

KONČNO POROČILO PROJEKTA

**TEHNIČNO-EKONOMSKA ANALIZA ENERGETSKE
SANACIJE STANOVANJSKIH STAVB (V2-0469)**

20. 9. 2009

KAZALO

1	Problematika	4
2	Namen projekta in cilji	7
3	Načrtovana dinamika izvedbe projekta.....	9
4	Poročilo o izvedenih delih projekta	10
4.1	Stanovanjska hiša	10
4.1.1	Prvi del projekta	10
4.1.2	Drugi del projekta.....	13
4.1.2.1	Energetska bilanca hiše pred energetske sanacije	13
4.1.2.2	Termografija hiše	16
4.1.2.3	Simulacija toplotnih mostov.....	20
4.1.2.4	Energetska bilanca hiše po zamenjavi oken in vrat	24
4.1.2.5	Energetska bilanca hiše po izolaciji fasade.....	25
4.1.2.6	Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe.....	25
4.1.2.7	Energetska bilanca hiše po izolaciji stropa neogrevane kleti	26
4.1.3	Tretji del projekta.....	26
4.1.3.1	Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe ter zamenjavi oken in vrat	27
4.1.3.2	Energetska bilanca hiše po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade	27
4.1.3.3	Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe in stropa neogrevane kleti	28
4.1.3.4	Energetska bilanca hiše po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in stropa neogrevane kleti	29
4.1.3.5	Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe in fasade ter zamenjavi oken in vrat	30
4.1.3.6	Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjavi oken in vrat.....	31
4.1.3.7	Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti, zamenjavi oken in vrat, uvedbi prezračevanja z rekuperacijo toplote ter po potrebi z zamenjavo grelnega kotla	32
4.1.4	Ekonomska analiza energetske sanacije stanovanjske hiše	33
4.1.5	Povzetek energetske sanacije stanovanjske hiše	35
4.2	Večstanovanjski blok.....	39
4.2.1	Prvi del projekta	39
4.2.2	Drugi del projekta.....	40
4.2.2.1	Energetska bilanca bloka pred energetske sanacije	40
4.2.2.2	Termografija bloka	41
4.2.2.3	Energetska bilanca bloka po zamenjavi oken in vrat	43
4.2.2.4	Energetska bilanca bloka po izolaciji fasade.....	43
4.2.2.5	Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe.....	44
4.2.2.6	Energetska bilanca bloka po izolaciji stropa neogrevane kleti	45
4.2.3	Tretji del projekta.....	45
4.2.3.1	Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe ter zamenjavi oken in vrat	45
4.2.3.2	Energetska bilanca bloka po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade	46
4.2.3.3	Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe in stropa neogrevane	

kleti	47
4.2.3.4 Energetska bilanca bloka po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in stropa neogrevane kleti	47
4.2.3.5 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe in fasade ter zamenjavi oken in vrat	49
4.2.3.6 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjavi oken in vrat (celovita sanacija ovoja).....	50
4.2.3.7 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti, zamenjavi oken in vrat in uvedbi prezračevanja z rekuperacijo toplote.....	51
4.2.4 Ekonomska analiza energetske sanacije bloka.....	51
4.3 Ocena poteka projekta v celoti	54
4.4 Literatura	56
4.5 Priloge	56
4.5.1 Stanovanjska hiša	56
4.5.2 Stanovanjski blok	56

1 Problematika

Eden izmed pokazateljev, da se podnebne razmere spreminjajo, je temperatura oziroma njeno globalno naraščanje. Podatki za Slovenijo oziroma Ljubljano kažejo, da se je povprečna temperatura v zadnjih 50 letih dvignila za približno 1,5 °C. Seveda temperatura ni edini pokazatelj podnebnih sprememb. Na to kaže tudi taljenje ledenikov in povečanje ekstremnih podnebnih pojavov (viharji, poplave, vročinski valovi). Večina znanstvenikov meni, da so vzrok teh podnebnih sprememb toplogredni plini (TGP) z ogljikovim dioksidom na čelu. Le-ti v veliki meri pridejo v ozračje zaradi izgorevanja fosilnih goriv, ki jih neposredno potrebujemo za proizvodnjo električne energije, ogrevanje in pogon transportnih sredstev. Za zmanjšanje izpusta TGP je treba omejiti porabo fosilnih goriv ali pa jih nadomestiti z alternativnimi, okolju prijaznimi obnovljivimi viri energije (sonce, veter, biomasa, voda). Konvencija Združenih narodov o spremembi podnebja (Rio de Janeiro, 1992) je prvi mednarodni dokument, ki obravnava vprašanje odziva na spreminjanje podnebja. Temeljni cilj konvencije je doseči ustalitev koncentracij TGP v ozračju na raven, ki bo preprečevala nevaren človekov vpliv na podnebni sistem. Po ratifikaciji je Slovenija konec leta 1995 postala pogodbenica konvencije. Ena izmed sprejetih obveznosti je redno poročanje, in sicer o stanju emisij, ukrepih za njihovo zmanjševanje ter o spremljanju podnebnih sprememb in ukrepih za zmanjševanje posledic sprememb. Slovenija je julija 2002 oddala Konferenci pogodbenic Okvirne konvencije ZN o spremembi podnebja svoje prvo poročilo, dve leti kasneje drugo in tretje (skupaj), četrto pa v letu 2006. Slovenija je oktobra 1998 podpisala in julija 2002 tudi ratificirala Kjotski protokol, s katerim je prevzela - enako kot Evropska unija in večina držav, ki so vanjo vstopile – obveznost 8 % zmanjšanja emisij TGP v prvem ciljnem obdobju 2008-2012 glede na izhodiščno leto 1986, ko so bile emisije CO₂ v Sloveniji najvišje, medtem ko večina drugih držav šteje za izhodiščno leto 1990. Pravila o izvajanju Kjotskega protokola omogočajo doseganje ciljev iz obdobja 2008-2012 z zmanjšanjem emisij TGP in s povečanjem ponorov (vezave CO₂). Leta 1986 so bile emisije TGP v Sloveniji 20,2 milijona ton ekvivalenta CO₂, 8 odstotno zmanjšanje pa pomeni, da slovenske emisije v obdobju 2008-2012 v povprečju ne bodo smele preseči 18,59 milijonov ton ekvivalenta CO₂ na leto. Emisije TGP je mogoče zmanjševati zlasti z zamenjavo tehnologij, zamenjavo goriv in surovin ter z zmanjšanjem obsega ali opustitvijo nekaterih dejavnosti. Emisije toplogrednih plinov so povezane predvsem z obsegom in načinom proizvodnje ter porabe energije. Razmeroma cenena fosilna goriva (premog, nafta, plin) so v preteklosti omogočala pospešen gospodarski razvoj in večanje količinske proizvodnje, čeprav ne vedno v prid kakovosti življenja. Zmanjševanje emisij TGP zahteva korenite posege v način proizvodnje in porabe ter spremembo življenjskega sloga. Strateško pomembno je, da družbeni razvoj ustrezno in pravočasno usmerimo k bolj kakovostnemu, trajnostnemu gospodarjenju, ki je skladno z zahtevami za zmanjševanje emisij TGP in s preprečevanjem degradacije okolja.

Po podatkih mednarodne agencije za energijo (IEA-International Energy Agency, www.iea.org) so v svetovnem merilu stavbe največji porabnik končne energije in sicer okrog 40 %. Od tega se večina porabi za ogrevanje, hlajenje, pripravo tople vode in prezračevanje. Podatki za Slovenijo iz leta 2002 glede gospodinjstev kažejo, da le-ta porabijo okrog 25 % celotne končne energije. Od tega se večina porabi za gospodinjске aparate in zabavno elektroniko (45 %), pripravo tople vode (25 %),

ogrevanje (22,5 %) in kuhanje (7,5 %). V Sloveniji je že zastavljenih nekaj instrumentov, ki so ciljno usmerjeni v preprečevanje sprememb podnebja, dajatev za obremenjevanje zraka z emisijo CO₂ in taksa na deponiranje bio-razgradljivih odpadkov. V uporabi še drugi instrumenti in sicer: finančne spodbude (subvencije, ugodni krediti, oprostitve oziroma olajšave pri trošarini za enote sproizvodnje električne energije in toplote, ugodne odkupne cene za električno energijo od kvalificiranih proizvajalcev, kapitalske naložbe), informiranje in ozaveščanje porabnikov energije, spodbujanje izvajanja energetskih storitev, prostovoljni sporazumi, predpisi in standardi (na primer toplotna zaščita in prezračevanje stavb, razdeljevanje stroškov za ogrevanje v večstanovanjskih stavbah, minimalne zahteve glede energijske učinkovitosti naprav, energijsko označevanje gospodinjstskih aparatov) in podobno. Pomembno mesto ima leta 2005 uveden sistem trgovanja s pravicami do emisije TGP. Podrobno so strateški cilji na področju energetske učinkovitosti opisani v Nacionalnem akcijskem načrtu za energetske učinkovitost za obdobje 2008–2016, ki ga je sprejela vlada Republike Slovenije in v Operativnem programu zmanjševanja emisij toplogrednih plinov do leta 2012, ki ga je pripravilo Ministrstvo za okolje in prostor v sodelovanju z Inštitutom Jožef Stefan – Centrom za energetske učinkovitost (IJS-CEU), Agencijo Republike Slovenije za okolje (ARSO), Kmetijskim inštitutom Slovenije (KIS) ter Gozdarskim inštitutom Slovenije (GIS). Vendar sta obseg in učinkovitost ukrepov zaenkrat še premajhna za izpolnjevanje zastavljenih ciljev. Na področju gradbeništva je deloma temu vzrok nepoznavanje problematike s strokovne plati, kajti le malo ljudi razume, kako je mogoče ogrevati stavbo in sanitarno vodo zgolj s pomočjo toplotne črpalke ali s sončno energijo. To velja tako na strani uporabnikov, ker imajo pomanjkljivo tehnično znanje, kot na strani strani izvajalcev, ki prepočasi sledijo razvoju tehnologije povezane z energetske učinkovitostjo. Pomembno je ozaveščanje uporabnikov in izvajalcev, vendar ne zgolj tistih, ki jih to zanima zaradi svoje neposredne udeležnosti pri gradnji, temveč tudi takšnih, ki zaenkrat s tem nimajo neposrednega opravka. Obojestransko poznavanje problematike je zelo pomembno pri dejanski izvedbi, kajti tako investitor lažje in bolj točno izrazi svoje zahteve ter pričakovanja, kar hkrati zmanjšuje možnost slabega načrtovanja in izvedbe. Večinoma pa je problem, ker so tovrstni ukrepi še relativno novi in praktično ni na voljo dovolj stanovanjskih stavb v Sloveniji, katerih lastniki bi promovirali nizkoenergetsko oziroma pasivno gradnjo, seveda na podlagi svojih pozitivnih izkušenj tako z ekonomskega vidika kot tudi z vidika kakovosti bivanja. Še manj so na voljo konkretne tehnično-ekonomske študije, kako takšno gradnjo ali pa energetske sanacije izvesti in v kakšnem času se vložek povrne. Obstajajo sicer ocene, ki jih avtorji povzemajo po tuji, večinoma nemški in avstrijski literaturi. Ocene navajajo, da so nizkoenergetske oziroma pasivne novogradnje dražje od tistih po obstoječih standardih za 5-10 %. Podatki glede ekonomskega vidika (vračilna doba) energetske sanacije stavb pri nas niso na voljo. Obstajajo pa tudi razne zakonske, administrativne in kadrovske ovire, ki otežujejo izvedbo ukrepov energetske sanacije stavb, še posebej večstanovanjskih.

Inovacije so gonilo konkurenčnosti in trajnostnega razvoja. Razvoj in raziskave na tem področju šele dobivajo polni zamah, kajti po podatkih Evropskega patentnega urada so med leti 1998 in 2007 energetske patenti predstavljali le 1,3 odstotka od skupno 1,3 milijona vseh patentov. Največ jih je bilo s področja novih tehnologij, kot so izraba energije sonca in vetra, termalne energije in vodika. Po številu patentov je skoraj polovico vseh na prvem mestu Evropa, sledita ji ZDA in Japonska. Čeprav je

patentov vezanih na rabo energije malo, pa je pozitivno, da njihovo število glede na vse prijavljene patente narašča hitreje kot v drugih panogah. Povprečna rast je 6 % letno, medtem ko na področju novih virov energije rast patentov dosega 10 % in v nekaterih sektorjih tudi 16 % letno rast.

Energetska sanacija stavb v splošnem lahko obsega veliko ukrepov. Eden od ustaljenih načinov prikaza je t.i. trias energetica, ki temelji na treh ukrepih: zmanjšanju potrebe po energiji, zadovoljevanju preostale potrebe po energiji skozi obnovljive vire energije in, če to dvoje ni dovolj, učinkovitemu upravljanju z neobnovljivimi viri energije. Primarni ukrepi morajo torej biti usmerjeni v zmanjšanje energijskih potreb stavbe in sicer s sanacijo ovoja stavbe (zmanjšanje toplotne prehodnosti fasade in strešnih konstrukcij, zamenjava oken in vrat, izolacija toplotnih mostov). Drugi sklop ukrepov je usmerjen v učinkovito ravnanje z energijo, kot so vračanje odpadne toplote pri prezračevanju, optimizacijo hladilnih in ogrevalnih sistemov z naprednimi tehnološkimi rešitvami za programabilno decentralizirano upravljanje ogrevalnih sistemov, tudi z integrirano funkcijo centralnih nadzornih sistemov, in merjenje ter obračun stroškov za energijo po dejanski porabi, zamenjava toplotnih podpostaj v daljinskih sistemih z učinkovitejšimi, energetsko učinkovite črpalke v sistemih ogrevanja idr. Poleg tega je pri energetske sanaciji stavb nujna navezava na obnovljive vire energije, kjer ima prednost sončna energija, bodisi s konverzijo v toploto ali s konverzijo v električno energijo. Glede na povprečno energetsko bilanco enodružinske hiše potrebno energijo sestavljajo sončni pritoki skozi okna (12 %), energija pridobljena z ogrevalnim sistemom (82 %) ter notranji viri toplote (6 %). Energija se v povprečju potroši kot izgube skozi tla na terenu (6 %), izgube skozi stene (21 %), izgube skozi okna in prezračevalne izgube (51 %), skupne izgube ogrevalnega sistema (12 %) ter izgube skozi streho (10 %).

2 Namen projekta in cilji

Namen projekta je bil narediti tehnično-ekonomska analizo energetske sanacije dveh tipičnih stavb iz 70. let prejšnjega stoletja, in sicer ene družinske hiše ter enega večstanovanjskega bloka. Izbrani stavbi sta bili vključeni v screening stanja s termografskim snemanjem. Rezultati screeninga so termogrami z osnovnimi analizami toplotnih mostov. Obravnavani stavbi nimata osnovne izolacije, streha in podstrešje nista izolirana, ogrevanje je sicer centralno vendar s starimi kotli z zelo slabimi izkoristki, okna in vrata so stara z zelo slabimi izolacijskimi lastnostmi. Gre za stavbi, ki sta potrebni celovite energetske prenove.

V okviru projekta smo za obe stavbi najprej izračunali obstoječi energetski bilanci. Izračun smo izvedli s pomočjo programske opreme Passive House Planning Package (PHPP 2007), ki ga je razvil Inštitut za pasivne hiše iz Darmstadta v Nemčiji in se večinoma uporablja kot nekakšen nepisani standard za izračun energetske bilance pri pasivni in nizkoenergetski gradnji. V ta namen je bilo najprej potrebno pridobiti točne podatke za obe stavbi, in sicer arhitekturne podatke o velikostih uporabnih površin in površinah obojeh stavb (strehe in stene), prostornine, dimenzije oken in vrat. Ostali podatki, ki jih je bilo treba pridobiti, so: toplotne prehodnosti ali toplotne prevodnosti vseh obstoječih vgrajenih materialov (stene, okna, morebitna izolacija...), klimatski podatki glede na lego (krajevni podatki) in orientacijo (postavitve glede smeri neba) stavb, morebitna senčenja, izvedba gradnje, izolacija tal, itd. Potrebni klimatski podatki obsegajo povprečne mesečne temperature in relativne vlažnosti zraka za zadnjih 10 let, povprečno mesečno temperaturo neba, povprečno mesečno sončno sevanje (globalno in v odvisnosti od orientacije površine glede na smeri neba ter naklon površine). Na podlagih zbranih podatkov sta bila izdelana izračuna energetskih bilanc pred sanacijo. Temu je sledilo načrtovanje in izračuni za vsako posamezno fazo energetske sanacije stavbe: izolacija fasade, izolacija strehe, zamenjava oken in vrat, ter izolacija stropa neogrevane kleti.

Po izračunu energetskih bilanc za posamezne faze je sledilo združevanje posameznih faz do celovite energetske sanacije z izračuni energetskih bilanc združenih faz ter celovite energetske sanacije z vključitvijo vseh posameznih faz sanacije. Posamezne faze energetske sanacije so bile združene smiselno, kajti določene faze sanacije se medsebojno izključujejo.

Za doseg boljšega rezultata energetske sanacije, predvsem pa za doseg kakovosti bivanja, smo na koncu uvedli tudi avtomatski prezračevalni sistem z rekuperacijo toplote. V starih stavbah je sicer dostikrat izredno težko izvesti avtomatski mehanski prezračevalni sistem, zato se izvede pasivno ali kvazi aktivno prezračevanje, ki ga največkrat izvedejo enostavno s preboji v ovoju stavbe. Slednje povzroča določene izgube, ki pa jih je treba posebej oceniti in upoštevati v energetski bilanci.

