopu je zato najprej argumentirana s splošnim

trendom oziroma strategijo trajnosti grajenega okolja in podkrepljena z analizo direktnih stroškov izvedbe. Na nekaj konkretnih primerih konstrukcijske utrditve je razvito oziroma podrobneje prikazano izvajanje kontrolnih pregledov ter vzdrževalnih in sanacijskih del v okviru trajnostnega pristopa pri utrditvi zidanih zgradb. Trajnostni pristop nudi usmeritve projektantom in izvajalcem rekonstrukcij zidanih zgradb kakor tudi njihovim lastnikom oziroma upravljavcem pri vzdrževanju objektov. Velik poudarek trajnostnega pristopa je na zagotavljanju uspešnosti izvedenega ukrepa z naknadnimi kontrolnimi pregledi, vzdrževalnimi deli in po potrebi naknadnimi sanacijami. Na koncu dela je izpostavljena nuja po razvoju novih utrditvenih ukrepov, ki bodo v sozvočju s trajnostnim pristopom. V zvezi s trajnostnim pristopom je podanih nekaj opomb in predlogov glede tehnične regulative, ki ureja področje graditve. Izpostavljen je tudi pomen in način aktivnega vključevana naročnika oziroma investitorja v proces odločanja.

## 2 VZROKI ZA REKONSTRUKCIJO

### 2.1 Terminologija

Ko se pogovarjamo o neki temi, moramo predhodno poznati pomen besed, ki jih pri tem uporabljamo. Glede na temo magistrskega dela se skozi besedilo večkrat pojavljajo izrazi, ki opredeljujejo določene posege na zidani zgradbi oziroma splošno na gradbenem objektu. Ker popolnega konsenza o pomenu nekaterih besed v strokovni javnosti ni, je v nadaljevanju podan pomen določenih besed (s primeri uporabe za lažje razumevanje), ki jih srečujemo v besedilu. Pomen je določen z upoštevanjem prevladujoče uporabe v stroki, Zakona o graditvi objektov (ZGO-1) in prevodov uporabe strokovnih izrazov v tuji literaturi (predvsem iz angleškega jezika).

- konstrukcija – *pomen*: sestav trajno vgrajenih elementov, ki tvorijo zgradbo oziroma gradbeni objekt; pri tem je pomembna uporaba izpeljanega pridevnika konstrukcijski ali nekonstrukcijski, kjer konstrukcijski element pomeni del nosilne konstrukcije, ki je namenjen prevzemu vplivov (obtežb), medtem ko so funkcije nekonstrukcijskega elementa druge  
*primer konstrukcijskih elementov*: nosilni zidovi, stropne konstrukcije, ...  
*primer nekonstrukcijskih elementov*: predelni zidovi, izolacije, ometi, okna, ...
- popravilo – *pomen*: odprava poškodbe, vzpostavitev prvotnega stanja brez izboljšanja lastnosti  
*primer*: injektiranje razpoke v zidu
- sanacija – *pomen*: odprava napake, kar v ožjem smislu pomeni odprava poškodbe (popravilo), v širšem smislu pa tudi odprava vzroka za nastanek poškodbe ali pomanjkljivosti, v kolikor le-ta ni konstrukcijske narave, ampak je posledica nepravilno ali pomanjkljivo izvedenih nekonstrukcijskih detajlov  
*primer*: sanacija vlage v ožjem smislu pomeni zamenjavo poškodovanih ometov z enakimi novimi (popravilo), v širšem pa aplikacijo sušilnih ometov s hidrobarierami

- utrditev – *pomen*: izboljšanje nosilnih sposobnosti konstrukcijskih elementov ali celotne nosilne konstrukcije z izboljšanjem mehanskih karakteristik ali uvajanjem novih konstrukcijskih elementov; utrditev lahko izvedemo na poškodovani (angl. rehabilitation) ali nepoškodovani zgradbi (angl. retrofit); za utrditev je v strokovni javnosti zelo razširjena uporaba besede »ojačitev«  
*primer*: sistematično injektiranje kamnitih zidov, izvedba armiranobetonskih ometov opečnih zidov
- rekonstrukcija – *pomen*: skladno z Zakonom o graditvi objektov (ZGO-1) je rekonstrukcija spreminjanje tehničnih značilnosti obstoječega objekta in prilagajanje objekta spremenjeni namembnosti ali spremenjenim potrebam oziroma izvedba del, s katerimi se bistveno ne spremeni velikost, spreminjajo pa se konstrukcijski elementi in zmogljivost ter izvedejo druge izboljšave  
*primer*: v konstrukcijskem smislu je to utrditev zgradbe, navadno v kombinaciji s sanacijo
- prenova – *pomen*: kompleksen poseg v zgradbo oziroma gradbeni objekt, med katerim navadno izvedemo tudi rekonstrukcijo  
*primer*: prenova srednjeveškega gradu iz ruševin v zgradbo z novo vsebino
- adaptacija – *pomen*: prilagoditev zgradbe oziroma gradbenega objekta spremenjeni namembnosti  
*primer*: preureditev proizvodne hale v skladišče s spremenjenim notranjim tlorisom in utrjeno konstrukcijo za nove višje vplive (obtežbe)

## 2.2 Splošno o vzrokih za rekonstrukcijo

Do odločitve za rekonstrukcijo zidane stavbe lahko pridemo na podlagi več različnih vzrokov, od katerih so samo nekateri tehnične oziroma gradbene narave. Navadno je odločilnih več vzrokov oziroma njihovo prepletanje, v grobem pa jih lahko razdelimo v naslednje kategorije:

- propadanje materialov, iz katerih je zgradba zgrajena, saj le-ti z leti zaradi različnih vzrokov praviloma izgubljajo na svojih materialnih karakteristikah,

- izboljšanje zmogljivosti obstoječe nosilne konstrukcije (povečanje statičnih vplivov oziroma obtežb, potresna varnost), lahko že poškodovane zaradi preobremenitve,
- izboljšanje zmogljivosti nenosilnih delov konstrukcije, predvsem tistih, s katerimi zagotavljamo ustrezne pogoje prenosa toplote in vlage, lahko zaradi izboljšanja bivalnih pogojev ali pa zaradi zmanjšanja obratovalnih stroškov,
- sprememba namembnosti, izboljšanje arhitekturne funkcionalnosti, npr. tudi ureditve ustreznih dostopov in komunikacij za invalide, povečanje estetske vrednosti,
- ohranjanje kulturne dediščine,
- okoljevarstveni razlogi in
- povečanje požarne varnosti.

Ne glede na vzroke, ki pripeljejo do odločitve za rekonstrukcijo, je pri njeni izvedbi potrebno upoštevati zahteve aktualnih zakonov, predpisov in standardov, ki določajo ustrezne lastnosti in karakteristike konstrukcije, katerim mora zadostiti celotna rekonstruirana zgradba. To pomeni, da mora rekonstruirana stavba zadostiti enakim zahtevam kot novogradnja, razen glede pogojev gradbene fizike, kjer pri kulturnozgodovinskih objektih veljajo nižji kriteriji.

Zahteve modernih zakonov, predpisov in standardov smo praviloma dolžni upoštevati samo ob večjih posegih v stavbo, to je ob rekonstrukciji, medtem ko izboljšanje obstoječega stanja starejših stavb samo po sebi ni predpisano. Tako se za rekonstrukcije nekaj desetletij starih nepoškodovanih zidanih stavb praviloma odločajo zgolj lastniki oziroma upravniki starejših javnih zgradb, ki se zavedajo njihovega pomena in potresne varnosti (npr. šolski objekti).

V nadaljevanju so podrobneje predstavljeni vzroki s področja propadanje materialov, izboljšanje zmogljivosti konstrukcije in zahteve zakonov, predpisov in standardov.

## **2.3 Propadanje materialov**

### **2.3.1 Materiali zidanih stavb**

Osnova za pravilne odločitve in izbiro primernih posegov pri sanacijah in rekonstrukcijah zidanih zgradb je poznavanje materialov, iz katerih so le-te zgrajene. Poznati moramo vzroke za propadanje materialov, postopke za njihovo zaščito in sanacijo kot tudi ukrepe za utrditev konstrukcij, kjer so ti materiali prisotni. Pri zidanih zgradbah najpogosteje srečujemo kamen, opeko, malte in betone, jeklo ter les. V nadaljevanju je zato podan pregled navedenih materialov z vzroki za njihovo propadanje. Pri materialih, ki so produkt človekove predelave, je pri opisu poudarek na sestavi in pojavnih oblikah, kot so jih uporabljali v preteklosti oziroma jih srečujemo v starejših zidanih objektih. Podan je tudi krajši opis moderne izdelave, sestave in uporabe, saj se le-ta običajno navezuje na sanacijo istovrstnega materiala.

### **2.3.2 Kamen**

Kamen oziroma kamnito gradivo glede na izvor uvrščamo med sedimentne, vulkanske (eruptivne) ali metamorfne kamnine, katere spadajo med naravne keramike. Skupna lastnost vseh keramik je nekovinski karakter in krhko trdno stanje visoke trdote in tlačne trdnosti. Kamnina je naravna snov, sestavljena iz drobnih zrn enega ali več različnih mineralov ali iz odlomkov različnih kamnin. Značilna zrnata sestava (zlog) določa strukturo in teksturo kamnine, ki je osnova za določanje kamnin na podlagi načina nastanka. Za lastnosti kamnine je zelo pomembna mineralna sestava.

Strukturo kamna določajo predvsem značilne oblike zrn, njihova velikost in razprostranjenost v masi. Pri gradbenem kamnu je pomembna velikost in medsebojno razmerje zrn. Njihova oblika vpliva na mehanske lastnosti (trdnost, žilavost, obrabnost), poroznost strukture pa na fizikalne in tehnološke lastnosti kamna (gostota, vodoprepustnost, higroskopičnost, zmrzljinska odpornost). Poroznost vpliva na vse materialne lastnosti kamna in je zato njegova najbolj pomembna fizikalna lastnost.



Kamen, ki je v naravi relativno lahko dostopen, je bil eno prvih gradiv, ki jih je človek začel uporabljati in spada torej med tradicionalne gradbene materiale. Večje bolj ali manj obdelane kose so zaradi ugodnih materialnih karakteristik, trajnosti in estetske vrednosti uporabljali kot osnovno konstrukcijsko gradivo za zidanje zidov in obokov ali kot obložni material (arhitekturno – gradbeni ali tudi okrasni kamen), lomljenec in gramoz pa za razna polnila in nasutja (tehnični kamen). Močno zdrobljen tehnični kamen so nekako sredi devetnajstega stoletja začeli uporabljati za izdelavo malt in betona (mineralni agregat).

Kamen spada med zelo trajna in odporna gradiva. Med glavnimi vzroki, zaradi katerih propada, je prav gotovo posredno tudi voda. Le-ta prodira skozi razpoke in pore. V kolikor zaradi nizkih temperatur voda zamrzne, nastali led, ki ima večjo prostornino od vode, razganja kamen. Kamen razganjajo tudi kristalizacijski pritiski vodotopnih soli, ki jih transportira voda. Predvsem v zadnjem času v onesnaženih okoljih voda transportira tudi razne kisline in druge snovi, ki topijo nekatere kamnine. V tem smislu so najbolj ogrožene fasadne površine, ki so izpostavljene tako imenovanemu kislemu dežju, to je dežju, ki pri prehodu skozi onesnaženo atmosfero akumulira določene pline in trdne delce. V manjši meri kamen propada tudi zaradi mehanskih vplivov, kot je izpostavljenost udarcem in obrusu.

Poleg zgoraj opisanih vzrokov za propadanje samih kamnitih gradnikov lahko kamnite konstrukcije propadajo tudi zaradi neugodnih vplivov drugih konstrukcijskih elementov ali vplivov na konstrukcijo kot celoto. Tako kamniti zidovi lahko razpadajo zaradi neustrezne povezanosti ali dotrajane vezne malte, hujših dinamičnih vplivov iz okolice (npr. potres), diferenčnega posedanja itd.

### **2.3.3 Opeka**

Opeka spada med steklaste keramike na osnovi gline. Skupna lastnost vseh keramik je nekovinski karakter in krhko trdno stanje visoke trdote in tlačne trdnosti. Glina je produkt razpada silikatnih kamnin. Njene glavne sestavine so kaolin, kremen in glinenec, na njene lastnosti pa vplivajo tudi mnogi drugi primešani minerali. Osnovna lastnost gline je njena plastičnost, kadar vsebuje vodo. Glina se oblikuje v tekočem, plastičnem, polplastičnem,

suhem ali praškastem stanju. Izdelki se sušijo in žgejo pri različnih temperaturah in s tem dobijo določene mehanske lastnosti. Žgani keramični izdelki so produkt faznih sprememb nekovinskih materialov na visokih temperaturah (sintranje). Poleg grobe keramike (opeka, strešniki,...) poznamo tudi fino keramiko in steklo.

Tako kot kamen je tudi na soncu in ognju utrjena glina eno izmed prvih gradiv, ki jih je človek začel uporabljati in spada torej med tradicionalne gradbene materiale. V naših krajih se je po rimski dobi začela opeka ponovno uporabljati v štirinajstem stoletju, a predvsem za gradnjo obokov. V večjem obsegu se je opeka začela uporabljati v šestnajstem stoletju za gradnjo utrdb, gradov in dvorcev, cerkva in samostanov ter ostalih pomembnejših objektov. Sredi osemnajstega stoletja je opeka v meščanski gradnji že prevladovala, nakar je dokončno prevladala v drugi polovici devetnajstega stoletja.

Vrste opek in njihova kakovost je določena s standardi. Izmere so izbrane tako, da ustrezajo modularnim meram ob upoštevanju debeline malte v fugah oziroma spojnicah debeline 10 mm. V Sloveniji srečujemo nekaj formatov polne opeke, poleg starega rimskega formata predvsem star avstrijski format (ca 290×140×65 mm) in nov standardni format (normalni format 250×120×65 mm). Večji opečni zidaki se imenujejo bloki in so bolj ali manj votlikavi, zato imajo tudi ime votlak. Izdelujejo jih v dokaj različnih modularnih dimenzijah.

Tudi pri opeki določamo celo vrsto fizikalnih in mehanskih lastnosti. Daleč najpomembnejša lastnost je tlačna trdnost opeke, saj skupaj z malto in zidarskimi zvezami gradnikov zidu direktno vpliva na mehanske lastnosti le-tega. Med pomembnejše lastnosti opeke sodijo tudi vodovpojnost, zmrzljinska odpornost in podobno, vendar te lastnosti pri ometanih in ustrezno izoliranih zidovih ne igrajo bistvene vloge.

Opeka sodi med zelo trajna in odporna gradiva, toliko bolj, če je narejena iz kakovostne gline in ustrezno sušena in žgana. Med glavne vzroke, zaradi katerih propada, prav gotovo posredno spada voda, ki prodira vanjo s kapilarnim vlekcom. Za opeko so škodljivi predvsem kristalizacijski pritiski vodotopnih soli, ki jih transportira voda. V manjši meri opeka propada tudi zaradi mehanskih vplivov, kot je izpostavljenost udarcem in obrusu.

Poleg zgoraj opisanih vzrokov za propadanje samih opečnih gradnikov opečne konstrukcije propadajo tudi zaradi neugodnih vplivov drugih konstrukcijskih elementov ali vplivov na konstrukcijo kot celoto. Tako opečni zidovi lahko razpadajo zaradi neustrezne povezanosti ali dotrajane vezne malte, hujših dinamičnih vplivov iz okolice (npr. potres), diferenčnega posedanja itd.

### 2.3.4 Malte

Malte so vezna gradiva, ki nastanejo s strjevanjem homogene kašaste snovi, sestavljene iz mineralnega veziva, agregata ali polnila, vode in dodatkov (umetni kompozit). Malte se pripravlja ročno ali strojno, pomembno pa je zaporedje mešanja posameznih komponent, ki ni enako pri vseh vrstah malt. Po procesu vezanja se zmes strdi zaradi kemičnih in fizikalnih procesov. Glede na način strjevanja delimo veziva malt na zračna (gašeno apno, mavec in glina), ki se strjujejo samo na zraku in hidravlična (cementi raznih vrst, hidravlično apno), ki se strjujejo na zraku in v vodi. Poznamo tudi ognjeodporna veziva (glina).

Malte se uporabljajo za zidanje, ometavanje, izdelavo talnih oblog, hidroizolacijo ter prekrivanje zidov in stropov. Malte za zidanje morajo predvsem medsebojno povezati osnovne zidne gradnike v trden zid. Malte za omete oziroma ometi imajo celo vrsto nalog: izravnava površin in priprava podlage, zaščita zidu in izboljšava vseh vrst izolativnosti, olajšanje vzdrževanja zglajenih površin in doseganje estetskih učinkov.

*Apno* je poleg cementa najpogosteje uporabljano vezivo v gradbeništvu. Apno ugodno vpliva na obdelovalnost, vodonepropustnost, elastičnost in lepljivost. V apneni malti je prostorninsko razmerje apna in peska  $a : p = 1 : 1$  do  $1 : 4$ , pri čemer je zaporedje dodajanja sestavin: voda + gašeno apno → apneno mleko + pesek → plastična masa (malta).

*Cement* je najpomembnejše hidravlično vezivo, ki se uporablja za izdelavo betonov in malt. Pridobiva se z žganjem mešanice mineralov v rotacijski peči, kjer nastane pepelu podoben cementni klinker. Temu se po ohladitvi doda sadra, mešanica pa se zmelje v fin prah, imenovan portland cement. Cement ugodno vpliva predvsem na trdnost, vodonepropustnost,

odpornost in hitrost vezanja. V cementni malti je prostorninsko razmerje cementa in peska  $c : p = 1 : 1$  do  $1 : 4$ , pri čemer je zaporedje dodajanja sestavin: cement + pesek (suho mešanje) → dodajanje vode → plastična masa (malta). V podaljšani cementni malti, to je cementni malti z dodatkom apna, so običajna prostorninska razmerja cementa, apna in peska  $c : a : p = 1 : 1 : 5$ ,  $1 : 2 : 5$ ,  $1 : 1 : 6$ ,  $1 : 2 : 6$ ,  $1 : 2 : 8$ , pripravi pa se v naslednjem zaporedju dodajanja sestavin: cement + apno + pesek (suho mešanje) → dodajanje vode → plastična masa (malta).

Večji del malte sestoji iz agregata, ki je lahko naravnega ali umetnega izvora. Agregat mora imeti ustrezno granulometrijsko oziroma frakcijsko sestavo, pomembna pa je tudi velikost maksimalnega zrna. Ta pri večini malt ne presega 4 mm, tako da ima pri maltah največji delež pesek. Polnilo ali agregat ugodno vpliva na trdnost in ekonomičnost. Sestavina malt je tudi ustrezno čista voda, ki vpliva na plastičnost, hidratacijo in obdelovalnost. Dodatki omogočajo uravnavanje procesa vgradnje, strjevanja in lastnosti strjene malte. Delimo jih na plastifikatorje, pospeševalce in zavlačevalce vezanja, aeratorje in pigmente.

Kakovost in primernost malt se preskuša v svežem in strjenem stanju. Preskuša se kakovost osnovnih sestavin (vezivo, pesek, voda, dodatki), konsistenca sveže mešanice ter trdnost, vodonepropustnost, zmrzljinska odpornost in ostale lastnosti strjene malte.

Trajnost ometa in ostalih slojev iz malt je odvisna od njihove kakovosti, kakovosti podlage, mehanskih vplivov in ostalih vplivov okolja. Najpogostejše poškodbe ometov so:

- školjkasto luščenje zaradi večjih zrn živega apna, ki se v stiku z vlago gasi, nabreka in ruši strukturo ometa,
- cvetenje ometa zaradi soli, ki se izločajo na podlagi (eflorescenca zidov) ali znotraj posameznih plasti ometa,
- pokanje ometa zaradi krčenja, ki nastane zaradi nesorazmerno velikih količin cementa v mešanici,
- odpadanje ometa zaradi slabo pripravljene podlage, slabe nege ometa med strjevanjem (cementni ometi), predčasnega sušenja ali zmrzovanja ometa,

- pokanje ometa zaradi preobremenitev podlage (posedanje zidov) ali delovanja reg (dilatacij), ki ne smejo biti prekrите z ometom,
- delovanje alg ali plesni na območju toplotnih mostov, kjer se kondenzira vlaga (slabo toplotno izolirana podlaga).

### **2.3.5 Beton**

Beton je umetni kompozit, sestavljen iz različnih komponent. Komponente so vezivo (cement, asfalt), agregat, armatura (jeklo, tkanine, vlakna), voda in različni dodatki. Dobro pripravljen, gost ter za vodo in druge medije slabo prepusten beton lahko dosega velike trdnosti in je razmeroma odporen na zunanje vplive in staranje. Kljub temu beton seveda ni trajen material, pri čemer se je to spoznanje dokončno utrdilo v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja.

Beton je največkrat keramični kompozit, pri katerem je mineralni agregat polnilo v matrici iz cementnega kamna. Agregat tvori večino betonske mase in je zato njegov izbor ključnega pomena za kakovost in lastnosti betona. Cementni kamen otrdelega betona nastane v procesu hidratacije in strjevanja cementne paste. Ta nastane z mešanjem cementa, vode in različnih dodatkov, s katerimi se regulirajo lastnosti betona. Betonska struktura vsebuje določeno število odprtin in zaprtih por, ki jih zapolnjuje zrak.

Beton so v novejšem času ponovno začeli uporabljati v devetnajstem stoletju. Danes je najbolj zastopano gradivo v sodobnem graditeljstvu. Grajenje z betonom je razmeroma enostavno, hitro in poceni. Pri zidanih zgradbah so betonski oziroma armiranobetonski predvsem najbolj izpostavljeni ali obremenjeni deli nosilne konstrukcije, kot so temelji, kletni zidovi, etažne konstrukcije, stopniščne rame, podesti, preklade, stebri in nosilci.

Pomembne mehanske lastnosti betona so tlačna trdnost, upogibna natezna trdnost, cepilna natezna trdnost, modul elastičnosti in gostota betona. Poleg mehanskih lastnosti so pomembne tudi tehnološke lastnosti betona kot so obrabnost, vodotesnost, zmrzljinska odpornost in prostorninska stabilnost.

Do propadanja betona prihaja zaradi podnebnih in ostalih agresivnih vplivov iz okolja ter zaradi delovanja konstrukcije. Vzroke za propadanje delimo v štiri skupine. Vzroki so lahko mehanski, fizikalni, kemični in elektrokemični ter biološki.

Razpadanje betona zaradi kemičnih in fizikalnih vplivov je v prvi vrsti posledica prodiranja agresivnih snovi v porozno strukturo betona. Agresivne snovi prodirajo v beton na različne načine in sicer s fizikalnimi procesi vpijanja (absorpcija), difuzije in tečenja pod pritiskom. Ti procesi lahko potekajo s pomočjo vode, zato je za korozijo betona prisotnost vlage oziroma vode v porah cementnega kamna odločilna. V splošnem lahko rečemo, da razpoke omogočajo hitrejši vstop agresivnih snovi v notranjost prereza betonske konstrukcije, zato na mestu razpoke katerikoli proces razpadanja poteka pospešeno.

### **2.3.6 Železo in jeklo**

Čisto železo je razmeroma mehka kovina, ki se pridobiva iz železove rude. Njegova uporabnost se poveča z dodajanjem ogljika (legiranje). Lita železa vsebujejo od 2 do 4,5 % ogljika in imajo velik razpon lastnosti uravnanih s sestavo in načinom obdelave. Bele in sive zlitine so značilno krhke, z dodatki pa se lahko proizvedejo tudi duktilne zlitine. Poznamo tudi kovna železa, ki so skoraj čista železa z dodano žlindro z visoko vsebnostjo silicija. Zelo razširjeno jeklo oziroma jeklove zlitine uvrščamo med železne zlitine ali ferolegure in vsebujejo od 0,05 do 2 % ogljika. Že samo ime pove, da je osnovna konstrukcijska kovina železo, to je prečiščeni proizvod železove rude, kateremu so zaradi izboljšanja lastnosti dodane še druge kovine. Jeklo uvrščamo med najbolj popolna konstrukcijska gradiva. Prenaša visoke mehanske obremenitve in se ga da oblikovati z mehanskimi in toplotnimi postopki.

Jeklo so začeli na veliko uporabljati v graditeljstvu šele v času industrijske proizvodnje sredi devetnajstega stoletja. Pred tem sta se bolj uporabljala lito in kovno železo. Lito železo se je veliko uporabljalo tudi za konstrukcijske namene, vendar se je zaradi visoke vsebnosti ogljika in s tem povezane krhkosti uporabljalo predvsem za tlačno obremenjene elemente. Uporaba jekla v konstrukcijah je bila omejena na spojna sredstva in vezi. Masovna uporaba jekla v

konstrukcijske namene se je zares začela konec devetnajstega stoletja, ko je cena jekla zaradi sodobne tehnologije proizvodnje padla. Danes je jeklo po masovni uporabi takoj za betonom. Uporablja se kot samostojno konstrukcijsko gradivo ali v kombinaciji z drugimi gradivi.

Pri starejših zidanih zgradbah se je jeklo uporabljalo v manjšem obsegu. Iz jekla so bila razna spojna sredstva in natezne vezi zidov s pripadajočimi ključi. Jekleni nosilci so skupaj s plitkimi opečnimi oboki tvorili stropne konstrukcije imenovane pruska čepica ali pruski svod, uporabljali pa so jih tudi za glavne nosilne elemente stopniščnih ram in podestov. Konzolni jekleni nosilci so velikokrat predstavljali nosilni element balkonov. Pri novejših ali rekonstruiranih zidanih stavbah se jeklo uporablja za armiranje betonskih elementov, za razna sidra, spojna sredstva in natezne vezi, kot tudi za samostojne nosilne konstrukcije galerij, teras, požarnih stopnišč in za nosilno konstrukcijo ostrešij večjih razponov.

V sodobni industriji se železo večinoma uporablja za izdelavo raznih vrst jekla in drugih železovih zlitin z ogljikom, silicijem, nikljem, kromom in magnezijem. Jeklo je po uporabi najbolj razširjena železova kovina. Njegove lastnosti so odvisne od vrste in količine dodanih legirnih elementov, med katerimi je najpomembnejši ogljik.

V livarnah in valjarnah izdelujejo različne jeklene izdelke. Na trgu se jeklo običajno dobi v obliki palic, raznih nosilcev, plošč, pločevin, cevi in žic. V različnih standardih se za enako kakovost jekla uporabljajo različne oznake. Običajno črkovni oznaki za jeklo sledi številčna oznaka meje plastičnosti ali natezne trdnosti, dodatne številčne ali črkovne oznake pa opišejo še detajlnejše mehanske karakteristike.

Najbolj značilne mehanske lastnosti kovin se lahko ugotovijo na osnovi nateznega preizkusa kovinske epruvete. Na podlagi diagrama dobljenega z nateznim preizkusom se lahko določijo: meja elastičnosti, meja plastičnosti, trdnost, porušna trdnost, elastičnost, žilavost in duktilnost kovine.

Železove kovine so občutljive na oksidacijo, saj se kisik iz okolja veže z železom v železov oksid – rjo. Proces se imenuje korozija. Korozijo poleg kisika pospešujejo tudi drugi elementi, zlasti ko se pojavijo kot raztopine v vodi.

Čiste kovine imajo različno tendenco do oksidacije oziroma redukcije. Glede na višino elektrokemijskega potenciala so razvrščene po elektrokemijski napetostni vrsti. To pomeni, da stik dveh različnih kovin in elektrolita – voda je tipični elektrolit – tvori galvanski člen. Ena izmed kovin deluje kot anoda, druga kot katoda in zaradi elektrolize prihaja do prehoda kovinskih ionov iz ene na drugo. S tem se površina obeh spremeni, erodira, proces pa je znan kot galvanska korozija.

### **2.3.7 Les**

Les je naraven, vlaknast, organski kompozit iz celuloznih vlaken v matrici lignina, ki vsebuje še dodatne komponente iz organskih spojin in anorganskih kristalov. Les razvrščamo na les listavcev, les iglavcev in tropski les. Strukturo lesa tvorita dve skupini tkiv. Prva skupina tkiv služi fiziološkim nalogam, druga pa nosi celotno zgradbo (zagotavlja trdnost in togost lesa). V prvi skupini ločimo tkivo, ki prevaja snovi in tkivo, ki akumulira in razporeja hranljive snovi. Prevajanje vode in rudninskih snovi ter nalaganje rezervnih snovi sta omejena na mlajši, zunanji del lesa (beljava). Starejši, osrednji in ponavadi temnejši del (srčevina ali črnjava) daje rastlini trdnost in oporo.

Les je ena izmed osnovnih dobrin, ki si jih je prisvojil človek in tudi eno prvih gradiv, ki ga je začel uporabljati. Kot gradivo je bil potem neprestano uporabljan do današnjih dni. Pri starejših zidanih zgradbah so les v konstrukcijske namene uporabljali predvsem za nosilne elemente stropnih konstrukcij, za izdelavo ostrešij, razne balkone in gange, preklade nad zidnimi odprtinami, redkeje pa tudi za pilote temeljnih konstrukcij. V sodobnem gradbeništvu ga uporabljamo za mnoge namene, izmed katerih je vloga plemenitega materiala zaradi naravnega izvora in visoke estetske vrednosti samo ena izmed njih.

Predelava lesa se prične v gozdu, kjer se lesna masa podrtega drevja predeluje v industrijski les (tehnični les in les za kemično obdelavo), kurivo in les za oglje. V tehnični uporabi ločimo trdi (listavci) in mehki (iglavci) les. V splošnem gradbeni les pomeni uporabo lesa, ki je predelan v obliko rezanega lesa, lameliranega lesa in različnih lesnih plošč.



Gostota lesa je ena pomembnejših fizikalnih lastnosti lesa. Ker je les porozen, saj je zgrajen iz trdnih celičnih membran in fine mreže por, pri obravnavanju mase prostorninske enote lesa ločimo maso prostorninske enote lesa kot poroznega telesa (gostota lesa) in maso prostorninske enote lesne snovi iz katere so zgrajene lesne celice (specifična masa ali gostota lesne snovi). Vlažnost lesa je odvisna od količine vode, ki je prisotna v lesni masi, bodisi kot prosta ali vezana voda. Prosta kapilarna voda se neovirano pretaka vzdolž in med lesnimi celicami, vezana voda pa je sestavni del celičnih membran in vlaken ali pa je kemično vezana v lesni snovi. Prisotnost vode močno vpliva na kakovost lesa, saj vpliva na njegove mehanske lastnosti in prostorninske spremembe. Vlažnost se lahko zmanjšuje z naravnim sušenjem na zraku ali umetnim sušenjem v sušilnicah. Dopustne napetosti lesa v konstrukcijah so določene za zračno suh les. Les vpija in izpareva vodo v odvisnosti od vlažnosti okolja, zaradi česar se spreminjajo izmere in prostornina lesa oziroma les nabreka in se krči. Temu pojavu pravimo, da les deluje. Termične lastnosti lesa so slaba prevodnost toplote (toplotni izolator), razmeroma majhne deformacije zaradi temperaturnih sprememb in razmeroma velika kaloričnost.

Požarna odpornost lesa je ne glede na vrsto odvisna od časa izpostavljenosti visokim temperaturam. Les je vnetljiv, gori intenzivno in ima sposobnost širjenja plamena. Med gorenjem se sproščajo relativno velike količine dima, značilno pa je tudi naknadno tlenje. Pri gorenju lesa se ne razvija veliko strupenih plinov, ne nastajajo razpoke ter deformacije in agregatno stanje ostaja nespremenjeno. Izkušnje kažejo, da imajo lesene konstrukcije požarno odpornost med 20 in 70 minutami. V primerjavi z nezaščiteno jekleno konstrukcijo enake nosilnosti je les v očitni prednosti. Lesu, izpostavljenemu povišanim temperaturam, se znižajo mehanske lastnosti. Hitrost izgorevanja po globini lesa znaša pri hrastu okoli 0,3 mm / min, medtem ko je pri ostalih vrstah lesa okoli 0,6 mm / min.

Les je material, ki je anizotropen po mehanskih lastnostih, občutljiv na spremembe temperature in delovanje vlage ter na trajanje vplivov. Osnovne mehanske lastnosti lesa so elastičnost, trdnost in trdota, odpornost na obrabo in lezenje. Izrazito so odvisne od obravnavane smeri, fizičnih lastnosti, kakovosti in nepravilnosti v strukturi.

Eden izmed vzrokov za propadanje in manjšo uporabno vrednost lesa so napake v strukturi in poškodbe lesa. Med slednje sodijo napake, ki nastanejo kot posledica sušenja lesa. To so predvsem površinske, čelne in notranje razpoke ter zvijanje. Barvne napake so posledica delovanja insektov, nepravilnega procesa rasti v obdobjih izredno hladnih zim, vdora kisika in delovanja glivic od skorje proti sredini debla (preperelost). Resnejše poškodbe lesa in vpliv na njegove lastnosti povzročajo glivice, ki poleg barve spreminjajo tudi konsistenco lesa. Insekti povzročajo poškodbe, ki so v primerjavi z ostalimi vplivi največje. Insekti napadajo živa debela (večinoma poškodovana in obolela), neobdelan les, lesne izdelke in vgrajen les. Les uporabljajo za hrano in prebivanje. Škodo povzročajo z rovi, ki prekinjajo kontinuiteto lesnih vlaken, uničujejo površino in omogočajo prodor zunanjih vplivov v globino lesa.

Na čistem in suhem zraku ali v vodi je les praktično neomejeno trajen, če je zaščiten pred glivicami in insekti. Na razpadanje lesa močno vpliva sprememba okolja, kot je to na primer pri lesenih elementih v območjih, ki so močno izpostavljena zaporednemu močenju in sušenju.

## **2.4 Izboljšanje zmogljivosti obstoječe zgradbe**

Eden izmed vzrokov za rekonstrukcijo obstoječe zidane zgradbe je želja po izboljšanju njenih zmogljivosti. Na tem mestu govorimo predvsem o izboljšanju zmogljivosti oziroma utrditvi nosilne konstrukcije in izboljšanju gradbeno fizikalnih lastnosti stavbe.

Velikokrat je povod za konstrukcijsko utrditev na videz neproblematične starejše stavbe ozaveščenost lastnika oziroma upravnika, ki se zaveda napredka stroke skozi leta in želi zgradbi zagotoviti času ustrezno varnost. Vzpodbuda za tako razmišljanje so največkrat naravne in druge nesreče, ki kratkoročno dvignejo zavest javnosti o nevarnosti. Rekonstrukcijam so zaradi tega vzroka podvrženi predvsem pomembnejši javni objekti, kot so na primer šole, redkeje pa tudi individualne stanovanjske hiše. Rekonstrukcija je lahko potrebna tudi zaradi spremenjene namembnosti zgradbe in s tem povečanih vplivov (obtežb). Pri tem ni nujno, da gre za spremembo celotne pisarniške stavbe v skladiščno, ampak lahko odločilno vpliva že namestitev telekomunikacijskega zabojnika na streho ali ureditev arhiva.

Ravno pri teh na videz manjših posegih je ponovno pomembna ozaveščenost lastnika oziroma njegovih strokovnih služb. Do rekonstrukcije oziroma konstrukcijske utrditve lahko pripeljejo tudi poškodbe konstrukcije, ki nastanejo zaradi preobremenitve, posedanja temeljev itd.

Podobno k odločitvi po izboljšanju gradbeno fizikalnih lastnosti stavbe pripelje želja po izboljšanju bivalnega ugodja. Pri kritičnih primerih se neustrezne razmere lahko kažejo skozi že prisotne težave, kot so vlažna in plesniva mesta in posledično neustrezne higienske razmere. Dodaten motiv je zmanjšanje porabe energije in s tem prihranek pri obratovalnih stroških oziroma iskanje alternativnih energetskih virov. Z zmanjšanjem porabe energije se sočasno zmanjša tudi obremenitev okolja z izpustom ogljikovega dioksida in ostalih škodljivih snovi.