Po združitvi vseh posameznih faz energetske sanacije z dodanim avtomatskim prezračevalnim sistemom z rekuperacijo toplote, je poraba energije že tako znižana, da je smiselno zamenjati tudi ogrevalni sistem. V ta namen je bil v stanovanjski hiši uveden kondenzacijski kotel. V skladu z možnostjo pa bi bilo v ogrevalni sistem smiselno integrirati sprejemnike sončne energije ali zamenjati ogrevalni sistem s toplotno črpalko tipa voda/voda ali zemlja/voda. To je sicer možno narediti tudi prej,

vendar je potrebna moč črpalke lahko zelo velika, kar zahteva veliko površino za zemeljski kolektor oziroma velik zelo velik odjem toplote s črpanje podtalnice. Poleg tega toplotna črpalka za svoje delovanje potrebuje električno energijo, katere rabo pa želimo zmanjšati. Pri zamenjavi ogrevalnega sistema je potrebno glede na konkretne primere preučiti izvedljivost. Za integracijo sprejemnikov sončne energije je potrebno izvesti dimenzioniranje le-teh. Za zemeljski kolektor je potrebno izračunati potrebno površino le-tega v odvisnosti od zahtevane moči ogrevanja in sestave tal, s čimer je povezana moč odjema toplote. Pri toplotni črpalci, ki za ogrevanje uporablja podtalnico, je potrebno ugotoviti njeno razpoložljivost in oceniti potrebno globino vrtin (vstopne in izstopne) ter morebitne administrativne ovire. Za slednji način ogrevanja je namreč potrebno pridobiti dovoljenje Ministrstva za okolje in prostor.

V zadnjem delu projekta smo izračunali ekonomske kazalce (prihranek, vračilno dobo investicije tudi z upoštevanjem financiranja) predlaganih ukrepov za energetske sanacije po posameznih fazah in združenih fazah do celovite energetske sanacije z vključitvijo vseh posameznih faz sanacije. Ekonomski kazalci so bili izračunani na osnovi dejanskih cen energentov, gradbenih materialov in cen storitev za izvedbo sanacijskih ukrepov. Na osnovi energetskih bilanc pred in po energetske sanaciji je bil izračunan letni prihranek v energiji, ki je bil ovrednoten v denarni vrednosti ter v količini izpusta CO₂. Denarni vložek za energetske sanacije deljen z letnim prihrankom izraženim v ceni nam pove, v kolikšnem času se investicija povrne ob predpostavki, da se cene energentov ne spremenijo in da vgrajeni materiali ohranjajo svoje izolativne lastnosti.

Pomembni bi bili tudi naslednji ukrepi za zmanjšanje porabe predvsem električne energije, ki v študijo niso bili zajeti: nakup varčnih gospodinjskih aparatov (razreda A oziroma A+, npr. hladilniki, zamrzovalniki, pralni stroji, pomivalni stroji, ki imajo v povprečju vsaj za 35 % nižjo porabo električne energije za isti učinek od aparatov, ki so sedaj v uporabi), nakup varčnih sijalk, zamenjava goriva (lesna biomasa) ter nakup aparatov z nizko porabo v stanju pripravljenosti (pod 30 W na gospodinjstvo).

3 Načrtovana dinamika izvedbe projekta

Izvedba po posameznih fazah in mesecih je bila naslednja:

1. mesec: pridobitev potrebnih arhitekturnih podatkov (uporabne površine in površine ovoja stavbe-strehe in sten, volumni, dimenzije oken in vrat) za izračun energetske učinkovitosti stavb (ene stanovanjske hiše in enega večstanovanjskega bloka).

2. mesec: pridobitev ostalih potrebnih podatkov (toplotne prehodnosti ali toplotne prevodnosti obstoječih materialov, klimatski podatki glede na lego in orientacijo stavb, morebitna senčenja, izvedba gradnje) za izračun energetske učinkovitosti stavb (ene stanovanjske hiše in enega večstanovanjskega bloka).

3. mesec: izračun energetske bilance pred sanacijo (izolacija fasade, izolacija strehe in podstrešja, zamenjava oken in vrat, vgradnja prezračevalnega sistema, zamenjava ogrevalnega sistema z vgradnjo toplotne črpalke z zemeljskim kolektorjem ali s črpanjem podtalnice, vgradnja solarnih kolektorjev).

4. do 7. mesec: načrtovanje in izračun energetskih bilanc po posameznih fazah sanacijskih ukrepov:

- a. izolacija strehe,
- b. zamenjava oken in vrat,
- c. izolacija fasade,
- d. uvedba enostavnega, pasivnega prezračevalnega sistema,
- e. uvedba avtomatskega, mehanskega prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote in vgradnjo solarnih kolektorjev in/ali toplotne črpalke.

4. do 7. mesec (zimski meseci): meritve energetske saniranega stanovanjskega bloka s termografsko kamero in analiza ujemanja izračunov na podlagi meritev s teoretičnim izračunom prehoda toplote skozi izolirane stene.

8. in 9. mesec: Izračun energetskih bilanc za posamezne faze (a, b in c) ter za združene faze (a+b, a+c, b+c, a+b+d, a+c+e, b+c+d, a+b+c+e) do celovite energetske sanacije z vključitvijo vseh posameznih faz sanacije.

10. in 11. mesec: izračun ekonomskih kazalcev (prihranek, vračilna doba investicije) predlaganih ukrepov za energetske sanacije po posameznih fazah (a, b in c) in združenih fazah (a+b, a+c, b+c, a+b+d, a+c+e, b+c+d, a+b+c+e) do celovite energetske sanacije.

12. mesec: končna analiza projekta in poročilo.

4 Poročilo o izvedenih delih projekta

4.1 Stanovanjska hiša

4.1.1 Prvi del projekta

V prvem delu projekta je bila izbrana stanovanjska hiša. Slike 1, 2, 3 in 4 prikazujejo pogled na hišo z vseh strani. Izbrana hiša je bila zgrajena leta 1973. Nahaja se na južnem pobočju nad ljubljanskim barjem in z južno fasado je obrnjena skoraj točno proti jugozahodu (odstopanje azimuta 42°). Sleme hiše s streho dvokapnico ima smer jugovzhod-severozahod. Hiša ima neogrevano klet nad nivojem zemlje, pritličje in mansardo z višino kolenskega zidu 160 cm. Stene v kleti so iz betonskih zidakov, v pritličju in mansardi pa iz opečnih modularnih blokov. Stene in tla so neizolirana, streha ima zgolj 6 cm izolacije iz steklene volne. Okna so lesena z dvojno zasteklitvijo. Vhodna in garažna vrata so prav tako lesena, brez dodatnih zastekljenih odprtih in brez izolacije. Hiša ima izrazite linijske toplotne mostove (balkon, teraso, stik nosilnih plošč s steno) in malo manj izrazite linijske toplotne mostove (stik stene z okvirji oken in vrat, stik stene in strehe, stik nosilne plošče pritličja s steno kleti). Hiši so bile izmerjene vse potrebne arhitekturne dimenzije: uporabne stanovanjske oziroma ogrevane površine in površine ovoja stavbe (strehe in sten), prostornine, dimenzije oken in vrat, ki so potrebne za izračun izhodiščne energetske bilance (Excel datoteka v prilogi: pomožni izračuni.xls). Snovni parametri oziroma toplotne in druge karakteristike uporabljenega stavbnega pohištva in vgrajenih gradbenih materialov so povzete po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah oziroma po podatkih proizvajalcev. Senčenja hiše zaradi okoliških stavb so upoštevana glede na dejansko stanje.

Klimatski podatki o temperaturah in relativni vlagi so bili pridobljeni s strani Ministrstva za okolje in prostor (MOP), Agencije RS za okolje (ARSO) za merilno mesto Ljubljana-Bežigrad. Podatki za sončno sevanje so pridobljeni na spletni strani MOP ter na spletni strani Geodetske uprave RS (GURS) za k.o. Lanišče, Škofljica. Dodatno so bili pridobljeni tudi podatki za sončno sevanje kot jih uporablja Gradbeni inštitut GI ZRMK.

Osnovne dimenzije hiše: 13,00 m x 10,00 m (tloris hiše); 8,72 m (višina slemena)
7,00 m x 4,20 m (tloris prizidka)
Etažnost hiše: K (klet) + P (visoko pritličje) + M (mansarda)
Tip gradnje: klasična (betonski zidak - klet, opečni modularni blok - pritličje, mansarda),
Fasada: omet, neprezračevana
Klimatski podatki: temperatura, relativna vlaga, sončno sevanje (MOP-ARSO); sončno sevanje (GURS, GI ZRMK)

Za izračun energetske bilance je bil izbran programski paket Passive House Planning Package (PHPP 2007), ki ga je razvil Inštitut za pasivne hiše iz Darmstadta v Nemčiji in se uporablja kot nepisani standard za izračun energetske bilance pri pasivni in nizkoenergetski gradnji.



Slika 1: jugozahodna stran



Slika 2: severozahodna stran



Slika 3: severovzhodna in severozahodna stran prizidka



Slika 4: jugovzhodna stran

4.1.2 Drugi del projekta

4.1.2.1 Energetska bilanca hiše pred energetske sanacije

V drugem delu projekta je bila najprej izračunana energetska bilanca hiše pred uvedbo energetske sanacije po posameznih fazah (Excel datoteka v prilogi: PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca pred energetske sanacije.xls). Celotna uporabna površina stavbe, ki se jo ogreva, znaša 234 m², pripadajoča prostornina pa 560 m³. V hiši je 7 prebivalcev.

Pomembne izračunane toplotne prehodnosti U (W/m²·K) so:

- zunanja stena hiše U=1,44 W/m²·K s sestavo:
 - o notranji omet s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,85$ W/m·K in debelino 20 mm
 - o modularni blok s specifično maso $\rho=1400$ kg/m³, s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,61$ W/m·K in debelino 290 mm
 - o zunanji omet s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,85$ W/m·K in debelino 20 mm
- zunanja stena prizidka U=0,56 W/m²·K s sestavo:
 - o notranji omet s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,85$ W/m·K in debelino 20 mm
 - o modularni blok s specifično maso $\rho=1400$ kg/m³, s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,61$ W/m·K in debelino 190 mm
 - o stiropor s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,04$ W/m·K in debelino 50 mm
 - o zunanji omet s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,85$ W/m·K in debelino 20 mm
- streha U=0,65 W/m²·K s sestavo:
 - o betonski strešnik s toplotno prevodnostjo $\lambda=2,10$ W/m·K in debelino 30 mm
 - o zračni kanal s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,367$ W/m·K in debelino 50 mm
 - o steklena volna s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,05$ W/m·K in debelino 60 mm
 - o mavčna plošča s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,25$ W/m·K in debelino 13 mm
- tla proti neogrevani kleti U=0,83 W/m²·K s sestavo:
 - o parket s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,18$ W/m·K in debelino 20 mm
 - o estrih s toplotno prevodnostjo $\lambda=1,40$ W/m·K in debelino 60 mm
 - o stirodur s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,04$ W/m·K in debelino 30 mm
 - o beton s toplotno prevodnostjo $\lambda=2,10$ W/m·K in debelino 180 mm
- tla mansarde proti terasi U=0,59 W/m²·K s sestavo:
 - o parket s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,18$ W/m·K in debelino 20 mm
 - o estrih s toplotno prevodnostjo $\lambda=1,40$ W/m·K in debelino 60 mm
 - o stirodur s toplotno prevodnostjo $\lambda=0,04$ W/m·K in debelino 50 mm
 - o beton s toplotno prevodnostjo $\lambda=2,10$ W/m·K in debelino 180 mm

V izračunu so bili upoštevani naslednji linijski toplotni mostovi:

- balkon hiše in prizidka $\psi=0,316$ W/m·K
- stik plošče pritličja z zunanjo steno $\psi=-0,138$ W/m·K
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku $\psi=-0,040$ W/m·K
- stik plošče mansarde s steno $\psi=0,324$ W/m·K
- stik strehe in stene v mansardi $\psi=0,150$ W/m·K

- okna in vrata: okvir $\psi=0,100 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, vgradnja $\psi=0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Za vgrajeno stavbno pohištvo (okna in vrata) je bila privzeta večinoma vrednost $U=3,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, za nekaj novejših oken v prizidku in mansardi pa vrednost $U=2,0 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Za vsa okna (dvojna zasteklitev) je bila upoštevana g-vrednost 0,77.

Upoštevano je bilo dejansko senčenje zaradi objektov zahodno, vzhodno in južno od stavbe, kar ima negativen vpliv na zmanjšane sončne dobitke pozimi, toda pozitiven vpliv pri omejevanju pregrevanja v poletnem času.

Pri ventilaciji je bila glede na oceno izmenjave 10-kratnega volumna zraka na uro ($10\cdot V/h$) pri povišanem tlaku 50 Pa izračunana dejanska izmenjava zraka $0,7\cdot V/h$ ogrevane prostornine, kar je več od zahtevanih $0,3\cdot V/h$.

Poleg sončnih dobitkov so upoštevani tudi notranji viri toplote in sicer 2 pomivalna stroja, 2 pralna stroja, 1 sušilni stroj, 1 hladilnik, 2 zamrzovalni omari, 1 kombinirana hladilno zamrzovalna naprava, zabavna elektronika (TV, radio, CD, DVD) in osvetlitev.

Pri klimatskih podatkih je precej različnih razpoložljivih podatkov, ki jih lahko upoštevamo v izračunu, zato so rezultati energetske bilance hiše pred energetske sanacije podani v obliki tabele (Tabela 1).

Podatki o sončnem sevanju so bili pridobljeni iz več različnih virov in sicer:

- podatki MOP-ARSO za k.o. Lanišče
- podatki Geodetske Uprave RS za Ljubljano
- podatki GI ZRMK za Ljubljano
- podatki MOP-ARSO za testno referenčno leto za Ljubljano

Pri podatkih o sončnem sevanju ni znano, katere vrednosti so dejansko izmerjene in katere izračunane na podlagi simulacij. Po dostopnih informacijah MOP-ARSO in GURS je večina teh podatkov izračunanih na podlagi manjšega števila izmerjenih vrednosti s pomočjo simulacije, ki naj bi upoštevala relief Slovenije. Pri izmerjenih podatkih tudi ni znano, kakšno je obdobje trajanja meritev.

Podatki o temperaturah in relativni vlagi so bili pridobljeni s strani MOP, ARSO in sicer kot povprečne mesečne vrednosti za vsako leto od 1961 dalje. V izračunih so upoštevana različna 10-letna povprečja in enkrat povprečje v celotnem obdobju razpoložljivih podatkov.

Podatki za referenčno leto (vrstica 10 v Tabeli 1) so bili pridobljeni s strani MOP-ARSO, [1]. Slednji so bili upoštevali tudi v nadaljnjih izračunih po izvedenih posameznih fazah energetske sanacije.

Tabela 1: Rezultati energetske bilance hiše pred energetske sanacije (mesečna metoda)

št. komb. klimatskih podatkov	temperature (obdobje)	sevanje (podatki)	specifična toplota za ogrevanje (kWh/m ² ·leto)	razlika glede na izbrano referenco (kWh/m ² ·leto) in v odstotkih	specifična primarna energija (kWh/m ² ·leto)
1	1998-2007	k.o. Lanišče (MOP)	235	-10 (4%)	277
2	1998-2007	Lj. (GU RS)	237	-8 (3 %)	272
3	1998-2007	Lj. (ZRMK)	235	-10 (4 %)	271
4	1998-2007	povprečje MOP, GU, ZRMK	236	-9 (4 %)	271
5	1991-2000	povprečje MOP, GU, ZRMK	246	+1 (0 %)	277
6	1981-1990	povprečje MOP, GU, ZRMK	266	+21 (9 %)	291
7	1971-1980	povprečje MOP, GU, ZRMK	270	+25 (10 %)	294
8	1961-1970	povprečje MOP, GU, ZRMK	271	+26 (11 %)	295
9	1961-2007	povprečje MOP, GU, ZRMK	259	+14 (6 %)	286
10	1994-2005	testno referenčno leto, Lj. (ARSO)	245		277

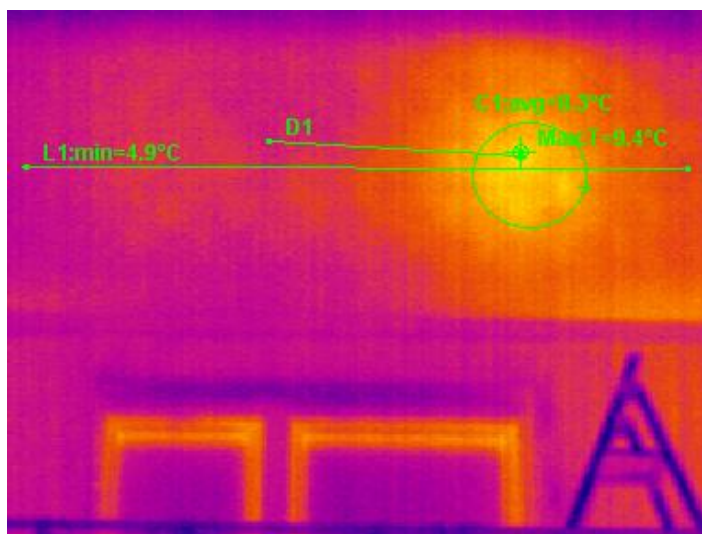
4.1.2.2 Termografija hiše

V zimskih mesecih je bilo izvajano tudi termografsko merjenje hiše. Uporabljena je bila kamera Guide Infrared TP8, ki omogoča relativno točna merjenja tudi v spremenljivih okoliških pogojih, kar pomeni tudi pri temperaturah precej različnih od sobnih. Mnoge termografske kamere tega niso zmožne in pri takšnih kamerah so prikazane temperature fizikalno nemogoče, čeprav se za merjene površine izbere pravilna vrednost emisivnosti, [2].