## **2.5 Zahteve zakonov, predpisov in standardov**

Graditev ali ožje gradnjo regulirajo zakoni. V Sloveniji je krovni zakon s tega področja Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). Zakon določa osnovna pravila in zahteve, skozi hierarhično strukturo predpisov, standardov in ostalih dokumentov pa so le-te točneje definirane. Osnovne zahteve, ki jih mora skladno z zakonom izpolnjevati tako nov kot rekonstruiran objekt, so:

1. mehanska odpornost in stabilnost,
2. varnost pred požarom,
3. higienska in zdravstvena zaščita ter zaščita okolice,
4. varnost pri uporabi,
5. zaščita pred hrupom in
6. varčevanje z energijo in ohranjanje toplote.

Za pridobitev gradbenega dovoljenja je poleg ostalih pogojev potrebno izdelati ustrezno projektno dokumentacijo, ki objektu zahtevane lastnosti zagotavlja. Zahteve, ki jim moramo pri izdelavi projektne dokumentacije oziroma posameznih načrtov ugoditi, so podrobneje podane v predpisih, standardih in ostalih povezanih dokumentih. Tako so zahteve v zvezi z mehansko odpornostjo in stabilnostjo (prva alineja zahtev ZGO-1) natančneje definirane v

Pravilniku o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov. Le-ta določa, da so zahteve glede nosilne konstrukcije prvenstveno podane v evropskih standardih Evrokod, ki jih je potrebno upoštevati ob izdelavi načrta gradbenih konstrukcij. Zahteve v zvezi z varčevanjem z energijo in ohranjanjem toplote (šesta alineja zahtev ZGO-1) so pretežno podane v Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah (s 15. oktobrom 2008 je v veljavi novi Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, ki v delu še ni upoštevan), zagotoviti pa jih je potrebno ob izdelavi načrta arhitekture in načrta strojnih inštalacij. Ostale zahteve (druga do peta alineja zahtev ZGO-1) so natančneje podane v drugih dokumentih, ki na tem mestu niso omenjene, saj nimajo večjega pomena za temo dela.

Zahteve, ki jim morajo ugoditi novozgrajeni objekti, se z leti stopnjujejo. Strožjih zahtev pri nespremenjeni uporabi in vzdrževanju že obstoječih stavb ni potrebno upoštevati. Izjema so nekateri pomembnejši starejši javni objekti, kot so na primer šole in bolnišnice, kjer lastnike v izpolnjevanje aktualnih zahtev, kot sta na primer potresna odpornost in ugodje bivanja, sili zavest o namembnosti in pomembnosti teh stavb ter stroški uporabe.

Nasprotno je strožje zahteve modernih predpisov nujno upoštevati v primeru posegov na zgradbi, ki pomenijo rekonstrukcijo in je torej zanje potrebno gradbeno dovoljenje. Pri tem je potrebno zahtevam zadostiti s celotno konstrukcijo, enako kot pri na novo zgrajenem objektu. Ko govorimo o obnovi in prenovi obstoječih objektov, Zakon o graditvi objektov jasno določa, kdaj gre za rekonstrukcijo, za katero je potrebno pridobiti gradbeno dovoljenje. Rekonstrukcija je spreminjanje tehničnih značilnosti obstoječega objekta in prilagajanje objekta spremenjeni namembnosti ali spremenjenim potrebam oziroma je to izvedba del, s katerimi se bistveno ne spremeni velikost, spreminjajo pa se konstrukcijski elementi in zmogljivost ter izvedejo druge izboljšave. V kolikor gre za še drastičnejše posege v zgradbo, lahko smatramo, da gre na nek način za novogradnjo, kjer je potreba po gradbenem dovoljenju toliko bolj samoumevna. Pri posegih na obstoječih zgradbah je torej potrebno pridobiti gradbeno dovoljenje v primeru posega v nosilno konstrukcijo, v primeru večje spremembe gabaritov in drugih obsežnejših posegih.

V primeru rekonstrukcije je bistvena razlika med izboljšanjem zmogljivosti nosilne konstrukcije in gradbeno fizikalnih razmer v tem, da je pri slednjih skladno s Pravilnikom o

toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah in Zakonom o graditvi objektov potrebno aktualne zahteve v celoti upoštevati samo v primeru, če so dane tehnične možnosti za njihovo izvedbo in če so upoštevani pogoji varstva kulturne dediščine. V kolikor temu ni tako, je potrebno upoštevati samo močno okrnjene zahteve, ki se skrčijo zgolj na pogoje glede toplotne prehodnosti zasteklitev in okvirjev zidnih odprtih ter termostatskih ventilov toplotnih teles. Standardi Evrokod na drugi strani nimajo vgrajenih nižjih zahtev za nosilno konstrukcijo starejših objektov glede na novogradnje, kar je hud problem predvsem v primeru obnove sakralnih in drugih objektov kulturne dediščine. To področje bo zaradi tega v bodoče potrebno dodatno regulirati.

Zagotavljanje ustreznih gradbeno fizikalnih razmer v zgradbah ima še nekaj prednosti glede na zahteve konstrukcijske utrditve. Določeni posegi, ki prispevajo k zmanjšanju porabe energije in s tem manj obremenjujejo okolje, so namreč finančno stimulirani s strani države in Evropske skupnosti. Poleg tega za te posege večinoma ni potrebno pridobiti gradbenega dovoljenja, saj so obravnavani kot investicijsko vzdrževanje. Vzpostavitev ustreznega stanja bo še dodatno stimulirana z uvedbo energetske izkaznice, ki je informacijsko promocijski inštrument. Energetska izkaznica bo spodbujala k izgradnji, rekonstrukciji, nakupu ali najemu energetske učinkovitejših stavb, lastniku obstoječega objekta pa bo svetovala, kako z gospodarnimi naložbami preiti v boljši razred po energetske učinkovitosti.

### 3 POTEK REKONSTRUKCIJE

Z začetkom aktivnosti glede rekonstrukcije določene zidane stavbe oziroma z analizo smotrnosti le-te stopimo na dolgo pot. Praviloma je najprej potrebno pregledati dostopno tehnično in projektno dokumentacijo o objektu, ki žal ni vedno na voljo. Zelo dobrodošlo je tudi poznavanja gradbenih standardov v času gradnje in splošne gradbene prakse tedanjega časa. Po vizualnem pregledu konstrukcijske zasnove in poškodb stavbe lahko sestavimo program detajlnega pregleda zgradbe. Med detajlnim pregledom nato z različnimi meritvami in preiskavami, med katerimi so nekatere povezane tudi z globinskim sondiranjem, preverimo dejansko konstrukcijsko zasnovo in stanje materialov. Lastnosti in kakovost materialov se v veliki meri določajo tudi laboratorijsko na odvzetih vzorcih. Obseg sondiranja in preiskav je v primeru, da je na razpolago ustrezna dokumentacija o stavbi, lahko seveda manj obsežen, saj gre v tem primeru pretežno za dokazovanje skladnosti izvedenega stanja s projektom in za identifikacijo morebitnih skritih napak. V splošnem moramo pridobiti naslednje podatke o stavbi:

- posnetek stanja, vključno s katastrom poškodb,
- prvotni namen stavbe in upoštevani vplivi (obtežbe) ob projektiranju,
- starost zgradbe, način gradnje v določenem obdobju, morebitne faze gradnje, predelave konstrukcije in sanirane poškodbe,
- kategorija temeljnih tal (skladno s SIST EN 1998-1:2005),
- način in kakovost temeljenja,
- konstrukcijski sistem (nosilne) konstrukcije in njena regularnost (skladno z zahtevami SIST EN 1998-1:2005), vpliv nekonstrukcijskih elementov,
- dimenzije nosilnih elementov vertikalne konstrukcije, medetažnih konstrukcij ter ostrešja,
- način povezave med medetažnimi konstrukcijami in elementi vertikalne konstrukcije, ki prevzemajo potresne vplive (obtežbo),
- mehanske karakteristike in stanje vgrajenih materialov,
- napake v izvedbi zasnove, detajlov ter materialov in
- bodoči namen konstrukcije in predvideni vplivi (obtežbe).

Glede na količino in kakovost pridobljenih podatkov določimo skladno s SIST EN 1998-3:2005 raven poznavanja oziroma vedenja o stavbi (ang. knowledge level – KL):

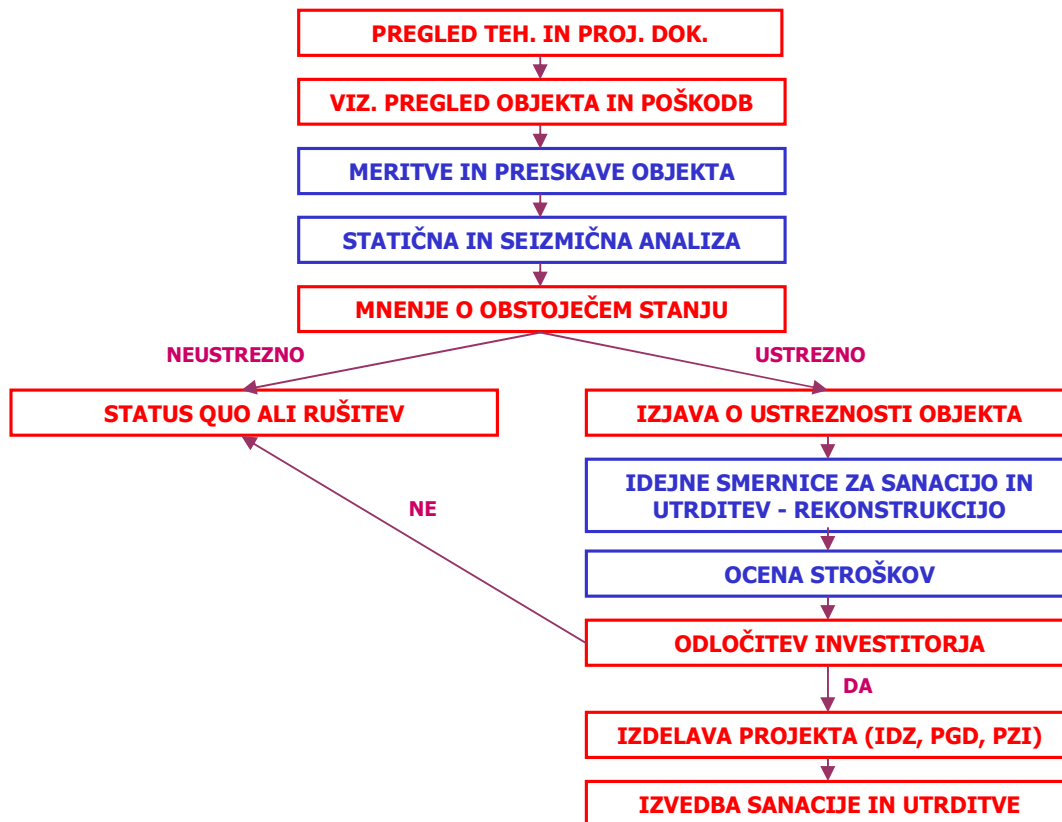
- KL1: omejeno vedenje (ang. limited knowledge),
- KL2: običajno oziroma normalno vedenje (ang. normal knowledge) in
- KL3: popolno vedenje (ang. full knowledge).

Za vsako stopnjo so predpisane dovoljene metode analize in faktorji zanesljivosti (ang. confidence factor – CF), ki jih pri tem lahko uporabljamo.

Z določenim poznavanjem konstrukcijske zasnove, materialnih karakteristik in vplivov (obtežb) lahko pristopimo k statični in seizmični analizi. Na podlagi ugotovljenih dejstev se izdelava mnenje oziroma poročilo o obstoječem stanju zgradbe in morebitnih nameravanih spremembah. V kolikor je stanje zgradbe neustrezno oziroma nezadovoljivo, se proces navadno ustavi, še posebej ob zahtevi spomeniškega varstva (Zavod za varovanje kulturne dediščine Slovenije – ZVKDS) o ohranjanju stavbe, v nasprotnem pa se lahko sprejme tudi odločitev o rušitvi. V kolikor je ugotovljeno stanje ustrezno oziroma zadovoljivo, se o tem pripravi izjava oziroma podrobnejše poročilo (pred zadnjo spremembo Zakona o graditvi objektov (ZGO-1) je bilo to eksplicitno zahtevano v 2. točki 38. člena – po novem je ta člen črtan). V okviru poročila se običajno poda idejne smernice za utrditev in sanacijo, na podlagi katerih je možna ocena stroškov. V kolikor so ti sprejemljivi, se nadaljuje s pripravo projektne dokumentacije (Idejna zasnova IDZ, Projekt za pridobitev gradbenega dovoljenja PGD, Projekt za izvedbo PZI) in dejansko izvedbo rekonstrukcije.

Opis in vrstni red potrebnih dejavnosti, ki jih je potrebno izvesti za sanacijo in utrditev objekta v okviru aktualne prakse, je shematsko prikazan z diagramom poteka (*Slika 3.1*). Pri tem se uvodni del procesa dostikrat zaradi varčevanja na nepravem mestu skrajša z izpuščanjem določenih faz dela (minimalni še možni program dela je v diagramu označen z rdečo barvo). To lahko pripelje do napačnih odločitev, saj je v prvem delu izpuščene faze procesa treba izvesti kasneje v fazi projektiranja. Naknadne ugotovitve o dejanskem (slabem) stanju zgradbe v fazi projektiranja ali celo izvedbe imajo praviloma zelo negativne finančne in

časovne posledice. Ravno tako se lahko zgodi, da posledično končno stanje ne ustreza zelenemu.

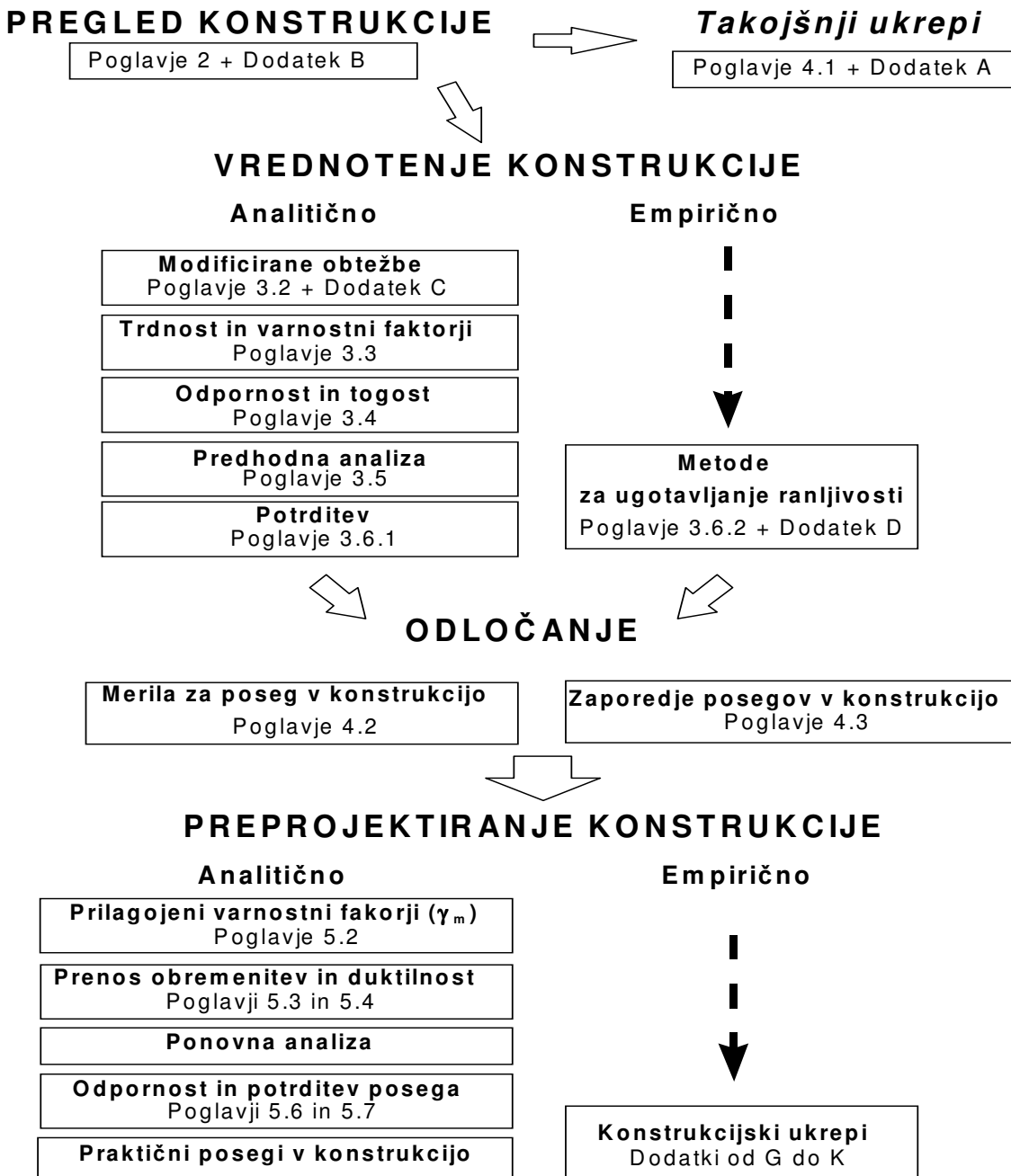


Slika 3.1: Diagram poteka aktivnosti pri utrditvi (zidane) zgradbe

Figure 3.1: Flow chart of retrofit activities of a (masonry) building

Predstavljeni diagram poteka aktivnosti pri utrditvi (zidane) zgradbe se je izoblikoval na podlagi zahtev aktualnih predpisov in standardov ter praktičnih izkušenj. Diagram je zelo podoben osnovnim korakom diagrama poteka posegov v konstrukcijo zaradi zagotavljanja njene potresne odpornosti, kot je bil predlagan že v SIST ENV 1998-1-4, 2000 (Slika 3.2).

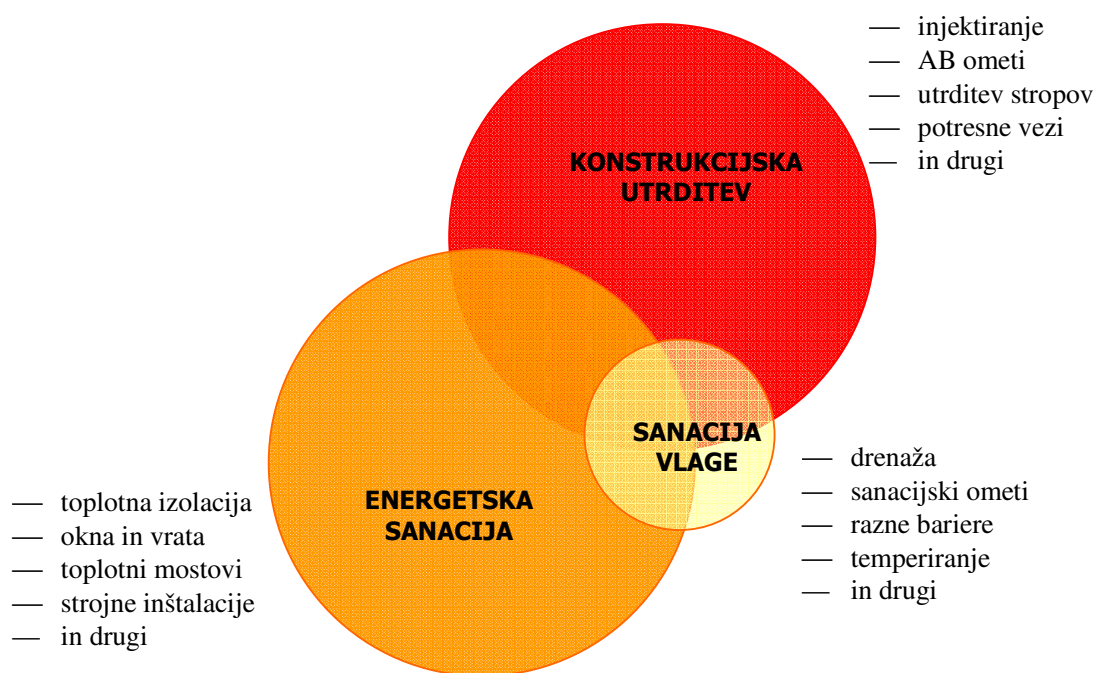




Slika 3.2: Diagram poteka posegov v konstrukcijo zaradi zagotovitve njene potresne odpornosti (SIST ENV 1998-1-4, 2000)

Figure 3.2: Flow chart of interventions for achieving earthquake-resistance of the structure (SIST ENV 1998-1-4, 2000)

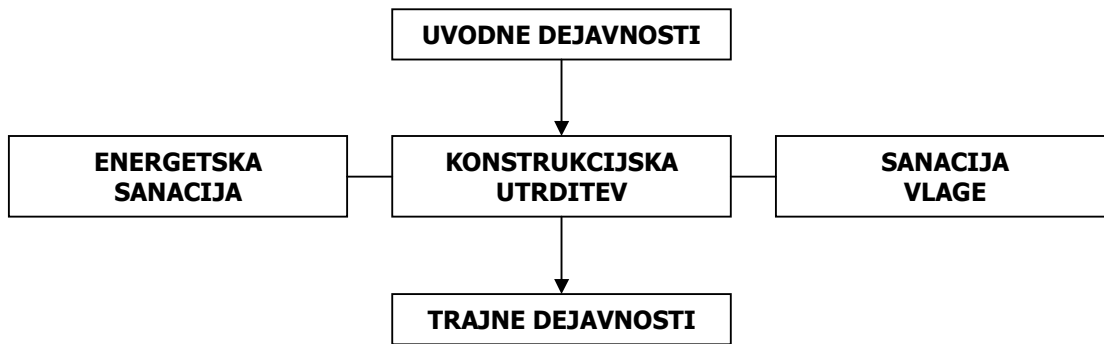
Oba predstavljeni diagrama poteka se osredotočata zgolj na utrditev nosilne konstrukcije. Kot pa smo ugotovili v prejšnjem poglavju, je *konstrukcijska utrditev* samo eden izmed aspektov izboljšanja zmogljivosti obstoječe zgradbe. Drugi vidik je izboljšanje gradbeno fizikalnih lastnosti stavbe, predvsem glede prenosa toplote in vlage ter v smislu *energetske sanacije*, tretji pa je *sanacija vlage, ki udara iz terena*. Pri tem so mnogi ukrepi za zagotavljanje navedenih ciljev v medsebojni odvisnosti, zato je pri njihovem načrtovanju smotrna interdisciplinarnost, pri izvajanju pa sočasnost (Slika 3.3).



Slika 3.3: Povezanost aspektov izboljšanja zmogljivosti zgradbe

Figure 3.3: Relationship among different aspects for improving building performance

Diagram poteka aktivnosti pri utrditvi zidanih zgradb (Slika 3.1) bo v smislu trajnostnega pristopa zato potrebno dopolniti tako z elementi za izboljšanje celovite zmogljivosti obstoječe zgradbe, kot tudi z uvodnimi in trajnimi dejavnostmi za zagotavljanje trajnostnega pristopa in njegovega izvajanja (Slika 3.4).



*Slika 3.4: Zasnova diagrama poteka za trajnostni pristop k utrditvi zidanih zgradb*

*Figure 3.4: Flow chart concept of sustainable approach to the retrofit of masonry buildings*

## 4 KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV

### 4.1 Splošno

Ob rekonstrukciji (zidane) zgradbe moramo le-tej zagotoviti ustrezno nosilnost in stabilnost ter potresno odpornost skladno s predpisi in aktualnimi dognanji stroke. To dosežemo z utrditvenimi ukrepi, s katerimi izboljšamo zmogljivost nosilne konstrukcije zgradbe.

Z utrditvenimi ukrepi izboljšamo nosilnost in stabilnost konstrukcije na različne načine. Z nekaterimi dosežemo izboljšanje mehanskih karakteristik obstoječih konstrukcij in materialov, drugi se nanašajo na dodajanje novih nosilnih elementov v konstrukcijski sistem, tretji pa na vzpostavitev medsebojne povezanosti konstrukcijskih elementov. Nekateri ukrepi imajo tudi kombiniran učinek. Izboljšanje mehanskih karakteristik obstoječih konstrukcij in materialov ter dodatni nosilni elementi prispevajo k večji nosilnosti konstrukcije. Po drugi strani ustrezna medsebojna povezanost nosilnih elementov spremeni zasnovo in s tem obnašanje celotne konstrukcije, s čimer prispeva predvsem pri povečanju odpornosti na dinamične vodoravne obremenitve.

Utrditveni ukrepi večinoma predstavljajo posege v obstoječe konstrukcijske sklope oziroma njihovo nadgradnjo. Ob projektiranju in izvedbi moramo biti še posebej pozorni na izvedbo sidranja oziroma povezave obstoječih in novih konstrukcij ter konstrukcijskih elementov. Le tako lahko namreč dosežemo načrtovano sodelovanje novih in obstoječih konstrukcij. V nasprotnem izvedeni ukrepi ne dajo želenih utrditvenih rezultatov. S projektom predvideni utrditveni ukrepi morajo biti poleg tega seveda tudi tehnološko izvedljivi in ekonomični.

Skladno s SIST EN 1998-3:2005, ki obravnava tehnične vidike utrditve in sanacije glede mehanske odpornosti in stabilnosti, moramo v primeru rekonstrukcije stavbe narediti naslednje ukrepe:

- odpraviti vse ugotovljene lokalne grobe napake in po potrebi povečati nosilnost z utrditvijo obstoječih in vpeljavo novih nosilnih elementov,

- v primeru izrazite neregularnosti stavbe je potrebno kolikor je možno povečati njeno regularnost tako v tlorisu kot po višini, kar dosežemo z modifikacijo nosilnosti oziroma togosti zadostnega števila obstoječih delov konstrukcije ali z vgradnjo novih nosilnih elementov,
- povečati lokalno duktilnost na mestih, kjer je to potrebno,
- paziti, da povečanje nosilnosti zaradi utrditvenih ukrepov ne zmanjša razpoložljive globalne duktilnosti stavbe,
- izboljšati morebitno slabo povezavo med zidovi in stropnimi konstrukcijami in odstraniti elemente, ki povzročajo pritiske na zidove izven njihove ravnine,
- po možnosti zmanjšati maso objekta, še posebej v višjih etažah,
- po potrebi omejiti uporabo oziroma vpliv (obtežbo) ali spremeniti namembnost objekta in
- morebiti vpeljati disipacijske elemente in potresno izolacijo temeljev.

Ukrepi navedeni v zadnji alineji so pri rekonstrukcijah zidanih zgradb tako v Sloveniji kot tudi drugod še v povojih. V nadaljevanju so opisani najbolj pogosti utrditveni ukrepi tipičnih konstrukcijskih delov zidanih zgradb.

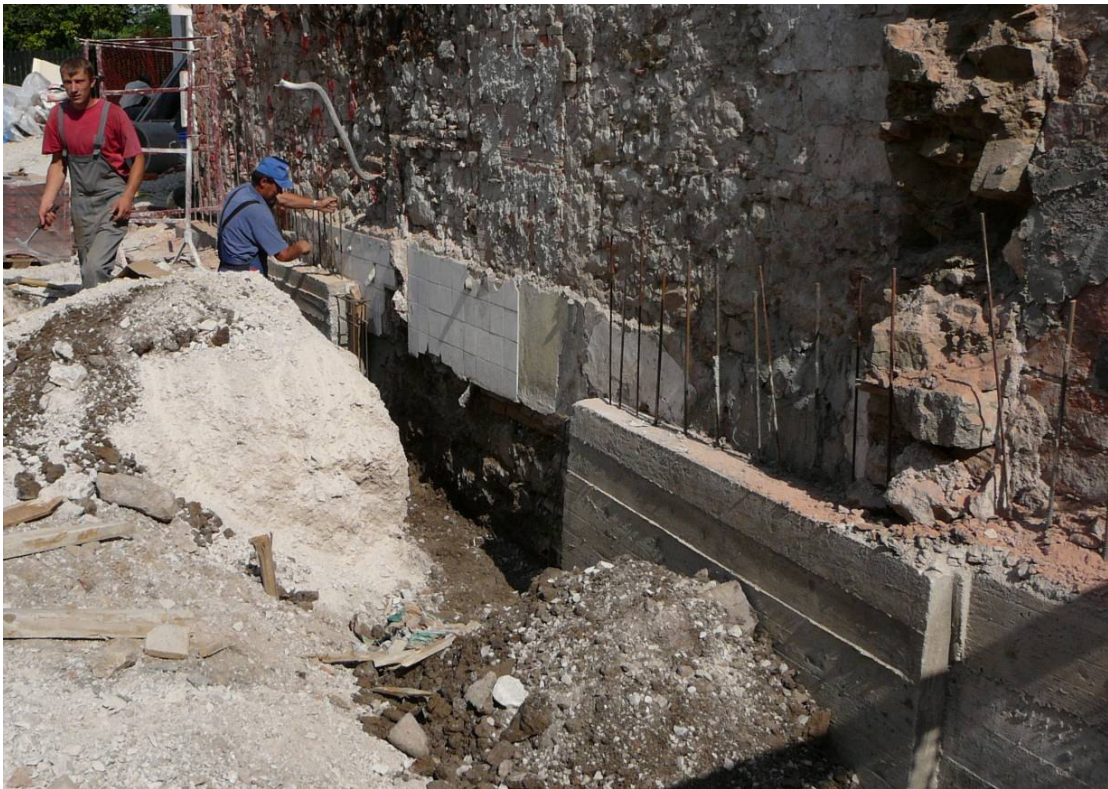
## **4.2 Opis ukrepov**

### **4.2.1 Temeljenje**

Temeljne konstrukcije starejših zidanih zgradb so skoraj vedno enostavni kamniti temeljni zidovi z rahlo razširitvijo temeljne pete, ki kot podaljšek nosilnih zidov segajo v teren. Pri novejših zidanih zgradbah večinoma srečujemo pasovne betonske temelje, ki so le redko armirani.

Kamnite temeljne zidove se največkrat utrjuje s sistematičnim injektiranjem, s katerim zapolnimo praznine med kamnitimi gradniki. Uporabljajo se cementne injekcijske mase s hidrofobnimi dodatki, s katerimi zmanjšamo vplive kapilarnega vleka vode.

V kolikor so kontaktne napetosti med temelji in temeljnimi tlemi presežene, je potrebno kamnite temeljne zidove ali betonske pasovne temelje obbetonirati. V primeru premajhne globine temeljenja, ki mora segati pod cono zmrzovanja, je potrebno temeljne konstrukcije poglobiti s podbetoniranjem. Pri pod in obbetoniranju je potrebno površine obstoječih temeljnih konstrukcij najprej očistiti in vgraditi povezovalna sidra ter po potrebi izvesti tudi kontaktni premaz. Kamnite temeljne zidove je potrebno predhodno sistematično injektirati, po betoniranju pa je potrebno linijsko injektirati tudi zgornji stik med novim in starim delom temelja. Betoniranje se izvaja po kampadah s podaljševanjem armature. V primeru predvidenega betoniranja na obeh straneh zidu se dela izvede najprej na eni in šele po tem tudi na drugi strani zidu, tako da ne ogrozimo stabilnosti objekta. Izvede se tudi zaščita pred prodiranjem vode oziroma vlage.



*Slika 4.1: Izvedba podbetoniranja in obbetoniranja temeljev*

*Figure 4.1: Application of reinforced concrete to strengthen the foundations*

## 4.2.2 Zidovi

Nosilni zidovi zidanih zgradb so zidani iz betonskih votlakov, votlih ali polnih opečnih zidakov in iz kamnitega materiala. Zidni gradniki pravilnih oblik tvorijo zidarske zveze. Gradnike skoraj zmeraj povezujejo različne malte. Pri starejših zgradbah so to pretežno apnene malte, ki imajo nemalokrat neustrezno granulacijo in organske primesi. Pri kamnitih zidovih je pogost primer, da sta zunanja sloja grajena iz deloma oblikovanega kamenja, vmesni sloj pa je nasut z nevezanim kamnitim drobirjem.

Kamniti zidovi se utrjujejo s sistematičnim injektiranjem, s katerim zapolnimo praznine v zidovih. Na ta način bolje povežemo kamnite gradnike, še posebej pri tistih kamnitih zidovih, kjer je med zunanjsima slojema delno oblikovanih kamnov nasutje iz drobirja. Postopek temelji na uvajanju redke injekcijske malte, ki se pod pritiskom skozi jeklene nastavke uvaja v zidove. Odvečna voda se nato z vzdrževanjem pritiska delno odfiltrira. Večinoma se uporabljajo cementne injekcijske mase, pri spomeniško varovanih objektih s posebnimi zahtevami pa tudi druge. Spodnji del zidov ob terenu se injektira z masami s hidrofobnimi dodatki, s katerimi zmanjšamo vplive kapilarnega vleka vode. Pred injektiranjem je notranjost zidov včasih potrebno navlažiti, saj se notranje nasutje ustrezno prepoji z injekcijsko maso le v primeru, če je dovolj vlažno in so prašni delci vezani. Pri neometanih zidovih je pred injektiranjem potrebno zatesniti površino zidov, da se prepreči iztekanje mase. V kolikor je predvidena naknadna izvedba ometa, se površinska zapora zagotovi s cementnim obrizgom. V primeru načrtovane vidne strukture kamnitega zidu je priporočljivo izvesti (površinsko) refugiranje, kjer se iz fug izpraskana slaba malta nadomesti z novo.



*Slika 4.2: Sistematično injektiranje kamnitega zidu*

*Figure 4.2: Systematic grouting of a stone masonry wall*

V primeru opečnih zidov moramo pred utrditvijo najprej sanirati razpoke. Za sanacijo širših razpok, predvsem konstrukcij zidanih iz polne opeke, se uporablja linijsko injektiranje, ki je v osnovi podobno kot že prej opisano sistematično injektiranje. Postopek temelji na uvajanju redke injekcijske malte, najpogosteje na osnovi cementa, ki se pod pritiskom skozi jeklene nastavke uvaja v razpoko, odvečna voda pa se nato odfiltrira. Pri zidovih zidanih iz votlakov ta postopek zaradi odtekanja injekcijske mase ni primeren. V takih primerih je potrebno razpoke poglobiti v obliki črke V in utore zapolniti s cementno malto.

Prvi utrditveni postopek opečnih zidov je že pri kamnitih zidovih omenjeno refugiranje, kjer se iz fug izpraska slaba malta, ki se jo nato nadomesti z novo. Postopek se praviloma izvaja najprej na eni in šele po zapolnitvi fug z novo malto tudi na drugi strani in sicer do globine največ ene tretjine debeline zidu. Postopek je zelo zamuden in zato tudi drag, tako da se uporablja predvsem za pomembnejše kulturno zgodovinske objekte.



Za utrditev opečnih zidov, predvsem zaradi povečanja potresne odpornosti stavb, se zelo pogosto uporabljajo obojestranski ali če ne gre drugače tudi enostranski armiranobetonski ometi. Zidovi se očistijo do nosilne strukture, nakar se postavijo armaturne mreže. Zelo pomembno je ustrezno sidranje mrež na robovih zidu kot tudi medsebojna povezava mrež skozi zid pri obojestranskih ometih oziroma sidranje mrež v zid pri enostranskih ometih. Sledi nanos betona v minimalni debelini 5 cm. Utrditev kamnitih zidov z armiranobetonskimi ometi ni priporočljiva zaradi prevelikih razlik v mehanskih karakteristikah tako nastalega večplastnega kompozita.



*Slika 4.3: Izvedba armiranobetonskega ometa opečnega zidu*

*Figure 4.3: Application of reinforced concrete jacket onto a brick masonry wall*

Za utrditev predvsem opečnih zidov je na voljo tudi postopek vgradnje navpičnih jeklenih armaturnih palic v jedro zidov. Predhodno izvrtane vrtime se po vstavitvi palic zapolni s cementno injekcijsko maso. Vgrajene palice izboljšajo strižno in upogibno trdnost zidov, še posebej v primeru prednapetja, ko ugodno deluje povečana tlačna napetost prereza. Postopek

ima veliko tehnološko pomanjkljivost, saj za izvedbo zahteva ustrezno dostopnost vrha zidu. V primeru napetja palic so potrebni večji posegi tudi v območju baze zidu. V primeru napetja palic je s posebnimi glavami ob točkah vpetja potrebno zagotoviti predviden nivo napetosti, saj bi se le-te v nasprotnem zaradi relaksacije jekla s časom zmanjševale.