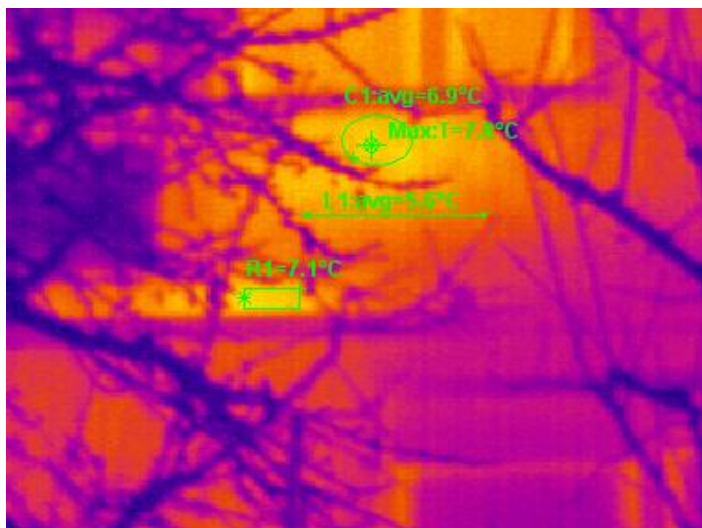
V tem poročilu so prikazane najbolj značilne termografske slike pri merjenju hiše in sicer izvedene v idealnih pogojih za termografijo, kjer je bilo ves dan oblačno vreme brez padavin, temperatura ves dan $0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ter relativna vlaga med 80 % in 90 %.

Na sliki 5 je lepo razvidno, kje na notranji strani jugozahodne stene se nahaja radiator, saj je na mestu označenim s krogom povprečna temperatura za dobre $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ višja od dela stene, kjer ni radiatorja. Lepo je viden tudi toplotni most na stiku oken ter vrat z odprtino v steni.

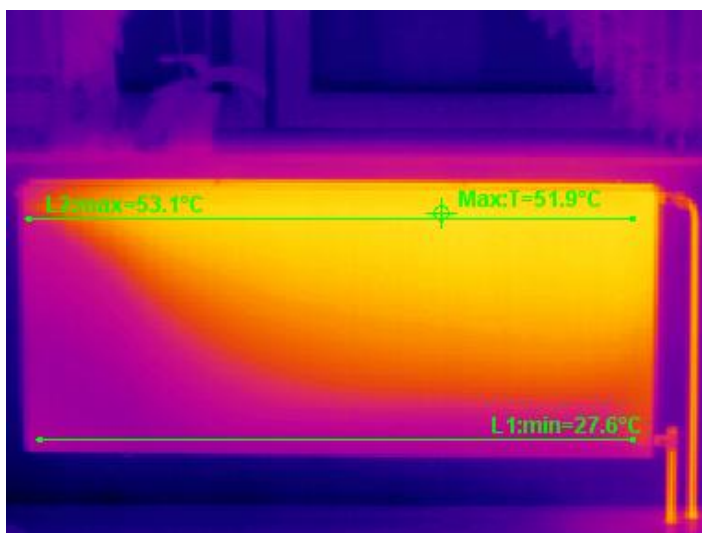
Podobna situacija je na sliki 6, kjer sicer veje drevesa motijo dobro merjenje, vendar je tudi tu lepo vidno, da se zunanja stena prekomerno segreva na mestu, kjer se pod oknom na notranji strani nahaja radiator. Vidno je celo, da radiator ni enakomerno segret v celoti, kar je nazorno prikazano na sliki 7.



Slika 5: jugozahodna stena, radiator na notranji steni v kuhinji

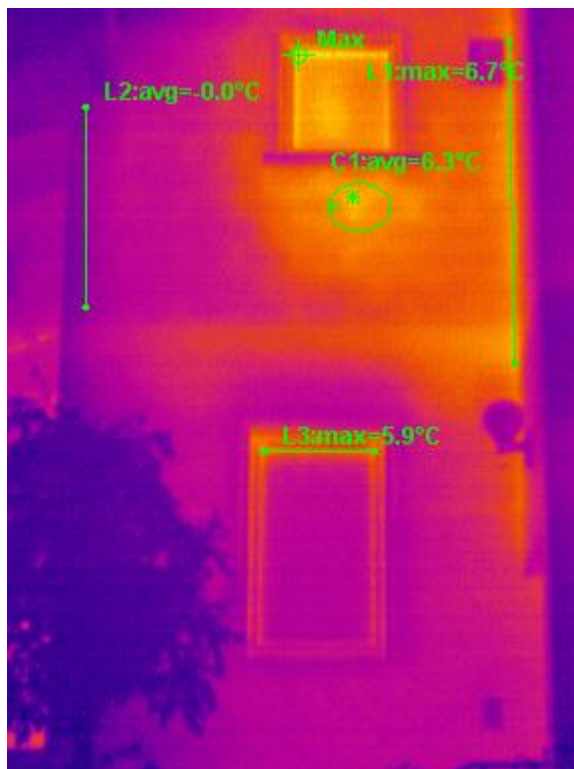


Slika 6: jugozahodna stena, radiator na notranji steni v dnevni sobi

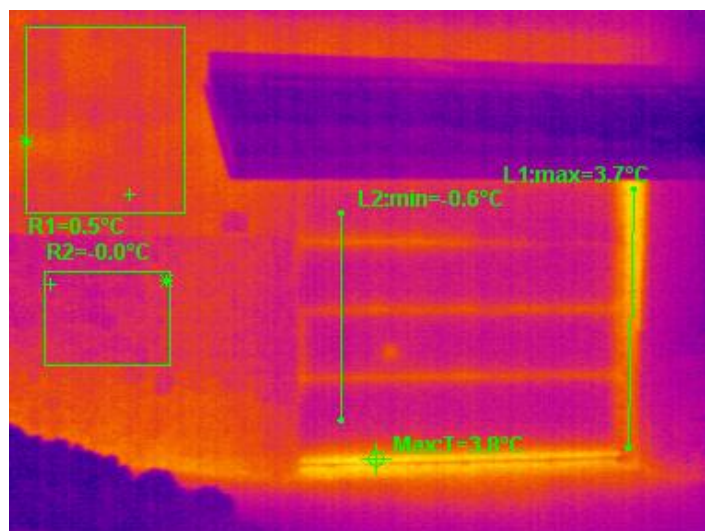


Slika 7: radiator v dnevni sobi (jugozahodna stena)

Podobna situacija je na sliki 8, kjer se vidi mesto radiatorja na notranji steni v otroški sobi. Lepo sta vidna linijska toplotna mostova betonske plošče med pritličjem in mansardo ter slabši stik na robu obeh oken. Oboje je lepo razvidno tudi na sliki 10, kjer se pojavi toplotni most betonskega podesta na prehodu med pritličjem in mansardo. Podobna situacija je prikazana tudi na jugovzhodni steni (slika 12). Na sliki 9 so prikazana sekcijska garažna vrata s pričakovano slabšim stikom na robovih.



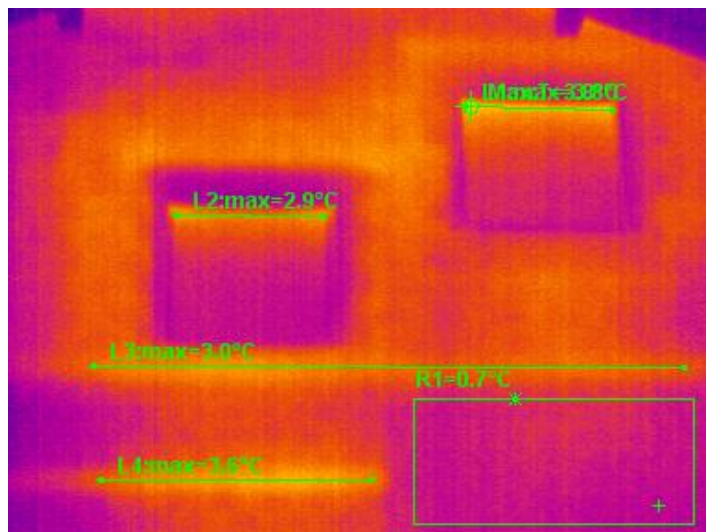
Slika 8: severozahodna stena, radiator na notranji steni v otroški sobi



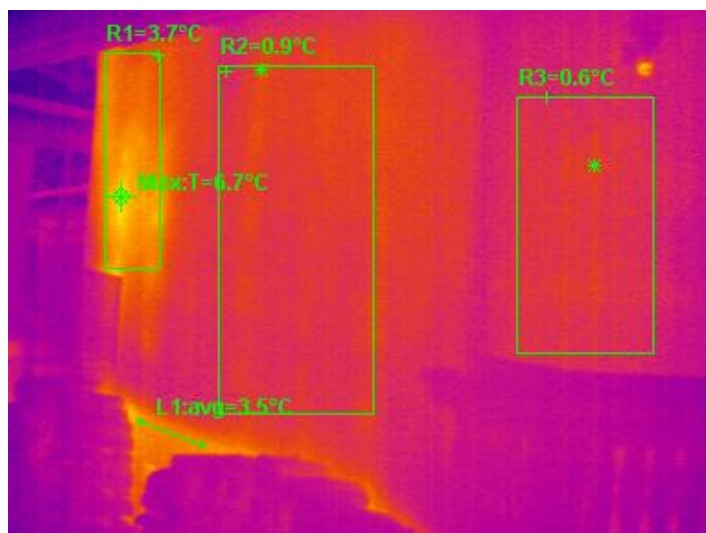
Slika 9: Garažna vrata (severozahodna stena)

Na sliki 11 je lepo vidno mesto kamina v notranjosti prizidka, čeprav ima stena izolacijo 5 cm stiropora. Na tej sliki se tudi vidi, da je neizolirana stena neogrevane garaže v kleti toplejša od izoliranega ogrevanega prizidka.

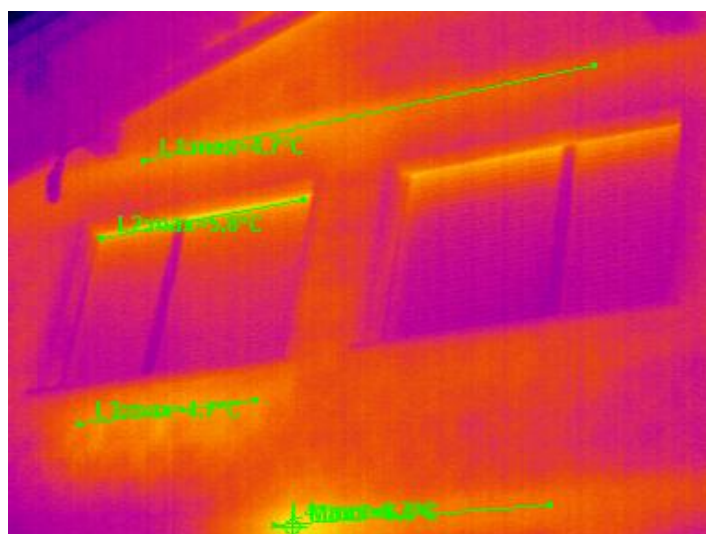
Na sliki 12 je vidna toplejša linija nad oknom zaradi stika stropa iz mavčne plošče s steno.



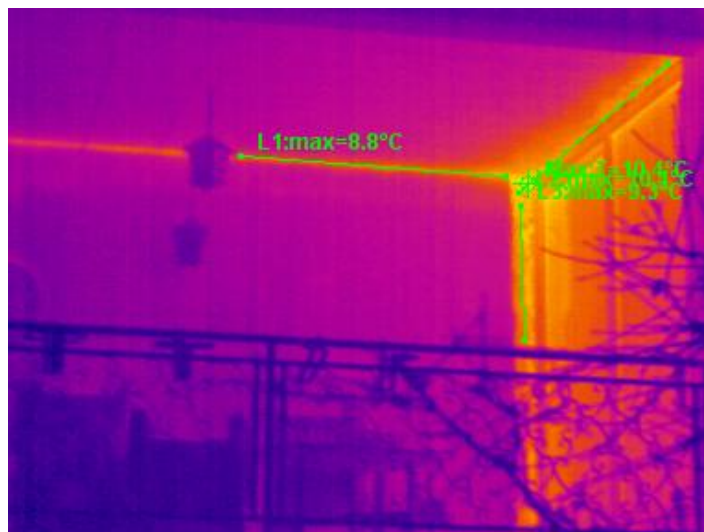
Slika 10: Severozahodna stena



Slika 11: Severovzhodna stena (kamin v notranjosti)



Slika 12: Jugovzhodna stena



Slika 13: Jugovzhodna stran, terasa

Na sliki 13 je prikazana terasa, ki predstavlja zelo neugodno arhitekturno strukturo z vidika energetske bilance, saj se nad njo v mansardi nahaja bivalni prostor. V zunanjem vogalu tega prostora se je po zamenjavi starih oken z novimi ($U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$) pojavila plesen, ki je prej ni bilo nikoli.

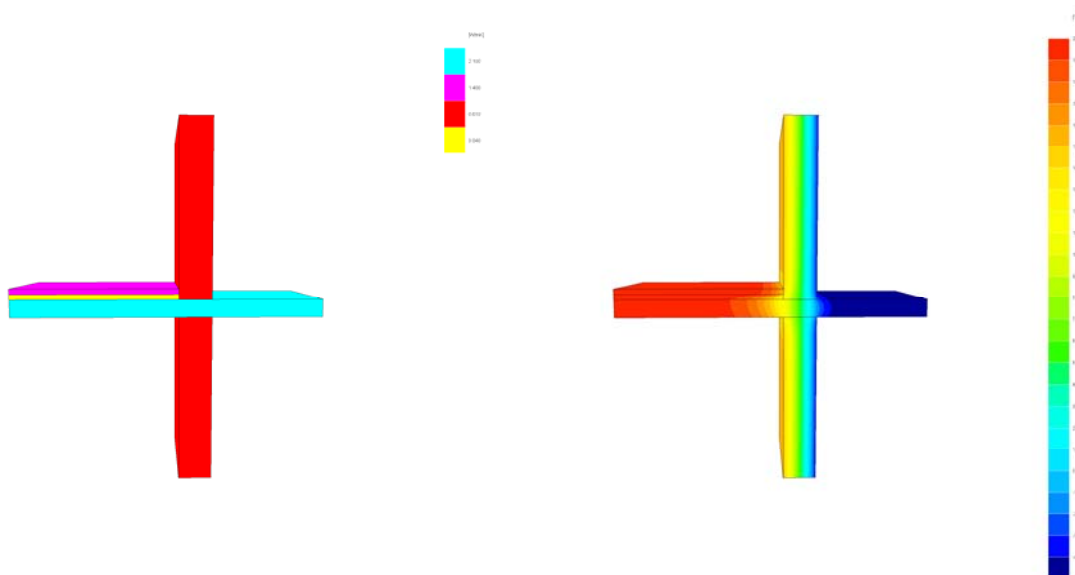
4.1.2.3 Simulacija toplotnih mostov

Nestandardni toplotni mostovi so bili izračunani skladno s standardom SIST EN 10211 z uporabo programskega paketa Physibel / Bisco za računanje stacionarnih toplotnih mostov in njihovih lastnosti. V nadaljevanju so predstavljeni rezultati simulacije toplotnih mostov. Pri vseh toplotnih mostovih so bile upoštevane zunanje mere površin.

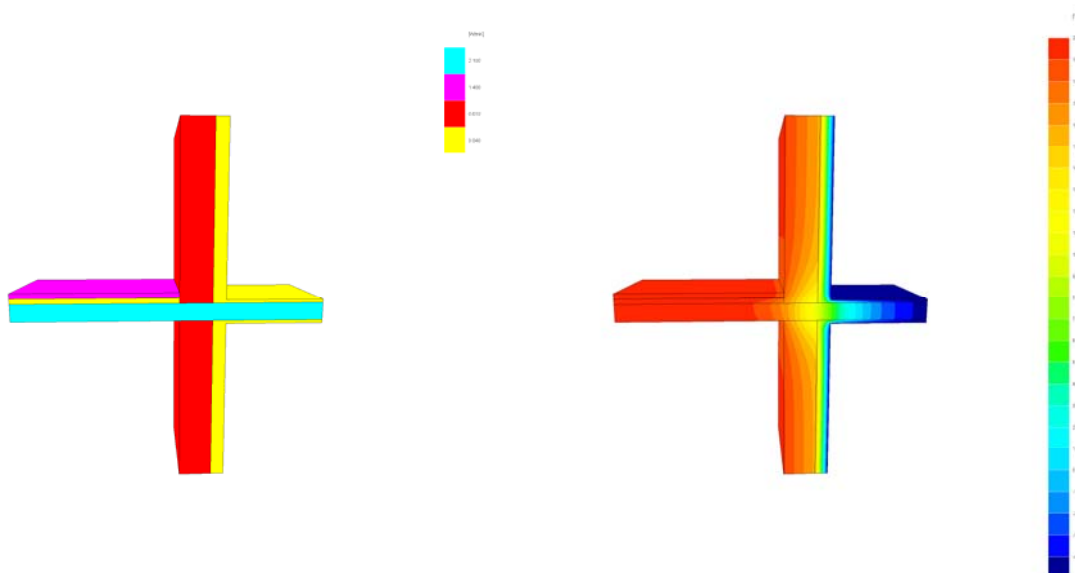
Toplotni most - balkon hiše in prizidka

Balkon (armirano betonska plošča) predira opečno steno en meter v zunanost. V notranjosti je na betonski plošči izolacija in estrih. Nad estrihom so ponekod keramične plošče, drugod pa parket. Ploščice in parket imajo debelino približno 1 cm, kar ni bilo upoštevano v izračunu, ker nima večjega vpliva. Pod betonsko ploščo je neogrevana klet. V izračunu je bila upoštevana temperatura ogrevanega prostora $20 \text{ }^\circ\text{C}$, neogrevane kleti $10 \text{ }^\circ\text{C}$ in zunanosti $-5 \text{ }^\circ\text{C}$. Rezultat simulacije (slika 14) podaja vrednost linijskega toplotnega mostu $\psi=0,316 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Pri sanaciji fasade (12 cm stiropor) se delno sanira tudi toplotni most balkona in sicer se balkonska plošča z zgornje in spodnje strani obloži s 3 cm stirodura (slika 15). Rezultat simulacije podaja vrednost linijskega toplotnega mostu $\psi=0,36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.



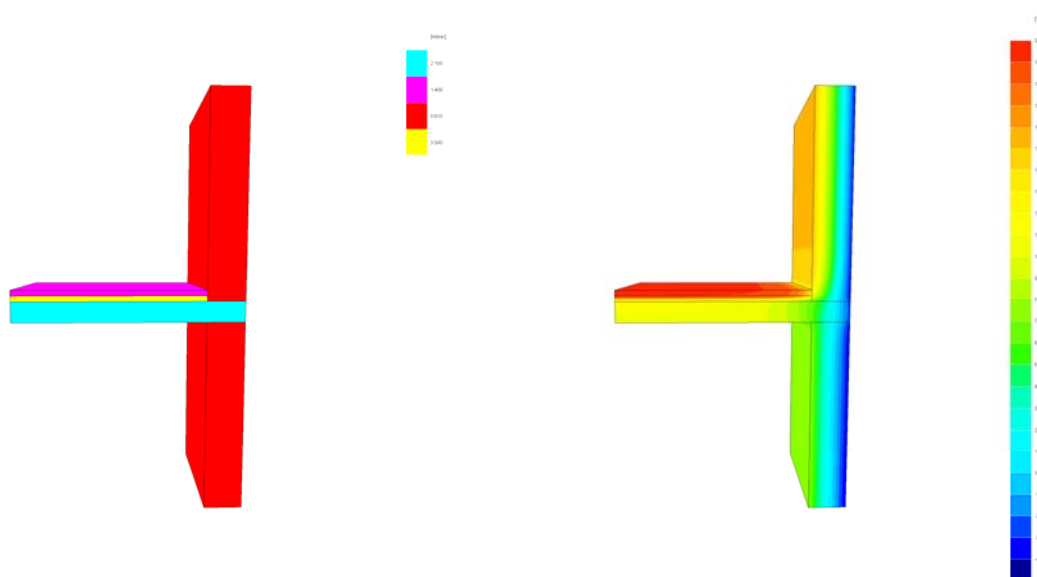
Slika 14: toplotni most - balkon hiše in prizidka pred sanacijo $\psi=0,316 \text{ W/m}\cdot\text{K}$



Slika 15: toplotni most – balkon hiše in prizidka po sanaciji $\psi=0,36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

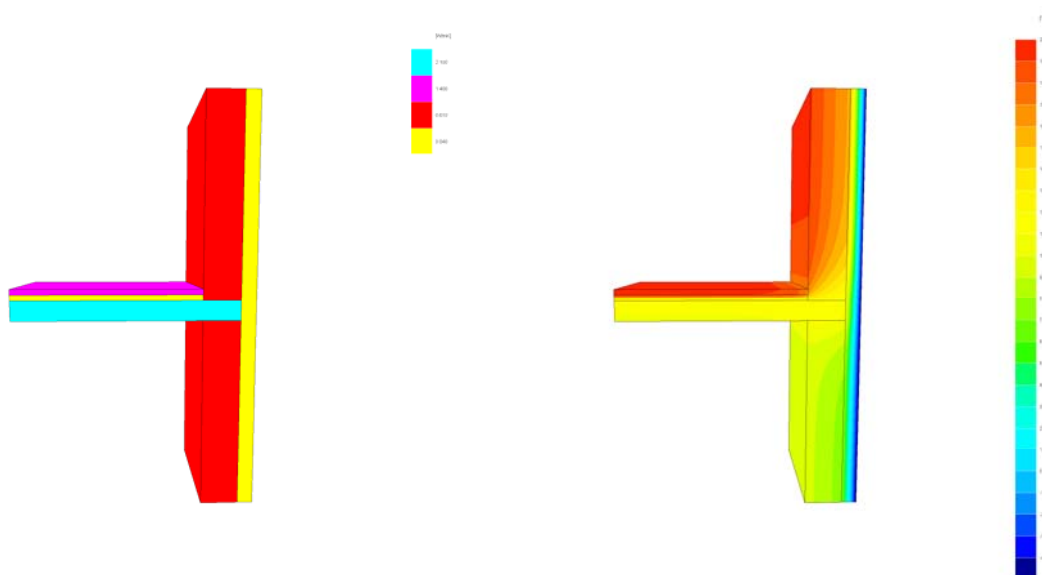
Toplotni most – stik plošče pritličja z zunanjo steno in stik plošče mansarde z zunanjo steno

Slika 16 je s stališča materialov enaka za oba toplotna mostova. Rezultat simulacije pa je drugačen, ker je pod ploščo pritličja upoštevana temperatura neogrevane kleti, pod ploščo mansarde pa je ogrevano pritličje z enako temperaturo kot v mansardi, zato pride izračunana vrednost toplotnega mostu na stiku plošče mansarde z zunanjo steno $\psi=0,324 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, vrednost toplotnega mostu na stiku plošče pritličja z zunanjo steno pa $\psi=-0,138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.



Slika 16: toplotni most - stik plošče pritličja z zunanjo steno pred sanacijo $\psi=-0,138$ W/m·K

Toplotni most pri stiku plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku (slika 17) je majhen ($\psi=-0,040$ W/m·K) zaradi izolacije 5 cm stiropora na zunanji steni. Ko se izolacija spremeni na 12 cm, se vrednost toplotnega mostu v prizidku ne spremeni bistveno ($\psi=-0,055$ W/m·K), pač pa se na enako vrednost spremeni toplotni most na stiku plošče pritličja z zunanjo steno.



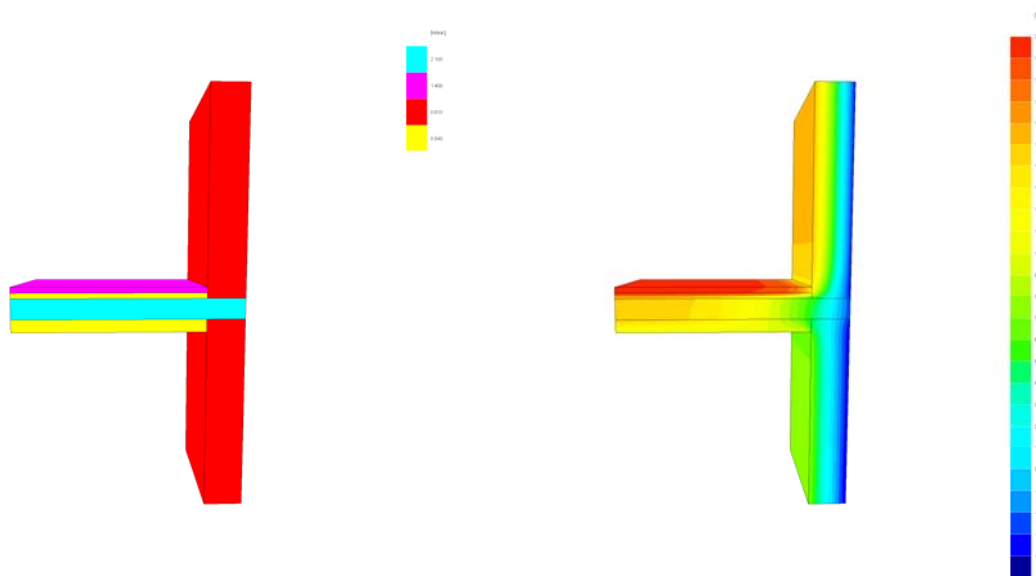
Slika 17: toplotni most - stik plošče pritličja z zunanjo steno (v prizidku izolacija zunanje stene 5 cm stiropor $\psi=-0,040$ W/m·K, izolacija zunanje stene 12 cm stiropor $\psi=-0,055$ W/m·K)

Toplotni most – stik plošče pritličja z zunanjo steno pri izoliranem stropu neogrevane kleti

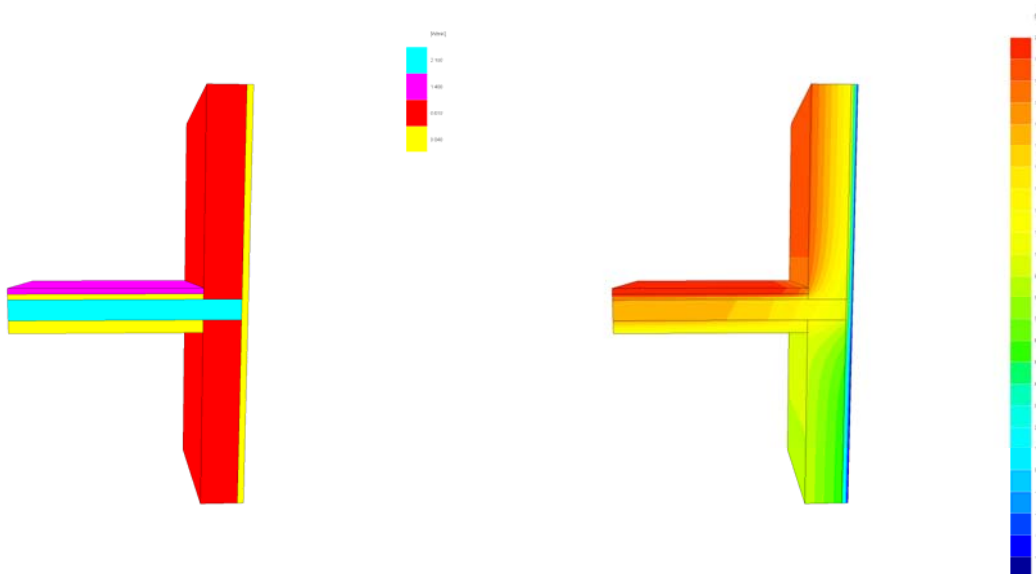
Toplotni most pri stiku plošče pritličja z zunanjo s steno brez izolacije, potem ko ploščo pritličja izoliramo s spodnje strani z 10 cm stiropora, znaša $\psi=0,417 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (slika 18).

Toplotni most pri stiku plošče pritličja z zunanjo s steno v prizidku (izolacija 5 cm stiropora), potem ko ploščo pritličja izoliramo s spodnje strani z 10 cm stiropora, znaša $\psi=0,184 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (slika 19).

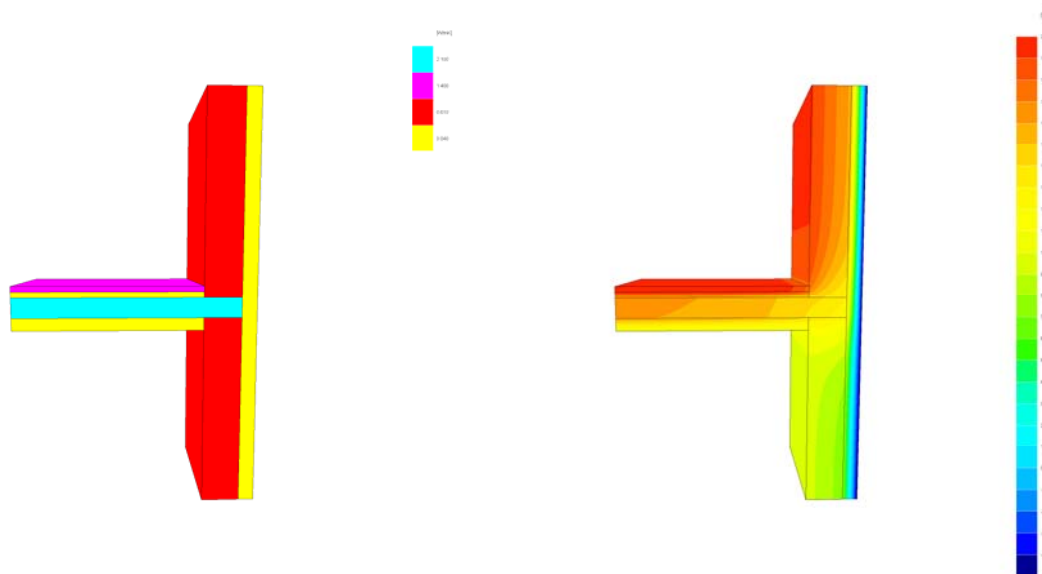
Ko se izolacija na zunanji steni spremeni na 12 cm, se vrednost toplotnega mostu v prizidku in na prej neizolirani steni spremeni na vrednost $\psi=0,143 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ (slika 20).



Slika 18: toplotni most - stik plošče pritličja z zunanjo steno pri izoliranem stropu neogrevane kleti ($\psi=0,417 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)



Slika 19: toplotni most - stik plošče pritličja z zunanjo steno pri izoliranem stropu neogrevane kleti (izolacija zunanje stene prizidka 5 cm stiropor $\psi=0,184 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)



Slika 20: toplotni most - stik plošče pritličja z zunanjo steno pri izoliranem stropu neogrevane kleti (izolacija zunanje stene 12 cm stiropor $\psi=0,143$ W/m·K)

4.1.2.4 Energetska bilanca hiše po zamenjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po zamenjavi oken in vrat, kar je bilo dejansko tudi izvedeno v letu 2006, so vsi podatki ostali isti razen podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3$ W/m²·K. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna termopan stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,6$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1$ W/m²·K ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3$ W/m²·K. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1$ W/m·K na $\psi=0,04$ W/m·K. Pri izračunu je upoštevan še nespremenjen linijski toplotni most zaradi vgradnje z vrednostjo $\psi=0,04$ W/m·K.

Ker je naravna ventilacija po zamenjavi oken in vrat premajhna (ocena testa pri povišanem tlaku 50 Pa je 3,5·V 1/h, kar je največja dovoljena vrednost po novem pravilniku), je bila za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo upoštevana izguba v višini 0,07·V 1/h. S tem celotna povprečna izmenjava zraka doseže minimalno zahtevanih 0,3·V 1/h.

Po izvedbi energetske sanacije oken in vrat se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z 245 kWh/m²·leto na 167 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 277 kWh/m²·leto na 224 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetske sanaciji_okna.xls.

4.1.2.5 Energetska bilanca hiše po izolaciji fasade

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji fasade so vsi podatki ostali isti razen podatki za fasado in z njo povezanimi linijskimi toplotnimi mostovi. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost fasade z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Kot opombo naj navedemo, da izvedba izolacije fasade pred izvedbo zamenjave oken in vrat ni smiselna.

V ta namen bi bilo potrebno izolirati zunanje neizolirane stene z vsaj 12 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Na že izolirani steni prizidka z obstoječimi 5 cm stiropora bi bilo potrebno dodati vsaj 7 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Za doseganje toplotne prehodnosti manjše ali enake $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bi bilo potrebno na strop terase pod betonsko ploščo mansarde dodati vsaj 8 cm stiropora.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije fasade bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- balkon hiše in prizidka s $\psi=0,316 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno s $\psi=-0,138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=-0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku s $\psi=-0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=-0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče mansarde s steno s $\psi=0,324 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,008 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, kar je zanemarljivo

Čeprav bi bila naravna ventilacija po izolaciji fasade manjša (ocena izmenjave zraka pri testu s povišanim tlakom 50 Pa je $7\cdot V \text{ 1/h}$), za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo niso bile upoštevane dodatne ventilacijske izgube, ker znaša naravna ventilacija v povprečju še vedno $0,49\cdot V \text{ 1/h}$, kar je več od zahtevanih $0,3\cdot V \text{ 1/h}$.

Po izvedbi energetske sanacije fasade bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z $245 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $151 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $277 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $213 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetski sanaciji_fasada.xls.

4.1.2.6 Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe so vsi podatki ostali isti razen podatki za streho in z njo povezanim linijskim toplotnim mostom. Izhodišče energetske sanacije strehe je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost strehe z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

V ta namen bi bilo potrebno izolirati streho z notranje strani z vsaj 18 cm steklene volne, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije strehe bi se zmanjšal linijski toplotni most:

- stik strehe in stene v mansardi s $\psi=0,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Naravna ventilacija se po izolaciji strehe ne zmanjša (ocena izmenjave zraka pri testu s povišanim tlakom 50 Pa je $10 \cdot V$ 1/h), zato za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo niso bile upoštevane dodatne ventilacijske izgube. V navedenem primeru bi znašala naravna ventilacija v povprečju $0,7 \cdot V$ 1/h, kar je več od zahtevanih $0,3 \cdot V$ 1/h.

Po izvedbi energetske sanacije strehe bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z $245 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ na $210 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $277 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ na $253 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetski sanaciji_streha.xls.