V zadnjem času se tako pri kamnitih kot tudi pri opečnih konstrukcijah vse bolj uveljavljajo sistemi za utrditev z lepljenjem karbonskih lamel in tkanin. Ta način je dokaj nov in zato teoretično in eksperimentalno še ni dokončno razvit oziroma potrjen.

Nenazadnje je možno posamezne popolnoma neustrezne ali preveč poškodovane zidove oziroma njihove dele nadomestiti z novimi. Novi zidovi so lahko v tem primeru povezani z armiranobetonskimi navpičnimi in vodoravnimi zaključnimi vezmi ter sidrani v obstoječe konstrukcijske elemente stavbe. Na mestu obstoječih zidov je možno narediti tudi nadomestne okvirne konstrukcije, kjer je v primeru načrtovanega prevzema dela potresnega vpliva (obtežbe) potrebno uskladiti togost okvirjev s togostjo preostalih zidov.

### **4.2.3 Stropne konstrukcije**

Pri starejših zidanih zgradbah se večinoma srečujemo s potrebo po utrditvi lesenih stropov, kamnitih in opečnih obokov ter pruskih čepic ali svodov. Redkeje je potrebno utrditi poddimenzionirane armiranobetonske stropne konstrukcije. V kolikor so obstoječe stropne konstrukcije povsem dotrajane, jih lahko zamenjamo tudi z novimi, največkrat armiranobetonskimi, lahko pa seveda tudi z lesenimi ali jeklenimi.

Lesene stropne konstrukcije je v primeru manjše preobremenjenosti ali dotrajanosti možno zadovoljivo utrditi s pribitjem dvojnega opaža v dveh pravokotnih smereh z zgornje strani, s čemer dosežemo predvsem boljšo povezanost in raznos vplivov (obtežb). Stropnikom je možno povečati nosilnost in togost z dodajanjem lesenih ali jeklenih elementov, največkrat z obeh strani z medsebojno povezavo. V zadnjem času se za utrditev lesenih konstrukcij uporabljajo tudi kompozitni materiali.

V primeru izrazite poddimenzioniranosti in zdravih lesenih stropnikov je lesen strop možno utrditi z izvedbo povezovalnega sovprežnega armiranobetonskega estriha oziroma tanke tlačne plošče z zgornje strani, s katero povečamo nosilnost in zmanjšamo deformacije. Novo armiranobetonsko ploščo povežemo z lesenimi stropniki z jeklenimi mozniki. Pri tem moramo paziti na ustrezno togost vgradnje moznikov, delni zamik veznih sredstev zaradi vtiskovanja moznikov v les pa tudi računsko upoštevati. Pred betoniranjem je potrebno lesene elemente (stropniki in opaž) zaščititi pred vlago oziroma vodo iz sveže betonske mešanice. Opisani ukrep se pogosto uporablja za utrditev stropa, v kolikor (razen podpiranja) ne želimo posegati v spodnji prostor ali pa želimo lesen strop ohraniti zaradi drugih zahtev.



*Slika 4.4: Utrditev lesenega stropa s sovprežnim armiranobetonskim estrihom oziroma ploščo*

*Figure 4.4: Strengthening of a wooden ceiling with a reinforced concrete slab*

Pri obokanih stropnih konstrukcijah se praviloma uporablja enak sistem utrditve ne glede na material in zasnovo obokov. Najprej se odstranijo vsi zgornji sloji do obokov, nakar se jih zapolni z lažjim materialom. Na izravnavo se nato naredi povezovalna armiranobetonska plošča. Morebitne razpoke obokov se linijsko injektira.

Poddimenzioniranim armiranobetonskim ploščam povečamo togost z dobetoniranjem, kjer povezanost starega in novega prereza dosežemo z vgradnjo jeklenih sidrc in kontaktnim epoksidnim premazom. Premajhno količino armature nadomestimo z lepljenjem dodatne, največkrat lamelne armature, ki je lahko jeklena ali kompozitna.

#### **4.2.4 Povezava zgradbe**

Povezanost nosilnih zidov oziroma zgradbe je eden najpomembnejših elementov zagotavljanja ustrezne potresne odpornosti konstrukcije. Povezanost v višini stropnih konstrukcij vzpostavi etažni mehanizem obnašanja, pri katerem nosilni zidovi posamezne etaže prevzemajo horizontalne obremenitve skladno s svojo lego in togostjo. To v idealnem primeru dosežemo z vpetjem zgornjih robov nosilnih zidov v stropne konstrukcije, ki so toge v svoji ravnini in delujejo kot šipa.

Ustrezno togost posameznih stropov v svoji ravnini dosežemo z ukrepi, opisanimi v prejšnjem poglavju. Pri tem težimo k čim bolj istovrstnim stropnim konstrukcijam v posamezni etaži oziroma čim bolj podobni masi in togosti stropov. V smislu zagotavljanja povezanosti celotne etaže zgradbe oziroma nosilnih zidov moramo tako utrjene stropne konstrukcije na nivoju etaže tudi povezati. To dosežemo z medsebojno povezavo stropnih konstrukcij, njihovim sidranjem v obodne zidove in povezavo zidov s potresnimi vezmi.

Stropne konstrukcije medsebojno povežemo z jeklenimi sidrnimi palicami skozi zidove med prostori, z jeklenimi palicami pa jih sidramo tudi v obodne nosilne zidove. Sidrne palice in njihove priključke v strop prilagodimo tipu stropne konstrukcije. V primeru klasičnih lesenih stropov se povezava izvede z gladkimi palicami s privarjenimi jeklenimi ploščami, ki se jih z vijaki pritrdi v stropnike. V primeru novih armiranobetonskih plošč (samostojne plošče,

plošče s sovprežnimi lesenimi stropniki in razbremenilne plošče obokanih konstrukcij) se na koncih zakrivljene rebraste palice enostavno zabetonira v plošče. Že obstoječe armiranobetonske plošče se poveže z ravnimi gladkimi palicami s privarjenimi jeklenimi lamelami, ki se jih prilepi na površino plošč. V kolikor je obstoječa armiranobetonska plošča samo na eni strani zidu, je možno rebrasta sidra kemijsko sidrati v vrtine. V obodne nosilne zidove stropne konstrukcije praviloma sidramo z gladkimi jeklenimi palicami, ki imajo na fasadni strani urezan navoj. Sidro se nato z matico privije na jekleno sidrno ploščo na betonskem ležišču.

Povezavo zidov dodatno zagotovimo z vgradnjo vodoravnih potresnih jeklenih vezi, to je navadno gladkih armaturnih palic. Pri lesenih stropnih konstrukcijah so vezi praviloma obojestranske, vgrajene v utorih tik pod nivojem stropov. V primeru armiranobetonskih plošč se vezi vgradi v utore samo na zunanji strani (enostranske vezi) v višini plošč. Vezi se na koncih oziroma vogalih stavbe zaključijo na sidriščih, to je jeklenih sidrnih ploščah na betonskih ležiščih. Posamezne palice vezi imajo na koncih urezan navoj. Na sidriščih se jih sidra z maticami, medsebojno pa podaljšuje z vmesnimi napenjalci. Na sidriščih ali vmesnih napenjalcih se vezi po koncu montaže tudi napnejo. Pri obojestranskih potresnih vezeh moramo na ustreznih razdaljah med sidrišči izvesti medsebojno povezavo vezi, tako da prosta razdalja vezi ni nikjer daljša kot 4 do 5 m. Pri enostranskih vezeh se le-te z jeklenimi sidrci kemijsko sidra v zid na razdaljah okoli 1 m.



*Slika 4.5: Jeklene potresne vezi*

*Figure 4.5: Seismic steel ties*

Obstajata še dve inačici jeklenih potresnih vezi. Pri prvi se jekleno palico vgradi z uvrtaanjem v sredino zidu, pri drugi inačici pa se stavbo po obodu poveže z jeklenimi vrvmi. Obe rešitvi imata več pomanjkljivosti in zato nista tako razširjeni.

Vsi jekleni elementi sider in vezi morajo biti ustrezno antikorozijsko zaščiteni in imeti skrbno pripravljena ležišča sidrnih plošč. Matice sidrnih palic morajo biti vgrajene preko podložk in točkovno privarjene. Vse jeklene elemente na fasadah (sidrišča) lahko skrijemo pod omet zadostne debeline s predhodnim povitjem jeklenih elementov v fasadno mrežico. Če zunanja stran zidu ni dostopna, lahko sidra etažnih konstrukcij in zaključke potresnih vezi sidramo v nosilne zidove tudi kemijsko.

## 5 ENERGETSKA SANACIJA

### 5.1 Splošno

Veliko obstoječih zidanih stavb ni ustrezno toplotno izoliranih. Zaradi tega imajo neustrezne notranje higienske (plesen) in temperaturne razmere ter velike toplotne izgube. Slednje vodi do visokih stroškov za ogrevanje in velike obremenitve okolja s toplogrednimi plini.

Glavne zahteve gradbene fizike, ki jih moramo pri projektiranju stavb računsko dokazati, se nanašajo na:

- toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov,
- difuzijo vodne pare posameznih konstrukcijskih sklopov in
- učinkovito rabo energije v stavbi (letna specifična potrebna toplota za ogrevanje).

Te zahteve veljajo za novogradnje in za rekonstrukcije stavb, namenjenih za bivanje in delo ljudi, če so pri rekonstrukcijah dane tehnične možnosti za njihovo izvedbo in upoštevani pogoji varstva kulturne dediščine. Vrednosti *toplotnih prehodnosti* morajo biti manjše od predpisanih, vodna para, ki se kondenzira v gradbenih konstrukcijah, pa v njih ne sme povzročiti gradbene škode. Pri računu *difuzije vodne pare* je tako potrebno preveriti, ali je do morebitne kondenzacije vodne pare prišlo v dovoljenem materialu, ali je presežena največja dovoljena vlažnost tega materiala in ali se lahko kondenzat v celoti izsuši v poletnem obdobju. Zahteve glede učinkovite rabe energije v stavbi so izražene z *letno specifično potrebno toploto za ogrevanje*, to je toploto, ki jo je treba v enem letu dovesti v stavbo za doseganje projektnih notranjih temperatur. V okviru energetske sanacije stavb je potrebno s pomočjo predhodnih analiz preveriti smiselnost in zaporedje izvedbe posameznih ukrepov glede na njihov učinek v celotni življenjski dobi stavbe.

V nadaljevanju so opisani najbolj pogosti ukrepi za energetska sanacijo tipičnih konstrukcijskih delov zidanih zgradb.

## **5.2 Opis ukrepov**

### **5.2.1 Toplotna izolacija neprosojnih konstrukcij**

Nabor ukrepov za toplotno zaščito neprosojnih konstrukcij zajema na primer namestitev dodatne toplotne izolacije zunanjih sten, strehe (ogrevano podstrešje) ali stropa proti podstrešju (mrzlo podstrešje) in tal proti terenu ali neogrevani kleti.

Izbor materiala je seveda poleg njegovih toplotno izolacijskih lastnosti potrebno prilagoditi morebitni pričakovani kondenzaciji, saj vlaga v materialu ne sme povzročiti gradbene škode. Na izbor materiala vpliva tudi predvidena obremenitev med uporabo, tehnološke značilnosti vgradnje in prilagodljivost oblike.

### **5.2.2 Okna in vrata**

V kolikor okna in vrata vključno z omaricami za rolete ne zadostijo zahtevam glede toplotne prehodnosti in tesnosti vgradnje, jih je potrebno zamenjati. V nekaterih primerih, ko zasteklitev ustreza, zadošča dodatno tesnjenje na pripirah, vedno pa je potrebno paziti na tesnjenje in toplotno izolacijo na stikih že obstoječih ali na novo vgrajenih okvirjev oken in vrat. Okna, vrata, fiksne steklene površine in drugi montažni gradbeni elementi morajo biti namreč vgrajeni tako, da zračna prepustnost prostora ali skupine prostorov pri podtlaku 50 Pa (SIST ISO 9972) ni večja kot dve izmenjavi na uro. Poleg te zahteve veljajo za zračno prepustnost oziroma vodotesnost oken in vrat še dodatne omejitve v odvisnosti od izpostavljenosti in višine vgradnje.



### 5.2.3 Sanacija toplotnih mostov

Toplotni mostovi so tista mesta v zunanjem ovoju stavbe, kjer je prehod toplote povečan zaradi spremembe materiala, debeline ali geometrije konstrukcije. Na mestu toplotnega mostu je zato pozimi toplotni tok iz notranjega ogrevanega prostora v zunanje okolje močno povečan. Posledično je na takem mestu temperatura notranje površine znižana, kar lahko privede do kondenzacije vodne pare. Toplotni mostovi so:

- konstrukcijski – del ovoja stavbe, preko katerega toplota prehaja iz ogrevanega prostora v okolje, ima zaradi sestave večjo toplotno prehodnost kot njegova okolica ali pa je (toplotno izolacijski) ovoj stavbe prekinjen oziroma predrt z materialom z veliko toplotno prevodnostjo, npr. jeklo in (armiran) beton (balkoni, preklade,...),
- geometrijski – zunanja površina, preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v okolje, je precej večja od notranje, npr. vogal,
- kombinirani – konstrukcijski in geometrijski hkrati, npr. vogalna armiranobetonska vez in
- konvekcijski – na mestu prekinitve ali netesnosti vlažen notranji zrak prodira v ovoj.

Predvsem konstrukcijske toplotne mostove je velikokrat možno delno ali popolnoma sanirati z ustreznimi konstrukcijskimi detajli. S toplotno izolacijskimi prekinitvami konstrukcij iz materialov z visoko toplotno prevodnostjo ugodno vplivamo na kritično točko v konstrukcijskem ovoju oziroma omilimo ali prekinemo toplotni most. To žal največkrat brez obsežnih gradbenih posegov ni možno. V tehničnem smislu je tako pri konstrukcijskih kot geometrijskih toplotnih mostovih skoraj vedno na voljo sanacija mesta toplotnega mostu z dodajanjem toplotne izolacije. Težavo pri tem predstavlja videz saniranega mesta na fasadi, še posebno pri spomeniško zaščitenih objektih. Konvekcijske toplotne mostove preprečimo s skrbnim načrtovanjem detajlov in predvsem z natančno izvedbo.

## **5.2.4 Strojne inštalacije in obnovljivi viri energije**

Sanacija strojnih inštalacij največkrat obsega zamenjavo dotrajanih vodov, ogrevalnih teles in kotlov z novimi. Dostokrat zadostuje dodatno tesnjenje kritičnih točk, toplotna izolacija vodov in vgradnja termostatskih ventilov ogrevalnih teles. Med strojne inštalacije prištevamo tudi ogrevalne sisteme za izvedbo temperiranja, ki je podrobneje predstavljeno v poglavju 6.2 Sanacija vlage, ki vdira iz terena.

Pri rekonstrukcijah in sanacijah je priporočljivo razmisliti o prisilnem prezračevanju, ki ga v starejših stavbah največkrat ni. S prisilnim prezračevanjem namreč zadostimo zahtevam po potrebni izmenjavi zraka v prostorih tudi v primeru, če ni predvideno intenzivnejše zračenje z odpiranjem oken. To je toliko bolj koristno tudi zaradi tega, ker z vgradnjo novih zrakotesnih oken preprečimo nezanemarljivo prezračevanje ob pripirah. Sodobni prezračevalni sistemi imajo poleg tega vgrajene sisteme za izmenjavo toplote (vračanje toplote zavrženega ali odtočnega zraka), s čimer dodatno prispevamo k varčevanju z energijo.

Pri rekonstrukcijah je v največji možni meri potrebno izkoristiti razpoložljive obnovljive vire energije. Glede na danosti je možno uporabiti različne vire. Najpogosteje so to toplotne črpalke in sončni kolektorji oziroma sprejemniki sončne energije (SSE).

## 6 SANACIJA VLAGE

### 6.1 Splošno

Pri propadanju gradbenih materialov, utrditvi kamnitih zidov in pri energetski sanaciji je bila že večkrat omenjena vlaga oziroma voda, ki je v nenadzorovanih okoliščinah praviloma hud sovražnik konstrukcij. Vlaga, ki je v preveliki količini prisotna v zidani zgradbi, negativno vpliva tako na trajnost materialov kot tudi na prenos toplote. Vlaga v konstrukciji pripomore tudi k razvoju mikrobov in ostalih lesnih škodljivcev. Škodljivi ali negativni vplivi vlage v nosilnih konstrukcijah so predvsem:

- zmanjšanje trdnosti vlažnih zidov – degradacija malte in zidakov, dodatna ogroženost zaradi zmrzovanja v zimskem obdobju,
- kristalizacijski pritiski vodotopnih soli, luščenje ometa,
- korozija armature in betona,
- gnitje lesenih elementov, razvoj lesnih škodljivcev,
- razvoj plesni, ki zaradi alergij in toksinov nekaterih vrst ni samo estetski, ampak tudi hud higienski problem in
- povečanje toplotne prevodnosti vlažnih toplotno izolacijskih materialov; toplotni most poleg energetskih izgub še potencira šibko točko.

Vlaga oziroma voda je lahko v stavbi prisotna zaradi različnih vzrokov. Do vdora v konstrukcije stavbe lahko pride iz zunanjih virov:

- s kapilarnim vlekom vode iz terena,
- skozi poškodovan strešni ovoj,
- skozi zidove zaradi izpostavljenosti dežju ali visoki zunanji zračni vlagi in
- skozi neustrezno izvedene detajle oziroma netesne stike.

Notranji viri vlage ali vode pa so:

- netesne napeljave (vodovod, kanalizacija, odvodnjavanje),
- živa bitja in uporaba vode, kondenzacija,
- konstrukcijska voda (npr. nevezana voda v sveži betonski mešanici) in
- vgrajeni vlažni ali med izvedbo navlaženi materiali (npr. svež les ali med vgradnjo dežju izpostavljena toplotna izolacija).

Pri tem gre za vzroke, ki jih včasih rešujemo v okviru konstrukcijske utrditve (npr. sanacija kapilarnega vleka s hidrofobnim injektiranjem), največkrat v okviru energetske sanacije (npr. sanacija visoke vsebnosti vlage v zraku s toplotno izolacijo, hidroizolacijo, parno zaporo in prezračevanjem), spet drugič v okviru ukrepov, ki rešujejo konkreten nepovezan problem (tesnost inštalacij in strešne kritine). Del ukrepov, s katerimi preprečujemo vdor vode in vlage iz terena, težko opredelimo zgolj v skupino ukrepov za konstrukcijsko utrditev ali energetsko sanacijo, saj so na nek način povezani z obojimi, ali pa gre za popolnoma samostojne ukrepe. Tovrstne ukrepe zato navajamo posebej v naslednjem podpoglavju.

## **6.2 Sanacija vlage, ki vdira iz terena**

Najpogostejši ukrepi za sanacijo vode oziroma vlage, ki vdira v zgradbo iz terena, so:

- izvedba drenaže in vodozapornih tlakov z naklonom stran od objekta,
- klasična vertikalna in horizontalna hidroizolacija temeljev in temeljnih zidov,
- sistematično injektiranje kamnitih temeljnih zidov s (cementnimi) injekcijskimi masami s hidrofobnimi dodatki,
- izvedba sanacijskih ali sušilnih ometov in
- posebni ukrepi za horizontalno hidroizolacijo temeljev in temeljnih zidov (razne bariere, temperiranje, elektroosmoza,...).

Največkrat je potrebna kombinacija več ukrepov, da dosežemo zadovoljive rezultate. V nadaljevanju sledi opis posameznih ukrepov.

Izvedba drenaže in vodozapornih tlakov z naklonom stran od objekta spadata med klasične gradbene posege. Pri izvedbi drenaže je potrebno paziti predvsem na to, da odprtine drenažne cevi segajo do betonske posteljice, da se prepreči zadrževanje vode na posteljici, in da ima drenažna cev zadosten naklon in premer. Zamašitev cevi preprečimo z nasutjem prodca večjih frakcij nad drenažno cev, ki mora biti na stiku z zemljino zaščiten s filcem, dovolj na gosto pa morajo biti izvedeni tudi revizijski jaški.

Vdor vlage v kamnite in opečne zidove s strani preprečimo z izvedbo vertikalne hidroizolacije. Hidroizolacija je lahko klasična iz bitumenskih premazov in trakov, pri čemer je postavitve slednjih pri kamnitih temeljnih zidovih zaradi navadno dokaj neravne površine težko izvedljiva. Lažja je izvedba z različnimi hidroizolacijskimi obložnimi ploščami. Po principu je podoben eden izmed načinov za preprečevanje kapilarnega dviga vode predvsem v opečnih zidovih, ko se v reže, zažagane v zidove tik na tlemi, vstavi pločevina ali katera druga horizontalna hidroizolacijska bariera. Ta postopek je zaradi nevarnosti diferenčnih posevkov med izvedbo manj ugoden. Zaradi ustvarjanja drsine strokovna javnost tudi ni enoznačno opredeljena do vpliva takega načina sanacije vlage na potresno odpornost zgradb.

Obstajajo tudi sanacijski postopki, s katerimi vdora vlage popolnoma ne preprečimo, ampak ga omejimo in tudi zmanjšamo posledice prisotnosti vlage. Eden izmed njih je v kombinaciji z utrditvijo kamnitih zidanih konstrukcij. Gre za hidrofobno injektiranje z injekcijskimi masami s polimernimi ali drugimi hidrofobnimi dodatki. Pri tem postopku moramo računati z večjo porabo materiala zaradi izcejanja injekcijske mase v zemljino in hkrati paziti, da med injektiranjem ne zalijemo drenaž in podobnega.

Zelo razširjena je tudi uporaba tako imenovanih sanacijski ali sušilnih ometov s hidrofobnimi dodatki. Tovrstni ometi so dosti bolj porozni od navadnih ometov, tako da omogočajo hitrejše izhlapevanje vode. Poleg tega so veliko manj občutljivi na kristalizacijske pritiske vodotopnih soli, zaradi česar so tudi dejanski in vizualni znaki degradacije na površini manjši. Sanacijske ali sušilne omete se uporablja tako zunaj kot znotraj, pretežno v spodnjem območju zidov ob terenu, nakar se celotna zunanja fasada lahko prepleksa z zaščitnimi premazi.

Za blaženje stranskih učinkov zaradi odsotnosti horizontalne hidroizolacije in posledičnega kapilarnega vleka vlage obstaja več možnosti. Najbolj razširjen ukrep je injektiranje različnih medijev v zid tik nad terenom, s katerimi kapilare oziroma pore zatesnimo, stanjšamo ali hidrofobiramo. V Sloveniji je najbolj pogosta izvedba hidrofobnih barier s penetracijo silikona, s katerim por ne zapremo, temveč kapilarni vlek zaustavimo zgolj s spremembo površinske napetosti v pori. Med samo izvedbo silikonskih barier vlage v zidu ne zmanjšamo ampak jo za kratek čas celo povečamo, saj silikon uvajamo z mešanico vode. Manj ugodna stran postopka je tudi ta, da moramo za popoln potek kemične reakcije pustiti vrtine, skozi katere smo raztopino uvajali, izkustveno odprte toliko dni, kot v centimetrih znaša debelina zidu. Z izvedbo ometov je tako glede na debelino zidov včasih potrebno počakati tudi nekaj mesecev.



*Slika 6.1: Izvedba hidrofobne bariere*

*Figure 6.1: Application of a hydrophobic barrier*

Predvsem v nemškem prostoru je pogosta izvedba barier z uvajanjem parafina, ki fizično zapre pore. Ugodno pri tem postopku je, da že med izvedbo sušimo zid, saj moramo zaradi vzdrževanja parafina v tekočem agregatnem stanju injekcijske nastavke stalno ogrevati. Neugodna plat postopka je seveda visoka poraba energije, dražje injekcijske naprave in izvedbeno zahtevnejši razvod električno ogrevanih nastavkov. Pregled najbolj pogostih snovi, ki se uporabljajo za izvedbo barier, in princip njihovega delovanja, je podan v naslednji tabeli (*Preglednica 6.1*).

*Preglednica 6.1: Različne injekcijske mase za bariere proti vdoru vlage s principom njihovega delovanja*

*Table 6.1: Various injection grouts for damp-proofing barriers, and the principle of their function*

	hidrofobiranje kapilar	tesnjenje kapilar	tanjšanje kapilar
silan	×		
silikonat	×		
silikonske mikroemulzije	×		
parafin		×	
epoksidne smole		×	
smole s topili	×		×
poliuretanska smola		×	
poliuretanski gel		×	
poliakrilatni gel		×	
injekcijske malte	×	×	
siloksan	×		
alkalisilikat / alkalimetilsilikat	×		×

Znižanje stopnje vlage v zidovih je možno doseči tudi na druge načine, na primer z elektroosmozo in temperiranjem. Pri elektroosmozi preprečujemo kapilarni vlek vlage z vzdrževanjem električnih potencialov, pri temperiranju pa povzročamo izhlapevanje vlage z izvedbo ogrevanih vodov v ali na zidovih tik nad terenom. Omenjena postopka malo ali nič ne posegata v samo strukturo zidov, kar je mnogokrat zahtevano. Njuna slabost je potreba po vzdrževanju sistema in stalna poraba energije. Pri elektroosmozi dodatne težave povzročajo kovinski inštalacijski vodi. Na drugi strani s temperiranjem poleg zmanjšanja vsebnosti vlage v zidovih dosežemo tudi ugodne temperaturne pogoje v prostorih, ki jih ogrevamo do nižjih temperatur kot bivalne prostore in kjer se ljudje zadržujejo krajši čas, kot so na primer cerkve, muzeji in prireditvene dvorane dvorcev. Temperiranje je torej ustrežnejša metoda, ki je še posebej primerna za razne javne in reprezentančne objekte.



## **7 SINERGIJA KONSTRUKCIJSKE UTRDITVE IN ENERGETSKE SANACIJE**

### **7.1 Splošno**

Pri izbiri projektantskih rešitev konstrukcijske utrditve, uvajanju novih utrditvenih postopkov in načrtovanju konstrukcijskih detajlov ne smemo pozabiti na negativne učinke, ki jih lahko z njimi povzročimo. Zasnova novih konstrukcijskih rešitev lahko ohrani ali poslabša pogoje glede prehoda toplote in vlage skozi konstrukcijo. Negativne stranske učinke lahko povzročimo tudi z neprilagojeno tehnologijo izvedbe in izvedbenimi detajli. Nevarnost predstavljajo npr. uvajanje vode in ostalih snovi v konstrukcije v času izvedbe, prekratek čas za sušenje ob nezadostnem ogrevanju in prezračevanju, ustvarjanje toplotnih mostov, preprečevanje prehoda vlage in ustvarjanje pogojev za kapilarni vlek, kar vse negativno vpliva na trajnost materialov, toplotne izgube in bivalne pogoje. Sočasno lahko z neustreznimi detajli omogočimo kasnejši vdor ostalih škodljivih snovi iz okolice, kar stanje samo še poslabša. Kratkotrajnim negativnim izvedbenim učinkom se večinoma lahko izognemo s prilagojeno tehnologijo izvedbe, dolgotrajnim ob uporabi stavbe pa predvsem s premišljeno spremembo konstrukcijske zasnove.

Projektiranja rekonstrukcije stavbe se je zato potrebno lotiti postopoma, s premislekom in sprotno analizo ugotovitev in projektantskih rešitev. Potreben je celovit pristop, ki zahteva udeležbo različnih strok oziroma interdisciplinarnost. Konstrukcijski utrditveni ukrepi in njihov vpliv na prenos toplote in vlage so medsebojno večinoma neločljivo povezani.

### **7.2 Kritične točke**

Poglejmo težave, s katerimi se srečujemo oziroma moramo biti nanje pozorni pri projektiranju in izvedbi najpogostejših utrditvenih ukrepov pri rekonstrukcijah zidanih zgradb. S *sistematičnim injektiranjem kamnitih zidov*, s katerim zapolnimo praznine v zidovih in jih s tem utrdimo, sočasno povečamo toplotno prevodnost zidov, zidovi lahko akumulirajo več

toplote, ustvarimo pa lahko tudi pogoje za kapilarni vlek vlage iz terena. Prvi dve lastnosti se izkustveno spremenita minimalno in največkrat ne povzročata težav. Težava s kapilarnim vlekem je nasprotno lahko izrazitejša, vendar jo praviloma odpravimo z izvedbo že prej omenjenih ukrepov za sanacijo vlage, ki vdira iz terena. Velik problem lahko pri injektiranju predstavlja vlaga, ki je do izsušitve še nekaj časa akumulirana po celotnem volumnu zidov, saj je notranjost zidov pred injektiranjem velikokrat potrebno omočiti, zaradi dobre penetracije pa imajo visoko vsebnost vode tudi injekcijske mase. Zaradi tega je potrebno zagotoviti zadosten čas sušenja konstrukcije z upoštevanjem klimatskih pogojev, še posebno v primeru predvidene izvedbe parozapornih ometov ali zaščitnih premazov. Če konstrukcijo osušimo, utrditveni poseg injektiranja s kratkotrajno navlažitvijo izkustveno ne povzroča težav. V nasprotnem lahko pride do cvetenja ometov (*Slika 7.1*), gnitja lesenih stropnikov v ležiščih (*Slika 7.2*), rjavenja starih zidnih vezi, pojava plesni in podobnega.



*Slika 7.1: Poškodbe vrhnjih slojev ometa injektiranega zidu, do katerih je prišlo zaradi prekratkega časa sušenja zidu v zimskem obdobju*

*Figure 7.1: Defects of external plaster layers of a grouted wall, which occurred due to a very short winter drying period*

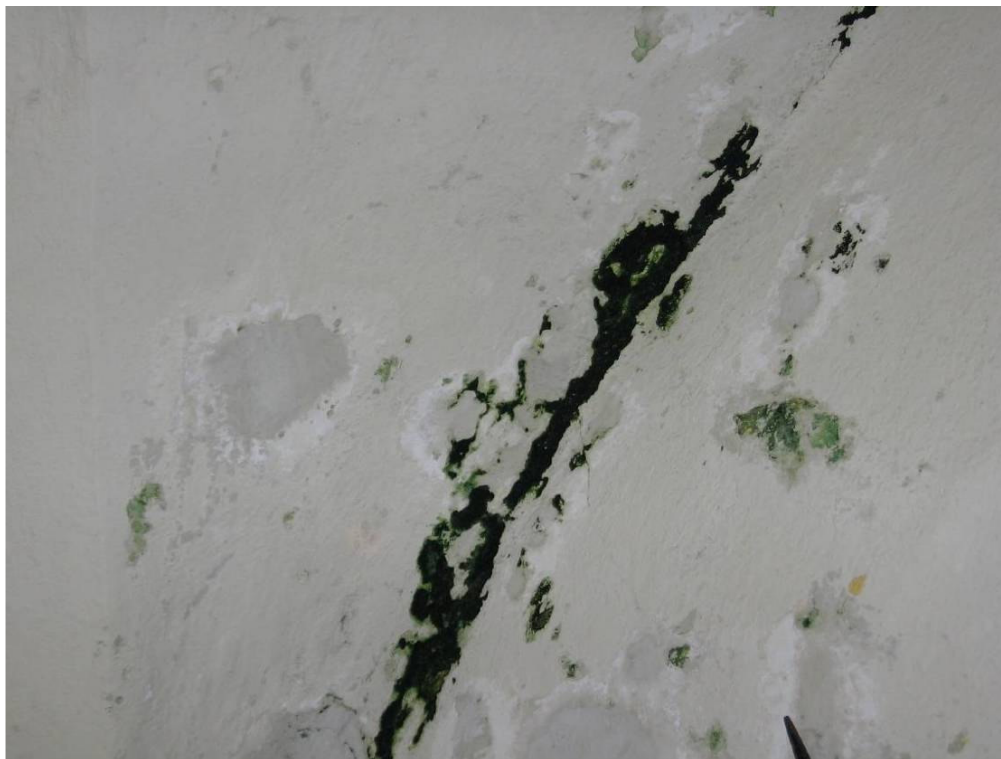


*Slika 7.2: Poškodbe lesenega stropnika, ki je bil po celi dolžini v stiku z injektiranim zidom in brez ustreznega zračenja*

*Figure 7.2: Defects of a wooden floor beam which has been in contact with grouted wall along its whole length and without proper venting*

Pri izvedbi *armiranih ometov* zunanjih zidov so lahko kritični predvsem pogoji prenosa toplote in vlage. Pri obojestranskih armiranobetonskih ometih lahko zaradi manjše paroprepustnosti dodanega materiala in njegove večje toplotne prevodnosti glede na osnovni material konstrukcije pride do spremembe temperaturnega profila in poteka krivulj parnih tlakov, kar ima lahko za končno posledico tudi kondenzacijo vodne pare. Poleg tega obojestranski armiranobetonski ometi tvorijo s povezovalnimi jeklenimi sidri skozi zid točkovne toplotne mostove, ki v toplotnem smislu navadno niso kritični, lahko pa se na notranji površini stene na teh mestih pojavijo točkovni madeži kot posledica povečanega odlaganja prahu (fizikalno-kemijski vzroki). Toplotni mostovi lahko nastopijo tudi na mestih spojníc med zidaki. Ob tovrstnih ukrepih je zato potrebno sodelovanje gradbenega fizika, ki s pomočjo izračunov in simulacij toplotnega dogajanja presodi, ali je potrebno zid dodatno toplotno izolirati, ali pa na primer prilagoditi posamezne detajle in zaključne sloje. V

nasprotnem primeru se lahko poslabšajo bivalne razmere ali nastopijo gradbeno fizikalne poškodbe konstrukcije, kar vsekakor ni v duhu celovitega pristopa (Slika 7.3).



*Slika 7.3: Nastanek plesni na stiku z armiranim ometom utrjenega zidu in oboka, do katere je prišlo zaradi neupoštevanja spremembe prenosa toplote in vlage*

*Figure 7.3: Mould growth on the contact surface between a wall strengthened with reinforced jacket and a vault, which occurred because changes in heat and moisture transfer were not considered*

Tudi pri utrditvi lesenega stropa s *sovprežnim armiranobetonskim estrihom* ne smemo pozabiti na probleme povezane z vlago oziroma zadostnim zračenjem. Pred betoniranjem moramo namreč z zgornje strani vse lesene dele stropa zaščititi s folijo, da preprečimo iztekanje cementnega mleka. V nasprotnem bi iz sveže betonske mešanice odteklo cementno mleko, premočen les pa bi lahko začel gniti (Slika 7.4). Z uvedbo folije in betonskega estriha v konstrukcijski sklop sočasno preprečimo kasnejše zračenje stropa z zgornje strani, zaradi česar lahko pride do gnitja stropnikov, ki bi se navlažili ob uporabi spodnjih prostorov. Ustrezno zračenje s čelne strani stropnikov moramo zato zagotoviti z zračniki na fasadi. Pri

starejših hišah so zračniki narejeni, pri nestrokovnih prenovah fasad pa jih pogosto prekrijejo z ometom. Med izvedbo utrditve stropa je za zagotavljanje daljše življenjske dobe lesa zelo priporočljivo vse lesene elemente dodatno zaščititi proti lesnim škodljivcem.



*Slika 7.4: Globinska sonda je razkrila popolnoma prhle lesene stropnike, preko katerih je bil izveden cementni estrih brez ustrezne zaščite*

*Figure 7.4: A depth-probe revealed completely decayed wooden floor beams, upon which a layer of cement mortar without adequate protection was placed*

Ostali prej opisani najpogosteje uporabljeni utrditveni ukrepi (poglavje 4 KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV) praviloma izraziteje ne vplivajo na prenos toplote in vlage, tako da na trajnost ugodno vplivajo predvsem s povečanjem nosilnosti in v tem smislu interdisciplinaren pristop pri njihovi uporabi ni direktno potreben. Kljub temu na tem mestu omenimo tudi *jeklene potresne vezi*, pri katerih lahko nastopijo težave zaradi pojava korozije, sčasoma pa lahko pride tudi do njihove premajhne napetosti. Do korozije lahko pride predvsem v primeru slabše antikorozijske zaščite jekla in tanjše zaščitne plasti malte, še posebej v primeru stika različnih kovin, ko se ob prisotnosti vode ustvari galvanski člen (*Slika 7.5*). V hujših primerih lahko

pride do zmanjšanja nosilnega prereza vezi in poškodb ometov. Do zmanjšanja napetosti v vezeh lahko pride tudi zaradi relaksacije jekla. Vidnih poškodb, ki bi opozarjale na ta problem, praviloma ni, v primeru dinamičnih obremenitev pa take vezi ne opravljajo predvidene funkcije.



*Slika 7.5: Demontirane potresne jeklene vezi, kjer je vidna močna prisotnost korozije na navojnih delih palic, ki so bile v stiku z napenjalci iz druge kovine (galvanski člen), korozijski produkti pa so v manjšem obsegu vidni tudi po ostalih površinah vezi*

*Figure 7.5: Dismantled seismic steel ties with clearly visible presence of corrosion on the threaded parts of rods, which have been in contact with tensioners made from other metals (galvanic cell); to a smaller extent corrosion products are visible on other areas of ties as well*

Težave lahko nastopijo tudi zaradi nepremišljenih ali delnih rešitev za energetska sanacijo zgradbe. Tako lahko na primer zamenjava neustreznih ali dodatno tesnjenje manj ustreznih oken ob nespremenjenem režimu uporabe privede do pojava plesni. Plesen se lahko razvije zaradi nezadostnega prezračevanja in s tem višje vlage v prostoru, saj s sanacijo prekinemo

izmenjavo zraka skozi pripire. Prostore z novimi okni je zato potrebno večkrat zračiti ali s stališča varčevanja z energijo veliko ugodneje uvesti sistem prisilnega zračenja.

Napake so možne tudi pri sanaciji toplotnih mostov, kjer z nestrokovnim dodajanjem izolacije lahko ustvarimo tudi nove oziroma potenciramo ostale že obstoječe toplotne mostove. Taka primera sta na primer izvedba toplotne izolacije fasade brez ustrezne izolacije rolo omaric in izvedba toplotne izolacije balkonske plošče samo s spodnje ali zgornje strani.

Vsekakor je pomembno, da se vseh utrditvenih in sanacijskih posegov lotimo natančno in strokovno, tako v projektantskem kot izvedbenem smislu. Pri tem moramo stalno misliti tudi na možne negativne plati določenih ukrepov. Stroka mora biti prisotna pri vseh posegih v konstrukcijo stavbe, tudi tistih, ki se na prvi pogled direktno ne tičejo same nosilne konstrukcije ali gradbene fizike. V konstrukcijskem smislu so tako zidane stavbe na primer zelo ranljive glede izvedbe raznih inštalacijskih vodov, predvsem horizontalnih, katerih nestrokovna izvedba je pogost pojav.

### **7.3 Analiza vplivov konstrukcijske utrditve na gradbeno fizikalne razmere**

Vpliv konstrukcijske utrditve na gradbeno fizikalne razmere oziroma vpliv utrditvenega ukrepa na prenos toplote in vlage je možno analizirati na več načinov. Analiziramo lahko rezultate meritev različnih karakteristik, ki jih opravimo na zgradbi pred in po izvedbi ukrepa. Priložnost za tovrstne meritve vplivov določenega utrditvenega ukrepa na izbranem konstrukcijskem elementu in želenih klimatskih razmerah je redka. Meritve je možno opraviti tudi v okviru laboratorijske simulacije utrditvenega ukrepa in klimatskih razmer, kar je kompleksen in drag postopek. Lažje je narediti parcialne preizkuse in meritve določenih karakteristik, ki jih potem uporabimo pri računalniški simulaciji konstrukcijskega elementa. Z računsko analizo vpliva poljubnega utrditvenega ukrepa dobimo realne rezultate samo na ustreznem in eksperimentalno potrjenem računskem modelu z uporabo realnih vhodnih podatkov.

## **7.4 Računska analiza vpliva sistematičnega injektiranja kamnitih zidov na gradbeno fizikalne razmere**

### **7.4.1 Splošno**

Omenili smo že, da sistematično injektiranje vpliva na povišano stopnjo vlage v zidu, ki je do izsušitve še nekaj časa akumulirana v njem. Poleg tega se pogosto pojavljajo trditve, da je v injektirani stavbi bivanje manj prijetno, saj se spremenijo gradbeno fizikalne razmere oziroma pogoji prenosa toplote in vlage ter s tem bivalno udobje. Ker je sistematično injektiranje zelo razširjeno za izboljšanje mehanskih karakteristik kamnitih zidov, je v nadaljevanju računsko analiziran vpliv tega utrditvenega ukrepa na bivalne razmere. Pri analizi je upoštevano dejstvo, da kamnitih zidov starejših zgradb največkrat ni dovoljeno obložiti s toplotno izolacijo.

### **7.4.2 Predstavitev računalniškega programa WUFI 4.1 Pro**

Program WUFI je bil razvit na Fraunhoferjevem inštitutu za gradbeno fiziko (The Fraunhofer Institute for Building Physics IBP), Holzkirchen, Nemčija, ki se ukvarja z raziskavami, razvojem, testiranjem, demonstriranjem in svetovanjem na področju gradbene fizike. WUFI je akronim za »Wärme- und Feuchtetransport instationär« (nem.) – Nestacionaren prehod toplote in vlage. Računalniški program WUFI 4.1 Pro torej omogoča sočasen izračun prehoda toplote in vlage skozi enodimenzionalen večplasten konstrukcijski sklop zgradbe.

Program WUFI izračuna časovni razvoj temperaturnega polja in polja razporeditve vlage v konstrukcijskem sklopu. Rezultate lahko predstavi kot:

- časovni razvoj posamezne količine na določeni točki ali kot povprečje v določenih slojih konstrukcijskega sklopa in
- profil razporeditve posamezne količine po konstrukcijskem sklopu v določenem trenutku.



### 7.4.3 Teoretične osnove in vhodni podatki

Fizikalne in numerične osnove, ki jih uporablja računalniški program WUFI, so bile razvite in predstavljene v doktorski disertaciji (Künzel, 1994).

V izračunu prehoda toplote program upošteva:

- prevajanje toplote,
- entalpijski tok zaradi premikanja vlage s spremembo agregatnega stanja,
- kratkovalovno sončno sevanje in
- dolgovalovno radiacijsko hlajenje v nočnem času.

V programu so upoštevani naslednji mehanizmi transporta vodne pare:

- difuzni tok vodne pare in
- difuzija utekočinjene vodne pare.

Za transport tekočin sta upoštevana:

- kapilarna kondukcija in
- površinska difuzija.

Konvekcija (mešanje) toplote in vodne pare zaradi zračnega toka je zanemarjena, saj jo je navadno težko oceniti in je redko enodimenzionalna. Zanemarjeni so tudi tok zaradi gravitacije, hidravlični tok zaradi diferenčnega pritiska ter elektrokinetični in osmozni vplivi.

Za računsko analizo moramo določiti več sklopov vhodnih podatkov. V prvem sklopu so *materialni podatki*, ki definirajo higrotermalno obnašanje materialov. V skupini osnovnih in obveznih materialnih podatkov so:

- prostorninska gostota  $\rho$  [ kg / m<sup>3</sup> ],
- poroznost  $por$  [ m<sup>3</sup> / m<sup>3</sup> ],
- specifična toplotna  $c$  [ J / kg · K ] ali [ W · h / kg · K ],

- toplotna prevodnost  $\lambda$  [ W / m · K ] in
- difuzijski koeficient vodne pare  $\mu$  [ - ] .

*Prostorninska gostota*  $\rho$  služi za pretvorbo specifične toplote po masi v specifično toploto po prostornini. Prostorninska gostota je definirana kot razmerje med maso  $m$  vzorca in njegovo celotno prostornino  $V_{tot}$ :

$$\rho = m / V_{tot} . \quad (1)$$

Za razliko od prostorninske gostote je *specifična* ali *prava gostota*  $\rho_{true}$  razmerje med maso vzorca in njegovo celotno prostornino, zmanjšano za prostornino por in praznin  $V_{por}$ , to je upoštevana je samo prostornina matrice materiala  $V_{true}$ :

$$\rho_{true} = m / (V_{tot} - V_{por}) = m / V_{true} . \quad (2)$$

*Poroznost materiala por* nam pove delež praznin v celotni prostornini materiala, to je delež tiste prostornine, kjer ni matrice materiala. Poroznost določa največjo možno vsebnost vode v materialu. Če ni točnejšega podatka, jo lahko ocenimo iz prostorninske in prave gostote:

$$\begin{aligned} \rho &= m / V_{tot} = m / (V_{true} + V_{por}) = \rho_{true} / (1 + V_{por} / V_{true}) = \rho_{true} \cdot V_{true} / V_{tot} = \\ &= \rho_{true} \cdot (1 - V_{por} / V_{tot}) = \rho_{true} \cdot (1 - por) \end{aligned} \quad (3)$$

torej je

$$por = 1 - \rho / \rho_{true} . \quad (4)$$

*Specifična toplota* suhega materiala po njegovi masi  $c$  omogoča uporabo te vrednosti samo v odvisnosti od njegove kemične sestave brez upoštevanja poroznosti. Za pretvorbo v specifično toploto po prostornini, ki je potrebna za uporabo v enačbah prehoda, je potrebno specifično toploto po masi pomnožiti s prostorninsko gostoto. Program avtomatično upošteva specifično toploto v porah prisotne vode.

*Toplotna prevodnost*  $\lambda$  se podaja za suh material, opsijsko pa tudi v odvisnosti od vsebnosti vlage.

*Difuzijski koeficient vodne pare*  $\mu$  pove, kolikokrat višji je upor difuzije vodne pare skozi material v primerjavi s tistim skozi mirujoč zrak. Difuzijski koeficient vodne pare se podaja za suh material, opsijsko tudi v odvisnosti od vsebnosti vlage. Tudi v primeru, da vrednost koeficienta ni podana v odvisnosti od vlage, program upošteva odvisnost, v kolikor je

vsebnost vlage nad mejo zasičenosti. Prehod vodne pare se zmanjša v razmerju količine vlage nad mejo zasičenosti, vse dokler se vsebnost vlage ponovno ne zmanjša pod to mejo. Program torej upošteva, da se pri zelo visoki vsebnosti vlage tudi najširše kapilare zaprejo z vodo in ne morejo več prispevati k difuziji vodne pare.

V skupini *neobveznih materialnih podatkov* so podatki, ki podrobneje določajo zakonitosti prehoda vlage. Ti podatki niso matematično obvezni, lahko pa odločilno vplivajo na pravilnost rezultatov analize prenosa vlage. Podamo jih z naslednjimi funkcijami oziroma koeficienti:

- funkcija vsebnosti vlage  $w$  [ kg/m<sup>3</sup> ], podana v tabeli ali aproksimirana z absorpcijo vlage pri 80 % relativni vlažnosti in prosti zasičenosti,
- koeficient transporta tekočin zaradi vpivanja odvisen od vsebnosti vlage  $D_{ws}(w)$  [ m/s ], podan v tabeli ali dobljen iz koeficienta vpivanja (absorpcije) vode  $A$ ,
- koeficient transporta tekočin zaradi porazdelitve odvisen od vsebnosti vlage  $D_{ww}(w)$  [ m/s ], podan v tabeli ali dobljen iz koeficienta vpivanja (absorpcije) vode  $A$ ,
- toplotna prevodnost odvisna od vsebnosti vlage  $\lambda(w)$  [ W/m·K ], podana v tabeli ali dobljena iz dodatka toplotne prevodnosti zaradi vlage in
- difuzijski koeficient vodne pare odvisen od vsebnosti vlage  $\mu(w)$  [ – ], podan v tabeli.

*Funkcija vsebnosti vlage*  $w$  upošteva dejstvo, da površina poroznega higroskopičnega materiala akumulira molekule vode, dokler ni doseženo ravnotežje, ustrezno vlažnosti okoliškega zraka. Zaradi zmanjšanja pritiska nasičene vodne pare v manjših kapilarah pride do pojava kondenzacije, ki pri višjih vsebnostih vodne pare povzroči izrazito povišanje ravnotežne vlage. Sistem kapilar materiala v kontaktu z vodo slednjo sprejema vse do dosežene proste zasičenosti  $w_f$ . Ta količina vode  $w_f$  ustreza funkciji vsebnosti vlage pri relativni vlažnosti  $\varphi = 1$  oziroma 100 %. Zaradi v pore ujetih zračnih mehurčkov je prosta zasičenost nižja od največje vsebnosti vlage  $w_{max}$ , določene s poroznostjo materiala. Podatka o prosti zasičenosti  $w_f$  in vsebnost vlage  $w_{80}$ , ki ustreza ravnotežju vlage pri relativni vlažnosti 0,8, sta dosegljiva za večino materialov. Funkcijo vsebnosti vlage je možno opisati s funkcijo

$$w = w_f \cdot \frac{(b-1) \cdot \varphi}{b - \varphi}, \quad (5)$$

kjer so

$w$ [ kg / m <sup>3</sup> ]	vsebnost vlage, ustrezna relativni vlažnosti,
$w_f$ [ kg / m <sup>3</sup> ]	vsebnost vlage pri prosti zasičenosti,
$\varphi$ [ – ]	relativna vlažnost in
$b$ [ – ]	aproksimacijski faktor.

Zadošča, da podamo podatka  $w_f$  in  $w_{s0}$ , čemur rečemo aproksimacija funkcije vsebnosti vlage. V nehigroskopičnih materialih (predvsem toplotne izolacije in zračni sloji) ima funkcija vsebnosti vlage v območju  $\varphi = 0, \dots, 1$  teoretično bolj ali manj vrednost nič, medtem ko ima za  $\varphi = 1$  nedefinirano vrednost med 0 in  $w_f$ .

Koeficient transporta tekočin  $D_w(w)$  zajema vpliv transporta tekočin po kapilarah, ki je glavni mehanizem transporta vlage pri kapilarno poroznih materialih. Čeprav gre v osnovi za konvekcijski pojav, je za gradbeno fiziko dovolj natančna predpostavka difuzijskega prehoda,

$$g_w = -D_w(w) \cdot \text{grad } w, \quad (6)$$

kjer so

$g_w$ [ kg / m <sup>2</sup> · s ]	gostota toka transporta tekočin,
$w$ [ kg / m <sup>3</sup> ]	vsebnost vlage in
$D_w$ [ m <sup>2</sup> / s ]	koeficient transporta tekočin.

Koeficient transporta tekočin  $D_w$  je močno odvisen od vsebnosti vlage. Glavni razlog, zakaj lahko transport tekočin opišemo z difuzijsko enačbo, je pravilno linearno naraščanje vsrkane tekočine po kvadratnem korenu časa. Koeficient transporta tekočin ni odvisen samo od materiala, ampak tudi od robnih pogojev, to je ali se zunanja površina moči z dežjem ali ne. V času dežja je pomembnejše vpijanje širših kapilar, v času porazdelitve vlage po dežju pa delovanje tanjših kapilar, ki je počasnejše. Program WUFI zato uporablja dva različna koeficienta transporta tekočin, in sicer koeficient transporta tekočin zaradi vpijanja  $D_{ws}$  in koeficient transporta tekočin zaradi porazdelitve  $D_{ww}$ . Koeficienta transporta tekočin za določen material sta redko dosegljiva podatka, vendar pa ju je mogoče aproksimirati tudi iz podatka koeficienta vpijanja vode  $A$ , kar omogoča tudi program WUFI. Velikokrat je namreč naraščanje koeficienta transporta tekočin zaradi vpijanja  $D_{ws}$  in vsebnost vlage  $w$  mogoče aproksimirati z eksponentno funkcijo, ki ima za večino mineralnih materialov osnovo 1000. Ob teh pogojih je relacija naslednja:

$$D_{ws}(w) = 3,8 \cdot (A/w_f)^2 \cdot 1000^{(w-w_f)^{-1}}, \quad (7)$$

kjer so

$D_{ws}$  [ m<sup>2</sup> / s ] koeficient transporta tekočin zaradi vpijanjanja,

$A$  [ kg / m<sup>2</sup> · √s ] koeficient vpijanjanja vlage,

$w$  [ kg / m<sup>3</sup> ] vsebnost vlage in

$w_f$  [ kg / m<sup>3</sup> ] vsebnost vlage pri prosti zasičenosti.

Na enak način se določi tudi odvisnost koeficienta transporta tekočin zaradi porazdelitve  $D_{ww}$ . *Toplotna prevodnost odvisna od vsebnosti vlage  $\lambda(w)$*  je lahko v mnogih primerih ustrežnejša kot sicer pogosto dostopen podatek o toplotni prevodnosti suhega materiala. Odvisnost se poda tabelarično, program WUFI pa linearno interpolira med posameznimi diskretno podanimi vrednostmi. Če zadošča enostavna linearna odvisnost, se lahko ustvari dvovrstična tabela z vključitvijo zaradi vlage povzročene dodatka. Linearna interpolacija se v tem primeru glasi

$$\lambda(w) = \lambda_0 \cdot (1 + b \cdot w / \rho_s), \quad (8)$$

kjer so

$\lambda(w)$  [ W / m · K ] toplotna prevodnost vlažnega materiala,

$\lambda_0$  [ W / m · K ] toplotna prevodnost suhega materiala,

$\rho_s$  [ kg / m<sup>3</sup> ] gostota suhega materiala in

$b$  [ % / m. – % ] toplotno prevodnostni dodatek zaradi vlage.

Dodatek  $b$  poda odstotno povečanje toplotne prevodnosti na masni odstotek vlage. Njegova vrednost je odvisna od materiala; pri higroskopičnih materialih je večinoma odvisna od njihove gostote. Pri tem toplotna prevodnost navlaženih materialov upošteva samo vpliv stoječe vode na transport toplote, medtem ko je vpliv difuzije s spremembo agregatnega stanja načeloma zajet drugod.

*Difuzijski koeficient vodne pare odvisen od vsebnosti vlage  $\mu(w)$*  je lahko v mnogih primerih ustrežnejši kot sicer pogosto dostopen podatek o difuzijskem koeficientu suhega materiala. Odvisnost se poda tabelarično, program WUFI pa linearno interpolira med posameznimi diskretno podanimi vrednostmi.

V drugem sklopu za računsko analizo potrebnih vhodnih podatkov so *klimatski podatki*. Klimatski podatki definirajo robne pogoje na zunanji in notranji površini konstrukcijskega sklopa zgradbe. Podamo jih z naslednjimi funkcijami oziroma koeficienti:

- meteorne padavine na površino [  $l / m^2 \cdot h$  ], v odvisnosti od nagiba in orientacije (smer neba) konstrukcijskega sklopa,
- gostota toka kratkovalovnega sončnega sevanja [  $W / m^2$  ], v odvisnosti od nagiba in orientacije (smer neba) konstrukcijskega sklopa,
- zunanja temperatura zraka [  $^{\circ}C$  ],
- zunanja relativna vlaga ( 0 ... 1 ),
- notranja temperatura zraka [  $^{\circ}C$  ],
- notranja relativna vlaga ( 0 ... 1 ),
- povprečni zračni pritisk [ kPa ] in
- sevanje v atmosfero [  $W / m^2$  ], če je potrebno upoštevati ohlajanje s sevanjem v nočnem obdobju.

Za računsko analizo je potreben tudi sklop *vhodnih podatkov*, ki definirajo povezavo *klimatskih podatkov z razmerami v konstrukcijskem sklopu*. Podajamo jih s površinskimi koeficienti prenosa/prehoda:

- toplotna prestopnost [  $m^2 \cdot K / W$  ], za zunanjo in notranjo površino, ki je recipročna vrednost koeficientu toplotne prestopnosti,
- mejna zračna plast [ m ], za zunanjo in notranjo površino, s katero lahko zajamemo vpliv površinskih obdelav brez njihovega definiranja kot posebnega sloja konstrukcijskega sklopa,
- absorptivnost kratkovalovnega sevanja [ - ],
- emisivnost dolgovalovnega sevanja [ - ],
- faktor absorpcije meteornih padavin [ - ], s katerim reduciramo količino padavin, ki jih vsrka poševen konstrukcijski sklop, saj se del padavin ob udarcu odbije od površine in
- koeficient prehoda vodne pare [  $kg / m^2 \cdot s \cdot Pa$  ] .

Če je površina stene toplejša od okolice, stena oddaja toploto. Transport toplote je sestavljen iz prehoda toplote skozi mejno zračno plast, konvekcije zračnega toka in emisije dolgovalovnega sevanja. Pojav je zelo kompliciran, vendar pa za gradbeno fiziko zadošča poenostavitev:

$$q = \alpha \cdot (\vartheta_u - \vartheta_0) , \quad (9)$$

kjer so

- $q$  [ W / m<sup>2</sup> ]            gostota toplotnega toka,  
 $\alpha$  [ W / m<sup>2</sup> · K ]        koeficient toplotne prestopnosti,  
 $\vartheta_u$  [ °C ]                temperatura okolice in  
 $\vartheta_0$  [ °C ]                temperatura površine.

Koeficient toplotne prestopnosti je pri tem sestavljen iz dveh delov:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s , \quad (10)$$

kjer sta

- $\alpha_k$  [ W / m<sup>2</sup> · K ]        konveksijski koeficient toplotne prestopnosti in  
 $\alpha_s$  [ W / m<sup>2</sup> · K ]        radiacijski koeficient toplotne prestopnosti.

Konveksijski koeficient toplotne prestopnosti je na kompliciran način povezan s temperaturo, magnitudo in smerjo možnega zračnega toka, lastnostmi površine konstrukcijskega sklopa, itd. Tako je možno podati samo grobo oceno njegove vrednosti, ki v pogojih proste konvekcije znaša med 3 in 10 W / m<sup>2</sup> · K, v pogojih prisilne konvekcije z vetrom pa med 10 in 100 W / m<sup>2</sup> · K.

Radiacijski koeficient toplotne prestopnosti je odvisen od temperature, materialov in lastnosti površin teles. Za dve bližnji, vzporedni in obsežni nekovinski površini znaša med 3 in 6 W / m<sup>2</sup> · K. Radiacijski koeficient toplotne prestopnosti se uporablja samo za telesa, katerih temperatura je blizu ambientne. Sončno sevanje je obravnavano posebej.

*Toplotna prestopnost*, ki se dogaja v *mejni zračni plasti*, skladno s terminologijo standardov, uporablja tudi program WUFI. Toplotna prestopnost je recipročna vrednost konveksijskega in radiacijskega koeficienta toplotne prestopnosti. Za zunanjo toplotno prestopnost zunanjih sten je predlagana vrednost 0,0588 m<sup>2</sup> · K / W, za notranjo toplotno prestopnost zunanjih sten 0,125 m<sup>2</sup> · K / W, vrednosti pa lahko določi tudi uporabnik.

Toplotna prestopnost vsebuje tudi komponento, ki opisuje dolgovalovno radiacijsko izmenjavo toplote z drugimi telesi v okolici, pri čemer je predpostavljena temperatura teles podobna temperaturi zraka. Ker sončno sevanje z izrazitim dnevnim variiranjem ne more biti v zvezi s temperaturo zraka, ga je potrebno obravnavati posebej. Sevanje med telesom in okolico (pri temperaturi približno  $T = 300$  K) se dogaja v dolgovalovnem infrardečem področju, medtem ko je sončno sevanje (temperatura površine Sonca  $T = 6000$  K) tudi kratkovalovno. Glede na to velja zveza za *absorptivnost kratkovalovnega sevanja*:

$$q = a_s \cdot I , \quad (11)$$

kjer so

$q$  [ W / m<sup>2</sup> ]            gostota toplotnega toka zaradi sončnega sevanja,  
 $a_s$  [ – ]                absorptivnost kratkovalovnega sevanja in  
 $I$  [ W / m<sup>2</sup> ]            gostota toplotnega toka sončnega sevanja navpično na površino.

*Emisivnost dolgovalovnega sevanja* je za nekovinske površine navadno okoli 0,9. Program WUFI določi točno vrednost na podlagi tipa zunanje površine, ki je določen za absorptivnost kratkovalovnega sevanja ali uporabi vrednosti, določene s strani uporabnika.

*Faktor absorpcije meteornih padavin* reducira količino padavin, ki jih lahko vsrka poševen konstrukcijski sklop, saj se del padavin ob udarcu odbije od površine. Faktor absorpcije meteornih padavin je odvisen od hrapavosti, orientacije, naklona površine in vrste padavin.

*Koeficient prehoda vodne pare* se avtomatično izračuna iz konvekcijskega prestopnega koeficienta toplote in ga ni potrebno posebej podajati. Analogen izračun kot pri toplotnem uporju oziroma prehodu se glasi:

$$g_v = \beta_p \cdot (p_u - p_0) , \quad (12)$$

kjer so

$g_v$  [ kg / m<sup>2</sup> · s ]            gostota toka vodne pare,  
 $\beta_p$  [ kg / m<sup>2</sup> · s · Pa ]        koeficient prehoda vodne pare,  
 $p_u$  [ Pa ]                    pritisk vodne pare okolice in  
 $p_0$  [ Pa ]                    pritisk vodne pare na površini.

Pri tem se numerična vrednost  $\beta_p$  z upoštevanjem prej navedenih enot izračuna po enačbi:

$$\beta_p = 7 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha_k , \quad (13)$$



za kar je predhodno potrebno oceniti konvekcijski delež koeficienta toplotne prestopnosti  $\alpha$ . Vzrok za uporabo prehoda vodne pare je enak kot pri prehodu toplote, to je vpliv mejne zračne plasti tik ob površini konstrukcijskega sklopa.

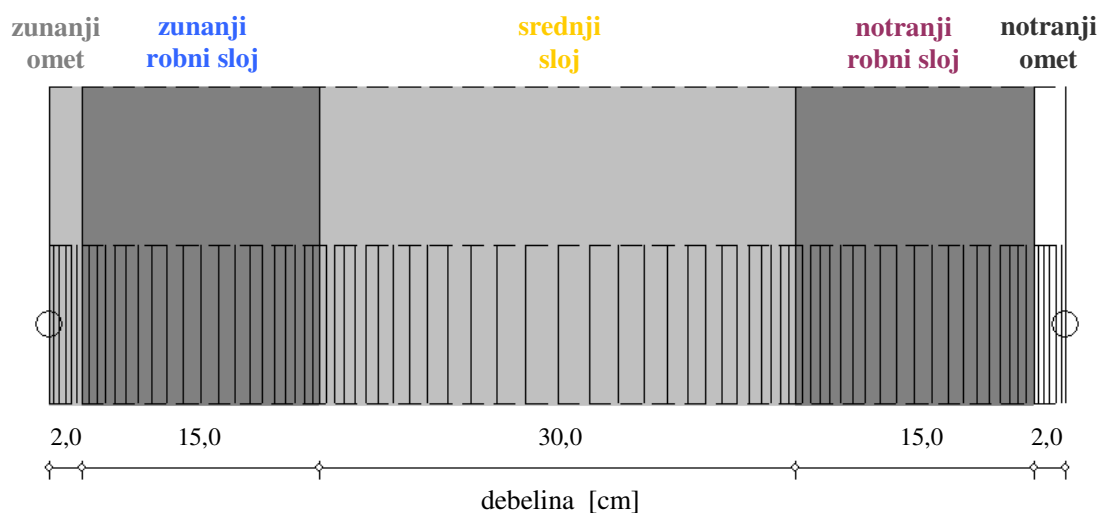
Zadnji sklop vhodnih podatkov so podatki o *začetnih razmerah*. Definirata jih profila temperature in relativne vlage oziroma količina vode v konstrukcijskem sklopu.

#### **7.4.4 Uporabljeni podatki in predpostavke računskega primera**

Na začetku je potrebno poudariti, da je prikazana računska analiza vpliva sistematičnega injektiranja kamnitih zidov na gradbeno fizikalne razmere zgolj poskus simulacije dejanskih razmer za poljubno izbran primer. Pri tem se srečamo s celo serijo izkustvenih podatkov in domnev, ki v veliki meri niso eksperimentalno potrjene. Primarni cilj računske analize zato ni bil pridobiti popolnoma realne rezultate, ampak s prikazom postopka poudariti potrebo po izvedbi računskih analiz tudi v projektantski praksi. Rezultati so po številčnih vrednostih vprašljivi, predvsem zaradi uporabljenih eksperimentalno nepotrjenih in zato verjetno delno neustreznih vhodnih podatkov. Ti so bili pridobljeni z izkušnjami, obstoječimi meritvami, opazovanjem in analizo injektiranja s primarnimi eksperimentalnimi metodami ter idealizacijami strokovnjakov podjetij Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o. in Gras d.o.o. ([www.gi-zrmk.si](http://www.gi-zrmk.si)). Podjetji delujeta v okviru ZRMK Holdinga d.d., katerega zaposleni so bili pionirji izvedbe injektiranja v slovenskem prostoru. Pri rezultatih računske analize je vprašljiva tudi ustreznost enodimenzionalnega računskega modela glede upoštevanja prenosa toplote in vlage v poroznem mediju.

Kamniti zidovi so izrazito nehomogene konstrukcije in jih obstaja več vrst. V računski analizi je predpostavljen slojevit zid, čigar kamnito gradivo je iz apnenca. Robna sloja nosilnega dela zidu sta sezidana iz večjih, delno klesanih gradnikov in z apneno malto. Ta dva sloja zidu sta mestoma povezana s povezovalnimi kamni, drugače pa je med njima nasuto večinoma nevezano kamnito gradivo manjših frakcij z vmesnimi prazninami, ki tvori srednji sloj zidu. Take zidove srečujemo pri starejših kamnitih zgradbah večinoma v alpskem svetu in dolomitih. Na zunanji strani zidu je predpostavljen omet iz podaljšane malte, na notranji strani

pa omet iz apnene malte. Prerez zidu z idealiziranimi povprečnimi debelinami slojev je prikazan na shematični sliki (Slika 7.6), pri čemer ne smemo pozabiti tudi na mejni zračni plasti ob obeh mejnih površinah zidu. Zaradi različnih dimenzij gradnikov se debeline posameznih slojev konstrukcijskega sklopa v naravi dejansko gibljejo okoli izbranih vrednosti. Na fotografiji zidne sonde (Slika 7.7) je zasnova zidu predstavljena tudi v naravi.



Slika 7.6: Shema prereza kamnitega zidu z debelinami slojev

Figure 7.6: Cross-section of a stone masonry wall, with thicknesses of layers presented



*Slika 7.7: Globinska sonda kamnitega zidu, kjer se po odstranitvi večjega delno klesanega kamna iz robnega sloja zidu vidi srednji sloj iz manjših kosov kamenja in drobirja z vmesnimi prazninami*

*Figure 7.7: Depth-probe of a stone masonry wall: removal of a bigger stone from the outer layer reveals a middle layer consisting of smaller pieces of rocks and debris with intermediate voids*

Računska analiza je narejena za neinjektiran kamnit zid in za zid, sistematično injektiran s cementno ali apneno injekcijsko maso. Izhodiščni materialni podatki za posamezne komponente, ki tvorijo praviloma nehomogene sloje zidu, so podani tabelarično (*Preglednica 7.1*).

*Preglednica 7.1: Materialne karakteristike posameznih komponent kamnitega zidu*

*Table 7.1: Material characteristics of individual components of a stone masonry wall*

	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$por$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
apnenec	2500	0,03	936	2,90	65
apnena malta, omet in strjena injekcijska masa	1600	0,15	1044	0,87	20
strjena cementna injekcijska masa	2200	0,05	1044	1,40	30
apneno-cementni omet	1800	0,12	1044	0,95	25

Volumska gostota neinjektiranega kamnitega zidu iz apnenega kamnitega gradiva in brez ometov je približno 20 kN / m<sup>3</sup>, pri čemer imata robna sloja za predpostavljeni tip kamnitega zidu izkustveno približno 10 % vezne malte in 5 % praznin, srednji nasuti sloj brez ali z zelo malo veziva pa tudi do 30 % praznin. Spodnja meja injektibilnosti kamnitih zidov je izkustveno pri 5 – 10 % manjših praznin (brez upoštevanja por), saj te praviloma ostanejo nezapolnjene tudi po injektiranju. Srednji večinoma nasuti sloj zidu je zato dobro injektabilen, saj se z injekcijsko maso lahko zapolni do 25 % njegove prostornine. V prostornino 1 m<sup>3</sup> srednjega sloja zidu gre z upoštevanjem gostote injekcijske mase v povprečju okoli 430 kg sveže cementne injekcijske mase, ki jo tvori ca 250 kg cementnega veziva in ca 180 l vode. Injekcijske mase imajo z namenom dobre penetrabilnosti in dodatne navlažitve zidu namreč visok odstotek vode (vodo-cementno razmerje  $v/c$  od ca 0,7 do 1,0). Po praktičnih izkušnjah se približno 90 l vode veže, 50 l se je v zadnji fazi injektiranja z vzdrževanjem pritiska odfiltrira v območja, ki so že zapolnjena z malto (robna sloja zidu), 40 l pa je ostane proste v prazninah in porah v srednjem sloju zidu. Odvečna voda se kasneje izsuši, po praktičnih izkušnjah v približno enem letu ob dobrem zračenju notranjosti zgradbe (površina zidov).

V drugem primeru injektiranja z apneno injekcijsko maso je upoštevano, da gre v prostornino 1 m<sup>3</sup> srednjega sloja zidu z upoštevanjem zapolnitve večjega dela praznin in gostote injekcijske mase v povprečju okoli 340 kg sveže apnene injekcijske mase, ki jo tvori ca 210

kg hidravličnega apna in ca 130 l vode. Po praktičnih izkušnjah se približno 30 l vode veže, 60 l se je v zadnji fazi injektiranja odfiltrira v območja, ki so že zapolnjena z malto (robna sloja zidu), 40 l pa je ostane proste v prazninah in porah v srednjem sloju zidu.

Glede na zgornje izkustvene podatke in materialne karakteristike komponent posameznih slojev zidu (*Preglednica 7.1*), lahko z upoštevanjem njihove prostorninske sestave predpostavimo materialne karakteristike slojev zidu, ki jih podamo kot osnovne in obvezne materialne podatke v pripravi računskega modela za program WUFI. Zaokrožene izračunane vrednosti so podane tabelarično (*Preglednica 7.2*). Pri tem je potrebno posebej poudariti, da so nezapolnjene praznine v kamnitih slojih zidu prištete k poram.

*Preglednica 7.2 : Materialne karakteristike slojev kamnitega zidu*

*Table 7.2: Material characteristics of stone masonry wall layers*

	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$por$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$c$ [J/kgK]	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]
apneno-cementni omet	1800	0,12	1044	0,95	25
robni sloj zidu	2285	0,09	947	2,69	60
neinjektiran srednji sloj zidu	1750	0,32	936	2,90	65
s cementno malto injektiran srednji sloj zidu	2090	0,17	956	2,63	59
z apneno malto injektiran srednji sloj zidu	1990	0,19	955	2,54	57
apneni omet	1600	0,15	1044	0,87	20

Neobvezni materialni podatki nimajo bistvenega vpliva pri primerjavi končnega stanja, to je pri primerjalni analizi neinjektiranega zidu in injektiranega že osušenega zidu. Pri taki analizi bi se tako lahko ob relativno majhni napaki ognili podajanju neobveznih materialnih podatkov, ki so vsi vezani na vpliv vlage v zidu. Problem je namreč, da so ti podatki, še posebej za obravnavani primer, zaradi strukture zidu in nehomogenega prevladujočega materiala (kamen), težko dosegljivi in nezanesljivi. Ker pri analizi vpliva injektiranja sušenja

zidu ne moremo zanemariti oziroma nas čas sušenja in razporeditev vlage zanimata, je za realnejšo sliko dogajanja nujno potrebno podati funkcijo vsebnosti vlage in oba koeficienta transporta tekočin za vsak sloj konstrukcijskega sklopa posebej. Funkcija vsebnosti vlage  $w$  je aproksimirana s podajanjem proste zasičenosti  $w_f$  in vsebnosti vlage  $w_{80}$ , ki ustreza ravnotežju vlage pri relativni vlažnosti 0,8, za vsak sloj konstrukcijskega sklopa posebej. Uporabljene vrednosti so podane v tabelarično (Preglednica 7.3).