4.1.2.7 Energetska bilanca hiše po izolaciji stropa neogrevane kleti

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji stropa neogrevane kleti so vsi podatki ostali isti razen podatki za strop neogrevane kleti. Izhodišče energetske sanacije stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost fasade z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

V ta namen bi bilo potrebno izolirati strop neogrevane kleti s spodnje strani z vsaj 10 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije stropa neogrevane kleti bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- stik plošče pritličja z zunanjo steno s $\psi=-0,138 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ na $\psi=0,417 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku s $\psi=-0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ na $\psi=0,184 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Naravna ventilacija se po izolaciji stropa kleti ne bi zmanjšala (ocena izmenjave zraka pri testu s povišanim tlakom 50 Pa je $10 \cdot V$ 1/h), zato za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo niso bile upoštevane dodatne ventilacijske izgube. V navedenem primeru bi znašala naravna ventilacija v povprečju $0,7 \cdot V$ 1/h, kar je več od zahtevanih $0,3 \cdot V$ 1/h.

Po izvedbi energetske sanacije stropa neogrevane kleti bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z $245 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ na $225 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $277 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ na $264 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetski sanaciji_klet.xls.

4.1.3 Tretji del projekta

Ne glede na najavljene kombinacije energetske sanacije v prijavi projekta, so bile izračunane tiste kombinacije, ki so smiselne in najbolj verjetne glede na praktično izvedbo.

4.1.3.1 Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe ter zamenjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe ter zamenjavi oken in vrat so podatki ostali isti razen podatkov za streho ter za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije strehe ter oken in vrat je bila vgradnja takšne izolacije strehe oziroma zamenjava oken in vrat, da toplotne prehodnosti saniranih površin ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna termopan stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,6$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevan še nespremenjen linijski toplotni most zaradi vgradnje z vrednostjo $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Streho bi bilo potrebno izolirati z notranje strani z vsaj 18 cm steklene volne, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije strehe bi se zmanjšal linijski toplotni most na stiku strehe in stene v mansardi s $\psi=0,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Ker je naravna ventilacija po zamenjavi oken in vrat premajhna (ocena testa pri povišanem tlaku 50 Pa je $3,5\cdot V \text{ 1/h}$, kar je največja dovoljena vrednost po novem pravilniku), je bila za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo upoštevana izguba v višini $0,07\cdot V \text{ 1/h}$. S tem celotna povprečna izmenjava zraka doseže minimalno zahtevanih $0,3\cdot V \text{ 1/h}$.

Po izvedbi energetske sanacije izolacije strehe ter zamenjavi oken in vrat bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z $245 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $140 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $277 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $206 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 bilanca sanacije_okna_streha.xls.

4.1.3.2 Energetska bilanca hiše po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade

Pri izračunu energetske bilance po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade so podatki ostali isti razen podatkov za okna in vrata ter za fasado. Izhodišče energetske sanacije zamenjave oken in vrat ter izolacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije oziroma zamenjava oken in vrat, da toplotne prehodnosti saniranih površin ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna termopan stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,6$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevan še nespremenjen linijski toplotni most zaradi vgradnje z vrednostjo $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Zunanje neizolirane stene bi bilo potrebno izolirati z vsaj 12 cm stiropora, da se

doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Na že izolirani steni prizidka z obstoječimi 5 cm stiropora bi bilo potrebno dodati vsaj 7 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Za doseganje toplotne prehodnosti manjše ali enake $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bi bilo potrebno na strop terase pod betonsko ploščo mansarde dodati vsaj 8 cm stiropora.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije fasade bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- balkon hiše in prizidka s $\psi=0,316 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno s $\psi=-0,138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=-0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku s $\psi=-0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=-0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče mansarde s steno s $\psi=0,324 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,008 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Ker je naravna ventilacija po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade premajhna (ocena testa pri povišanem tlaku 50 Pa je $2,5\cdot V \text{ 1/h}$), je bila za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo upoštevana izguba v višini $0,13\cdot V \text{ 1/h}$. S tem celotna povprečna izmenjava zraka doseže minimalno zahtevanih $0,3\cdot V \text{ 1/h}$.

Po izvedbi energetske sanacije fasade ter oken in vrat se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z $245 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $94 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $277 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $175 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 bilanca sanacije_okna_fasada.xls.

4.1.3.3 Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe in stropa neogrevane kleti

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe in stropa neogrevane kleti so podatki ostali isti razen podatki za streho in strop neogrevane kleti ter z njima povezanimi linijskimi toplotnimi mostovi. Izhodišče energetske sanacije strehe in stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost strehe in stropa neogrevane kleti z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

V ta namen bi bilo potrebno izolirati streho z notranje strani z vsaj 18 cm steklene volne, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije strehe bi se zmanjšal linijski toplotni most:

- stik strehe in stene v mansardi s $\psi=0,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Potrebno bi bilo izolirati strop neogrevane kleti s spodnje strani z vsaj 10 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije stropa neogrevane kleti bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- stik plošče pritličja z zunanjo steno s $\psi=-0,138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,417 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku s $\psi=-0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,184 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Naravna ventilacija se po izolaciji strehe in stropa neogrevane kleti ne zmanjša (ocena izmenjave zraka pri testu s povišanim tlakom 50 Pa je $10\cdot V \text{ 1/h}$), zato za

dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo niso bile upoštevane dodatne ventilacijske izgube. V navedenem primeru bi znašala naravna ventilacija v povprečju $0,7 \cdot V$ 1/h.

Po izvedbi energetske sanacije izolacije strehe in stropa neogrevane kleti bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z $245 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ na $200 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $277 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$ na $247 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetski sanaciji_streha_klet.xls.

4.1.3.4 Energetska bilanca hiše po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in stropa neogrevane kleti

Pri izračunu energetske bilance po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in stropa neogrevane kleti so podatki za streho ostali isti, vsi ostali podatki pa se ustrezno spremenijo. Izhodišče energetske sanacije z zamenjavo oken in vrat ter izolacijo fasade in stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije oziroma oken in vrat, da toplotne prehodnosti saniranih površin ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna termopan stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,6$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ na $\psi=0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$. Pri izračunu je upoštevan še nespremenjen linijski toplotni most zaradi vgradnje z vrednostjo $\psi=0,04 \text{ W/m} \cdot \text{K}$.

Zunanje neizolirane stene bi bilo potrebno izolirati z vsaj 12 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Na že izolirani steni prizidka z obstoječimi 5 cm stiropora bi bilo potrebno dodati vsaj 7 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Za doseganje toplotne prehodnosti manjše ali enake $U=0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ bi bilo potrebno na strop terase pod betonsko ploščo mansarde dodati vsaj 8 cm stiropora.

Strop neogrevane kleti bi bilo potrebno izolirati s spodnje strani z vsaj 10 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije fasade in stropa neogrevane kleti bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- balkon hiše in prizidka s $\psi=0,316 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ na $\psi=0,36 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- stik plošče mansarde s steno s $\psi=0,324 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ na $\psi=0,008 \text{ W/m} \cdot \text{K}$

Ker je naravna ventilacija po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in stropa neogrevane kleti premajhna (ocena testa pri povišanem tlaku 50 Pa je $2,5 \cdot V$ 1/h), je bila za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo upoštevana izguba v višini $0,13 \cdot V$ 1/h. S tem celotna povprečna izmenjava zraka doseže minimalno zahtevanih $0,3 \cdot V$ 1/h.

Po izvedbi energetske sanacije z zamenjavo oken in vrat ter izolacijo fasade in stropa

neogrevane kleti se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z 245 kWh/m²·leto na 79 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 277 kWh/m²·leto na 165 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 bilanca sanacije_okna_fasada_klet.xls.

4.1.3.5 Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe in fasade ter zamenjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe in fasade ter zamenjavi oken in vrat so podatki za strop neogrevane kleti ostali isti, vsi ostali podatki pa se ustrezno spremenijo. Izhodišče energetske sanacije zamenjave oken in vrat ter izolacije strehe in fasade je bila vgradnja takšne izolacije oziroma oken in vrat, da toplotne prehodnosti saniranih površin ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna termopan stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,6$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevan še nespremenjen linijski toplotni most zaradi vgradnje z vrednostjo $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Zunanje neizolirane stene bi bilo potrebno izolirati z vsaj 12 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Na že izolirani steni prizidka z obstoječimi 5 cm stiropora bi bilo potrebno dodati vsaj 7 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Za doseganje toplotne prehodnosti manjše ali enake $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bi bilo potrebno na strop terase pod betonsko ploščo mansarde dodati vsaj 8 cm stiropora.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije fasade bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- balkon hiše in prizidka s $\psi=0,316 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno s $\psi=-0,138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=-0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku s $\psi=-0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=-0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče mansarde s steno s $\psi=0,324 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,008 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Streho bi bilo potrebno izolirati z notranje strani z vsaj 18 cm steklene volne, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije strehe bi se zmanjšal linijski toplotni most:

- stik strehe in stene v mansardi s $\psi=0,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Ker je naravna ventilacija po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in strehe premajhna (ocena testa pri povišanem tlaku 50 Pa je 2,5·V 1/h), je bila za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo upoštevana izguba v višini 0,13·V 1/h. S tem celotna povprečna izmenjava zraka doseže minimalno zahtevanih 0,3·V 1/h.

Po izvedbi energetske sanacije z izolacijo fasade in strehe ter zamenjavi oken in vrat

se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z 245 kWh/m²·leto na 69 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 277 kWh/m²·leto na 158 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 bilanca sanacije_okna_fasada_streha.xls.

4.1.3.6 Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjavi oken in vrat se ustrezno spremenijo vsi podatki, ki so bili navedeni v v bilanci pred energetsko sanacijo hiše. Izhodišče energetske sanacije izolacije strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjave oken in vrat je bila vgradnja takšne izolacije oziroma oken in vrat, da toplotne prehodnosti saniranih površin ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna termopan stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,6$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevan še nespremenjen linijski toplotni most zaradi vgradnje z vrednostjo $\psi=0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$.

Zunanje neizolirane stene bi bilo potrebno izolirati z vsaj 12 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Na že izolirani steni prizidka z obstoječimi 5 cm stiropora bi bilo potrebno dodati vsaj 7 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Za doseganje toplotne prehodnosti manjše ali enake $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ bi bilo potrebno na strop terase pod betonsko ploščo mansarde dodati vsaj 8 cm stiropora.

Strop neogrevane kleti bi bilo potrebno izolirati s spodnje strani z vsaj 10 cm stiropora, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije fasade in stropa neogrevane kleti bi se spremenili naslednji linijski toplotni mostovi:

- balkon hiše in prizidka s $\psi=0,316 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,36 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno s $\psi=-0,138 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,143 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče pritličja z zunanjo steno v prizidku s $\psi=-0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,143 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- stik plošče mansarde s steno s $\psi=0,324 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,008 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Streho bi bilo potrebno izolirati z notranje strani z vsaj 18 cm steklene volne, da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,20 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije strehe bi se zmanjšal linijski toplotni most:

- stik strehe in stene v mansardi s $\psi=0,15 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,05 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Ker je naravna ventilacija po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in strehe neogrevane kleti premajhna (ocena testa pri povišanem tlaku 50 Pa je 2,5·V 1/h), je bila za dodatno prisilno mehansko-ročno ventilacijo upoštevana izguba v višini 0,13·V 1/h. S tem celotna povprečna izmenjava zraka doseže minimalno zahtevanih 0,3·V

1/h.

Po izvedbi energetske sanacije z izolacijo strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjavo oken in vrat se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z 245 kWh/m²·leto na 54 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 277 kWh/m²·leto na 149 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 bilanca sanacije_okna_fasada_klet_streha.xls.

4.1.3.7 Energetska bilanca hiše po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti, zamenjavi oken in vrat, uvedbi prezračevanja z rekuperacijo toplote ter po potrebi z zamenjavo grelnega kotla

Ker se z zamenjavo oken in vrat ter izolacijo strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ob dobri izvedbi doseže precej dobro tesnenje ovoja stavbe, je smiselno za ustrezno kakovost zraka uvesti avtomatsko prezračevanje z rekuperacijo toplote. Najbolj enostavni in cenovno ugodni prezračevalni sistemi z rekuperacijo toplote se lahko namestijo neposredno na steno objekta. Primer enostavnega prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote je podan v prilogi (Lossnay_VL-100U-E tehnični podatki.pdf). Takšen prezračevalni sistem bi zadostoval za prezračevanje enega nadstropja stanovanjske hiše, zato smo v hiši predvideli po eno prezračevalno enoto za vsako nadstropje.

V mnogih starih stavbah, kjer prvotno vgrajen kotel še vedno deluje, bi se ob izvedbi predlaganih ukrepov celovite energetske sanacije poraba energije za ogrevanje praktično zmanjšala na približno 1/5 prvotne porabe. S tem bi se na približno 1/3 zmanjšala tudi potrebna moč ogrevalnega sistema, ki pa je potreben tudi za pripravo tople vode. Z zamenjavo kotla za ogrevanje in pripravo tople vode se energetska bilanca potrebne toplote za ogrevanje sicer ne bi zmanjšala, bi pa se zaradi boljšega izkoristka kotla zmanjšala poraba energentov (kurilno olje, zemeljski plin, utekočinjen naftni plin). Pri navedenih energentih smo upoštevali zamenjavo starega kotla z novim kondenzacijskim kotlom, kar zahteva tudi sanacijo dimnika. Dimnike iz nerjaveče, jeklene pločevine, najpogosteje uporabljamo pri sanaciji obstoječih dimnikov. Cev iz nerjaveče pločevine, ki je odporna na vlago oziroma kondenzirane pline, vstavimo v obstoječo cev dimnika, kar omogoča vgradnjo kondenzacijskega kotla, ki ima med vsemi kotli najvišji izkoristek. Pri kondenzacijskih kotlih namreč vodna para, ki se nahaja v dimnih plinih, na ogrevalnih površinah kondenzira. Kondenzacija vodne pare zahteva posebno izvedbo površin, da se dimni plini čim bolj ohladijo in je s tem omogočena čim bolj intenzivna kondenzacija (temperatura rosišča vodne pare pri zemeljskem plinu je pri približno 57 °C).

Po izvedbi energetske sanacije z izolacijo strehe, fasade in stropa neogrevane kleti, zamenjavo oken in vrat, uvedbo prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote ter po potrebi z zamenjavo grelnega kotla se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala z 245 kWh/m²·leto na 49 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 277 kWh/m²·leto na 145 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP2007_CRP V2 0469 bilanca

okna_fasada_klet_streha_ventilacija.xls.

4.1.4 Ekonomska analiza energetske sanacije stanovanjske hiše

Za izvedbo ekonomske analize energetske sanacije stanovanjske hiše je bil izdelan program v Excelu (Prihranki hiša_končna verzija.xls), ki v osnovi temelji na podatkih predhodno izračunanih energetskih bilanc. Program vsebuje več zavihkov, ki so smiselno poimenovani. Polja za vnose so obarvana zeleno, polja z izračuni pa so obarvana modro.

V zavihek *Vnosi* je potrebno vnesti rezultate izračunov vseh energetskih bilanc (pred sanacijo in po sanaciji), in sicer v kWh/m²-leto. Za različne vrste energentov (elektrika, kurilno olje, utekočinjen naftni plin (UNP), zemeljski plin, peleti, sekanci, drva (bukova)) so vnešene energetske vrednosti, ki omogočajo pretvorbo v kWh na tipično prodajno enoto energenta. Za navedene vrste energentov so podane tudi prodajne cene za marec 2009 ter cene za julij 2008, ko so bili energenti povečini najdražji. Program omogoča še vnos cen za projekcijo prihrankov v prihodnosti. Prav tako je potrebno vnesti obrestno mero financiranja, odplačilno dobo v letih ter stroške odobritve kredita. Na podlagi teh vnosov se s pomočjo obrestno-obrestnega računa v *Poraba energije* izračuna strošek sanacije s financiranjem.

V zavihku *Ponudbe* se nahajajo podatki konkretnih ponudb. Za vsako fazo energetske sanacije so bile pridobljene po tri ponudbe, ki ločeno vsebujejo materialne stroške in izvedbo. Povprečna cena zbranih ponudb predstavlja strošek investicije za posamezno fazo energetske sanacije. Stroški investicije po posameznih fazah so bili združeni tako, kot so se združevale faze energetske sanacije.

V zavihku *Poraba energije* je izračunana letna poraba pred energetske sanacije in po posameznih fazah energetske sanacije v kWh ter letni prihranek energije po posameznih fazah energetske sanacije v kWh s prikazom stroškov sanacije.

V zavihkah z imeni posameznih energentov *elektrika, kurilno olje, UNP, zemeljski plin, peleti, sekanci, drva (bukova)* so izračunani letni prihranki energije po posameznih fazah energetske sanacije v kWh in cenovni letni prihranek v evrih, ki upošteva ceno energije glede na izkoristek pretvornika energije (npr. kotla pri fosilnih gorivih). Najbolj pomemben je izračun vračilne dobe investicije v letih in mesecih ločeno brez upoštevanja in z upoštevanjem financiranja v skladu z obrestno-obrestnim računom. Pri tem je potrebno izbrati dobo vračanja kredita in t.i. efektivno obrestno mero. Vračilna doba z upoštevanjem stroškov financiranja je podana kot opcija, kajti pri najemu kredita je potrebno le-tega odplačevati določeno obdobje po dogovorjeni efektivni obrestni meri, ki je običajno sestavljena iz EURIBOR-a in pribitka banke. Vračilna doba investicije ne vsebuje amortizacije izvedenih sanacijskih elementov.

V zavihku *Povzetek* so zbrani podatki za vračilne dobe investicij brez stroškov in s stroški financiranja, za vse faze energetske sanacije in za vse energente glede na izkoristek pretvornika energije.