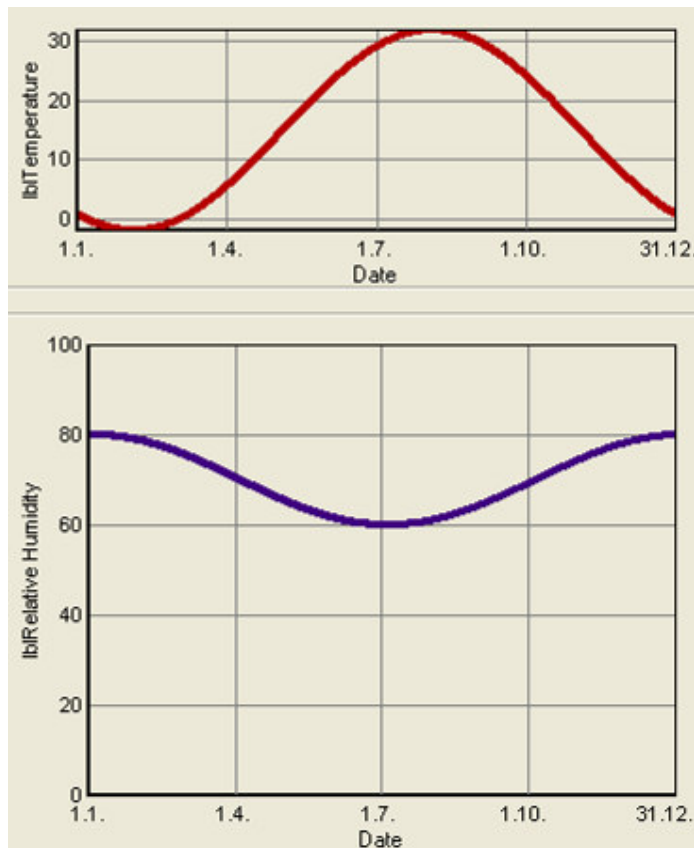
*Preglednica 7.3: Vsebnost vlage pri relativni vlažnosti 0,8 in prosti zasičenosti*  
*Table 7.3: Moisture content at relative humidity of 0,8 and at free saturation conditions*

	$w_{80}$ [ kg / m <sup>3</sup> ]	$w_f$ [ kg / m <sup>3</sup> ]
apneno-cementni omet	8	100
robni sloj zidu	5	80
neinjektiran srednji sloj zidu	25	280
s cementno malto injektiran srednji sloj zidu	10	140
z apneno malto injektiran srednji sloj zidu	15	160
apneni omet	10	130

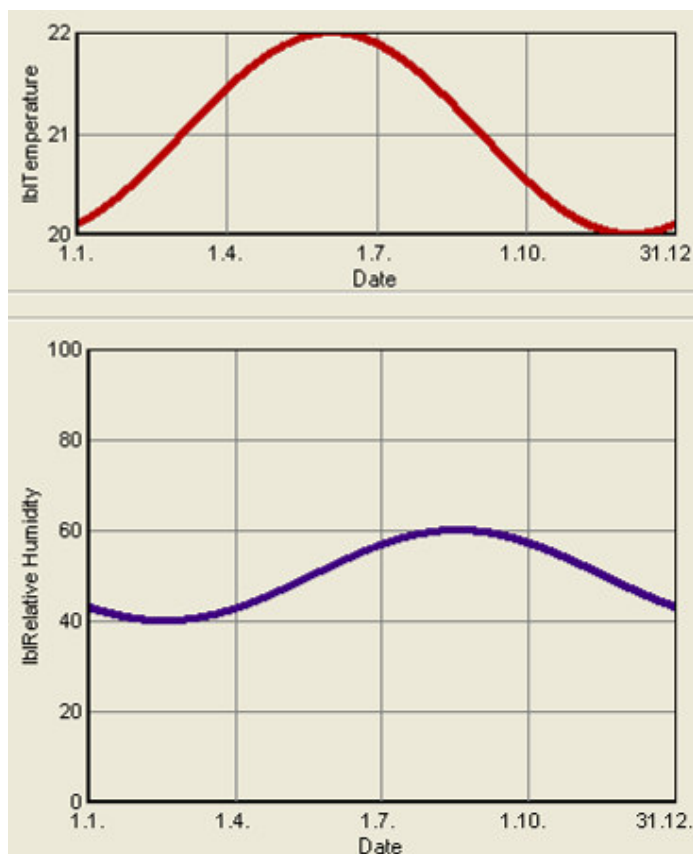
Veliko težje je določiti oba koeficienta transporta tekočin (koeficient transporta tekočin zaradi vpivanja  $D_{ws}$  in koeficient transporta tekočin zaradi porazdelitve  $D_{ww}$ ) v odvisnosti od vsebnosti vlage, saj sta zaradi nehomogenosti materialov zelo spremenljiva. Ker zanesljivi podatki ne obstajajo, sta koeficienta aproksimirana v odvisnosti od koeficient vpivanja vode  $A$ , in sicer za vse sloje zidu enako s tipično vrednostjo za mineralna gradiva  $A = 0,015 \text{ kg} / \text{m}^2 \cdot \sqrt{\text{s}}$ .

Ker je obravnavan posplošen primer zidu, so klimatskih podatki podani s sinusnimi krivuljami temperature in zračne vlage na zunanji in notranji strani (en val ima časovno

periodo enega leta). Na zunanji strani je povprečna letna temperatura  $15^{\circ}\text{C}$  z amplitudo  $17^{\circ}\text{C}$  in maksimumom v začetku avgusta, povprečna letna relativna vlaga v zraku pa je  $70\%$  z amplitudo  $10\%$  in maksimumom na prehodu let (Slika 7.8). Na notranji strani je povprečna letna temperatura  $21^{\circ}\text{C}$  z amplitudo  $1^{\circ}\text{C}$  in maksimumom v začetku junija, relativna vlažnost pa je  $50\%$  z amplitudo  $10\%$  in maksimumom na sredi avgusta (Slika 7.9). S tem je predpostavljeno relativno dobro zračenje notranjosti.



*Slika 7.8: Sinusni krivulji temperature in relativne vlažnosti na zunanji strani zidu*  
*Figure 7.8: Sine curves of external temperature and relative humidity*



*Slika 7.9: Sinusni krivulji temperature in relativne vlažnosti na notranji strani zidu*

*Figure 7.9: Sine curves of internal temperature and relative humidity*

Pri sklopu vhodnih podatkov, ki definirajo povezavo klimatskih podatkov z razmerami v konstrukcijskem sklopu, je za toplotno prestopnost v mejni zračni plasti na zunanji strani osvojena predlagana vrednost  $0,0588 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ , na notranji strani pa  $0,125 \text{ m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$ . Sevanje in vpliv padavin nista upoštevana, saj je analiziran posplošen primer. Zato so vplivi lokalnih klimatskih razmer, orientacije, nagiba in podobnega namenoma izključeni.

Na koncu je potrebno podati tudi začetno stanje s profilom temperature in relativne vlažnosti oziroma količina vode v konstrukcijskem sklopu. V začetnem stanju je predpostavljen konstanten temperaturni profil po celotnem prerezu zidu, in sicer  $20^\circ\text{C}$ . Dejanski temperaturni profil je sicer bližje stanju, ki ga definirata zunanja in notranja temperatura zraka, vendar to



glede na daljše opazovano obdobje ni pomembno, saj se računsko ravnotežje temperaturnega profila in robnih pogojev hitro vzpostavi.

Podobno je bil v primeru neinjektiranega zidu v začetnem stanju pri prvi iteraciji predpostavljen suh konstrukcijski sklop, kar se je izkazalo za neprimerno, saj količina vlage v računski dobi ni dosegla končnega stanja glede na količino vlage v okolici. V končni iteraciji je bila kot ustrezna določena količina vode v srednjem sloju konstrukcijskega sklopa  $10 \text{ kg} / \text{m}^3$ , v robnih slojih zidu pa po  $2 \text{ kg} / \text{m}^3$ , kar ustreza slabim 4 l vode na kvadratni meter zidu.

Tudi v primeru injektiranega zidu s cementno maso je podana količina vode v posameznih slojih konstrukcijskega sklopa. Po prej navedeni predpostavki je upoštevano, da v primeru injektiranja s cementno injekcijsko maso kubičnega metra srednjega sloja zidu ostane prostih 90 l vode, pri čemer se je 50 l odfiltrira v robna sloja zidu, v vsakega po 25 l. Glede na predpostavljeno zgradbo zidu in debelino srednjega sloja zidu 0,3 m je na kvadratni meter zidu prisotnih  $90 \text{ l} \cdot 0,3 = 27 \text{ l}$  vode, od tega 12 l v srednjem sloju in po 7,5 l v obeh robnih slojih. Količino vode podamo v  $\text{kg} / \text{m}^3$ , kar znaša za srednji sloj torej

$$12 \text{ kg} / 0,30 \text{ m} \cdot \text{m}^2 = 40 \text{ kg} / \text{m}^3,$$

za oba robna sloja pa po

$$7,5 \text{ kg} / 0,15 \text{ m} \cdot \text{m}^2 = 50 \text{ kg} / \text{m}^3.$$

Podobno v primeru injektiranja z apneno injekcijsko maso kubičnega metra srednjega sloja zidu ostane prostih 100 l vode, pri čemer se je 60 l odfiltrira v robna sloja zidu, v vsakega po 30 l. Na kvadratni meter zidu je prisotnih  $100 \text{ l} \cdot 0,3 = 30 \text{ l}$  vode, od tega 12 l v srednjem sloju in po 9 l v obeh robnih slojih. Količina vode v srednjem sloju je potem

$$12 \text{ kg} / 0,30 \text{ m} \cdot \text{m}^2 = 40 \text{ kg} / \text{m}^3,$$

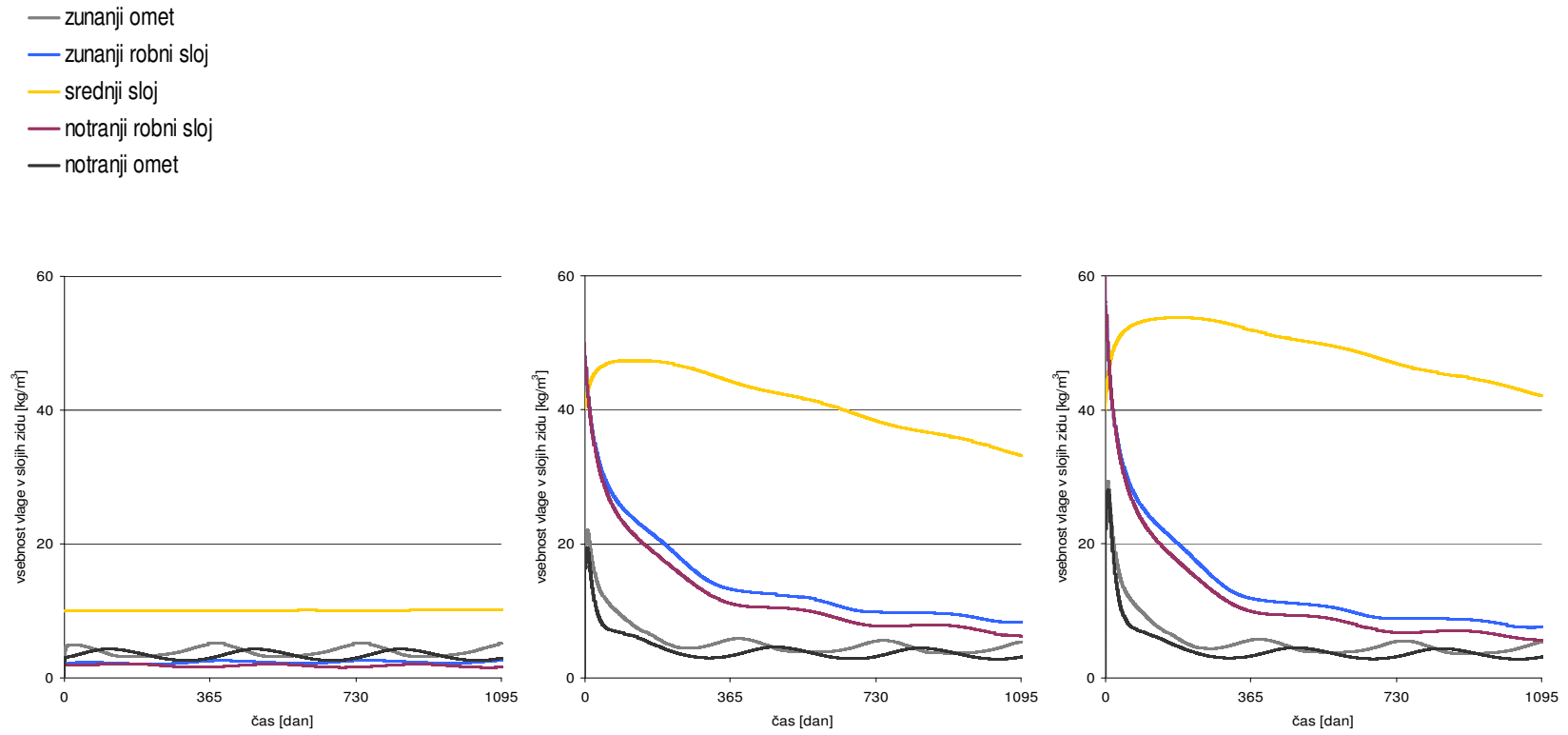
v obeh robnih slojih pa po

$$9 \text{ kg} / 0,15 \text{ m} \cdot \text{m}^2 = 60 \text{ kg} / \text{m}^3.$$

Računska analiza gradbeno fizikalnih razmer je bila narejena za obdobje treh let (od 01.10.2008 do 01.10.2011).

#### **7.4.5 Rezultati analize**

V nadaljevanju so podani rezultati računske analize v obliki grafov vsebnosti vlage, temperaturnega profila in profila relativne vlažnosti neinjektiranega in s cementno ali apeno injekcijsko maso injektiranega kamnitega zidu (*Slika 7.10, Slika 7.11 in Slika 7.12*).



a) *neinjektiranega kamnitega zidu*

a) *non grouted stone masonry wall*

b) *s cementom injektiranega kamnitega zidu*

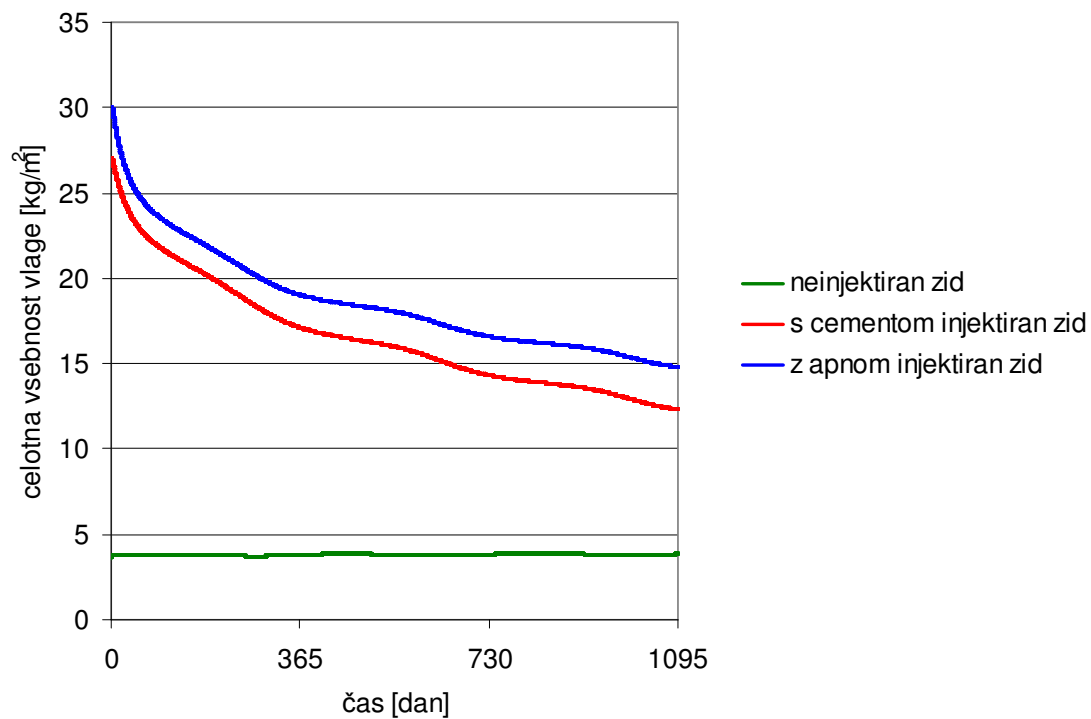
b) *cement grouted stone masonry wall*

c) *z apnom injektiranega kamnitega zidu*

c) *lime grouted stone masonry wall*

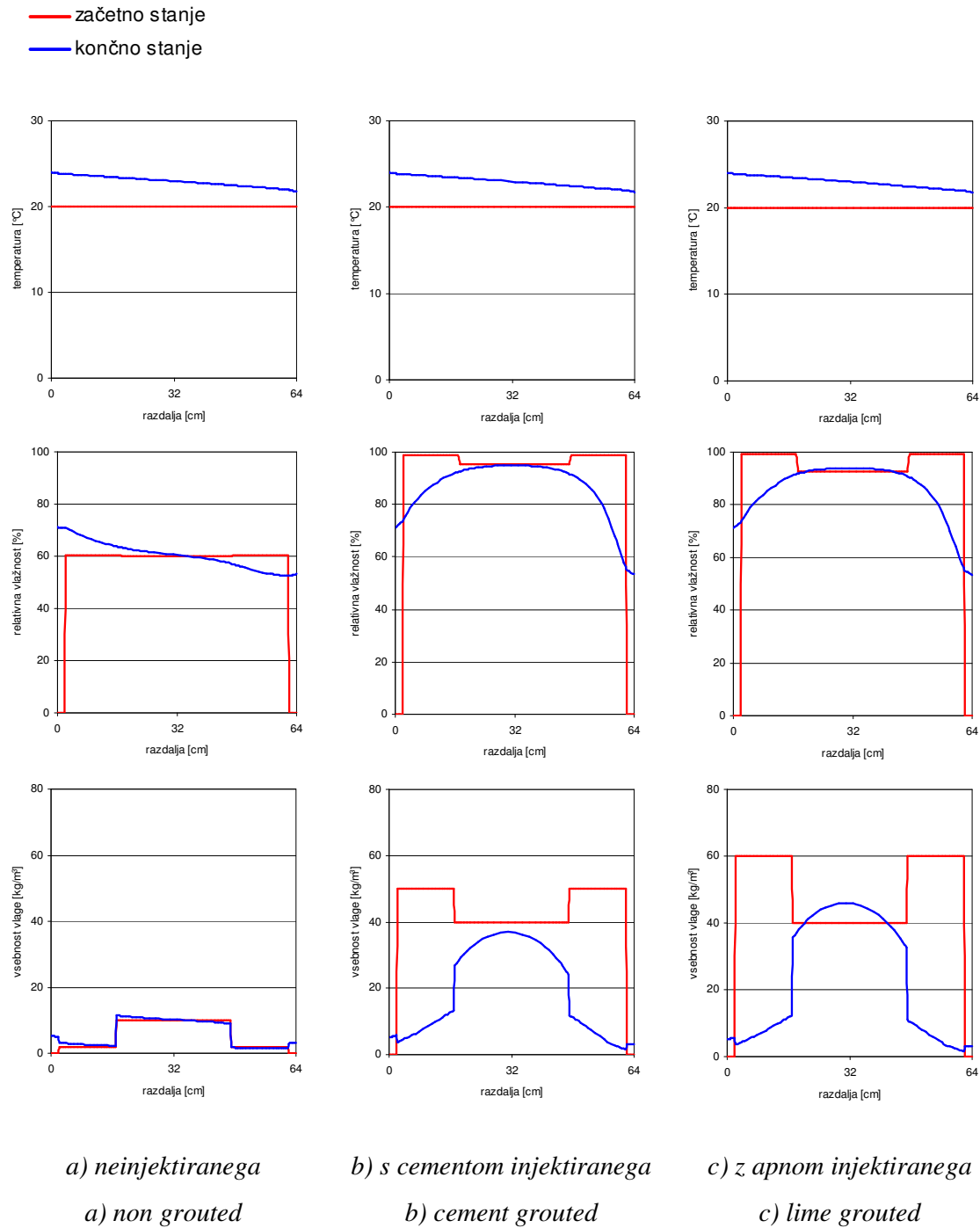
Slika 7.10: Vsebnost vlage v slojih zidu [kg/m<sup>3</sup>]

Figure 7.10: Water content of wall layers [kg/m<sup>3</sup>]



Slika 7.11: Vsebnost vlage celotnega kamnitega zidu [ $\text{kg/m}^2$ ]

Figure 7.11: Total water content of the entire stone masonry wall [ $\text{kg/m}^2$ ]



Slika 7.12: Profil temperature [°C], relativne vlažnosti [%] in vsebnosti vlage [kg/m<sup>3</sup>] kamnitega zidu

Figure 7.12: Temperature profile [°C], relative humidity [%] and water content [kg/m<sup>3</sup>] of a stone masonry wall

#### 7.4.6 Komentar rezultatov

Pri komentarju rezultatov je potrebno ponovno poudariti, da je prikazana računsko analiza vpliva sistematičnega injektiranja kamnitih zidov na gradbeno fizikalne razmere zgolj poskus simulacije dejanskih razmer za poljubno izbran primer. Primarni cilj računske analize zato ni bil pridobiti popolnoma realne rezultate, ampak s prikazom postopka poudariti potrebo po izvedbi računskih analiz. Rezultati so po številčnih vrednostih vprašljivi, predvsem zaradi uporabljenih eksperimentalno nepotrjenih in zato verjetno delno neustreznih vhodnih podatkov. Ti so bili pridobljeni z izkušnjami, obstoječimi meritvami, opazovanjem in analizo injektiranja s primarnimi eksperimentalnimi metodami ter idealizacijami. Vprašljiva je tudi ustreznost enodimenzionalnega računskega modela glede upoštevanja prenosa toplote in vlage v poroznem mediju.

Pri referenčnem neinjektiranem kamnitem zidu z ustrezno določeno vsebnostjo vlage posameznih konstrukcijskih slojev po pričakovanju vidimo, da je vsebnost vlage v zaključnih ometih močno odvisna od nihanja relativne vlažnosti okolice, nakar ta vpliv proti notranjosti zidu slabi (*Slika 7.10 a*). Vsebnost vlage robnih slojev zidu tako še vedno niha okoli na začetku predpisane vsebnosti vlage teh slojev, vendar z manjšo amplitudo kot pri ometih, medtem ko je vsebnost vlage poroznega srednjega dela zidu približno konstantna skozi vso računsko dobo.

Pri zidu, injektiranem s cementno injekcijsko maso, se vsebnosti vlage v prvem letu po injektiranju v obeh robnih slojih in zaključnih ometih izrazito zmanjša (*Slika 7.10 b*). Zanimivo je, da v srednjem sloju vsebnost vlage v prvi polovici leta naraste, nakar potrebuje več kot leto dni, da ponovno upade na začetno vrednost. Razlog je v tem, da srednji sloj sprejme del vlage iz obeh robnih slojev zidu, kjer je na začetku višja relativna vlažnost. Kljub temu vsebnost vlage v celotnem zidu v prvem letu izrazito upade, in sicer s  $27 \text{ kg / m}^2$  na manj kot  $18 \text{ kg / m}^2$ , nakar približno konstantno upada do konca računske dobe na vrednost pod  $13 \text{ kg / m}^2$  (*Slika 7.11*). Pri tem je večina vlage, več kot  $10 \text{ kg / m}^2$ , v srednjem sloju, vsebnost vlage v ometih pa je podobna tisti v neinjektiranem zidu.

Pri zidu, injektiranim z apneno injekcijsko maso, opazimo podobno dogajanje, s tem da se vsebnosti vlage in časovni razvoj malo razlikujejo (*Slika 7.10 c*). Razlika je predvsem v srednjem sloju zidu, kjer vsebnost vlage po naraščanju v prvi polovici leta ne upade pod začetno vrednost v celotni računski dobi. Kljub temu vsebnost vlage v celotnem zidu v prvem letu izrazito upade, in sicer s  $30 \text{ kg / m}^2$  na manj kot  $20 \text{ kg / m}^2$ , nakar približno konstantno upada do konca računske dobe na vrednost okoli  $15 \text{ kg / m}^2$  (*Slika 7.11*). Pri tem je ponovno večina vlage, približno  $13 \text{ kg / m}^2$ , v srednjem sloju, vsebnost vlage v ometih pa je podobna tisti v neinjektiranem zidu.

Končna ugotovitev je torej, da vsebnost vlage pri upoštevanih vhodnih podatkih pri injektiranem zidu ne glede na vezivo (cement ali hidravlično apno) injekcijske mase v prvem letu izrazito upade, še posebej proti robnim ploskvam zidu (*Slika 7.12*). To je skladno s praktičnimi izkušnjami, kjer poročajo o suhem zidu po enem letu. Dejansko je še precej vlage v srednjem sloju zidu, več v primeru apnene injekcijske mase, in trend sušenja se nadaljuje s približno konstantno intenziteto. Vse omenjeno seveda velja pod predpostavko dobrega zračenja in paropropustnih robnih slojev zidu, zaradi česar je v obdobju po injektiranju potrebna redna kontrola stanja. Zelo podoben je tudi temperaturni profil zidov (*Slika 7.12*), vključno s temperaturo notranje robne ploskve zidov, in sicer ne glede na to, ali je zid neinjektiran ali injektiran, medtem ko so ostale karakteristike zidov skoraj enake.

Računski rezultati kažejo, da se toplotne razmere med neinjektiranim in injektiranim zidom po fazi sušenja, ki je najizrazitejša prvo leto po injektiranju, bistveno ne razlikujejo. Bistvene razlike ni tudi glede tega, če je bila uporabljena cementna ali apnena injekcijska masa, razen da je pri apneni injekcijski masi sušenje nekaj počasnejše. Glavni kriterij pri izboru injekcijske mase so tako zahteve glede doseganja želenega nivoja mehanskih karakteristik injektiranega zidu in zahteve spomeniškega varstva.

## 8 TRAJNOSTNI PRISTOP K UTRDITVI ZIDANIH ZGRADB

### 8.1 Splošno o trajnosti v tehničnem smislu

Če analiziramo izvedene rekonstrukcije zidanih zgradb, ugotovimo, da se pri rekonstrukcijah uporabljajo preverjeni postopki, ki so se večinoma uveljavili skozi daljše obdobje. Uveljavili so se tudi zaradi tega, ker v primeru strokovno korektne izvedbe praviloma ni večjih negativnih stranskih učinkov. Glede uvajanja novih postopkov in materialov je gradbeništvo v primerjavi z nekaterimi drugimi tehničnimi strokami relativno konservativna panoga.

Z utrditvenimi ukrepi izboljšamo zmogljivost nosilne konstrukcije, tako da le-ta zadosti zahtevam predpisov glede nosilnosti in stabilnosti ter potresne odpornosti stavbe. Utrditveni ukrepi zajemajo vpeljavo novih konstrukcijskih elementov kot tudi izboljšanje materialnih karakteristik obstoječih. Oboje pomeni spremembo konstrukcijskega sklopa in s tem pogojev prenosa toplote in vlage, kar ima lahko tudi negativne posledice. To pomeni, da moramo že pri načrtovanju utrditvenih ukrepov misliti tudi na zakonitosti in zahteve glede prenosa toplote in vlage, ki smo jih tudi sicer v okviru rekonstrukcije stavbe dolžni izpolniti.

Vsekakor hitro ugotovimo, da je za vpeljavo novih postopkov ali uspešno uporabo že uveljavljenih, potreben interdisciplinaren pristop. Pri interdisciplinarnem pristopu moramo paziti tako na vpliv predvidenih ukrepov na povečanje nosilnosti in sodelovanje novih in starih konstrukcij (detajli) kot tudi na vpliv ukrepov na prenos toplote in vlage ter posledično trajnost. Na tem mestu govorimo predvsem o trajnosti v tehničnem smislu, velikokrat tudi s ciljem ohranjanja kulturno-zgodovinskih spomenikov in stavb. Na trajnost v tehničnem smislu se odražajo *okoljski, ekonomski in družbeni vidiki* trajnostne gradnje in obratno. V zvezi s trajnostjo v tehničnem smislu moramo zagotoviti trajnost samega utrditvenega ukrepa oziroma dodanega dela konstrukcije. Z utrditvenim ukrepom ravno tako ne smemo zmanjšati trajnosti ostalih delov konstrukcije in s tem celega objekta. Uveljavljeni utrditveni in sanacijski postopki v primeru strokovne zasnove in izvedbe praviloma ne povzročajo težav glede prenosa toplote in vlage, saj je problematične ukrepe z leti izločila že praksa. Pri vpeljavi novih postopkov je o možnih negativnih posledicah potrebno misliti v naprej, v



kolikor se ne želimo prevečkrat učiti na lastnih napakah. Zahteve glede prenosa toplote in vlage poleg tega največkrat izpolnjujemo ločeno od same utrditve stavbe s pomočjo dodatnih ukrepov za energetska sanacijo, s katerimi v okviru celovitega pristopa nadgradimo stavbo tudi v tem smislu.

## 8.2 Rekonstrukcija kot strategija za povečanje trajnosti grajenega okolja

Zanimanje za rekonstrukcije obstoječih stavb kot alternativa novogradnjam ali nadomestnim gradnjam vse bolj narašča. Z rekonstrukcijo zidane zgradbe le-to utrdimo, adaptiramo skladno z namenom uporabe in izboljšamo bivalne pogoje, tako da prenovljena zgradba zadosti aktualnim zahtevam. Prenova obstoječih stavb ima vse večji pomen pri ustvarjanju trajnega okolja, ki naj zadosti človeškim potrebam ob hkratnem vzdrževanju ravnovesja z naravo. Rekonstrukcije morajo biti zato ustrezno izvedene, tako v smislu zadostitve zahtevam glede zmogljivosti kot v smislu trajnosti izvedenih ukrepov. Na področju izboljšanja projektiranja in izvedbe je glede trajnosti še veliko rezerv. Poleg tradicionalnih kriterijev *stroškov, časa in kakovosti* se v smislu trajnosti v splošnem namreč vse bolj zavedamo pomena naslednjih treh kriterijev oziroma vidikov:

- okoljski vidik
- ekonomski vidik in
- družbeni vidik.

Ti kriteriji so točneje definirani s klimatskimi pogoji, kulturo, stavbarsko tradicijo, stopnjo industrijskega razvoja in značilnostmi konkretne stavbe. V tem smislu jih lahko za stavbe transformiramo v naslednje cilje, ki morajo vsebovati lokalne značilnosti:

- prilagoditev stavb človeškim potrebam,
- čim manjši negativni vpliv na naravno okolje in
- minimiziranje porabe materiala in energije.

Prvi kriterij prilagoditve stavb človeškim potrebam je pravzaprav vedno prisoten, saj je človek od nekdaj gradil stavbe kot lupine, ki so mu nudile zavetje, toplotno ugodje in varnost za bivanje in dejavnost. Z vsestranskim tehničnim napredkom je lahko izpolnjevanje teh zahtev vse popolnejše in tehnično trajnejše ob hkratnem upoštevanju kulturnega izročila. Drugega kriterija, čim manjšega negativnega vpliva na naravno okolje, se vse bolj zavedamo ob naraščanju obsega grajenega okolja in s tem tudi naraščanja negativnih vplivov. Naravno okolje tvorijo ekosistemi, katerih neporušeno ravnovesje je ključnega pomena za preživetje človeštva. V tem smislu tretji kriterij minimiziranja porabe materiala in energije direktno izhaja iz drugega. Čim manjša poraba oziroma čim boljši izkoristek sta tako ključnega pomena za trajnost. Skupaj z zelo pomembno prilagoditvijo stavb človeškim potrebam nas to direktno pripelje do sklepa o načelni smotrnosti rekonstrukcij obstoječih stavb, ki jih izvajamo s tehničnimi ukrepi ob upoštevanju vsestranskih trajnostnih zahtev.

Z rekonstrukcijo obstoječih zidanih zgradb ohranimo velik del mase obstoječih konstrukcij. Na ta način je potreba po novem gradbenem materialu manjša, s tem pa sočasno manj obremenimo okolje z gradbenimi odpadki in porabo energije za proizvodnjo, dobavo in vgradnjo novih materialov oziroma konstrukcij. Vpliv na okolje ob rekonstrukciji obstoječe zgradbe je tudi manjši kot v primeru novogradnje na prej nepozidanem območju. Z rekonstrukcijo posamezne zgradbe ali pozidanega predela poleg tega oživljamo širša urbana območja ter ohranjamo kulturno in zgodovinsko dediščino.

### **8.3 Analiza vplivov (stroškov) v življenjski dobi proizvoda ali ukrepa**

Koncept podrobne analize vplivov nekega proizvoda ali ukrepa je relativno nov, saj njegovi začetki segajo v pozna šestdeseta leta dvajsetega stoletja. Nastal je kot odgovor na naraščajočo zavest o pomembnosti ohranjanja okolja in potrebe po trajnostnem razvoju. Razvile so se različne metode ocenjevanja vplivov. Metode, ki zajemajo vse vplive v smislu emisij, so združene v LCA (Life-cycle analysis – Analiza vplivov / emisij v življenjski dobi). Oceno finančnih stroškov vplivov nam da metoda LCCA (Life-cycle cost analysis – Analiza stroškov v življenjski dobi). LCCA je način ocene skupnih stroškov objekta ali izvedbe

določenega konstrukcijskega ukrepa v njegovi celotni življenjski dobi. Pri tem je potrebno upoštevati vse tako pozitivne kot negativne vplive ter jih pravilno ovrednotiti. Obstaja več in različnih načinov LCCA, ki se razlikujejo predvsem po pristopu oziroma uteži posameznih vplivov. Posamezni vplivi se namreč lahko odražajo na mnogih področjih, vprašanje pa je, do kod jih je v določenem primeru smotrno upoštevati. Kot primer lahko navedemo porabo energije stavbe med obratovanjem, kjer lahko učinek tega vpliva zaključimo z upoštevanjem cene energije, lahko pa upoštevamo tudi stroške sanacije toplotnih mostov, davčne olajšave za energetske varčne stavbe, vpliv večje porabe energije na okolje in zdravje ljudi, itd. Glede tega tudi v prihodnje ni pričakovati popolnega poenotenja, kar niti ni bistveno. Pomembno je, da lahko s pomočjo LCCA v fazi odločanja ali projektiranja ocenimo oziroma primerjamo skupne stroške in vplive posameznih alternativnih konstrukcijskih ukrepov in na ta način izberemo tistega, ki ob najnižjih stroških v celotni življenjski dobi zagotavlja ustrezno kakovost, funkcionalnost in s tem tudi trajnost. Pri tem so stroški mišljeni v širšem smislu, ki poleg stroška izvedbe upoštevajo tudi ostale stroške oziroma posledice, ki jih izvedba konstrukcijskega ukrepa povzroči. V primeru rekonstrukcije stavb oziroma izvedbe določenega konstrukcijskega ukrepa na zgradbi so stroški v širšem smislu naslednji:

- stroški projektiranja in pridobitve soglasij,
- začetni stroški,
- stroški za energijo in vodo,
- stroški uporabe, vzdrževanja in popravil,
- stroški zamenjave in
- ostali ekonomski stroški.

V tehničnem smislu so zanimive predvsem srednje štiri alineje. Začetni stroški so stroški za material in delo za izvedbo določenega konstrukcijskega ukrepa. Ko tem stroškom dodamo stroške za transport ter ob izvedbi porabljeno energijo in vodo, dobimo stroške izvedbe konstrukcijskega ukrepa, kakršni so navadno zajeti v popisih gradbenih, obrtniških in inštalacijskih del. V smislu trajnosti so zelo pomembni stroški uporabe, vzdrževanja in popravil. Le-ti so v primeru dobrega projektiranja in izvedbe praviloma nizki, kar je glede na siceršnjo visoko zastopanost teh stroškov v celotni masi stroškov zelo pomembno.

Nenazadnje so pomembni tudi stroški zamenjave določene konstrukcije, do česar lahko pride tako zaradi izrabljenosti kot tudi zaradi novih spoznanj stroke.

## **8.4 Stroški utrditve in sanacije**

### **8.4.1 Izhodišča**

Cilj prikaza stroškov utrditve in sanacije zidanih zgradb ni ekonomska študija upravičenosti, kot na primer v prejšnjem poglavju prikazana LCCA. Študija ekonomske upravičenosti rekonstrukcije oziroma prenove objekta je inštrument investitorja, na podlagi katerega se odloča, ali bo k rekonstrukciji oziroma prenovi pristopil ali ne. Vhodni parametri so poleg samih stroškov projektiranja, pridobitve soglasij in izvedbe utrditve in sanacije tudi vrednost objekta, namen uporabe, čas eksploatacije, stroški vzdrževanja, poraba energije med uporabo in podobno, kot je bilo opisano v prejšnjem poglavju. Pri odločitvi predvsem pri starejših zidanih stavbah poleg tega igrajo pomembno vlogo zahteve spomeniškega varstva, ki mnogokrat postavijo kulturno zgodovinske kriterije pred ekonomske.

Stroški izvedbe utrditve in sanacije so samo eden izmed vhodnih podatkov pri izdelavi ekonomske študije upravičenosti. Za razliko od novogradenj, kjer za oceno stroškov same izgradnje obstajajo obsežne baze podatkov o že izvedenih podobnih objektih s podatki o ceni za m<sup>2</sup> novogradnje določenega tipa objekta, je pri rekonstrukcijah ocena stroškov kompleksnejša. Tudi če zanemarimo vpliv nepredvidenih del zaradi nepopolnega poznavanja stanja obstoječe konstrukcije, imamo še vedno pred seboj konkreten objekt z vsemi njegovimi značilnostmi, ki se jim moramo prilagoditi. Tako so lahko cene rekonstrukcije na m<sup>2</sup> podobnih objektov zgolj približne ocene investicije same izvedbe. Točneje lahko stroške določimo samo s pomočjo projektantskega popisa za konkretne predpisane izvedbene detajle.

V nadaljevanju so podane cene za izvedbo ukrepov konstrukcijske utrditve, energetske sanacije in sanacije vlage, ki vdira iz terena. Navedeni ukrepi so predstavljeni v poglavjih 4 KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV, 5 ENERGETSKA SANACIJA in 6 SANACIJA VLAGE. Cene so povzete iz uradnega cenika za gradbena, obrtniška in inštalacijska dela v okviru popotresne

obnove v Posočju (Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov, 2007) in Ceninga 2008 (Marinko, 2008). V kolikor v navedenih virih ni ustreznih postavk, so cene za posamezne ukrepe definirane iz podobnih postavk ali pa so upoštevane povprečne cene za izvedbo del v letu 2008. Cene so podane (*Preglednica 8.1*) za m<sup>1</sup>, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>, kos oziroma je podana ocena stroška izvedbe ukrepa za povprečno bivalno enoto. Navedene cene veljajo za uporabljene tipske ukrepe. Za prej omenjene specifične ukrepe bi bilo potrebno cene posebej definirati.

*Preglednica 8.1: Popis ukrepov z enoto in ceno za enoto v letu 2008*

*Table 8.1: Inventory of measures with the unit, and the unit price in 2008*

ukrep	enota	cena za enoto
<i>KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV</i>		
obbetoniranje in dobetoniranje temeljev	m1	211 €
sistematično injektiranje kamnitih zidov	m3	71 €
sist. inj. kamnitih zidov s hidrofobnim dodatkom	m3	81 €
linijsko injektiranje razpok zidov	m1	45 €
fugiranje kamnitih in opečnih zidov	m2	34 €
AB ometi opečnih zidov	m2	63 €
utrditev lesenega stropa z opaži	m2	43 €
AB sovprežni estrih lesenega stropa	m2	53 €
razbremenitev obokov z izvedbo AB plošče	m2	65 €
obojestranske potresne jeklene vezi	m1	162 €
enostranske potresne jeklene vezi	m1	114 €
medsebojno sidranje novih AB plošč	kom	12 €
sidranje novih AB plošč v zidove	kom	42 €

se nadaljuje...

...nadaljevanje

<i>ENERGETSKA SANACIJA</i>		
toplotna izolacija netransparentnih konstrukcij	m2	12 €
zamenjava oken in vrat / povprečje	kom	355 €
inštalacijski vodi z izolacijo za povp. biv. enoto	ocena	2.500 €
radiator / povprečje	kom	174 €
termostatski ventili, oba ventila na grelnem telesu	kom	40 €
kotel na kurilno olje, bojler, regulacija in cisterna za povp. biv. en.	ocena	6.000 €
prisilno prezračevanje s centralnim sistemom za povp. biv. en.	ocena	6.000 €
toplotna črpalka za ogrevanje zrak-voda za povp. biv. en.	ocena	5.000 €
solarni sistem za sanitarno vodo / ocena za povp. biv. en.	ocena	3.000 €
<i>SANACIJA VLAGE, KI VDIRA IZ TERENA</i>		
drenaža	m1	45 €
vodozaporni tlaki okoli objekta	m1	33 €
hidro izolacija temeljev in temeljnih zidov	m2	18 €
sanacijski ometi	m2	47 €
hidrofobna bariera	m2	70 €
sistem temperiranja s kotlovnico na zemeljski plin do 50 kW	m2	95 €

Ocena stroškov rekonstrukcije ali sanacije mora poleg izvedbenih del najpogosteje izvedenih ukrepov za utrditev konstrukcije, energetske sanacije in sanacije vlage, ki vdira iz terena (*Preglednica 8.1*), zajeti tudi ostale stroške izvedbe. Upoštevati je torej potrebno tudi vsa dela in storitve, ki so največkrat skupni v okviru rekonstrukcije ali prenove zgradbe. Skupni stroški so načeloma organizacija gradbišča, pripravljalna in rušitvena dela, gradbeni odri, inštalacijska in zaključna dela ter podobno. Ravno tako so upoštevani stroški projektiranja in upravnih dovoljenj. Pri tem je treba posebej poudariti, da navedeni skupni stroški še posebej zelo nihajo glede na lokacijo objekta (dostop do objekta, oddaljenost resursov, število ponudnikov del in storitev, cena upravnih dovoljenj) in uporabljene materiale (tlaki, zidne obloge in podobno), zato so z namenom določitve velikostnega reda skupnih stroškov podane

ocene njihovih povprečnih vrednosti (*Preglednica 8.2*). Pri tem so cene povzete iz istih virov kot pri utrditvenih in sanacijskih ukrepih z dodatnim upoštevanjem cen storitvenih dejavnosti.

*Preglednica 8.2: Popis skupnih stroškov z enoto in ceno za enoto v letu 2008*

*Table 8.2: Inventory of common costs with the unit, and the unit price in 2008*

SKUPNI STROŠKI	enota	ocena za enoto
projektiranje in upravna dovoljenja	kom	različno
organizacija gradbišča	kom	različno
pripravljalna in rušitvena dela z odvozom na deponijo	m2	20 €
gradbeni odri	m2	8 €
inštalacijska in zaključna dela	m2	150 €

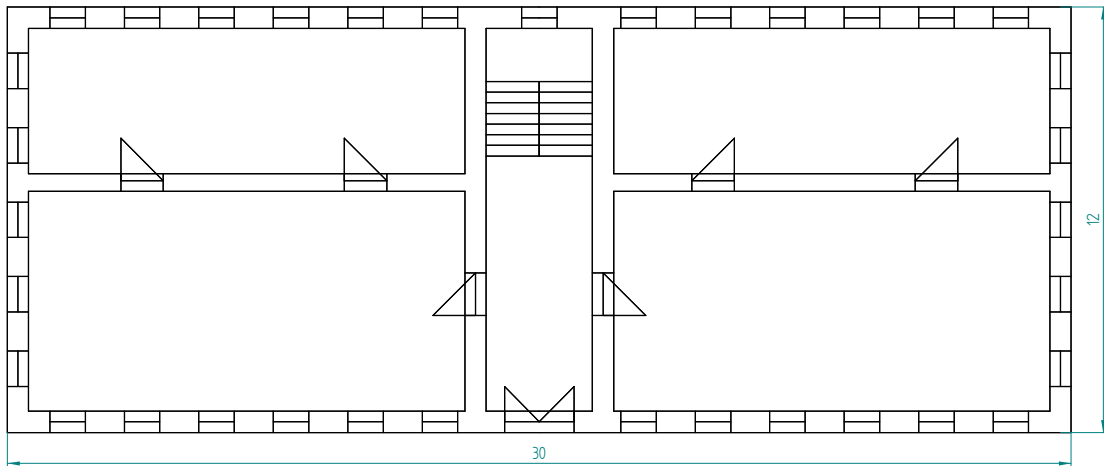
V nadaljevanju sledi ocena vrednosti del za izvedbo konstrukcijske utrditve, energetske sanacije, sanacije vlage, ki vdira iz terena in ostalih skupnih stroškov na dveh izmišljenih, a po karakteristikah značilnih starejših zidanih stavbah, kakršne srečujemo na Slovenskem in tudi širšem srednjeevropskem prostoru. V tem smislu so glede na izkušnje s podobnimi objekti predpostavljene njune tipične konstrukcijske značilnosti z upoštevanjem klimatskih razmer območja, v katerem ležijo. Primerjava je narejena na izmišljenih, vendar po karakteristikah značilnih starejših zidanih stavbah zaradi tega, ker so celovite rekonstrukcije dokaj redke, podatki o dejansko izvedenih delih s količinami in cenami pa težko dostopni. Predpostavljeno je, da bodo z izvedbo ukrepov izpolnjene zahteve glede konstrukcijske utrditve in glede ugodnih gradbeno fizikalnih razmer.

#### **8.4.2 Primer stavbe A**

Prva značilna zgradba, poimenovana stavba A, je večja podkletena opečna trinadstropna stavba s konca devetnajstega stoletja. Takšne stavbe srečujemo v mestih, kjer so namenjene poslovni dejavnosti in stanovanjem, nekaj pa je tudi stavb javnega značaja. Redkeje jih

zasledimo tudi na podeželju, kjer so to skoraj brez izjeme večji javni objekti, kot na primer šole.

Predpostavljen tipičen tloris stavbe je predstavljen s črtno skico (Slika 8.1). Stavba pravokotne tlorisne oblike velikosti 30 x 12 m ima višine etaž 3,0 m. Temeljni zidovi so kamniti z razširitvijo, kamniti pa so tudi kletni zidovi. Pritlična etaža in nadstropja so zidani iz polne opeke starega formata z apneno malto. Nad kletjo se pnejo opečni oboki, nad višjimi etažami so razen nad stopniščnim jedrom in v območju sanitarij klasične lesene stropne konstrukcije. Leseno ostrešje je krito z opečno kritino. Stavbno pohištvo in strojne inštalacije so neustrezne.



Slika 8.1: Črtna skica tlorisa stavbe A, M 1:200

Figure 8.1: Sketch layout of the building A, M 1:200

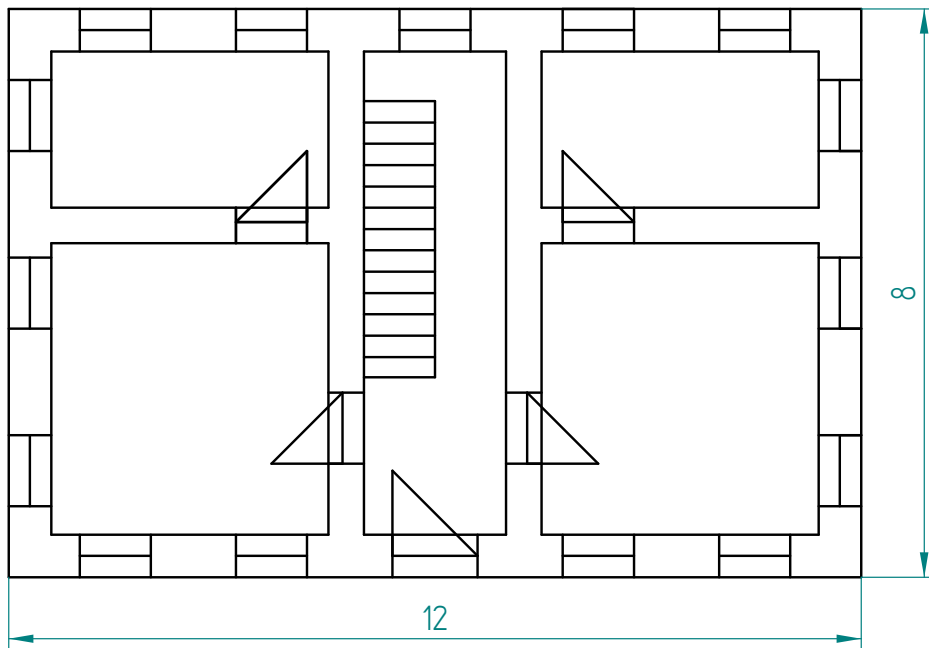
Po celoviti rekonstrukciji bodo v pritlični etaži butične trgovine in galerije, v nadstropjih pa stanovanja. Stanovanja bodo urejena tudi na podstrešju, medtem ko bodo kletni prostori namenjeni skladiščenju. Skupna bruto površina rekonstruiranih prostorov bo 1800 m<sup>2</sup>.



### 8.4.3 Primer stavbe B

Druga značilna zgradba, poimenovana stavba B, je manjša nepodkletena kamnita enonadstropna hiša iz začetka dvajsetega stoletja. Takšne stavbe srečujemo tako v mestih kot na podeželju. Praviloma so bile nekoč namenjene za bivanje, predvsem na podeželju pa so imele tudi manjši gospodarski del. Danes so večinoma v celoti stanovanjske.

Predpostavljen tipičen tloris hiše je predstavljen s črtno skico (Slika 8.2). Hiša pravokotne tlorisne oblike velikosti 12 x 8 m ima višine etaž 2,5 m. Temeljni zidovi so kamniti brez razširitve. Kamnita sta tudi pritličje in nadstropje, zidana z apneno malto. Nad pritličjem se pnejo plitki opečni oboki na jeklenih nosilcih (pruska čepica ali pruski svod), proti podstrešju pa so klasične lesene stropne konstrukcije. Leseno ostrešje je krito z opečno kritino. Stavbno pohištvo in strojne inštalacije so neustrezne.



Slika 8.2: Črna skica tlorisa stavbe B, M 1:100

Figure 8.2: Sketch layout of the building B, M 1:100

Po celoviti rekonstrukciji bo hiša v celoti stanovanjska, stanovanjske površine pa bodo urejene tudi na podstrešju. Skupna bruto površina rekonstruiranih prostorov bo torej 288 m<sup>2</sup>.

#### **8.4.4 Ocena stroškov**

Ocene stroškov za izvedbo utrditve in sanacije s skupnimi stroški za obe značilni starejši zidani stavbi tipa A in B so podane v naslednjih preglednicah (*Preglednica 8.3* in *Preglednica 8.4*). Pri tem so količine določene glede na konstrukcijsko zasnovo in geometrijske podatke o posamezni stavbi, nekateri skupni stroški pa ocenjeni kot neka povprečna vrednost.

Preglednica 8.3: Izvedbeni in skupni stroški za stavbo A v letu 2008

Table 8.3: Implementation and common costs for the building A in 2008

ukrep	enota	cena za enoto	količina	cena	% od skupne cene
<i>KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV</i>					
sist. inj. kamnitih zidov s hidrofobnim dodatkom	m3	81 €	386,4	31.298 €	3,34%
linijsko injektiranje razpok zidov	m1	45 €	144,0	6.480 €	0,69%
AB ometi opečnih zidov	m2	63 €	828,0	52.164 €	5,57%
AB sovprežni estrih lesenega stropa	m2	53 €	1440,0	76.320 €	8,14%
razbremenitev obokov z izvedbo AB plošče	m2	65 €	360,0	23.400 €	2,50%
enostranske potresne jeklene vezi	m1	114 €	336,0	38.304 €	4,09%
medsebojno sidranje novih AB plošč	kom	12 €	270	3.240 €	0,35%
sidranje novih AB plošč v zidove	kom	42 €	336	14.112 €	1,51%
<b>konstrukcijska utrditev skupaj</b>				<b>245.318 €</b>	<b>26,17%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>136 €</b>	
<i>ENERGETSKA SANACIJA</i>					
toplotna izolacija zidov, strehe in stropa nad kletjo	m2	12 €	1818,0	21.816 €	2,33%
zamenjava oken in vrat / povprečje	kom	355 €	156	55.380 €	5,91%
inštalacijski vodi z izolacijo za povp. biv. enoto	ocena	2.500 €	8	20.000 €	2,13%
radiator / povprečje	kom	174 €	120	20.880 €	2,23%
termostatski ventili, oba ventila na grelnem telesu	kom	40 €	120	4.800 €	0,51%
kotel na kurilno olje, bojler, regulacija in cisterna za povp. biv. en.	ocena	6.000 €	8	48.000 €	5,12%
prisilno prezračevanje s centralnim sistemom za povp. biv. en.	ocena	6.000 €	8	48.000 €	5,12%
solarni sistem za sanitarno vodo / ocena za povp. biv. en.	kom	3.000 €	8	24.000 €	2,56%
<b>energetska sanacija skupaj</b>				<b>242.876 €</b>	<b>25,91%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>135 €</b>	

se nadaljuje...

...nadaljevanje

<i>SANACIJA VLAGE, KI VDIRA IZ TERENA</i>					
drenaža	m1	45 €	84,0	3.780 €	0,40%
vodozaporni tlaki okoli objekta	m1	33 €	84,0	2.772 €	0,30%
hidro izolacija temeljev in temeljnih zidov	m2	18 €	252,0	4.536 €	0,48%
sanacijski ometi	m2	47 €	420,0	19.740 €	2,11%
sistem temperiranja s kotlovnico na zemeljski plin do 50 kW	m2	95 €	360,0	34.200 €	3,65%
<b>sanacija vlage, ki vdira iz terena, skupaj</b>				<b>65.028 €</b>	<b>6,94%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>36 €</b>	
<i>SKUPNI STROŠKI</i>					
projektiranje in upravna dovoljenja	kom	60.000 €	1	60.000 €	6,40%
organizacija gradbišča	kom	10.000 €	1	10.000 €	1,07%
pripravljalna in rušitvena dela z odvozom na deponijo	m2	20 €	1800,0	36.000 €	3,84%
gradbeni odri	m2	8 €	1008,0	8.064 €	0,86%
inštalacijska in zaključna dela	m2	150 €	1800,0	270.000 €	28,81%
<b>skupni stroški skupaj</b>				<b>384.064 €</b>	<b>40,98%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>213 €</b>	
<b>SKUPNA CENA</b>				<b>937.286 €</b>	
<b>cena na m2</b>				<b>521 €</b>	

*Preglednica 8.4: Izvedbeni in skupni stroški za stavbo B v letu 2008*

*Table 8.4: Implementation and common costs for the building B in 2008*

ukrep	enota	cena za enoto	količina	cena	% od skupne cene
<i>KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV</i>					
obbetoniranje in dobetoniranje temeljev	m1	211 €	66,0	13.926 €	7,78%
sistematično injektiranje kamnitih zidov	m3	71 €	126,7	8.997 €	5,03%
sist. inj. kamnitih zidov s hidrofobnim dodatkom	m3	81 €	79,2	6.415 €	3,58%
utrđitev lesenega stropa z opaži	m2	43 €	96,0	4.128 €	2,31%
razbremenitev obokov z izvedbo AB plošče	m2	65 €	96,0	6.240 €	3,49%
obojestranske potresne jeklene vezi	m1	162 €	66,0	10.692 €	5,97%
enostranske potresne jeklene vezi	m1	114 €	40,0	4.560 €	2,55%
medsebojno sidranje novih AB plošč	kom	12 €	26	312 €	0,17%
sidranje novih AB plošč v zidove	kom	42 €	40	1.680 €	0,94%
<b>konstrukcijska utrđitev skupaj</b>				<b>56.950 €</b>	<b>31,81%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>198 €</b>	
<i>ENERGETSKA SANACIJA</i>					
toplotna izolacija zidov, strehe in tal proti terenu	m2	12 €	362,4	4.349 €	2,43%
zamenjava oken in vrat / povprečje	kom	355 €	36	12.780 €	7,14%
inštalacijski vodi z izolacijo za povp. biv. enoto	ocena	2.500 €	2	5.000 €	2,79%
radiator / povprečje	kom	174 €	45	7.830 €	4,37%
termostatski ventili, oba ventila na grelnem telesu	kom	40 €	45	1.800 €	1,01%
kotel na kurilno olje, bojler, regulacija in cisterna za povp. biv. en.	kom	6.000 €	2	12.000 €	6,70%
toplotna črpalka za ogrevanje zraka-voda za povp. biv. en.	kom	5.000 €	2	10.000 €	5,59%
<b>energetska sanacija skupaj</b>				<b>53.759 €</b>	<b>30,03%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>187 €</b>	

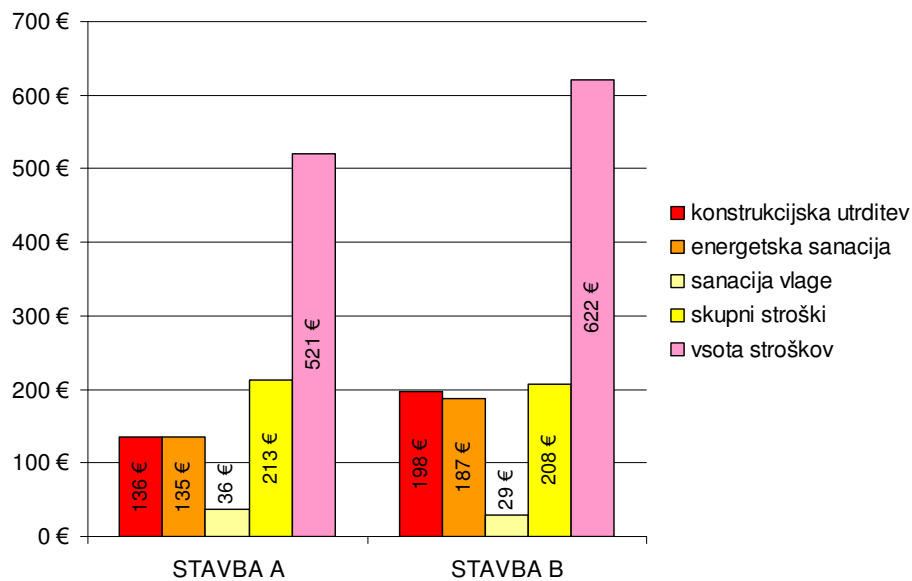
se nadaljuje...

...nadaljevanje

<i>SANACIJA VLAGE, KI VDIRA IZ TERENA</i>					
drenaža	m1	45 €	40,0	1.800 €	1,01%
vodozaporni tlaki okoli objekta	m1	33 €	40,0	1.320 €	0,74%
hidro izolacija temeljev in temeljnih zidov	m2	18 €	40,0	720 €	0,40%
sanacijski ometi	m2	47 €	40,0	1.880 €	1,05%
hidrofobna bariera	m2	70 €	39,6	2.772 €	1,55%
<b>sanacija vlage, ki vdira iz terena, skupaj</b>				<b>8.492 €</b>	<b>4,74%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>29 €</b>	
<i>SKUPNI STROŠKI</i>					
projektiranje in upravna dovoljenja	kom	10.000 €	1	10.000 €	5,59%
organizacija gradbišča	kom	2.000 €	1	2.000 €	1,12%
pripravljalna in rušitvena dela z odvozom na deponijo	m2	20 €	192,0	3.840 €	2,14%
gradbeni odri	m2	8 €	100,0	800 €	0,45%
inštalacijska in zaključna dela	m2	150 €	288,0	43.200 €	24,13%
<b>skupni stroški skupaj</b>				<b>59.840 €</b>	<b>33,42%</b>
<b>cena na m2</b>				<b>208 €</b>	
<b>SKUPNA CENA</b>				<b>179.041 €</b>	
<b>cena na m2</b>				<b>622 €</b>	

### 8.4.5 Analiza rezultatov s komentarjem

Primerjava posameznih izvedbenih in skupnih stroškov med obema tipoma značilnih stavb pokaže, da so stroški izvedbe ukrepov za konstrukcijsko utrditev in energetska sanacija pri manjši stavbi B nekoliko višji (Slika 8.3). Razlog za to je predvsem v tem, da ima večja stavba A manjšo količino konstrukcijskih elementov, v katere posegamo, glede na površino stavbe, in to tako zaradi tlorisne zasnove kot tudi zaradi večjega števila etaž.

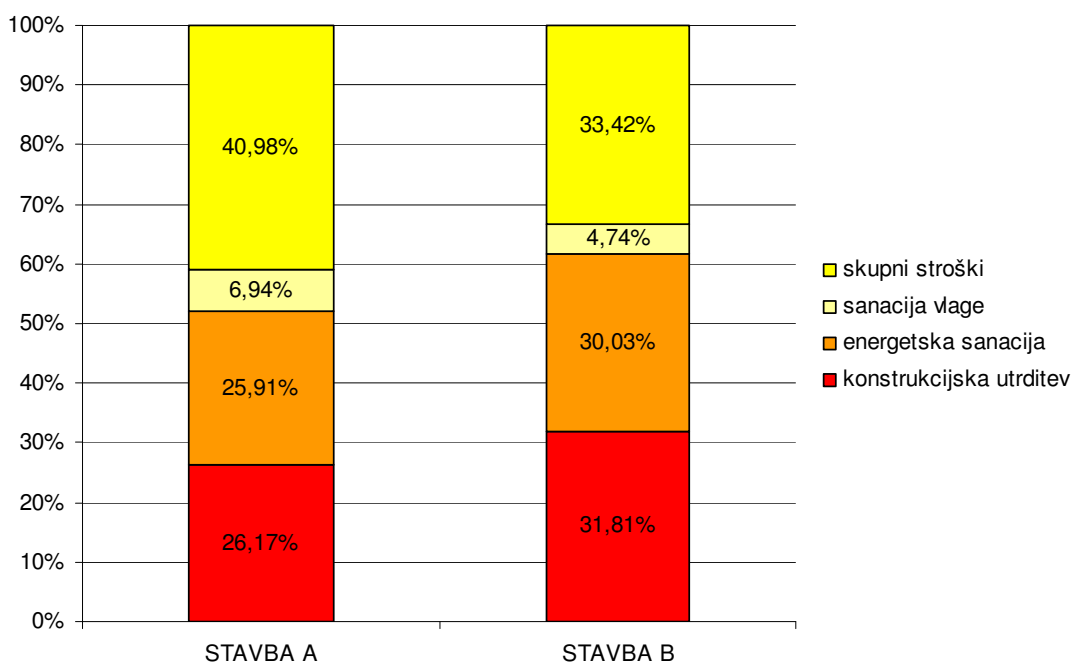


Slika 8.3: Stolpična diagrama posameznih izvedbenih in skupnih stroškov za utrditev in sanacijo stavb A in B za  $m^2$

Figure 8.3: Bar charts of individual implementation and common costs for structural strengthening and rehabilitation for buildings A and B per  $m^2$

Na podlagi analize deležev stroškov sočasne izvedbe utrditve in sanacije s skupnimi stroški lahko ugotovimo, da se razmerja posameznih stroškov med obema tipoma značilnih stavb minimalno razlikujejo (Slika 8.4). V obeh primerih predstavljajo stroški izvedbe konstrukcijske utrditve okoli 30 % vseh stroškov. Podobno je s stroški izvedbe energetske sanacije, medtem ko izvedbeni stroški za sanacijo vlage, ki vdira iz terena, predstavljajo približno 5 % vseh stroškov. Glede na to, da izvedbeni stroški za sanacijo vlage, ki vdira iz

terena, pravzaprav predstavljajo stroške ukrepov, ki pozitivno vplivajo tako na konstrukcijsko utrditev kot tudi na energetska sanacijo stavbe, lahko ugotovimo, da so oboji stroški zelo izenačeni. Stroški bi bili manj uravnoteženi v primeru, če ne bi predvideli izrabe podstrešnih prostorov, kjer prevladujejo ukrepi za energetska sanacijo. Skupni stroški v obeh obravnavanih primerih znašajo okoli 35 % vseh stroškov izvedbe.



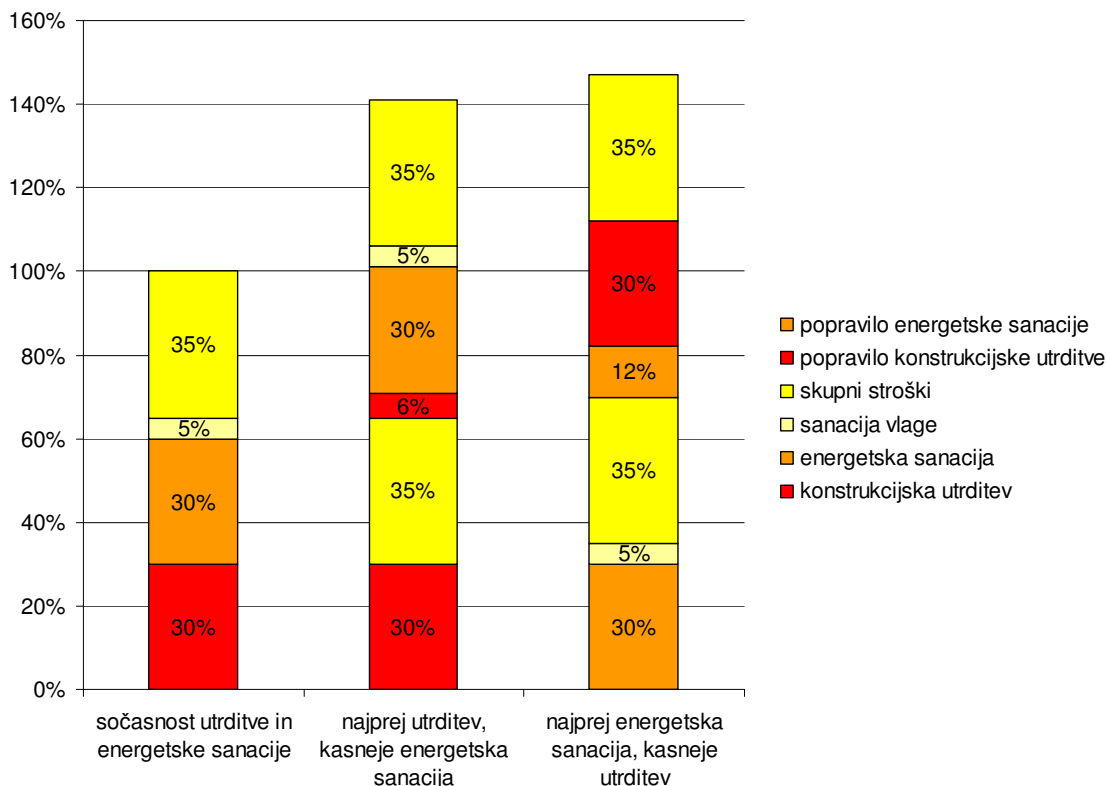
*Slika 8.4: Stolpična diagrama deležev posameznih izvedbenih in skupnih stroškov za utrditev in sanacijo stavb A in B*

*Figure 8.4: Share bar charts of individual implementation and common costs for structural strengthening and rehabilitation for buildings A and B*

Tudi analiza stroškov rekonstrukcije dveh značilnih zidanih zgradb potrjuje dejstvo, da je pri rekonstrukcijah potreben celovit pristop, saj so poleg interakcije med posameznimi ukrepi le-ti tudi finančno zelo izenačeni. Poleg tega se v primeru ločene izvedbe stroški za organizacijo gradbišča, pripravljalna in rušitvena dela, gradbene odrede, zaključna dela in podobno podvajajo. Ravno tako je po nepotrebnem dodatno motena uporaba zgradbe.



Pri analizi stroškov ne smemo pozabiti na dejstvo, da zgolj izvedba konstrukcijske utrditve ne izboljša gradbeno fizikalnih razmer oziroma pogojev prenosa toplote in vlage, ampak jih največkrat celo poslabša. Slednje negativno vpliva tudi na same novo izvedene konstrukcijske ukrepe, kar vse povzroča dodatno škodo. Strošek popravila teh poškodb z identifikacijo problema, zasnovano sanacije in njeno izvedbo je na podlagi izkušenj ocenjen na v povprečju 20 % vrednosti izvedbe konstrukcijskih ukrepov ([www.gi-zrmk.si](http://www.gi-zrmk.si)). Obraten primer izvedbe energetske sanacije in sanacije vlage, ki vdira iz terena, brez konstrukcijske utrditve, ne povzroča kritičnih točk glede prenosa toplote in vlage. V tem primeru je kritično dejstvo, da so med naknadno konstrukcijsko utrditvijo poškodovani ali v napoto mnogi med energetske sanacije izvedeni ukrepi. Stroški s tem v zvezi so izkustveno ocenjeni na v povprečju 40 % vrednosti izvedbe energetske sanacije ([www.gi-zrmk.si](http://www.gi-zrmk.si)). Pri fazni izvedbi del se največkrat skoraj v celoti ponovijo tudi skupni stroški. Glede na to ugotovimo, da fazna izvedba del oziroma zanemarjanje povezanosti ukrepov povzroči več kot 40 % povečanja samih izvedbenih stroškov celovite utrditve in sanacije (*Slika 8.5*).



*Slika 8.5: Stolpični diagrami izvedbenih in skupnih stroškov za utrditev in sanacijo v odvisnosti od sočasnosti oziroma faznega zaporedja izvedbe del*

*Figure 8.5: Bar charts of individual implementation and common costs for structural strengthening and rehabilitation, depending on simultaneous or phased implementation*

Prejšnje ugotovitve se v vsakdanji praksi premalo upošteva. Še huje, mnoge starejše zidane stavbe so v okviru revitalizacije mestnih središč deležne samo zunanje prenove fasadnih površin in strešne kritine, brez načrtne konstrukcijske utrditve in energetske sanacije. Del gradbeno fizikalnih karakteristik se sicer v primeru namestitve toplotne izolacije in novih oken med prenovo zunanjega ovoja stavbe izboljša, vendar pa je ves trud in strošek v zvezi s tem v primeru kasnejše celovite utrditve in sanacije zaman. Mnogi izmed ukrepov za utrditev nosilne konstrukcije in energetske sanacije namreč vsaj med izvedbo močno posegajo v fasadne površine, tako da se med temi posegi uniči praktično celotna prej obnovljena zunanost. Izničeni so tudi vsi že realizirani skupni stroški za tehnično rešitev, odre, rušitvena dela in organizacijo gradbišča, ki so bili potrebni za prenovo fasade.

Podobno velja omeniti primer popotresne obnove Posočja, ki je kot primer velikega državnega projekta konstrukcijske sanacije in utrditve obsežnega gradbenega fonda zaradi posledic potresa zamudil priložnost sočasnega načrtnega izrazitejšega izboljšanja gradbeno fizikalnih karakteristik obnovljenih objektov.

Nenazadnje je kljub analizi zgolj izvedbenih stroškov potrebno omeniti, da fazna izvedba del z uničevanjem prej narejenega povzroča dodatno porabo materiala in energentov, po nepotrebnem pa se povečuje tudi obseg odpadkov. Vse navedeno dodatno obremenjuje okolje in je kot tako v nasprotju s strategijo trajnostnega razvoja.

## 8.5 Kontrolni pregledi

V okviru vsakega obsežnejšega projekta je potrebno zagotoviti mehanizme oziroma postopke za zagotavljanje kakovosti. Zagotoviti je potrebno ustrezne kadre, vodenje in nadzor. Za ustrezno trajnost konstrukcijskega ukrepa ali kar cele zgradbe je poleg tega potrebno zagotoviti tudi kakovostno izvedbo. Poleg predpisanih in standardiziranih pregledov za zagotavljanje kakovosti ob izvedbi poznamo tudi kasnejše dodatne ali poglobljene preglede kakovosti izvedenih del v okviru vzpostavitve sistema zagotavljanja kontrole kakovosti. Take sisteme se lahko uvede za nek poseben segment gradbenih del ali objektov. Primer je popotresna obnova Posočja, kjer ima sistem kontrole kakovosti za cilj zagotoviti primerljivo kakovost izvedenih del na vseh obnovljenih stavbah ne glede na izbranega izvajalca del. Žal sistem ni bil vzpostavljen že na samem začetku.