Iz izračunov v programu je razvidno, da se investicija najprej povrne, če bi kot energent za ogrevanje hiše uporabljali elektriko, in sicer bi se celovita energetska

sanacija povrnila v dobrih petih letih in osmih mesecih, ob upoštevanju cen energentov v marcu 2009, kar je dokaj kratek čas. Pri uporabi elektrike je vračilna doba najkrajša zato, ker je kilovatna ura energije pridobljena iz elektrike najdražja, glede na ostale obravnavane energente. Glede na vračilno dobo je takoj za elektriko utekočinjen naftni plin, sledita pa mu zemeljski plin in kurilno olje, ki je v stanovanjskih hišah pogosto uporabljan energent. Pri kurilnem olju je vračilna doba približno dvakrat daljša kot pri elektriki. Odvisno od učinkovitosti pretvornika energenta (kotla), pri kurilnem olju, UNP in zemeljskem plinu lahko vidimo, da se starega kotla za centralno ogrevanje s kondenzacijskim kotlom skoraj ne splača menjati, razen v primeru, ko se staremu kotlu izteka življenjska doba. Energenti z najdaljšo vračilno dobo pa so peleti, drva in še posebej sekanci, ki imajo v primerjavi z elektriko skoraj šestkrat daljšo vračilno dobo, kar znaša skoraj trintrideset let. Poleg tega pa so kotli na lesno biomaso precej dragi. Njihova cena se giblje okrog 7.000 € (sam kotel, brez napeljave). Navedene vračilne dobe so vezane na povprečne cene energetskih sanacij, ki so bile pridobljene od treh izvajalcev in zraven ni upoštevanega financiranja.

Če bi za vse energetske sanacije morali vzeti še kredit, s 5% obrestno mero in 10-letnim obročnim odplačevanjem, bi se vračilna doba podaljšala za približno 70 %. Sicer pa program Prihranki omogoča izračun vračilne dobe, če bi trajal kredit manj ali več časa in če bi bila obrestna mera drugačna.

Na podlagi rezultatov bi lahko ocenili, da energetske sanacije ni smiselno deliti na posamezne faze, temveč je bolje opraviti celovito sanacijo, čeprav je za to potrebno vzeti kredit. Če bi celovito energetske sanacije izvedli v enem delu, bi verjetno dobili tudi nekaj odstotkov dodatnega popusta, kar pa v danih izračunih ni bilo upoštevano.

Na koncu pa še nekaj, kar je čedalje bolj aktualno in bi je zelo pomembno z vidika vplivov zgradb na okolje. To je CO₂ odtis [4]. V zavihkih za posamezne energente lahko vidimo, kakšni so njihovi CO₂ glede na energetske bilanco. Najbolj uporabljano kurilno olje ima največji CO₂ odtis, kar pomeni, da najbolj vpliva na globalno segrevanje. Sledijo mu utekočinjen naftni plin, zemeljski plin in elektrika, medtem ko peleti, sekanci in drva CO₂ odtisa nimajo, saj v zrak spustijo ravno toliko CO₂ kot, če se razgradijo v naravi (vseeno je ali drevo strohni ali pa ga uporabimo za kurjavo). Seveda ti podatki niso celoviti, ker pri energetske sanaciji in s tem zmanjšanju izpustov zaradi segrevanja stavbe uporabljamo različne materiale, katerih izdelava zahteva različno porabo energije, kar zopet povzroča določen odtis CO₂. Takšne analize pa so pri nas še v povojih.

4.1.5 Povzetek energetske sanacije stanovanjske hiše

V tabeli 2 so prikazani rezultati energetske sanacije stanovanjske hiše.

V tabeli 3 so prikazane cene energentov v marcu 2009, njihova energetska vrednost in faktor za izračun odtisa CO₂.

Tabela 2: Rezultati energetske sanacije stanovanjske hiše

Ogrevana površina:	233,8	m ²	
Potrebna energija za ogrevanje:			Razred
_pred sanacijo:	245,0	kWh/m ² ·leto	H
_po sanaciji oken	167,0	kWh/m ² ·leto	H
_po sanaciji fasade:	151,0	kWh/m ² ·leto	H
_po sanaciji strehe:	210,0	kWh/m ² ·leto	H
_po sanaciji stropa kleti:	225,0	kWh/m ² ·leto	H
streha + okna	140,0	kWh/m ² ·leto	H
fasada + okna	94,0	kWh/m ² ·leto	E
streha + strop kleti	200,0	kWh/m ² ·leto	H
okna + fasada + strop kleti	79,0	kWh/m ² ·leto	D
streha + fasada + okna	69,0	kWh/m ² ·leto	C
streha + fasada + okna + strop kleti	54,0	kWh/m ² ·leto	B
streha + fasada + okna + strop kleti + rekuperator	49,0	kWh/m ² ·leto	B

Razredi energetske učinkovitosti

A+	<25	kWh/m ² ·leto
A	25-40	kWh/m ² ·leto
B	40-55	kWh/m ² ·leto
C	55-70	kWh/m ² ·leto
D	70-85	kWh/m ² ·leto
E	85-100	kWh/m ² ·leto
F	100-115	kWh/m ² ·leto
G	115-130	kWh/m ² ·leto
H	>130	kWh/m ² ·leto

Tabela 3: Cene energentov, njihova energetska vrednost in faktor za izračun odtisa CO₂

	Cena	Energetska vrednost	Izračun CO ₂ odtisa
Električna energija:	0,1204 €/kWh	1 kWh/kWh	poraba [kWh] · 0,25
Kurilno olje:	0,4950 €/l	10 kWh/l	poraba [l] · 2,7
Utekočinjen naftni plin:	0,6150 €/l	7,2 kWh/l	poraba [l] · 1,86
Zemeljski plin:	0,5039 €/m ³	9,5 kWh/m ³	poraba [m ³] · 1,9
Peleti*:	0,2200 €/kg	5 kWh/kg	poraba [kg] · 0
Sekanci*:	13,5000 €/nm ³	800 kWh/nm ³	poraba [nm ³] · 0
Drva* (bukova):	55,0000 €/m ³	2410 kWh/m ³	poraba [m ³] · 0

V tabeli 4 so prikazani poraba energije, prihranek energije, strošek sanacije brez financiranja in s financiranjem (kredit 10 let, efektivna obrestna mera 5 %, stroški odobritve kredita 300 EUR) za posamezne faze energetske sanacije stanovanjske hiše.

Prvi stolpec označuje fazo sanacije, ki je navedena v drugem stolpcu in se zgolj kot oznaka uporablja v nadaljevanju (Tabele 5, 6, 7 in 8).

Tabela 4: Faze sanacije: poraba energije, prihranek energije ter strošek sanacije s financiranjem ali brez

	Faza sanacije	Poraba energije [kWh/leto]	Prihranek energije [kWh/leto]	Strošek sanacije brez financiranja [€]	Strošek sanacije s financiranjem [€]
0	pred sanacijo	57281,0	0,0	0,00	0,00
1a	sanacija oken	39044,6	18236,4	7256,70	12120,39
1b	sanacija fasade	35303,8	21977,2	13172,60	21756,78
1c	sanacija strehe	49098,0	8183,0	6462,54	10826,80
1d	sanacija stropa kleti	52605,0	4676,0	3762,22	6428,25
2a	streha + okna	32732,0	24549,0	13719,24	22647,19
2b	fasada + okna	21977,2	35303,8	20429,30	33577,17
2c	streha + strop kleti	46760,0	10521,0	10224,76	16955,05
3a	okna + fasada + strop kleti	18470,2	38810,8	24191,51	39705,43
3b	streha + fasada + okna	16132,2	41148,8	26891,84	44103,97
4	streha + fasada + okna + strop kleti	12625,2	44655,8	30654,05	50232,22
5	streha + fasada + okna + strop kleti + rekuperator	11456,2	45824,8	31310,05	51300,78
6a	streha + fasada + okna + strop kleti + rekuperator + oljni kotel	11456,2	45824,8	37873,45	61991,86
6b	streha + fasada + okna + strop kleti + rekuperator + oljni kotel in dimnik	11456,2	45824,8	38636,78	63235,25
6c	streha + fasada + okna + strop kleti + rekuperator + plinski kotel	11456,2	45824,8	35515,41	58150,86
6d	streha + fasada + okna + strop kleti + rekuperator + plinski kotel in dimnik	11456,2	45824,8	36278,74	59394,25

Tabele 5, 6, 7 in 8 prikazujejo vračilne dobe za posamezne energente glede na izkoristke kotlov. Pri kotlih na fosilna goriva (kurilno olje, UNP, zemeljski plin) sta dve koloni vračilnih dob, ki se med seboj razlikujeta samo v izkoristku kotla, kajti kondenzacijski kotli imajo veliko boljše izkoristke od običajnih.

Iz tabel je razvidno, da so vračilne dobe zaradi financiranja daljše za okrog 70 %.

Tabela 5: Vračilna doba investicije brez financiranja (cene energentov marec 2009)

	Elektrika	Kurilno olje		UNP		Zemeljski plin		Peleti	Sekanci	Drva (bukova)
	100% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	80% izkoristek	80% izkoristek	52% izkoristek
0										
1a	3 let in 3 mes.	5 let in 9 mes.	7 let in 9 mes.	3 let in 4 mes.	4 let in 6 mes.	5 let in 4 mes.	7 let in 3 mes.	7 let in 2 mes.	18 let in 10 mes.	9 let in 0 mes.
1b	4 let in 11 mes.	8 let in 8 mes.	11 let in 8 mes.	5 let in 0 mes.	6 let in 9 mes.	8 let in 1 mes.	10 let in 11 mes.	10 let in 10 mes.	28 let in 4 mes.	13 let in 7 mes.
1c	6 let in 6 mes.	11 let in 5 mes.	15 let in 5 mes.	6 let in 7 mes.	8 let in 11 mes.	10 let in 8 mes.	14 let in 5 mes.	14 let in 4 mes.	37 let in 5 mes.	17 let in 11 mes.
1d	6 let in 8 mes.	11 let in 8 mes.	15 let in 9 mes.	6 let in 9 mes.	9 let in 1 mes.	10 let in 11 mes.	14 let in 8 mes.	14 let in 7 mes.	38 let in 1 mes.	18 let in 3 mes.
2a	4 let in 7 mes.	8 let in 1 mes.	10 let in 11 mes.	4 let in 8 mes.	6 let in 4 mes.	7 let in 7 mes.	10 let in 2 mes.	10 let in 1 mes.	26 let in 5 mes.	12 let in 8 mes.
2b	4 let in 9 mes.	8 let in 5 mes.	11 let in 4 mes.	4 let in 10 mes.	6 let in 6 mes.	7 let in 10 mes.	10 let in 6 mes.	10 let in 6 mes.	27 let in 5 mes.	13 let in 2 mes.
2c	8 let in 0 mes.	14 let in 1 mes.	19 let in 0 mes.	8 let in 2 mes.	11 let in 0 mes.	13 let in 2 mes.	17 let in 9 mes.	17 let in 8 mes.	46 let in 0 mes.	22 let in 1 mes.
3a	5 let in 2 mes.	9 let in 0 mes.	12 let in 2 mes.	5 let in 3 mes.	7 let in 0 mes.	8 let in 5 mes.	11 let in 4 mes.	11 let in 3 mes.	29 let in 6 mes.	14 let in 2 mes.
3b	5 let in 5 mes.	9 let in 6 mes.	12 let in 9 mes.	5 let in 6 mes.	7 let in 5 mes.	8 let in 10 mes.	11 let in 11 mes.	11 let in 10 mes.	30 let in 11 mes.	14 let in 10 mes.
4	5 let in 8 mes.	9 let in 11 mes.	13 let in 5 mes.	5 let in 9 mes.	7 let in 9 mes.	9 let in 3 mes.	12 let in 6 mes.	12 let in 5 mes.	32 let in 5 mes.	15 let in 7 mes.
5	5 let in 8 mes.	9 let in 11 mes.	13 let in 4 mes.	5 let in 9 mes.	7 let in 9 mes.	9 let in 3 mes.	12 let in 5 mes.	12 let in 5 mes.	32 let in 4 mes.	15 let in 6 mes.
6a		12 let in 0 mes.								
6b			16 let in 6 mes.							
6c				6 let in 6 mes.		10 let in 6 mes.				
6d					8 let in 11 mes.		14 let in 5 mes.			

Tabela 6: Vračilna doba investicije s financiranjem (cene energentov marec 2009)

	Elektrika	Kurilno olje		UNP		Zemeljski plin		Peleti	Sekanci	Drva (bukova)
	100% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	80% izkoristek	80% izkoristek	52% izkoristek
0										
1a	5 let in 6 mes.	9 let in 8 mes.	13 let in 0 mes.	5 let in 7 mes.	7 let in 6 mes.	9 let in 0 mes.	12 let in 1 mes.	12 let in 1 mes.	31 let in 6 mes.	15 let in 1 mes.
1b	8 let in 2 mes.	14 let in 4 mes.	19 let in 4 mes.	8 let in 4 mes.	11 let in 2 mes.	13 let in 5 mes.	18 let in 1 mes.	17 let in 11 mes.	46 let in 11 mes.	22 let in 6 mes.
1c	10 let in 11 mes.	19 let in 2 mes.	25 let in 11 mes.	11 let in 1 mes.	15 let in 0 mes.	17 let in 11 mes.	24 let in 2 mes.	24 let in 0 mes.	62 let in 8 mes.	30 let in 1 mes.
1d	11 let in 5 mes.	19 let in 11 mes.	26 let in 11 mes.	11 let in 7 mes.	15 let in 7 mes.	18 let in 7 mes.	25 let in 1 mes.	24 let in 11 mes.	65 let in 2 mes.	31 let in 3 mes.
2a	7 let in 7 mes.	13 let in 5 mes.	18 let in 0 mes.	7 let in 9 mes.	10 let in 5 mes.	12 let in 6 mes.	16 let in 10 mes.	16 let in 9 mes.	43 let in 8 mes.	21 let in 0 mes.
2b	7 let in 10 mes.	13 let in 10 mes.	18 let in 7 mes.	8 let in 0 mes.	10 let in 9 mes.	12 let in 10 mes.	17 let in 4 mes.	17 let in 3 mes.	45 let in 1 mes.	21 let in 8 mes.
2c	13 let in 4 mes.	23 let in 5 mes.	31 let in 6 mes.	13 let in 7 mes.	18 let in 3 mes.	21 let in 10 mes.	29 let in 5 mes.	29 let in 3 mes.	76 let in 4 mes.	36 let in 8 mes.
3a	8 let in 5 mes.	14 let in 10 mes.	20 let in 0 mes.	8 let in 7 mes.	11 let in 7 mes.	13 let in 10 mes.	18 let in 8 mes.	18 let in 7 mes.	48 let in 6 mes.	23 let in 3 mes.
3b	8 let in 10 mes.	15 let in 7 mes.	21 let in 0 mes.	9 let in 0 mes.	12 let in 2 mes.	14 let in 6 mes.	19 let in 7 mes.	19 let in 5 mes.	50 let in 9 mes.	24 let in 5 mes.
4	9 let in 4 mes.	16 let in 4 mes.	22 let in 0 mes.	9 let in 5 mes.	12 let in 9 mes.	15 let in 3 mes.	20 let in 6 mes.	20 let in 5 mes.	53 let in 3 mes.	25 let in 7 mes.
5	9 let in 3 mes.	16 let in 3 mes.	21 let in 11 mes.	9 let in 5 mes.	12 let in 8 mes.	15 let in 2 mes.	20 let in 5 mes.	20 let in 4 mes.	53 let in 0 mes.	25 let in 6 mes.
6a		19 let in 8 mes.								
6b			27 let in 0 mes.							
6c				10 let in 8 mes.		17 let in 2 mes.				
6d					14 let in 8 mes.		23 let in 8 mes.			

Tabela 7: Vračilna doba investicije brez financiranja (cene energentov julij 2008)

	100% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	80% izkoristek	80% izkoristek	52% izkoristek
0										
1a	3 let in 9 mes.	2 let in 11 mes.	3 let in 11 mes.	2 let in 10 mes.	3 let in 11 mes.	5 let in 5 mes.	7 let in 4 mes.	6 let in 4 mes.	16 let in 11 mes.	8 let in 3 mes.
1b	5 let in 8 mes.	4 let in 5 mes.	5 let in 11 mes.	4 let in 4 mes.	5 let in 11 mes.	8 let in 2 mes.	11 let in 1 mes.	9 let in 7 mes.	25 let in 6 mes.	12 let in 6 mes.
1c	7 let in 6 mes.	5 let in 10 mes.	7 let in 10 mes.	5 let in 9 mes.	7 let in 9 mes.	10 let in 10 mes.	14 let in 7 mes.	12 let in 7 mes.	33 let in 8 mes.	16 let in 5 mes.
1d	7 let in 8 mes.	5 let in 11 mes.	8 let in 0 mes.	5 let in 10 mes.	7 let in 11 mes.	11 let in 0 mes.	14 let in 10 mes.	12 let in 10 mes.	34 let in 3 mes.	16 let in 9 mes.
2a	5 let in 4 mes.	4 let in 1 mes.	5 let in 6 mes.	4 let in 1 mes.	5 let in 6 mes.	7 let in 8 mes.	10 let in 4 mes.	8 let in 11 mes.	23 let in 10 mes.	11 let in 8 mes.
2b	5 let in 6 mes.	4 let in 3 mes.	5 let in 9 mes.	4 let in 2 mes.	5 let in 8 mes.	7 let in 11 mes.	10 let in 8 mes.	9 let in 3 mes.	24 let in 8 mes.	12 let in 1 mes.
2c	9 let in 3 mes.	7 let in 2 mes.	9 let in 8 mes.	7 let in 1 mes.	9 let in 7 mes.	13 let in 4 mes.	17 let in 11 mes.	15 let in 6 mes.	41 let in 5 mes.	20 let in 3 mes.
3a	5 let in 11 mes.	4 let in 7 mes.	6 let in 2 mes.	4 let in 6 mes.	6 let in 1 mes.	8 let in 6 mes.	11 let in 6 mes.	9 let in 11 mes.	26 let in 7 mes.	13 let in 0 mes.
3b	6 let in 2 mes.	4 let in 9 mes.	6 let in 6 mes.	4 let in 9 mes.	6 let in 5 mes.	8 let in 11 mes.	12 let in 1 mes.	10 let in 5 mes.	27 let in 10 mes.	13 let in 7 mes.
4	6 let in 6 mes.	5 let in 0 mes.	6 let in 10 mes.	5 let in 0 mes.	6 let in 9 mes.	9 let in 5 mes.	12 let in 8 mes.	10 let in 11 mes.	29 let in 3 mes.	14 let in 4 mes.
5	6 let in 6 mes.	5 let in 0 mes.	6 let in 9 mes.	5 let in 0 mes.	6 let in 8 mes.	9 let in 4 mes.	12 let in 7 mes.	10 let in 11 mes.	29 let in 1 mes.	14 let in 3 mes.
6a		6 let in 1 mes.								
6b			8 let in 4 mes.							
6c				5 let in 8 mes.		10 let in 7 mes.				
6d					7 let in 9 mes.		14 let in 7 mes.			