Po končanih delih so potrebni redni kontrolni pregledi in z njimi povezano vzdrževanje ali tudi odprava napak. S kasnejšimi periodičnimi kontrolnimi pregledi med uporabo stavbe identificiramo morebitna kritična mesta, na katerih prihaja do negativnih pojavov in poškodb. Ob dovolj zgodnjem odkrivanju le-teh lahko nepravilnosti velikokrat odpravimo še v fazi, ko so poškodbe minimalne in ne zahtevajo obsežnih in dragih posegov.

Na utrjenem in glede energetske učinkovitosti saniranem objektu lahko pride do negativnih pojavov in poškodb zaradi različnih vzrokov. Eden izmed njih je lahko šibko mesto utrjene in

sanirane konstrukcije, ki je nastalo zaradi slabe izvedbe ali iz čisto objektivnih razlogov težke izvedbe nekaterih ukrepov. Drug vzrok so lahko negativni stranski učinki posameznega ukrepa. Tipične kritične točke so podrobneje predstavljene v poglavju 7.2 *Kritične točke*, do negativnih stranskih učinkov pa lahko seveda pride tudi drugje. Praviloma so negativni pojavi in poškodbe pri premišljenih in strokovno izvedenih rekonstrukcijah redkost. Kljub temu so še vedno pogostejše kot pri novogradnjah, posledice pa so usodnejše, predvsem zaradi naslednjih vzrokov:

- uporablja se čedalje več novih materialov, s čimer se povečuje nevarnost velikih napak,
- dodajajo se razmeroma tanki sloji sanacijskih materialov, včasih tudi na težko dostopnih mestih, zaradi česar obstaja večja verjetnost napak,
- konstrukcijske značilnosti popravljenih elementov so odvisne od značilnosti stičnih ploskev med obstoječimi in dodanimi deli konstrukcije in
- stične ploskve so občutljive na vplive okolja in nego, kar lahko nesorazmerno močno vpliva na spremembo končnega obnašanja konstrukcije.

Kontrolni pregledi stavb med uporabo, s katerimi se ugotavlja nastanek poškodb, se v praksi največkrat izvajajo v duhu dobrega gospodarjenja z objektom brez predpisanih navodil. V okviru trajnostnega pristopa k utrditvi zgradb je boljše in edino strokovno korektno, če se glede na pričakovane kritične točke in hitrost razvoja poškodb način in periode kontrolnih pregledov predpišejo. Že sedaj je ob dograditvi določenih objektov potrebno pripraviti Tehnično dokumentacijo. Ta vsebuje:

- projekt izvedenih del,
- projekt za obratovanje in vzdrževanje objekta in
- projekt za vpis v uradne evidence.

Na tem mestu nas zanima predvsem projekt za obratovanje in vzdrževanje objekta, kjer so določena pravila za uporabo oziroma obratovanje in vzdrževanje zgrajenega oziroma rekonstruiranega objekta ter vgrajenih inštalacij oziroma tehnoloških naprav, na podlagi katerih je vsakokratnemu lastniku objekta omogočeno objekt uporabljati in vzdrževati na

ustrezen način. V tem projektu, katerega bi bilo priporočljivo izdelati za vsak rekonstruiran objekt, je torej lahko predpisan protokol kontrolnih pregledov, ki naj zajema:

- periode pregledov,
- strokovno usposobljenost in izkušnost oseb, ki preglede lahko opravijo,
- mesta pregledov, ki naj nujno vključujejo vse bistvene in po predvidevanjih kritične točke nosilne konstrukcije,
- način izvedbe pregledov ter predpisanih meritev in
- vodenje zapisnikov pregledov in vrednotenje evidentiranih poškodb.

V primeru, da se med kontrolnimi pregledi ugotovi obsežnejše in nevarnejše poškodbe od pričakovanih, se lahko predvidi pogostejše izvajanje kontrolnih pregledov določenih mest.

## **8.6 Vzdrževalna dela in odprava napak (sanacija po sanaciji)**

Pri skoraj vseh utrditvenih in sanacijskih ukrepih je potrebno kasneje načrtno, po prej predpisanih navodilih, opravljati določena vzdrževalna dela. Vzdrževalna dela so na primer obnavljanje zaščitnih premazov, kasnejše dodatno napenjanje potresnih vezi zaradi relaksacije jekla in redno vzdrževanje vseh tehničnih naprav. Podobno kot protokol kontrolnih pregledov naj bodo v projektu za obratovanje in vzdrževanje objekta predpisani tudi redni preventivni oziroma vzdrževalni ukrepi, ki jih je potrebno periodično izvajati. V primeru ugotovitve obsežnejših in resnejših poškodb od pričakovanih, ki naj se odpravijo s posameznimi vzdrževalnimi deli, je v kolikor je to možno, najbolje predpisati takojšnje saniranje poškodovanih mest, da se prepreči nadaljnje večanje škode.

Kljub temu, da pri izvedbi utrditve in sanacije celotnih zgradb ali njihovih delov težimo k temu, da kasneje ne bi bilo potrebno odpravljati negativnih stranskih učinkov oziroma poškodb konstrukcij, temu ni vedno tako. V primeru pojava indikatorjev nepravilnosti (npr. povišana vlaga) ali nastanka poškodb, je potrebno vzroke in poškodovana mesta čim prej sanirati. V projektu za obratovanje in vzdrževanje objekta je način sanacije v splošnem lahko podan, vendar pa mora točno izvedbo in obseg za konkreten primer določiti strokovno

usposobljena oseba. Najbolje je, da se v odpravljanje težav vključi tudi projektanta izvedene rekonstrukcije. Tovrstna sanacija naj namreč ne bi predstavljala zgolj vzpostavitve prejšnjega stanja (popravilo), ampak tudi odpravljanje vzroka, kar v mnogih primerih lahko zahteva poglobljeno strokovno analizo problema.

## **8.7 Konkretni primeri**

V nadaljevanju so podani konkretni primeri kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za kritične točke izvedenih konstrukcijskih ukrepov, ki so bile predstavljene v poglavju 7.2 *Kritične točke*. Opisani postopki torej ne predstavljajo kontrole kakovosti med izvedbo konstrukcijskega ukrepa, ampak spremljanje konstrukcije v nadaljevanju njene življenjske dobe.

### **8.7.1 Sistematično injektiranje (in hidrofobna bariera) kamnitih zidov**

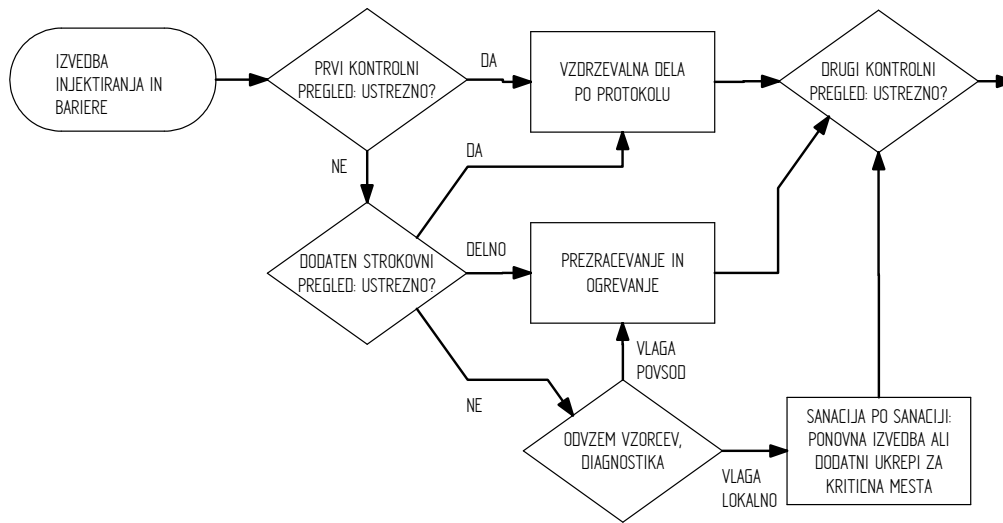
Redni kontrolni pregledi naj se izvajajo predvsem prvo leto do dve po izvedbi injektiranja, kasneje pa samo v primeru, da se v tem prvem obdobju ugotovi povišana vlaga v zidovih in se eventualno izvedejo ukrepi za naknadno sanacijo. Kontrolni pregledi naj se naredijo 3, 6, 12 in 24 mesecev po izvedbi ukrepa. Naredi naj jih oseba z najmanj srednjo tehnično izobrazbo gradbene smeri z vizualnim pregledom površin injektiranih zidov in nedestruktivnimi meritvami površinske vlage z elektronskim vlagomerom. V primeru ugotovitve stopnje vlage na površinah zidov nad dovoljeno, mora dodatni ali izredni pregled opraviti oseba z najmanj visokošolsko tehnično izobrazbo ustrezne smeri. V primeru površinske kondenzacije so potrebni ukrepi za spremembo gradbeno fizikalnih razmer v prostoru, predvsem z intenzivnejšim zračenjem in gretjem. V kolikor se izključi možnost površinske kondenzacije, je potrebno odvzeti vzorce iz notranjosti zidov za laboratorijsko analizo vsebnosti vlage. Če se ugotovi, da je vsebnost vlage višja samo lokalno, na primer ob terenu zaradi kapilarnega vleka, je potrebno na kritičnem območju ponovno izvesti hidrofobno bariero in sanirati omete, po potrebi pa ta del zidu predhodno tudi ponovno sistematično injektirati z injekcijsko maso s hidrofobnim dodatkom. Preveriti je potrebno tudi ostale konstrukcijske ukrepe, kot na primer

drenažo in vertikalno hidroizolacijo vkopanih zidov. V kolikor se izkaže, da je vsebnost vlage višja po celem korpusu zidov, je potrebno predvideti začasno prisilno izsuševanje z izrazitim zračenjem in gretjem notranjih prostorov. Tudi če med kontrolnimi pregledi ni zaznati nepravilnosti ali poškodb, je potrebno obnoviti zunanje fasadne zaščitne premaze najmanj vsakih 15 let, notranje pa najmanj vsakih 25 let.

O vseh pregledih, izvedenih vzdrževalnih delih ter sanacijskih ukrepih je potrebno pripraviti ustrezno dokumentacijo. Iz zapisniške dokumentacije kontrolnih pregledov mora biti razvidno:

- datum izvedbe kontrolnega pregleda,
- ime in priimek pregledovalca z njegovo strokovno izobrazbo,
- temperatura in relativna vlaga zraka zunaj in znotraj ter
- ugotovitve pregleda.

Ugotovitve rednega kontrolnega pregleda morajo obsegati tehnične skice narisov pregledanih površin zidov, katerih lega mora biti označena v tlorisni skici objekta. V narisih pregledanih površin zidov morajo biti označena mesta izvedenih meritev, izmerjene vrednosti površinske vlage in eventualno vizualno ugotovljene poškodbe s fotodokumentacijo. Zapisnik mora biti zaključen s strokovno oceno, iz katere sledijo nadaljnje dejavnosti: redni kontrolni pregled po protokolu v primeru brez anomalij ali dodatni oziroma izredni kontrolni pregled običajnega obsega strokovnjaka z visokošolsko izobrazbo v primeru ugotovljenih nepravilnosti. Zapisnik tega pregleda je analogen zapisniku rednega kontrolnega pregleda, le da strokovna ocena lahko ovrednoti stanje kot sprejemljivo ali pa predpiše ukrepe za spremembo gradbeno fizikalnih razmer v prostoru oziroma predpiše odvzem vzorcev iz notranjosti zidov za laboratorijsko analizo vsebnosti vlage v primeru potrjenega neustreznega stanja. V primeru odločitve o izvedbi vzdrževalnih del ali dodatnih sanacijskih ukrepov je potrebno o teh delih izdelati ustrezno dokumentacijo in po potrebi določiti terminski plan izvedbe izrednih kontrolnih pregledov.



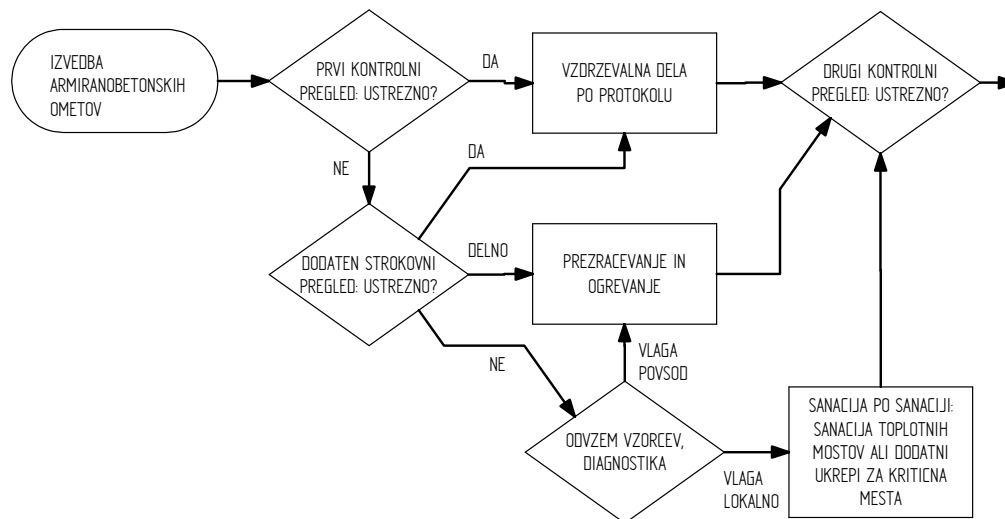
Slika 8.6: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za sistematično injektiranje (in hidrofobno bariero) kamnitih zidov

Figure 8.6: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for systematic grouting (and hydrophobic barrier) of stone masonry walls

### 8.7.2 Armiranobetonski ometi opečnih zidov

Kontrolni pregledi po izvedbi armiranobetonskih ometov se ne razlikujejo bistveno od pregledov po izvedbi injektiranja. Manjša razlika je pri sanaciji neustreznega stanja, kjer je v primeru globalne površinske kondenzacije možno poleg spremembe gradbeno fizikalnih razmer v prostoru z intenzivnejšim zračenjem in gretjem izvesti dodatno toplotno izolacijo. V primeru lokalne površinske kondenzacije je potrebno s termokamero določiti točno mesto toplotnega mostu in ga sanirati. Možno je tudi, da je vlaga na površinah višja zaradi še vedno neposušene betona. Tudi v tem primeru je potrebno predvideti začasno prisilno izsuševanje z intenzivnim zračenjem in gretjem notranjih prostorov.





Slika 8.7: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za armiranobetonske omete opečnih zidov

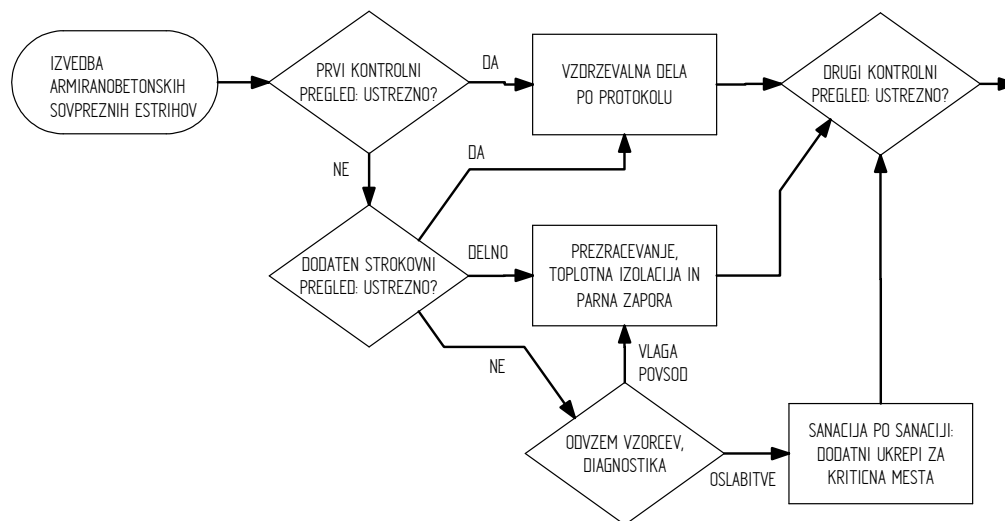
Figure 8.7: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for reinforced concrete jacket of brick masonry walls

### 8.7.3 Utrditev lesenih stropov s sovprežnimi armiranobetonskimi estrihi

Kontrolni pregledi po izvedbi sovprežnih armiranobetonskih estrihov se nekoliko razlikujejo od tistih po izvedbi injektiranja in armiranobetonskih ometov. Prvi kontrolni pregled naj se naredi 3 mesece po izvedbi betoniranja, da se ugotovi mesto morebitnega močenja stropnikov v fazi izvedbe, ki se v tem času ne bi osušilo. Nato naj se kontrolni pregledi izvajajo vsakih 5 let, da se ugotovi povišana vlaga lesenih elementov na spodnji strani konstrukcijskega sklopa in eventualno izvedejo ukrepi za nakladno sanacijo. Naredi naj jih oseba z najmanj srednjo tehnično izobrazbo gradbene smeri z vizualnim pregledom površin lesenih elementov in s površinskimi meritvami vlage z elektronskim vlagomerom. To je možno samo v primeru take zasnove stropa, kjer ni spodnjega lesenega opaža in stropnega ometa, ampak je spodnja stran vidna oziroma je izveden montažen spuščeni strop. V primeru ometanega spodnjega opaža je potrebno ob ležiščih stropnikov predvideti odprtine za izvajanje kontrolnih pregledov (vizualni pregled s sodobnimi teleskopskimi napravami, meritve vsebnosti vlage) ali izvajati

bolj komplicirane meritve povišane stopnje vlage z nedestruktivnimi metodami, vendar pa so te metode praktično težko izvedljive. Pri nedostopnih oziroma zaprtih konstrukcijah je zato že med izvedbo priporočljivo predvideti in vgraditi senzorje za ugotavljanje vlage, ki omogočajo brezžično odčitavanje izmerjenih vrednosti. V primeru ugotovitve stopnje vlage lesenih elementov nad dovoljeno, mora pregled opraviti oseba z najmanj visokošolsko tehnično izobrazbo ustrezne smeri. V primeru površinske kondenzacije so potrebni ukrepi za spremembo gradbeno fizikalnih razmer v prostoru oziroma v zračnem delu stropa, v kolikor je mogoče predvsem z zračenjem, toplotno izolacijo in v nekaterih skrajnih primerih s parno zaporo s spodnje strani. V tem primeru je potrebno še posebno skrb posvetiti zagotavljanju prezračevanja v vodoravni smeri skozi zračnike na fasadi. V primeru poškodb lesenih elementov, predvsem stropnikov, je včasih potreben odvzem vzorcev stropnikov za laboratorijsko analizo vsebnosti vlage in stanja lesa. Dostikrat je stropnike potrebno tudi utrditi. Utrditev izvedemo z dodatnimi elementi, ki so največkrat leseni ali jekleni, lahko pa jih utrdimo tudi z lepljenjem karbonskih tkanin. V primeru dodajanja jeklenih elementov je potrebno paziti na možnost kondenzacije vodne pare na le-teh zaradi dobre toplotne prevodnosti jekla. Manj poškodovane lesene elemente je možno injektirati z epoksidnimi smolami. Če med kontrolnimi pregledi ni zaznati nepravilnosti ali poškodb, posebna vzdrževalna dela niso potrebna.

Nekaj razlik je tudi pri zapisniški dokumentaciji kontrolnih pregledov, v kateri mora biti poleg ostalih osnovnih podatkov navedena temperatura in relativna vlaga zraka v prostoru. Ugotovitve pregleda morajo obsegati tehnične skice pregledanih stropnikov in drugih lesenih elementov, katerih lega mora biti označena v tlorisni skici objekta. V narisih skic stropnikov morajo biti označena mesta izvedenih meritev, izmerjene vrednosti vlage in eventualno vizualno ugotovljene poškodbe s fotodokumentacijo. V primeru dodatnega ali izrednega pregleda morajo biti v zapisniku tega pregleda v primeru anomalij predvideni ukrepi za spremembo gradbeno fizikalnih razmer v prostoru in v zračnem delu stropa oziroma mora biti predpisan odvzem vzorcev stropnikov za laboratorijsko analizo vsebnosti vlage in stanja lesa.



Slika 8.8: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za utrditev lesenih stropov s sovprežnimi armiranobetonskimi estrihi

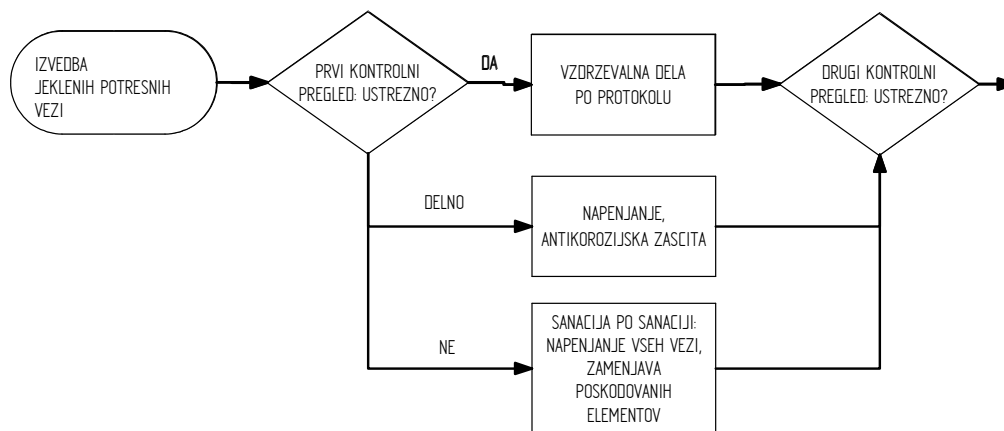
Figure 8.8: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for wooden ceilings strengthened with reinforced concrete slabs

#### 8.7.4 Jeklene potresne vezi

Kontrolni pregledi po izvedbi jeklenih potresnih vezi naj se izvajajo vsakih 10 let z namenom ugotavljanja znakov korozije in premajhne napetosti vezi zaradi relaksacije jekla. Naredi naj jih ekipa pod vodstvom osebe z najmanj visokošolsko tehnično izobrazbo gradbene ali druge ustrezne smeri. V okviru pregleda naj se vizualno kontrolirajo vidne vezi in sidrišča. V primeru bolj pogoste podometne izvedbe oziroma vezi v utorih, zapolnjenih s cementno malto, naj se vizualno preveri nastanek razpok ali znakov korozije. Na nekaj v naprej določenih mestih naj se preveri napetost vezi. Kontrolo je najlažje narediti v vogalih stavbe na sidriščih z momentnim ključem. V primeru ugotovitve premajhne napetosti vezi na predpisanih kontrolnih mestih je potrebno predvideti napenjanje vseh vezi na zgradbi, kar lahko smatramo kot vzdrževalno delo. V primeru obsežnejših znakov površinske korozije so potrebni ukrepi za dodatno antikorozijsko zaščito jeklenih elementov vezi. V skrajnem primeru je potrebno korozijsko najbolj poškodovane elemente zamenjati, čemur pa se ravno z

rednimi vzdrževalnimi deli in kontrolnimi pregledi lahko izognemo. Vsi opisani posegi so v primeru podometne izvedbe, ki sicer nudi dodatno zaščito jeklu, zaradi sanacije fasadnih površin dokaj obsežni in zato moteči. Tudi če med kontrolnimi pregledi ni zaznani znakov korozije, je potrebno obnoviti zunanje fasadne zaščitne premaze najmanj vsakih 20 let, notranje pa najmanj vsakih 30 let.

Nekaj razlik je tudi pri zapisniški dokumentaciji kontrolnih pregledov, v kateri mora biti poleg osnovnih podatkov naveden vodja pregledovalne ekipe s strokovno izobrazbo. Ugotovitve pregleda morajo obsegati tehnične skice narisov in florisov pregledane zgradbe z vrisanimi potresnimi vezmi. V tehničnih skicah morajo biti označena mesta izvedenih meritev, izmerjene vrednosti napetosti vezi in eventualno vizualno ugotovljene poškodbe s fotodokumentacijo.



Slika 8.9: Diagram poteka kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za jeklene potresne vezi

Figure 8.9: Flow chart of quality check and subsequent maintenance and rehabilitation work for seismic steel ties

### **8.7.5 Katalog kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del**

V nadaljevanju je podan katalog kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del za konkretne primere, predstavljene v predhodnih poglavjih. Katalog (*Preglednica 8.5*) tabelarično povzema vse dejavnosti v zvezi s kritičnimi točkami oziroma spremljanjem konstrukcijskih ukrepov v njihovi življenjski dobi.

*Preglednica 8.5: Katalog kontrolnih pregledov ter naknadnih vzdrževalnih in sanacijskih del*

*Table 8.5: Catalog of quality check measures, and subsequent maintenance and rehabilitation work*

	kontrolni pregledi		izredni pregledi		vzdrževanje		ukrepi, sanacija po sanaciji	
	namen	ugotavljanje povišane stopnje vlage	namen	ugotavljanje obsega in vzrokov povišane stopnje vlage	namen	zagotoviti trajnost ukrepa s preprečevanjem vdora škodljivih snovi	namen	sanirati neustrezna mesta ali gradbeno fizikalne razmere
sistematično injektiranje (in hidrofobna bariera) kamnitih zidov	termini pregledov po izvedbi	3 mesece, 6 mesecev, 1 leto, 2 leti, po potrebi	termini pregledov po izvedbi	po potrebi na podlagi kontrolnega pregleda	termini izvedbe	najmanj vsakih 15 let zunaj in 25 let znotraj	/	/
	izobrazba pregledovalcev	srednja tehnična	izobrazba pregledovalcev	visokošolska izobrazba	/	/	/	/
	način pregleda	vizualni pregled, meritve vlage z elektronskim vlagomerom	način pregleda	vizualni pregled, meritve za ugotavljanje gradbeno fizikalnih razmer, odvzem vzorcev za laboratorijsko analizo	vzdrževalni ukrep	obnova površinskih zidnih premazov	ukrep	(intenzivno) zračenje in gretje, čiščenje drenaž in obnova hidroizolacije, injektiranje neustreznega mesta in ponovna izvedba hidrofobne bariere, sanacija ometov
	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	dokumentacija	zapisnik o vzdrževalnih delih	dokumentacija	izvedbeni načrt, projektna in tehnična dokumentacija
	namen	ugotavljanje povišane stopnje vlage	namen	ugotavljanje obsega in vzrokov povišane stopnje vlage	namen	zagotoviti trajnost ukrepa s preprečevanjem vdora škodljivih snovi	namen	sanirati neustrezna mesta ali gradbeno fizikalne razmere
armiranobetonski ometi opečnih zidov	termini pregledov po izvedbi	3 mesece, 6 mesecev, 1 leto, 2 leti, po potrebi	termini pregledov po izvedbi	po potrebi na podlagi kontrolnega pregleda	termini izvedbe	najmanj vsakih 15 let zunaj in 25 let znotraj	/	/
	izobrazba pregledovalcev	srednja tehnična	izobrazba pregledovalcev	visokošolska izobrazba	/	/	/	/
	način pregleda	vizualni pregled, meritve vlage z elektronskim vlagomerom	način pregleda	vizualni pregled, meritve za ugotavljanje gradbeno fizikalnih razmer, odvzem vzorcev za laboratorijsko analizo	vzdrževalni ukrep	obnova površinskih zidnih premazov	ukrep	(intenzivno) zračenje in gretje, toplotna izolacija
	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	dokumentacija	zapisnik o vzdrževalnih delih	dokumentacija	izvedbeni načrt, projektna in tehnična dokumentacija
	namen	ugotavljanje povišane stopnje vlage	namen	ugotavljanje obsega in vzrokov povišane stopnje vlage	namen	zagotoviti trajnost ukrepa s preprečevanjem vdora škodljivih snovi	namen	sanirati neustrezna mesta ali gradbeno fizikalne razmere
sovpredni armiranobetonski estrihi	termini pregledov po izvedbi	3 mesece, vsakih 5 let	termini pregledov po izvedbi	po potrebi na podlagi kontrolnega pregleda	/	/	/	/
	izobrazba pregledovalcev	srednja tehnična	izobrazba pregledovalcev	visokošolska izobrazba	/	/	/	/
	način pregleda	vizualni pregled, meritve vlage z elektronskim vlagomerom, odčitki vgrajenih senzorjev	način pregleda	vizualni pregled, meritve za ugotavljanje gradbeno fizikalnih razmer, odvzem vzorcev za laboratorijsko analizo	/	/	ukrep	zračenje prostora ali zračnega dela stropa, toplotna izolacija, parna zapora, utrditev
	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	/	/	dokumentacija	izvedbeni načrt, projektna in tehnična dokumentacija
	namen	ugotavljanje korozije in premajhne napetosti vezi	/	/	namen	zagotoviti trajnost ukrepa s preprečevanjem vdora škodljivih snovi	namen	sanirati neustrezna mesta ali vezi v celoti
jeklene potresne vezi	termini pregledov po izvedbi	vsakih 10 let	/	/	termini izvedbe	najmanj vsakih 20 let zunaj in 30 let znotraj	/	/
	izobrazba pregledovalcev	ekipa pod vodstvom osebe z visokošolsko izobrazbo	/	/	/	/	/	/
	način pregleda	vizualni pregled, ugotavljanje napetosti z momentnim ključem	/	/	vzdrževalni ukrep	obnova površinskih zidnih premazov	ukrep	napenjanje vezi, antikorozijska zaščita, zamenjava dotrajanih elementov
	dokumentacija	zapisnik pregleda z ugotovitvami	/	/	dokumentacija	zapisnik o vzdrževalnih delih	dokumentacija	izvedbeni načrt, projektna in tehnična dokumentacija
	namen	ugotavljanje korozije in premajhne napetosti vezi	/	/	namen	zagotoviti trajnost ukrepa s preprečevanjem vdora škodljivih snovi	namen	sanirati neustrezna mesta ali vezi v celoti

## 8.8 Nove rešitve

Razvoj novih utrditvenih ukrepov in modifikacija obstoječih je glede na obseg rekonstrukcij, ki je v porastu tako zaradi vse višjih zahtev tehničnih predpisov kot tudi zaradi kulturno varstvenih zahtev, prav gotovo nujen in smiseln. Novi utrditveni ukrepi naj omogočajo lahko, hitro in poceni izvedbo z minimalnimi vzdrževalnimi deli. Sočasno naj bodo čim manj moteči glede prenosa toplote in vlage, kar je eden ključnih elementov trajnosti. Vodilo pri razvoju naj bo tudi dejstvo, da uporaba različnih utrditvenih ukrepov na isti stavbi povzroči, da na določenih delih zgradbe pride do stika več konstrukcijskih sklopov, ki jih je zato potrebno medsebojno uskladiti.

Ena izmed novejših smeri raziskav in eksperimentalnega potrjevanja je utrditev nosilnih zidov z lepljenjem karbonskih trakov. Trakovi se lepijo na površino zidov v smeri nateznih napetosti, uporabljajo pa se tudi za utrditev (vzpostavitev prostorskega napetostnega stanja) tlačnih con. Na ta način se ne izboljšajo samo mehanske karakteristike zidov, ampak se izboljša tudi njihovo duktilno obnašanje. V kolikor bi ta metoda dala eksperimentalno ugodne in računsko določljive rezultate, bi morda sčasoma lahko opustili robustno in drago utrditev nosilnih opečnih zidov z armiranobetonskimi ometi. Slednji so, kot je bilo opisano, težavni tudi zaradi gradbeno fizikalnih pogojev, predvsem glede prenosa toplote. Poleg tega so velikokrat neizvedljivi iz arhitekturnih in spomeniško varstvenih razlogov, ko ni moč posegati v fasade, ožiti že tako preozka stopnišča in podobno. Dodatna težava pri armiranobetonskih ometih je naknadna izvedba inštalacijskih vodov.

Karbonski trakovi bodo v določenih pogojih morda lahko povezovali nosilne zidove in tako delno nadomestili jeklene potresne vezi. Kljub temu jeklene vezi za mnoge izvedbene detajle nimajo alternative. Glede na to bi bilo vsaj za nekatere primere potrebno modificirati izvedbo sidranja jeklenih vezi, ki naj omogoča lažje kasnejše napenjanje ali uvede uporabo sidrnih glav, ki preprečujejo izgubo sile prednapetja.

Podobno kot pri zidovih si karbonski trakovi in karbonska tkanina v zadnjem času utirata pot tudi za utrditev lesenih elementov konstrukcij zidanih stavb. Iz novih kompozitnih materialov

bi lahko bili tudi celotni konstrukcijski sklopi, kar verjetno ne bi bilo sprejemljivo za spomeniško varovane objekte. Za ta namen so manj problematični razni ustrezno zaščiteni leseni lepljeni elementi.

Konstantno so v teku tudi preiskave različnih mešanic injekcijskih mas za sistematično injektiranje kamnitih zidov. Razvoj na tem področju in nove recepture injekcijskih mas bodo morda ponudili rešitve glede škodljivega vpliva vlage, ki je še posebno pereč pri uporabi na sakralnih objektih s poslikavami.

Poleg naštetega si v zadnjem času pri zidanih zgradbah utira pot vpeljava disipacijskih elementov za zmanjšanje potresne energije in potresna izolacija temeljev. Z zmanjšanjem potresnih vplivov se bo sočasno zmanjšal obseg potrebnih konstrukcijskih utrditev.

Za potrebe razvoja novih konstrukcijskih detajlov in izvedbenih postopkov bo smiselno točno ovrednotenje vplivov prenosa toplote in vlage na trajnost utrditvenih ukrepov. To bo zato predmet nadaljnjih analiz, sistematičnega pregleda ugotovljenih dejstev in preiskav.

Vsekakor imajo pri potrditvi ustreznosti posameznih rešitev velik pomen primeri dobre prakse, to je primeri uspešno apliciranih poznanih, izboljšanih ali novih ukrepov.

## **8.9 Zakoni, predpisi in standardi v službi trajnostnega pristopa**

V zadnjem obdobju smo priča razmeroma obsežnim spremembam na področju zakonov, predpisov in standardov, ki urejajo graditev v Sloveniji. Po nekaj letih vzporedne veljavnosti so z letom 2008 primarni skupni evropski standardi Evrokod, ki določajo tehnične karakteristike nosilne konstrukcije. Standardi Evrokod se že vse od začetka spreminjajo, kar je povsem pričakovano, saj naj bi standardi spremljali razvoj stroke in uskladili mnenja ter interese. Sočasno s standardi se spreminjajo tudi zakoni in pravilniki. Tudi to je v smislu spremljanja in prilagajanja evropski regulativi popolnoma razumljivo. Kljub temu je zelo moteče, da je na primer novi Zakon o graditvi objektov (ZGO-1) od leta 2002, ko je stopil v veljavo, doživel že šest bolj ali manj obsežnih dopolnitev in sprememb. Velik del dopolnitev



in sprememb se nanaša na tako imenovane pravno formalne zadeve, izmed katerih naj bi nekatere pospešile in razjasnile postopek graditve, kar je vsekakor legitimen cilj. Njihov dolgoročni učinek je težko oceniti, poleg drugega ravno zaradi kratke veljavnosti določenih pogojev. Zaradi nenehnih sprememb in ponujenih rešitev pa je v strokovni javnosti razširjeno mnenje, da zakone in pravilnike pišejo ljudje, ki v procesu graditve nikoli niso aktivno sodelovali kot projektanti, izvajalci ali nadzorniki. Kratkoročni učinek je tako nedvomno zmeda, ki zavlada po vsaki spremembi, saj morajo vsi udeleženci v graditvi razčistiti nejasnosti in novosti tudi aktivno osvojiti. To je za strokovne udeležence pri graditvi izredno moteče, saj je zanje zakonodaja zgolj orodje, ki ga morajo poznati, da ga lahko potem uporabljajo ob svojih strokovnih znanjih. Ob nenehnih spremembah tako prav gotovo porabijo veliko časa, denarja in energije za spremljanje pravno formalnih zadev, namesto da bi se v večji meri posvetili iskanju optimalnih strokovnih rešitev in razvoju stroke, kar je nedvomno v nasprotju s trajnostnim pristopom.