Tabela 8: Vračilna doba investicije s financiranjem (cene energentov julij 2008)

	100% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	72% izkoristek	97% izkoristek	80% izkoristek	80% izkoristek	52% izkoristek
0										
1a	6 let in 4 mes.	4 let in 10 mes.	6 let in 7 mes.	4 let in 10 mes.	6 let in 6 mes.	9 let in 1 mes.	12 let in 3 mes.	10 let in 7 mes.	28 let in 4 mes.	13 let in 10 mes.
1b	9 let in 5 mes.	7 let in 3 mes.	9 let in 10 mes.	7 let in 3 mes.	9 let in 9 mes.	13 let in 7 mes.	18 let in 3 mes.	15 let in 10 mes.	42 let in 2 mes.	20 let in 8 mes.
1c	12 let in 7 mes.	9 let in 9 mes.	13 let in 2 mes.	9 let in 8 mes.	13 let in 0 mes.	18 let in 2 mes.	24 let in 6 mes.	21 let in 2 mes.	56 let in 5 mes.	27 let in 7 mes.
1d	13 let in 1 mes.	10 let in 1 mes.	13 let in 8 mes.	10 let in 0 mes.	13 let in 6 mes.	18 let in 10 mes.	25 let in 5 mes.	21 let in 11 mes.	58 let in 7 mes.	28 let in 8 mes.
2a	8 let in 9 mes.	6 let in 9 mes.	9 let in 2 mes.	6 let in 9 mes.	9 let in 1 mes.	12 let in 8 mes.	17 let in 1 mes.	14 let in 9 mes.	39 let in 4 mes.	19 let in 3 mes.
2b	9 let in 1 mes.	7 let in 0 mes.	9 let in 5 mes.	6 let in 11 mes.	9 let in 4 mes.	13 let in 0 mes.	17 let in 7 mes.	15 let in 2 mes.	40 let in 6 mes.	19 let in 10 mes.
2c	15 let in 4 mes.	11 let in 10 mes.	16 let in 0 mes.	11 let in 9 mes.	15 let in 10 mes.	22 let in 1 mes.	29 let in 10 mes.	25 let in 9 mes.	68 let in 9 mes.	33 let in 7 mes.
3a	9 let in 9 mes.	7 let in 6 mes.	10 let in 2 mes.	7 let in 5 mes.	10 let in 1 mes.	14 let in 0 mes.	18 let in 11 mes.	16 let in 4 mes.	43 let in 7 mes.	21 let in 4 mes.
3b	10 let in 2 mes.	7 let in 11 mes.	10 let in 8 mes.	7 let in 10 mes.	10 let in 6 mes.	14 let in 8 mes.	19 let in 10 mes.	17 let in 1 mes.	45 let in 8 mes.	22 let in 4 mes.
4	10 let in 8 mes.	8 let in 3 mes.	11 let in 2 mes.	8 let in 2 mes.	11 let in 1 mes.	15 let in 5 mes.	20 let in 9 mes.	17 let in 11 mes.	47 let in 11 mes.	23 let in 5 mes.
5	10 let in 8 mes.	8 let in 3 mes.	11 let in 1 mes.	8 let in 2 mes.	11 let in 0 mes.	15 let in 4 mes.	20 let in 8 mes.	17 let in 10 mes.	47 let in 9 mes.	23 let in 4 mes.
6a		10 let in 0 mes.								
6b			13 let in 8 mes.							
6c				9 let in 3 mes.		17 let in 5 mes.				
6d					12 let in 9 mes.		24 let in 0 mes.			

4.2 Večstanovanjski blok

4.2.1 Prvi del projekta

Za večstanovanjski objekt je bil izbran stanovanjski blok iz leta 1962, lociran v severnem, pretežno stanovanjskem predelu Ljubljane, na področju Bežigrada. Stanovanjski blok je oblikovan kot podolgovat, kubusen, pretežno kompakten volumen, orientiran z vzdolžno stranico v smeri S-J (odstopanje za manj kot 10°).

Blok ima polkletno etažo s shrambami in pomožnimi prostori in pet stanovanjskih etaž s po štirimi stanovanji na etažo ter strešno etažo z enim terasnim stanovanjem in pomožnimi prostori. Stanovanja so v večji meri orientirana na zahod ali vzhod, delno tudi na jug in v zelo majhni meri na sever. Konstrukcija je masivna, z armiranobetonskimi ploščami in nosilnimi masivni opečnimi zidovi v prečni smeri ter osrednjim vzdolžnim nosilnim zidom. Streha je ravna, pohodna. Prečni, masivni fasadi (severna in južna) sta obloženi s fasadno opeko, vzdolžni, lahki fasadi (vzhodna in zahodna) sta izdelani iz tankih sendvič fasadnih elementov.

Toplotna zaščita zunanjih obodnih konstrukcij je izredno nizka: obzidani fasadi imata vgrajen 3 cm sloj toplotne izolacije, v lahkah fasadnih panelih vzdolžne fasade je 6 cm toplotnoizolacijskega sloja, mineralne volne, v konstrukcijski sestavi ravnih streh je 2 cm plute, oziroma 6 cm mineralne volne, okna, francoska okna in balkonska vrata so lesena, vezana, z dvojno zasteklitvijo. Na objektu so številni in izraziti toplotni mostovi (balkonske plošče, nosilni betonski motažni elementi za fasadno oblogo in korita, ipd.).

Podatki, potrebni za izračun transmisijskih toplotnih izgub, vse dimenzije objekta, posameznih delov konstrukcijskih sklopov in elementov ter materiali uporabljeni na objektu, so znani. Snovni parametri oziroma toplotne in druge karakteristike uporabljenih vgrajenih materialov in elementov bodo povzete po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah. Senčenja objekta bodo upoštevana z ozirom na realno situacijo.

Osnovne dimenzije bloka: 23,60 m x 14,30 m x 14.90 m.

Etažnost bloka: K (polklet) + P (visoko pritličje) + 4 + M (delno)

Tip gradnje: Masivna konstrukcija,
Fasade delno masivne, neprezračevane, delno
montažne, lahke (sendvič paneli)

Klimatski podatki: Pridobljeni na spletni strani MOP (www.mop.gov.si)
za k.o. 2636, parcelna številka 58/19, Ljubljana-
Bežigrad

Na podlagi zbranih podatkov bo izdelan izračun izhodiščne energetske bilance stanovanjskega bloka pred uvedbo energetske sanacije po posameznih fazah.

4.2.2 Drugi del projekta

Primerjava posameznih potencialnih ukrepov pokaže približno enakovrednost le-teh. Podrobnejši rezultati so podani spodaj.

4.2.2.1 Energetska bilanca bloka pred energetske sanacijo

V prvem delu projekta je najprej izračunana energetska bilanca bloka pred uvedbo energetske sanacije po posameznih fazah. Zaradi mešanega lastništva stavbe in večih uporabnikov temelji izračin na več predpostavkah, kot jih je bilo potrebno vpeljati pri obravnavi hiše. Izračun temelji na posnetku stanja stavbe po dostopnih načrtih. Celotna ogrevana, uporabna površina stavbe, znaša 1600 m², pripadajoča prostornina pa 4552 m³. Faktor oblike (A/V_e) znaša 0,40.

Sestave in parametri obstoječega stanja so podani v iz priloge U ($W/m^2 \cdot K$) so:

- Masivna (opečna) zunanja stena, $U=0,726 W/m^2 \cdot K$ s sestavo:
 - o notranji omet, $\lambda=0,85 W/m \cdot K$, debelina 20 mm
 - o modularni blok, $\lambda=0,81 W/m \cdot K$, debelina 250 mm
 - o toplotno izolacijski sloj, mineralna volna, $\lambda=0,040 W/m \cdot K$, debelina 30 mm
 - o fasadna opeka $\lambda=0,96 W/m \cdot K$, debelina 120 mm
- Montažna zunanji (lahka) stena, $U=0,648 W/m^2 \cdot K$ s sestavo:
 - o vlakneno cementne plošče $\lambda=0,35 W/m \cdot K$ in debelino 10 mm
 - o Jedro
 - lesena konstrukcije, $\lambda=0,13 W/m \cdot K$, debelina 40 mm (7%)
 - mineralna volna (polnilo), $\lambda=0,040 W/m \cdot K$, debelina 40 mm (93%)
 - o vlakneno cementne plošče $\lambda=0,35 W/m \cdot K$ in debelino 10 mm
- streha – ploščevina $U=0,669 W/m^2 \cdot K$ s sestavo:
 - o kritina
 - o opaž, $\lambda=0,13 W/m \cdot K$, debelina 25 mm
 - o Jedro
 - lesena konstrukcije, $\lambda=0,13 W/m \cdot K$, debelina 50 mm (8%)
 - mineralna volna (polnilo), $\lambda=0,040 W/m \cdot K$, debelina 50 mm (92%)
 - o beton $\lambda=2,10 W/m \cdot K$ in debelino 160 mm
 - o omet, $\lambda=0,85 W/m \cdot K$, debelina 10 mm
- streha - terasa $U=1,34 W/m^2 \cdot K$ s sestavo:
 - o pesek $\lambda=2,0 W/m \cdot K$ in debelino 110 mm
 - o beton s toplotno prevodnostjo $\lambda=2,10 W/m \cdot K$, debelino 40 mm
 - o toplotna izolacija – pluta, $\lambda=0,045 W/m \cdot K$, debelina 20 mm
 - o beton s toplotno prevodnostjo $\lambda=2,10 W/m \cdot K$, debelino 160 mm
 - o omet, $\lambda=0,85 W/m \cdot K$, debelina 10 mm
- tla nad kletjo $U=1,76 W/m^2 \cdot K$ s sestavo:
 - o vinil azbestne plošče $\lambda=0,35 W/m \cdot K$, debelina 5 mm
 - o lesni beton (ksilolit) $\lambda=0,20 W/m \cdot K$, debelino 25 mm
 - o beton s toplotno prevodnostjo $\lambda=2,10 W/m \cdot K$ in debelino 160 mm
 - o omet, $\lambda=0,85 W/m \cdot K$, debelina 10 mm

V izračunu so bili upoštevani naslednji standardni linijski toplotni mostovi:

- Stik plošč in fasade $\psi=0,70 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Stiki notranjih sten in fasade $\psi=0,95 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- Stik strehe in fasade $\psi=0,50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$

Morebitni ostali toplotni mostovi se kompenzirajo s pozitivnimi toplotnimi mostovi vogalov. Upoštevani so standardni toplotni mostovi po standardu SIST EN ISO 14683.

Za vgrajeno stavbno pohištvo (okna in vrata) je bila privzeta vrednost toplotne prehodnosti $U=2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, kar ustreza dvoslojnemu steklu v lesenem okvirju. Dejansko so okna na stavbi že večinoma zamenjana, ocenjena toplotna prehodnost novih oken je $1,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Za vsa originalna okna je bila upoštevana prepustnost za energijo sončnega sevanja $g = 0,77$.

Senčenje objekta je relativno majhno in ga ni potrebno posebej upoštevati. Senčenje je v naslednjih fazah obdelano natančneje, po metodologiji paketa PHPP.

Pri izračunu ventilacijskih toplotnih izgub je ocena tesnosti izmenjave zraka 8 h^{-1} pri tlačni razliki 50 Pa. Glede na višino stavbe je pričakovana konstantna tlačna razlika 15 Pa. Upoštevajoč zvezo $n = n_{50} (\Delta p/50)^{2/3}$ dobimo efektivno povprečno izmenjavo zraka $n = 2,2$ ob upoštevanju faktorja zaščite pred vetrom (metodologija po EN 823). Omenjena izmenjava zraka je tolikšna, da se izraža tudi kot samozadosten nivo zračenja, kar v praksi stanovalci tudi ugotavljajo. Tesnost zasnovane stavbe je ocenjena na podlagi izkušenj in na podlagi razvrstitve po standardu EN 832. Sam ovoj stavge je zaradi velike kumulativne dolžine spojev montažnih panelov in zaradi velike kumulativne dolžine stikov okna / paneli ocenjen kot netesen.

Poleg sončnih dobitkov so upoštevani tudi notranji viri toplote in sicer s pavšalno oceno. Natančna razdelitev notranjih virov tu ni mogoča zaradi nedostopnosti natančnih podatkov. Nekoliko točnejša ocena pa bo podana v naslednji fazi (temelji na številu ljudi, pričakovanem številu večjih naprav (hladilnik, štedilnik, TV), pričakovanem številu svetil).

Pri klimatskih podatkih je precej različnih razpoložljivih podatkov, ki jih lahko upoštevamo v izračunu. Za začetno analizo smo uporabili podatke ARSO za testno referenčno leto. Manjkajoče podatke smo povzeli po najbližjih virih.

Analiza pokaže naslednje izračunane izhodiščne vrednosti:
vrednost specifične toplote za ogrevanje: $151 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$
potrebna primarna energija: $236 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-1-BLOK-Obstojece stanje.xls.

4.2.2.2 Termografija bloka

V zimskih mesecih je bilo izvajano tudi termografsko merjenje bloka. Uporabljena je bila kamera FLIR SC 640, ki omogoča relativno točna merjenja tudi v spremenljivih okoliških pogojih, kar pomeni tudi pri temperaturah precej različnih od sobnih.

V tem poročilu so prikazane najbolj značilne termografske slike pri merjenju bloka, ki je izvedeno v dobrih pogojih za termografijo. Vreme je bilo oblačno, brez padavin ali močnega vetra, temperatura na dan snemanja -10 °C. Pred snemanjem (ponoči) so vladali podobni pogoji. Stavba je dovolj izpostavljena, dostop je dober, koti snemanja so večinoma ugodni. Nekaj tipičnih posnetkov je na slikah v nadaljevanju.



Slika 21: Severna fasada



Slika 22: Klet, vzhod



Slika 23: Vzhodna fasada

4.2.2.3 Energetska bilanca bloka po menjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po zamenjavi oken in vrat so vsi podatki ostali isti, kot v osnovni, nesanirani varianti, razen podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna toplotno izolacijska stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,56$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,06 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevana še odprava toplotnega mostu zaradi vgradnje oken in pa zmanjšanje netesnosti ovoja stavbe. Ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$.

Po izvedbi energetske sanacije oken in vrat se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 na 108 kWh/m²-leto in potreba po primarni energiji z 236 na 184 kWh/m²-leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-2-BLOK-Okna.xls.

4.2.2.4 Energetska bilanca bloka po izolaciji fasade

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji fasade so vsi podatki enaki, kot so v nesaniranem stanju, razen podatki za fasado in z njo povezanimi linijskimi toplotnimi mostovi. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja fasade v debelini 120 mm. Takšna izolacija skupaj z že obstoječo izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3] po celotni površini in sicer

0,276 W/m²K na masivni steni in 0,218 W/m²K na lahki steni. Kot opombo naj navedemo, da izvedba izolacije fasade pred izvedbo zamenjave oken in vrat ni smiselna.

Tehnično je dodatna izolacija stene relativno enostavna, spoštovati pa je potrebno zahteve gradbene fizike glede difuzije vodne pare. Razmerje med obstoječo in dodano toplotno izolacijo je ravno še takšno, da omogoča neposredno namestitvev toplotne izolacije, kjer pa ima prednost mineralna volna (zaradi manjše možnosti kondenzacije v sanirani fasadi). Poseben tehnološki problem pa predstavlja ohranitev opečnega videza na obstoječi fasadi. Sanacija bi v tem primeru morala zajeti odstranitev obstoječe fasadne opeke in osnovne izolacije ter odstranitev podpornih konzol, ki sedaj predstavljajo toplotni most. Na tako podlago bi dodali toplotno izolacijo. Nato bi namestili skupno 150 mm debelo izolacijo, za zaključni sloj pa uporabili bodisi rezano fasadno opeko ali pa keramiko, podobnega formata. Takšna izvedba je zaradi zahtevnosti relativno draga, kar se odrazi tudi v ekonomski analizi.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije fasade bi se izničili linijski toplotni mostovi, povezani s fasado.