Ob pregledu zahtev zakonov, predpisov in standardov, ki urejajo področje graditve, je bilo omenjeno, da v primeru rekonstrukcije regulativa ne pozna nižjih zahtev za nosilno konstrukcijo starejših objektov glede na novogradnje. Slednje je hud problem predvsem v primeru obnove sakralnih in drugih objektov kulturne dediščine, kjer so tehnični ukrepi močno omejeni. To področje bo zaradi tega v bodoče potrebno dodatno regulirati, pri čemer bo potrebno uskladiti konflikt interesov, to je ohranitev konstrukcijske avtentičnosti spomenikov in sočasnega zagotavljanja ustrezne nosilnosti in stabilnosti nosilne konstrukcije. Rešitev bo verjetno potrebno iskati v selektivnih, to je s stališča spomeniškega varstva sprejemljivih utrditvenih ukrepih, ki naj bi bili vizualno nemoteči in reverzibilni ter različnih stopnjah varnosti v odvisnosti od namembnosti. To na primer pomeni, da bo cerkev, v kateri se ob verskih obredih zbere velika množica ljudi, potrebno utrditi vsaj do neke minimalne predpisane meje, ali pa omogočiti ogled neokrnjene zgradbe manjšim vodenim skupinam in verske obrede opravljati drugje. Tudi v zadnjem primeru spremenjene namembnosti bi bilo potrebno preučiti potrebo po vsaj minimalnih utrditvenih ukrepih, saj je bolje imeti zaradi utrditve malo spremenjen spomenik, kot da tvegamo njegovo porušitev ob povišanih vplivih iz okolice. Pogosto je zaslediti napačno mnenje, da je zgradba, ki kljubuje času že stoletja, varna. Pri oceni njene potresne odpornosti nas ne sme zavesti dejstvo, da je stavba dobro prestala potresne obremenitve v preteklosti in da je torej njena potresna odpornost ustrezna.

Potresni vpliv (obtežba) je zelo nezanesljiv po svojih karakteristikah, odziv stavbe pa ni odvisen samo od moči tresljajev ampak tudi od smeri prihoda potresnih valov, njihove frekvence, smeri nihanja oziroma tipa valov in trajanja. Tako so lahko posledice sicer enako močnih, a po svojih karakteristikah različnih potresov za določeno stavbo zelo različne. Nenazadnje tudi ne smemo pozabiti, da se potresna odpornost stavb z leti praviloma zmanjšuje, tako zaradi propadanja materialov kot tudi zaradi nestrokovnih konstrukcijskih posegov. Izjema so seveda celovite in strokovne rekonstrukcije, s katerimi statično nosilnost in potresno odpornost stavb povečamo.

Vemo, da je v primeru posegov, ki pomenijo rekonstrukcijo, potrebno pridobiti gradbeno dovoljenje in da je po črki zakona potrebno zadostiti vsem aktualnim zahtevam glede nosilne konstrukcije in to za celotno stavbo. To je načeloma pravilno, še posebej v smislu preprečevanja poslabšanja stanja obstoječe konstrukcije. Obstajajo pa tudi primeri, ko je izpolnjevanje aktualnih zahtev za celotno stavbo neživljenjsko. Ob polnem upoštevanju zakonodaje na primer praktično ni mogoče urediti za stanovanje nobenega neizkoriščenega podstrešja starejše večnadstropne stanovanjske stavbe, pa čeprav gre v teh primerih praviloma za minimalno povečanje vplivov (obtežb). Ob posegu v nosilno konstrukcijo v območju podstrešja (strop, ostrešje) smo namreč med drugim avtomatično dolžni zagotoviti ustrezno potresno odpornost celotne stavbe. Potrebni konstrukcijski posegi za investitorja praviloma niso sprejemljivi tako zaradi finančnih razlogov kot tudi zaradi nestrinjanja ostalih stanovalcev oziroma lastnikov glede posega v njihove ali skupne prostore. Morda bi bilo pravilneje, če bi v takih primerih zadostoval računski dokaz, da so dodatne obremenitve sprejemljive oziroma znotraj nekih predpisanih vrednosti, da pa bo celotna stavba z dodatno izvedenimi utrditvenimi ukrepi na nivoju ostrešja (nove ali utrjene stropne konstrukcije, povezava zgradbe v nivoju kapi, sidranje in utrditev ostrešja) znatno pridobila.

V prejšnjem odstavku in tudi že prej je bilo omenjeno, da zahtev modernih zakonov, predpisov in standardov samih po sebi ni potrebno upoštevati, razen v primeru večjih posegov v stavbo. To dejansko pomeni, da predvsem večji (zidani) objekti, največkrat stanovanjski, stari nekaj deset let, vztrajno nazadujejo glede na zahteve modernih predpisov. Iz praktičnih razlogov (sprememba arhitekturne zasnove, več lastnikov, omejene finančne zmožnosti, neosveščенost, moteči posegi v notranjosti) se največkrat nikoli ne zgodi, da bi bili ti objekti

podvrženi rekonstrukciji z namenom izboljšanja karakteristik nosilne konstrukcije stavbe. Zaradi tega bi bilo potrebno razmisliti o ukrepih, ki bi lastnike oziroma upravnike tistih zgradb, ki ne bi ustrezale nekim določenim minimalnim zahtevam, zlagoma prisili, da ukrepajo. Mehanizmi vzpostavitve ustreznega ali boljšega stanja bi lahko bili podobni mehanizmom, predvidenim z uporabo in cilji energetske izkaznice. Tudi neka, poimenujmo jo konstrukcijska / statična izkaznica, bi bila informacijsko promocijski inštrument, ki bi spodbujala k nakupu ali najemu glede nosilne konstrukcije ustrežnejših stavb, lastniku obstoječega objekta pa bi svetovala, kaj bi bilo potrebno storiti, da bi se stanje izboljšalo. Izboljšanje v tem smislu ne bi nujno pomenilo zadostitve vseh kriterijev modernih predpisov, kar je seveda spet v nasprotju z zakonom. Zastavlja se vprašanje, ali so za trajnostno gradnjo boljši izključno visoki, redko doseženi cilji, ali bi bilo bolje dopustiti tudi delne strokovno podprte ukrepe.

## **8.10 Vključevanje naročnika in investitorja**

Povod za pristop k rekonstrukciji zidane zgradbe je velikokrat na videz parcialen problem ali želja po izboljšanju posamezne lastnosti zgradbe, ki lastnika ali upravnika pripelje do strokovnjaka ustrezne stroke. V okviru trajnostnega pristopa je dolžnost le-tega, da praviloma laičnega potencialnega naročnika opozori na vse vidike problema in mu predstavi nujnost in smiselnost interdisciplinarnega pristopa k reševanju problematike. Motivacija potencialnega naročnika je ob ustrezni stimulatívni ali zavezujoči zakonodaji bistvena za vzpostavitev trajnostnega pristopa pri obravnavanju posamezne zgradbe.

Po osnovnem spoznavanju zgradbe in problematike lahko skupina strokovnjakov svetuje naročniku in ga že v okviru priprave ponudbe ali projektne naloge vodi k pravilno zastavljenemu programu celovite rekonstrukcije in prenove zgradbe. Kakovostno in celovito zastavljene preiskave in analize so pogoj za ugotovitev realnega obstoječega stanja in možnosti prenove. Pri tem je navadno za investitorja ključnega pomena ekonomska opravičljivost rekonstrukcije in prenove. Naročnik oziroma bodoči investitor se lahko na podlagi rezultatov in nasvetov odloči za koncept prenove, ki je vodilo za pripravo projektne dokumentacije in izvedbo.

Iz opisanega procesa je razvidno, da mora strokovna ekipa oziroma vodja projekta, ki z naročnikom oziroma investitorjem komunicira, pri slednjem vzbujati zaupanje in uživati ugled. Za vzpostavitev ustreznega statusa, za naročilo del in realizacijo projektne naloge je poleg osebnostnih lastnosti in urejenosti podjetja v posameznih fazah procesa pomembno tudi naslednje:

- uspešno realizirana in promovirana referenčna dela,
- strokovno in znanstveno udejstvovanje (članki, knjige, predavanja),
- sposobnost motivacije naročnika v okviru pogajanj za naročilo svetovalnih in projektantskih storitev,
- splošna razgledanost in sposobnost svetovanja naročniku v smislu doseganja zastavljenih ciljev in promoviranja novih idej,
- kakovostno delo v dogovorjenem roku, sprotno seznanjanje naročnika z ugotovitvami in analizo zastavljenih ciljev,
- svetovanje pri izbiri materialov, izvajalcev in nadzora,
- skrb za naročnika oziroma investitorja tudi v kasnejšem obdobju (izvedba, kontrola, drugi projekti) in
- varovanje poslovne tajnosti.

## 9 ZAKLJUČKI

### 9.1 Ugotovitve

Ob rekonstrukciji zidanega objekta moramo le-temu z utrditvenimi ukrepi zagotoviti ustrezno nosilnost in stabilnost ter potresno odpornost skladno s predpisi in aktualnimi dognanji stroke. Za utrditev zidanih zgradb se večinoma uporabljajo preverjeni ukrepi, uveljavljajo pa se tudi nove rešitve. Dejstvo je, da z nekaterimi izmed uveljavljenih utrditvenih ukrepov spremenimo tudi gradbeno fizikalne razmere. Problem je toliko bolj izpostavljen pri vpeljavi novih, v praksi še nepreverjenih posegih. Zaradi tega je potreben celovit interdisciplinaren pristop, v okviru katerega v prvi vrsti uskladimo konstrukcijske zahteve z gradbeno fizikalnimi pogoji. Sočasno ne smemo zanemariti tudi ostalih zahtev, ki so praviloma različne za vsako zidano zgradbo posebej. Poleg analize prehoda toplote in vlage v okviru konstrukcijskega ukrepa moramo gradbeno fizikalne karakteristike ločeno od utrditve izboljšati tudi s sanacijskimi ukrepi zaradi bivalnega ugodja in zahtev predpisov o učinkoviti rabi energije. Z vsemi navedenimi ukrepi ugodno vplivamo tako na tehnično trajnost samega utrjenega konstrukcijskega elementa kot tudi na trajnost cele stavbe.

Zgornje ugotovitve dodatno podkrepi računska analiza vpliva sistematičnega injektiranja kamnitega zidu na gradbeno fizikalne razmere. Težave lahko povzročita faza sušenja po injektiranju, ki ob primernih pogojih intenzivno poteka predvsem prvo leto po izvedbi. V tem obdobju moramo zato zagotoviti izdatno prezračevanje in gretje ter spremljati vlažnost zidu.

Prizadevanja za tehnično trajnost se prepletajo s splošnim trendom oziroma strategijo trajnosti grajenega okolja, v okviru katere si prizadevamo za upoštevanje okoljskih, ekonomskih in družbenih vidikov. Eden izmed ciljev trajnosti grajenega okolja so tudi čim nižji stroški v življenjski dobi ukrepa oziroma zgradbe. Pri tem so zelo pomembni direktni stroški izvedbe. Z analizo izvedbenih stroškov je bilo ugotovljeno, da sočasnost izvedbe utrditvenih in sanacijskih ukrepov prihrani tudi več kot 40 % stroškov glede na fazno izvedbo del.

Za trajnost ukrepa in s tem trajnost zgradbe je potrebno izvajati redne kontrolne preglede ter vzdrževalna in sanacijska dela. Princip in način izvedbe le-teh je prikazan na nekaj konkretnih primerih ukrepov konstrukcijske utrditve. Tehnična regulativa, ki bi obravnavala dejavnosti po izvedbi posameznega utrditvenega ukrepa, trenutno ne obstaja.

## 9.2 Trajnosti pristop

V smislu zagotavljanja trajnosti grajenega okolja je potrebno uveljaviti trajnosti pristop k utrditvi zidanih zgradb. Trajnosti pristop naj nudi usmeritve projektantom in izvajalcem rekonstrukcij zidanih zgradb kakor tudi njihovim lastnikom oziroma upravljavcem pri vzdrževanju objektov. Velik poudarek trajnostnega pristopa je namreč na zagotavljanju uspešnosti izvedenega ukrepa s kasnejšimi kontrolnimi pregledi, vzdrževalnimi deli in po potrebi naknadnimi sanacijami. Pri tem je v proces odločanja potrebno aktivno vključevati tudi naročnika.

Trajnosti pristop na posamezni zgradbi zagotavlja oziroma obsega:

- celovitost interdisciplinarne zasnove posameznega ukrepa,
- celovito in sočasno konstrukcijsko utrditev in energetska sanacijo,
- kakovostno, cenovno ugodno in tehnološko ustrezno izvedbo,
- kontrolo rezultatov izvedbe ukrepov ter
- vzdrževalna dela in po potrebi odpravljanje napak.

Trajnostni pristop bo povzročil razvoj novih in boljših konstrukcijskih ukrepov. S pozitivnimi rezultati bo najverjetneje spodbudil uveljavitev premišljene trajnostno usmerjene zakonodaje z daljšim obdobjem veljave, ki bo njegovo izvajanje dodatno spodbujala. V tem smislu bo morda prišlo do vpeljave dodatnih finančnih stimulacij za izvedbo kakovostnih rekonstrukcij.

Diagram poteka aktivnosti v okviru trajnostnega pristopa k utrditvi oziroma rekonstrukciji zidanih zgradb je podan v nadaljevanju (*Slika 9.1*).

Obrazložitev diagrama:

Postopki in dejavniki, ki vsaj v eni izmed bistvenih komponent niso običajni v aktualni praksi, so v diagramu označeni z rdečo barvo.

Posamezne aktivnosti so združene v sklope, ki so podrobneje predstavljeni v predhodnih poglavjih magistrskega dela:

sklop N – vključevanje naročnika in investitorja (poglavji 2.4 in 8.10),

sklop A – osnovno spoznavanje zgradbe in problematike (poglavje 3),

sklop B – analiza stanja (poglavja 3, 4, 5, 6 in 7)

sklop C – možnosti prenove (poglavja 3, 4, 5, 6, 7, 8.2, 8.3 in 8.4),

sklop D – projektiranje in izvedba (poglavji 2.5 in 8.9),

sklop E – vzdrževanje (poglavji 8.6 in 8.7) in

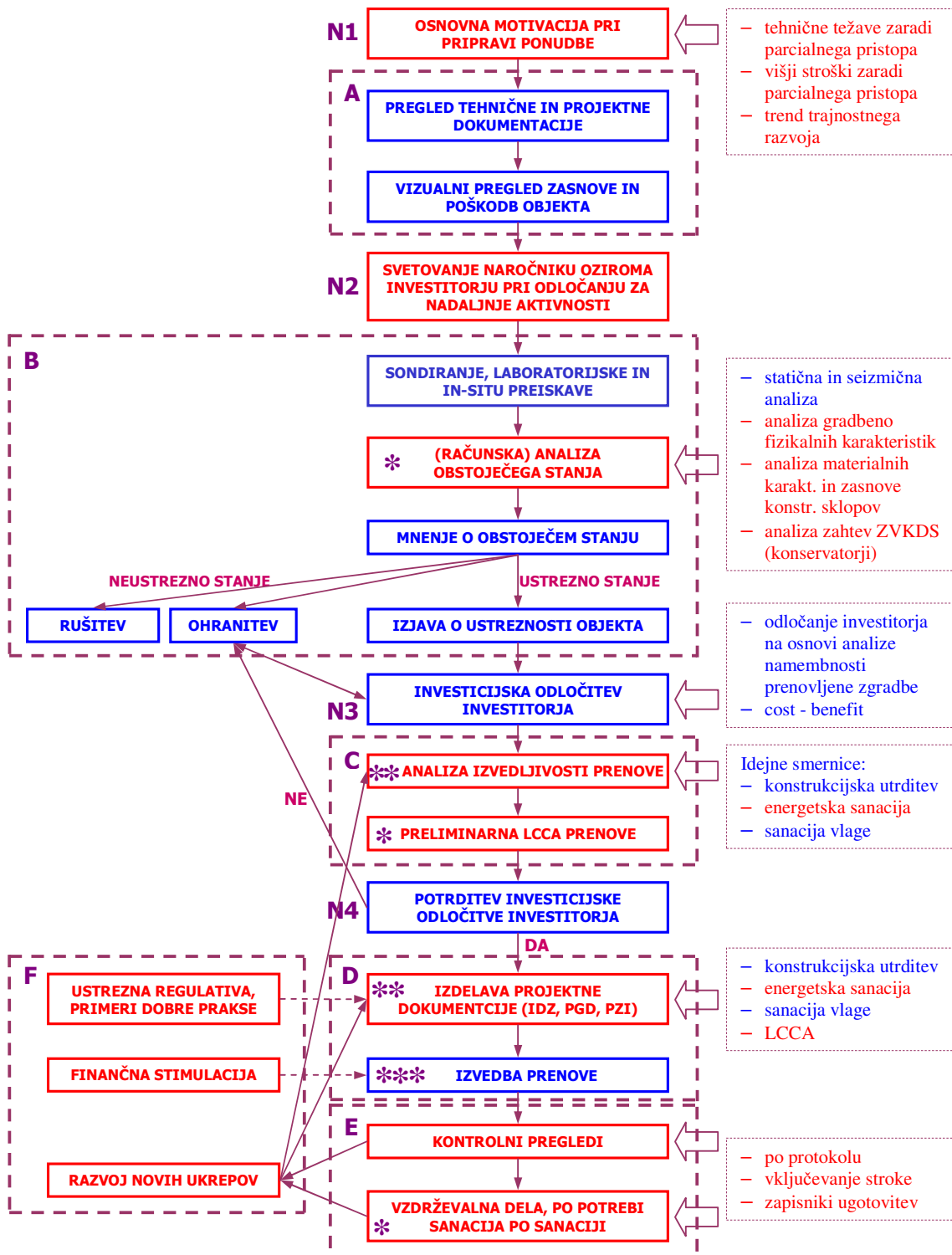
sklop F – razvoj in stimulatивно okolje (poglavji 8.8 in 8.9).

Kritične dejavnosti v smislu zagotavljanja kakovosti so označene z zvezdicami, in sicer po pomembnosti:

- \* prva stopnja – pomembno,
- \*\* druga stopnja – zelo pomembno in
- \*\*\* tretja stopnja – odločujoče.

Zagotavljanje kakovosti in kontrolni pregledi (predvsem v smislu dodatnih kontrolnih pregledov v okviru trajnostnega pristopa) so opisani v poglavjih 8.5, 8.6 in 8.7.

Diagram poteka je zaradi preglednosti ob predpostavki kakovostne izvedbe posameznih faz podan pretežno enosmerno, z izjemo nekaterih faz odločitve investitorja in vpliva razvoja novih ukrepov. V primeru naknadne ugotovitve novih dejstev, ki odločilno vplivajo na potek prenove zgradbe, je potrebno iz faze, kjer je bilo to ugotovljeno, ponovno preiti v ustrezno predhodno fazo. Pri tem je zaradi čim manjših motenj, če je le možno, to potrebno narediti zgolj za del zgradbe oziroma ukrepov.



Slika 9.1: Diagram poteka za trajnostni pristop k utrditvi oziroma prenovi zidanih zgradb

Figure 9.1: Flow chart of sustainable approach to the retrofit of masonry buildings



### 9.3 Nadaljnje delo

Vpliv utrditvenih ukrepov na prenos toplote in vlage, ki se odraža tudi na trajnosti, je še zelo neraziskano področje, kjer prevladujejo predvsem praktične izkušnje. Glede na obseg tovrstnih del bo temu v bodoče potrebno posvetiti več pozornosti. Potrebna bo podrobnejša analiza posameznih utrditvenih ukrepov z ovrednotenjem gradbeno fizikalnih karakteristik.

Primer take računske analize injektiranja kamnitega zidu je predstavljen tudi v magistrskem delu. Analiza je narejena za konkretno sestavo zidu, ki pa se v splošnem med kamnitimi zidovi zelo razlikuje. Pri tem so nekatere karakteristike v pomanjkanju relevantnih podatkov predpostavljene. V bodoče bo tako potrebno analizirati več različnih kamnitih zidov na podlagi eksperimentalno določenih karakteristik. Izračunane rezultate bo potrebno potrditi z meritvami v naravi. Šele dovolj velika baza podatkov bo že v fazi projektiranja nudila dejansko osnovo za izračune vpliva injektiranja na gradbeno fizikalne razmere.

Poleg tehničnega znanja je za dejansko uveljavitev kakovostnih rešitev v smislu trajnostnega pristopa potrebno vzpostaviti ustrezno regulativno podlago in predvideti stimulatивne vzvode. V tem smislu bo potrebno na podlagi praktičnih izkušenj analizirati pričakovanja in zablode oziroma primerjati v praksi dosežene rezultate glede na z zakonodajo zastavljene cilje. Ena izmed možnosti primerjalne analize bi lahko bile tudi baze podatkov Ministrstva za okolje in prostor o popotresnih obnovah v Posočju po potresih leta 1976, 1998 in 2004.

V okviru trajnostnega pristopa predstavlja problematika kulturne dediščine poseben izziv, na katerega pogosto naletimo. Zaradi svoje specifičnosti bo to področje potrebno posebej analizirati tako po tehnično arhitekturni kot tudi kot tudi finančni plati.

## 10 POVZETEK

Namen magistrskega dela je analizirati sinergijo konstrukcijske utrditve in energetske sanacije oziroma zagotavljanja ustreznih pogojev prenosa toplote in vlage pri aplikaciji utrditvenih ukrepov ter na podlagi ugotovitev predstaviti ustrezen trajnostni pristop pri utrditvi zidanih zgradb. Trajnostni pristop, ki zajema vse faze od analize začetnega stanja do periodičnih kontrolnih pregledov izvedenih ukrepov, naj nudi usmeritve projektantom in izvajalcem rekonstrukcij zidanih zgradb kakor tudi njihovim lastnikom oziroma vzdrževalcem pri njihovem delu.

Na začetku magistrskega dela so v poglavju 2 VZROKI ZA REKONSTRUKCIJO predstavljeni splošni in materialno-tehnični vzroki za rekonstrukcijo. V poglavju 3 POTEK REKONSTRUKCIJE je nato predstavljen potek rekonstrukcije v smislu odločanja, zakonodaje in drugih vplivov. Analiza aktualnega stanja stroke v poglavju 4 KONSTRUKCIJSKA UTRDITEV pripelje do ugotovitve, da se za utrditev zidanih zgradb večinoma uporabljajo preverjeni ukrepi ob stalnem razvoju novih rešitev. V poglavju 5 ENERGETSKA SANACIJA so podobno predstavljeni ukrepi za zagotavljanje ustreznih gradbeno fizikalnih razmer, medtem ko so ukrepi za sanacijo vlage, ki vdira iz terena, ločeno predstavljeni v poglavju 6 SANACIJA VLAGE. V nadaljevanju so nato v poglavju 7 SINERGIJA KONSTRUKCIJSKE UTRDITVE IN ENERGETSKE SANACIJE predstavljeni in analizirani problemi ter izpostavljene kritične točke pri usklajevanju zahtev konstrukcijske utrditve z zahtevami glede prenosa toplote in vlage. Poudarjena je potreba po interdisciplinarnem pristopu v fazi načrtovanja in izvedbe. Podrobneje je računsko analiziran vpliv sistematičnega injektiranja kamnitega zidu na gradbeno fizikalne razmere. V poglavju 8 TRAJNOSTNI PRISTOP K UTRDITVI ZIDANIH ZGRADB je le-ta najprej argumentiran s trajnostnimi dejavniki in analizo finančne upravičenosti sočasne izvedbe ukrepov za konstrukcijsko utrditev, energetske sanacije in sanacije vlage, ki vdira iz terena. Dejstvo je, da sočasnost izvedbe prihrani tudi več kot 40 % stroškov glede na fazno izvedbo del. Trajnostni pristop je nato predstavljen na izbranih utrditvenih ukrepih, kjer po skrbnem načrtovanju in izvedbi ukrepa predlaga protokol kontrolnih pregledov, vzdrževalnih del in po potrebi sanacijskih del v smislu trajnosti. Pristop je predstavljen na konkretnih pogosto uporabljenih ukrepih, vendar pa ga je z upoštevanjem interdisciplinarnosti

in predstavljenih zakonitosti možno prirediti za poljuben utrditveni ukrep. V okviru trajnostnega pristopa je potreben razvoj novih utrditvenih ukrepov, ki bodo v sozvočju s trajnostnim razvojem. Priporočljivo bo prilagoditi tehnično regulativo, ki ureja področje graditve. V proces odločanja je potrebno aktivno vključevati tudi naročnika oziroma investitorja. V poglavju 9 ZAKLJUČKI je celoten trajnostni pristop k utrditvi oziroma rekonstrukciji zidanih stavb predstavljen v diagramu poteka.

## 11 SUMMARY

The purpose of the present master work is to analyze the synergy of structural retrofit and reduction of energy consumption, and provision of adequate conditions for heat and moisture transfer when applying strengthening measures, respectively. A sustainable approach to the retrofit of masonry buildings is presented as a result. Sustainable approach, covering all phases from the analysis of initial conditions to quality check of the implemented measures, is aimed at providing guidance to designers and constructors of retrofitted masonry buildings, as well as to their owners and maintenance personnel.

The general, material, and technical reasons and motives for the retrofit are presented in Chapter 2. The process of retrofit in terms of decision-making steps, legislation issues and other impacts is described in Chapter 3. The analysis of current state of professional practice in Chapter 4 shows that for strengthening mainly verified measures are in use, while at the same time new solutions are being developed constantly. Similarly, in Chapter 5 measures to ensure adequate building physics conditions are portrayed, while measures for prevention of rising dampness are presented separately in Chapter 6. Problems and critical points of structural strengthening measures, and their impact on heat and moisture transfer requirements are exposed and discussed in Chapter 7. The need for an integral approach in the planning and implementation phases is stressed. The influence of systematic grouting of stone masonry wall on building physics is numerically analysed. In Chapter 8 sustainable approach is grounded using sustainable factors and analysing the financial viability of a concurrent implementation of structural strengthening, reduction of energy consumption, and damp-proofing treatments. The fact is that a simultaneous implementation can save more than 40 % of the costs as opposed to phased actions. The sustainable approach is illustrated on cases of selected strengthening measures, where - after initial careful planning and subsequent implementation steps - quality check, maintenance, and eventual remedial actions are proposed. The presented frequently used strengthening measures can be easily adapted to a variety of actions using integral planning rules. In the context of a sustainable approach new strengthening measures in tune with sustainable development principles need to be developed. It would also be advisable to adapt corresponding technical regulations from the building

construction field. The client should be actively involved in the decision-making process. Finally, in Chapter 9 the complete sustainable approach to the retrofit of masonry buildings is presented in a flow chart.

## VIRI

Dittrich, H. 1986. Feuchteschäden im Altbau: Ursachen, Verhinderung, Behebung. Köln, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller: 165 str.

Dreyer, J., Hecht, C. 2001. Injection methods for retrofitting of moisture damaged constructions. V: Brebbia, C. A. (ur.). Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Historical Buildings VII, seventh international conference of Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Historical Buildings, Bologna, 2001. Southampton, Witpress: str. 517-526.

Dreyer, J. Nachhaltige und verträgliche Instandsetzung auf der Grundlage von Diagnose und Modellierung. TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz. <http://www.energytech.at/pdf/diagnoseinstandsetzung.pdf> (09.03.2008): 10 str.

Evans, S. Water Infiltration, Mold Colonization, and Construction Defects. MDE inc. <http://www.mde.com/publications/H2OInfiltrate.pdf> (01.03.2008): 10 str.

Eurocode 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – Del 1-4: Splošna pravila – Utrditev in popravilo stavb. SIST ENV 1998-1-4, 2000: 90 str.

Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe – Nacionalni dodatek. SIST EN 1998-1:2005, 2006: 241 str.

Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 3. del: Ocena in prenova stavb. SIST EN 1998-3:2005, 2005: 89 str.

Fuller, S. Life-Cycle Cost Analysis (LCCA), National Institute of Standards and Technology (NIST), [www.wbdg.org/design/lcca.php](http://www.wbdg.org/design/lcca.php) (14.08.2007): 11 str.

Feilden, B. M. 2005. Conservation of Historic Buildings (Third Edition). Oxford, Elsevier, Architectural Press: 388 str.

Gostič, S., Dolinšek, B. 2006. Projektiranje rekonstrukcij. Gradbenik 10, 6: str. 163-167.

Gostič, S. 2004. Študija učinkovitosti naprednih metod za sanacijo zidanih stavb. raziskovalni projekt MŠZŠ Z2-3411, končno poročilo (DN2000329). Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK – Center za materiale in tehnologije: 129 str.

Grap, M. 2004. Kellerfeuchtigkeit im Altbau. Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Landes NRW. [http://www.hanau.de/imperia/md/content/umweltundnatur/oekobau/feuchte\\_keller04.pdf](http://www.hanau.de/imperia/md/content/umweltundnatur/oekobau/feuchte_keller04.pdf) (09.03.2008): 17 str.

Häupl, P., Fechner, H., Grunewald, J., Petzold, H. 2001. The quantification of the moisture distribution in renovated historical wall structures and exposed monuments. V: Brebbia, C. A. (ur.). Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Historical Buildings VII, seventh

international conference of Structural Studies, Repairs, and Maintenance of Historical Buildings, Bologna, 2001. Southampton, Witpress: str. 507-515.

Kilar, V., Koren, D. 2007. Potresna izolacija stavb kot alternativa za gradnjo na potresnih območjih. Ljubljana, Gradbeni vestnik 56, 12: str. 307-318.

Kos, J. 1999. Sanacija starejših zgradb. V: Janežič, I. (ur.). Zbornik referatov Sanacija in rekonstrukcija zgradb, Ljubljana, Gradbeni center Slovenije, junij 1999. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK – Gradbeni center Slovenije: str. 11-21.

Kotterer, M. (ur.), Großschmidt, H. (ur.), Boody, F. (ur.), Kippes, W. (ur.). 2004. Klima in Museen und historischen Gebäuden: Die Temperierung, Wissenschaftliche Reihe Schloß Schönbrunn Kultur- und Betriebsges. m. b. H. und Stiftung Kunstforum Ostdeutsche Galerie: 192 str.

Künzel, H. M. 1994. Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfach Kennwerten. Doktorska disertacija. Stuttgart, Universität Stuttgart, Fakultät bauingenieur- und Vermessungswesen, Lehrstuhl für Konstruktive Bauphysik.

[http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/hk\\_dissertation.pdf](http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/hk_dissertation.pdf) (13.03.2008): 68 str.

Künzel, H. M. 1995. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components, one- and two-dimensional calculation using simple parameters. Fraunhofer Institute of Building Physics.

[http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/hk\\_dissertation\\_e.pdf](http://www.hoki.ibp.fhg.de/ibp/publikationen/dissertationen/hk_dissertation_e.pdf) (13.03.2008): 65 str.

Life cycle analysis and assessment, World Resource Foundation, [www.gdrc.org/uem/lca/life-cycle.html](http://www.gdrc.org/uem/lca/life-cycle.html) (23.03.2007): 5 str.

Lorenz, W., Hankammer, G., Lassel, K. 2005. Sanierung von Feuchte- und Schimmelpilzschäden: Diagnose, Planung, und Ausführung. Köln, Verlagsgesellschaft Rudolf Müller: 410 str.

Marinko, M. 2008. Cening, gradbena dela 51. Ljubljana, Inženiring biro Marinko d.o.o.: 266 str.

Newman, A. 2001. Structural Renovation of Buildings. New York, McGraw – Hill, Professional Engineering: 866 str.

Pearce, A. R., DuBose, J. R., Vanegas, J. A. Rehabilitation as a Strategy to Increase the Sustainability of the Built Environment.

[www.maven.gtri.gatech.edu/sfi/resources/pdf/CP/CP004.PDF](http://www.maven.gtri.gatech.edu/sfi/resources/pdf/CP/CP004.PDF) (06.08.2007): 5 str.

Padfield, T. 2002. The window in context: The interplay between the building components. [http://www.natmus.dk/cons/tp/wproj/window\\_in\\_context.pdf](http://www.natmus.dk/cons/tp/wproj/window_in_context.pdf) (16.02.2008): 41 str.

Popović, M. 2007. Rekonstrukcija zidanih stavb in vpliv utrditvenih ukrepov na njihovo trajnost. Ljubljana, Gradbeni vestnik 56, 6: str. 146-155.

Portney P. R. Benefit-Cost Analysis.

[www.econlib.org/LIBRARY/Enc/BenefitCostAnalysis.html](http://www.econlib.org/LIBRARY/Enc/BenefitCostAnalysis.html) (21.03.2007)

Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov. UL RS št. 101/05: str. 10637.

Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o cenah in normativih za določanje cen gradbenih del za popotresno obnovo objektov. UL RS št. 83/07: str. 11480.

Pravilnik o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah. UL RS št. 42/02: str. 4114.

Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. UL RS št. 93/08: str. 12698.

Reflak, J., Javornik, R. B., Kerin, A., Pšunder, I., Pavčič, M., Vodlan, T., Marinko, M., Podobnik, C., Šelih, J. 2007. Od projekta do objekta. Ljubljana, Verlags Dashöfer

Reh, F. J. Cost Benefit Analysis. [www.management.about.com/cs/money/a/CostBenefit.htm](http://www.management.about.com/cs/money/a/CostBenefit.htm) (21.03.2007): 7 str.

Šijanec Zavrl, M. 1999. Energetska prenova stanovanjskih stavb – stanje in izgledi. V: Janežič, I. (ur.). Zbornik referatov Sanacija in rekonstrukcija zgradb, Ljubljana, Gradbeni center Slovenije, junij 1999. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK – Gradbeni center Slovenije: str. 41-56.

Šijanec Zavrl, M. 2003. Energetsko učinkovita in trajnostna gradnja. V: Škraba, B. (ur.). Inovativno grajeno okolje – zbornik 3. dneva inženirjev in arhitektov, Ljubljana, dvorana Smelt, 19. november 2003. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: str. 23-30.

Šijanec Zavrl, M. 2007. Energetska izkaznica. Ljubljana, Dobro jutro, 14. julij 2007: str. 26.

Šijanec Zavrl, M., Žarnić, R. 2007. Practical method for sustainability assessment of apartment buildings. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o.: 8 str.

Tomažević M., Klemenc, I., Weiss, P. 2006. Potresna izolacija, utrjevanje zidov z lepljenjem CFRP trakov in zgodovinske zidane stavbe. V: Saje, F., Lopatič, J. (ur.). Zbornik 28. zborovanja gradbenih konstruktorjev Slovenije, Bled, hotel Golf, 19.-20. oktober 2006. Ljubljana, Slovensko društvo gradbenih konstruktorjev: str. 33-40.

Tomažević M., Klemenc, I., Weiss, P. 2008. Protipotresna utrditev starih zidanih stavb s sodobnimi metodami: raziskave obnašanja modelov na potresni mizi. Ljubljana, Gradbeni vestnik 57, 2: str. 30-42.

Voutilainen, J. 2005. Methods and instrumentation for measuring moisture in building structures. Helsinki University of Technology Applied Electronics Laboratory. <http://lib.tkk.fi/Diss/2005/isbn9512275236/isbn9512275236.pdf> (10.02.2008): 157 str.



Zakon o graditvi objektov (ZGO-1). UL RS št. 110/02: str. 13084.

spremembe, dopolnitve in odločbe:

UL RS št. 97/03: str. 13777.

UL RS št. 47/04: str. 6282.

UL RS št. 62/04: str. 7955.

UL RS št. 111/05: str. 11954.

UL RS št. 120/06: str. 12782.

UL RS št. 126/07: str. 18714.

Žarnić, R. 1998. Osnovne lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 319 str.

Žarnić, R. 2002. Technologies for Safeguarding of Heritage Buildings in Slovenia, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 13. str.

[www.gi-zrmk.si](http://www.gi-zrmk.si) (29.01.2008)

[www.gi-zrmk.si/gras](http://www.gi-zrmk.si/gras) (29.01.2008)

[www.sonnikolektorji.si](http://www.sonnikolektorji.si) (17.09.2008)

[www.wufi.de](http://www.wufi.de) in [www.wufi-pro.com](http://www.wufi-pro.com) (13.03.2008)