Hkrati z zaprtjem oboda se spremeni zrakotesnost ovoja stavbe in sicer po oceni na $n_{50}=2,0 \text{ h}^{-1}$. Posledično se za tretjino zmanjšajo tudi izgube zaradi infiltracije zraka.

Po izvedbi energetske sanacije fasade bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 na 87 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 236 na 159 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-3-BLOK-Fasade.xls.

4.2.2.5 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe so vsi podatki ostali isti (obstoječe stanje) razen podatki za streho in z njo povezanim linijskim toplotnim mostom. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost fasade z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

V ta namen bi bilo potrebno dodatno izolirati streho na zunanji strani tako, da se doseže toplotna prehodnost $U=0,198 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ oziroma $0,172 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hkrati z navedeno izvedbo izolacije strehe bi se izničil linijski toplotni most stika strehe in fasade. Na tesnost ovoja ta ukrep nima vpliva.

Po izvedbi energetske sanacije fasade bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 na 134 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 236 na 215 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-4-BLOK-Streha.xls.

4.2.2.6 Energetska bilanca bloka po izolaciji stropa neogrevane kleti

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji stropa neogrevane kleti so vsi podatki ostali isti razen podatki za strop neogrevane kleti. Linijski toplotni most na stiku med nosilno ploščo pritličja in steno kleti je ostal v izračunu isti, čeprav se dejansko za malenkost zmanjša. Izhodišče energetske sanacije stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost ustreza zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3].

V ta namen bi bilo potrebno izolirati strop neogrevane kleti s spodnje strani z vsaj 120 mm izolacije, tako da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Po izvedbi energetske sanacije fasade bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 na 145 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 236 na 228 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-5-BLOK-Strop kleti.xls.

4.2.3 Tretji del projekta

Ne glede na najavljene kombinacije energetske sanacije v prijavi projekta, so bile izračunane tiste kombinacije, ki so smiselne in najbolj verjetne glede na praktično izvedbo. Prav tako so v primerjavi z drugim faznim poročilom natančneje obdelane variante sanacij. Novo je izhodišče tesnosti obodnih konstrukcij obstoječega stanja, ki je sedaj ocenjeno na $n_{50} = 8 \text{ h}^{-1}$. Razlog za to spremembo je točnejše vrednotenje spojev in pa razvrstitev stavbe med srednje stavbe z netesno envelopo po EN 832 (prejšnja ocena je bila, da je stavba na meji med normalno tesnimi in netesnimi stavbami) in pa dejstvo, da je v prejšnji oceni upoštevano, da je del oken že zamenjan. Pri ukrepu, ki povečujejo tesnost oboda stavbe, je izmenjava zraka ocenjena na $n_{50} = 2,0 \text{ h}^{-1}$ oziroma v primeru menjave oken in vrat ter hkratni sanaciji fasade na $1,0 \text{ h}^{-1}$. Dosežena tesnost je tehnično možna, saj je stavba masivna in je omogočena kakovostna montaža stavbega pohištva, upoštevajoč vsa pravila dobre montaže (dvojno tesnenje in toplotna izolacija stika).

4.2.3.1 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe ter zamenjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe ter zamenjavi oken in vrat so glede na izhodišče (obstoječe stanje) kumulativno upoštevani parcialni ukrepi. V tej kombinaciji sta oba ukrepa neodvisna.

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe in zamenjavi oken in vrat so vsi podatki ostali isti (obstoječe stanje) razen:

- podatki za streho in z njo povezanim linijskim toplotnim mostom. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost fasade z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno dodatno izolirati streho na zunanji strani tako, da se doseže toplotno

prehodnost $U=0,198 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ oziroma $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna toplotno izolacijska stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,56$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,06 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevana še odprava toplotnega mostu zaradi vgradnje oken in pa zmanjšanje netesnosti ovoja stavbe.
- Ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 2 \text{ h}^{-1}$.

Po izvedbi energetske sanacije izolacije strehe ter zamenjavi oken in vrat bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s $151 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $78 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $236 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $148 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-6-BLOK-Streha + Okna.xls.

4.2.3.2 Energetska bilanca bloka po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji fasade ter zamenjavi oken in vrat so glede na izhodišče (obstoječe stanje) kumulativno upoštevani parcialni ukrepi. V tej kombinaciji oba ukrepa dosejata dodatni učinek v možnosti optimalne izvedbe tesnosti ovoja stavbe, kar je dodatna vrednost kombinacije.

Pri izračunu energetske bilance izolacije fasade in zamenjave oken so vsi podatki ostali isti (obstoječe stanje) razen:

- podatki za fasado: predvidena je vgradnja fasade v debelini 120 mm. Takšna izolacija skupaj z že obstoječo izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3] po celotni površini in sicer $0,276 \text{ W/m}^2\text{K}$ na masivni steni ter $0,218 \text{ W/m}^2\text{K}$ na lahki steni.
- izničijo se linijski toplotni mostovi vgradnje oken.
- podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna toplotno izolacijska stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,56$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski

toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1$ W/m·K na $\psi=0,06$ W/m·K. Pri izračunu je upoštevana še odprava toplotnega mostu zaradi vgradnje oken in pa zmanjšanje netesnosti ovoja stavbe.

- Ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 1$ h⁻¹.

Po izvedbi energetske sanacije fasade ter oken in vrat se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 kWh/m²·leto na 72 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 236 kWh/m²·leto na 141 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-7-BLOK-Fasade + Okna.xls.

4.2.3.3 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe in stropa neogrevane kleti

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji strehe in stropa neogrevane kleti so osnovni podatki ostali enaki, kot pred ukrepi, razen:

- podatki za streho in z njo povezanim linijskim toplotnim mostom. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost strehe z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno dodatno izolirati streho na zunanji strani tako, da se doseže toplotno prehodnost $U=0,198$ W/m²·K oziroma $0,172$ W/m²·K.
- Linijski toplotni most na stiku med nosilno ploščo pritličja in steno kleti je ostal v izračunu isti, čeprav se dejansko za malenkost zmanjša. Izhodišče energetske sanacije stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost ustreza zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno izolirati strop neogrevane kleti s spodnje strani z vsaj 120 mm izolacije, tako da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28$ W/m²·K.
- Ukrep ne vpliva na zrakotesnost stavbe, zato je ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 8$ h⁻¹, kot je pri osnovnem, obstoječem stanju.

Po izvedbi energetske sanacije izolacije strehe in stropa neogrevane kleti bi se vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 kWh/m²·leto na 131 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 236 kWh/m²·leto na 211 kWh/m²·leto.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-8-BLOK-Streha + strop kleti.xls.

4.2.3.4 Energetska bilanca bloka po zamenjavi oken in vrat ter izolaciji fasade in stropa neogrevane kleti

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji fasade, zamenjavi oken in vrat ter tudi izoliranju stropa proti neogrevani kleti so glede na izhodišče (obstoječe stanje) kumulativno upoštevani vsi trije naštetih parcialni ukrepi. V tej kombinaciji vsi ukrepi dosegajo dodatni učinek v možnosti optimalne izvedbe tesnosti ovoja stavbe, kar je dodatna vrednost kombinacije.

Spremembe glede na izhodiščno stanje so:

- podatki za fasado: predvidena je vgradnja fasade v debelini 120 mm. Takšna izolacija skupaj z že obstoječo izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3] po celotni površini in sicer $0,276 \text{ W/m}^2\text{K}$ na masivni steni ter $0,218 \text{ W/m}^2\text{K}$ na lahki steni.
- izničijo se linijski toplotni mostovi vgradnje oken.
- podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna toplotno izolacijska stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,56$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,06 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevana še odprava toplotnega mostu zaradi vgradnje oken in pa zmanjšanje netesnosti ovoja stavbe.
- Linijski toplotni most na stiku med nosilno ploščo pritličja in steno kleti je ostal v izračunu isti, čeprav se dejansko za malenkost zmanjša. Izhodišče energetske sanacije stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost ustreza zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno izolirati strop neogrevane kleti s spodnje strani z vsaj 120 mm izolacije, tako da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$.

Z energetskega stališča je opisana kombinacija že precej intenzivna, vendar pa se še ne dotika sanacije strehe, ki je toplotno gledano v obstoječem stanju zelo šibek element.

Po izvedbi energetske sanacije z zamenjavo oken in vrat ter izolacijo fasade in stropa neogrevane kleti se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s $151 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $68 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $236 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $136 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-9-BLOK-Fasade + Okna + strop kleti.xls.

4.2.3.5 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe in fasade ter zamenjavi oken in vrat

Pri izračunu energetske bilance po izolaciji fasade, zamenjavi oken in vrat ter tudi izolaciji strehe so glede na izhodišče (obstoječe stanje) kumulativno upoštevani vsi trije naštetih parcialni ukrepi. Tudi v tej kombinaciji vsi ukrepi dosegajo dodatni učinek v možnosti optimalne izvedbe tesnosti ovoja stavbe, kar je dodatna vrednost kombinacije.

Spremembe glede na izhodiščno stanje so:

- podatki za fasado: predvidena je vgradnja fasade v debelini 120 mm. Takšna izolacija skupaj z že obstoječo izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3] po celotni površini in sicer $0,276 \text{ W/m}^2\text{K}$ na masivni steni in $0,218 \text{ W/m}^2\text{K}$ na lahki steni.
- izničijo se linijski toplotni mostovi vgradnje oken.
- podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna toplotno izolacijska stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,56$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,06 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevana še odprava toplotnega mostu zaradi vgradnje oken in pa zmanjšanje netesnosti ovoja stavbe.
- podatki za streho in z njo povezanim linijskim toplotnim mostom. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost fasade z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno dodatno izolirati streho na zunanji strani tako, da se doseže toplotno prehodnost $U=0,198 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ oziroma $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$.

Po izvedbi energetske sanacije z izolacijo fasade in strehe ter zamenjavi oken in vrat se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s $151 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $57 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $236 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $123 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-10-BLOK-Fasade + Okna + streha.xls.

4.2.3.6 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti ter zamenjavi oken in vrat (celovita sanacija ovoja)

Pri izračunu energetske bilance celovite sanacije ovoja stavbe, torej po zamenjavi oken in vrat, izolaciji fasade, izolaciji strehe in izolaciji plošče med pritličjem in hladno kletjo se vsi ukrepi seštejejo in je izboljšanje glede na izhodiščno stanje že zelo veliko. Kumulativno so učinki (primerjava z obstoječim stanjem):

- podatki za fasado: predvidena je vgradnja fasade v debelini 120 mm. Takšna izolacija skupaj z že obstoječo izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3] po celotni površini in sicer $0,276 \text{ W/m}^2\text{K}$ na masivni steni in $0,218 \text{ W/m}^2\text{K}$ na lahki steni.
- izničijo se linijski toplotni mostovi vgradnje oken.
- podatki za okna in vrata. Izhodišče energetske sanacije oken in vrat je bila vgradnja takšnih oken in vrat, ki ustrezajo minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. Vhodna vrata so bila zamenjana z vhodnimi vrati s skupno toplotno prehodnostjo $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Okna in balkonska vrata so bila zamenjana s standardnimi izvedbami oken in vrat, ki imajo dvojna toplotno izolacijska stekla (4-16-4) mm in vrednostjo $g=0,56$, kar zagotavlja toplotno prehodnost stekla $U=1,1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ ter toplotno prehodnost okvirja $U=1,3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. Izvedba oken in vrat zmanjšuje linijski toplotni most okvirja oken in vrat s $\psi=0,1 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ na $\psi=0,06 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Pri izračunu je upoštevana še odprava toplotnega mostu zaradi vgradnje oken in pa zmanjšanje netesnosti ovoja stavbe.
- podatki za streho in z njo povezanim linijskim toplotnim mostom. Izhodišče energetske sanacije fasade je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost fasade z izolacijo ustreza minimalnim zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno dodatno izolirati streho na zunanji strani tako, da se doseže toplotno prehodnost $U=0,198 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ oziroma $0,172 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Linijski toplotni most na stiku med nosilno ploščo pritličja in steno kleti je ostal v izračunu isti, čeprav se dejansko za malenkost zmanjša. Izhodišče energetske sanacije stropa neogrevane kleti je bila vgradnja takšne izolacije, da toplotna prehodnost ustreza zahtevam novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah, [3]. V ta namen bi bilo potrebno izolirati strop neogrevane kleti s spodnje strani z vsaj 120 mm izolacije, tako da se doseže toplotno prehodnost manjšo ali enako $U=0,28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Ocenjena zrakotesnost $n_{50} = 1 \text{ h}^{-1}$.

Po izvedbi celovite energetske sanacije ovoja stavbe se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s $151 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $53 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ in potreba po primarni energiji z $236 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$ na $119 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{leto}$.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-11-BLOK-Fasade +

Okna + streha + strop kleti.xls.

4.2.3.7 Energetska bilanca bloka po izolaciji strehe, fasade in stropa neogrevane kleti, zamenjavi oken in vrat in uvedbi prezračevanja z rekuperacijo toplote

Analize pokažejo, da pri celoviti sanaciji ovoja stavbe ventilacijske toplotne izgube prevladajo nad transmisijskimi toplotnimi izgubami tudi brez upoštevanja sončnih dobitkov. Zato je v ukrepe smiselno vključiti še kontrolirano prezračevanje z rekuperatorji. Arhitektura bloka ne omogoča centralnega razvoda, eventuelno pa je možno izvesti rekuperacijo po posameznih enotah. Ali je takšna rešitev estetsko sprejemljiva, je drugo vprašanje. Vseeno pa smo izračunali tudi učinek takega ukrepa (izbran je rekuperacijski sistem s 75 % izkoristkom)

Drugo vprašanje je zamenjava ogrevalnega sistema, ki za konkreten primer nikakor ni smiselna, saj je objekt priključen na toplovodno omrežje.

Po izvedbi celovite sanacije ovoja stavbe (energetske sanacije z izolacijo strehe, fasade in stropa neogrevane kleti, zamenjavo oken in vrat) in po uvedbi prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote se je vrednost specifične toplote za ogrevanje zmanjšala s 151 kWh/m²·leto na 25 kWh/m²·leto in potreba po primarni energiji z 236 kWh/m²·leto na 85 kWh/m²·leto. Omenjene vrednosti so že blizu pasivnemu nivoju stavbe, pri čemer je izbran osnovni rekuperator iz programa PHPP. Izračuni so verjetno nekoliko preoptimistični glede na navade stanovalcev ter delitev stroškov za energijo, dobra stran objekta pa je skoraj idealna oblika kocke in dostopnost za izvedbo res učinkovitih ukrepov.

Izračuni se nahajajo v priloženi datoteki PHPP_CRP V2 0469-12-BLOK-Fasade+Okna+streha+strop kleti+rekuper.xls.

4.2.4 Ekonomska analiza energetske sanacije bloka

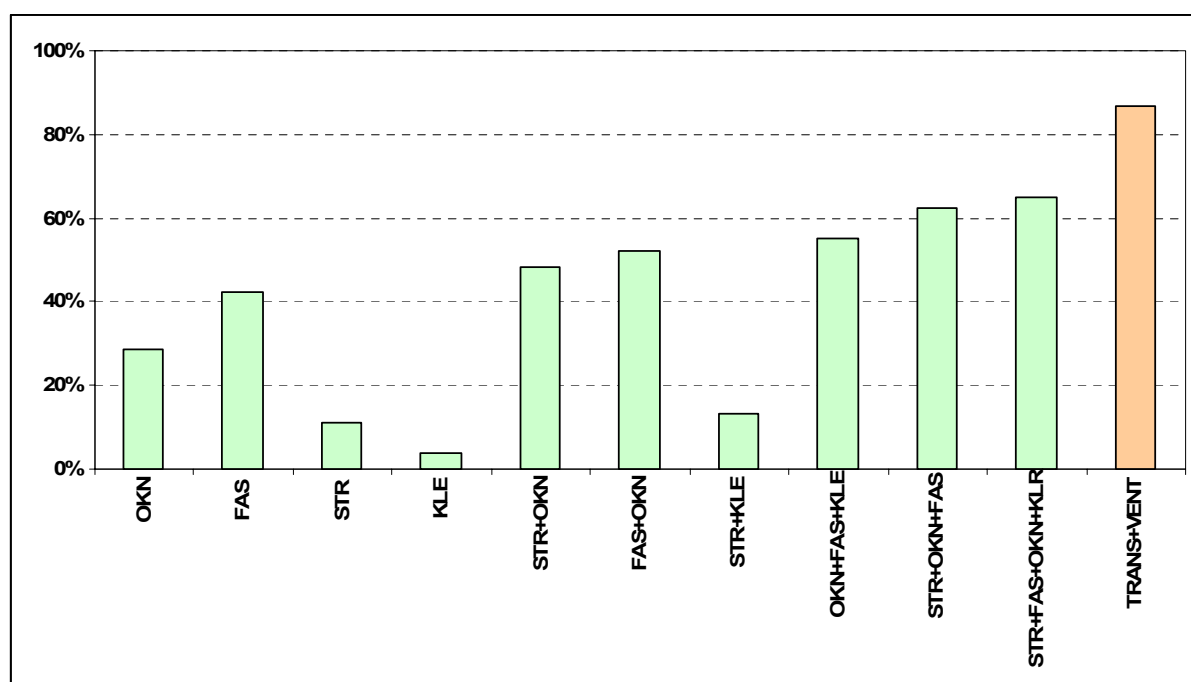
Za izvedbo ekonomske analize energetske sanacije stanovanjske bloka je bil uporabljen že pri hiši omenjen izdelan program v Excelu, ki v osnovi temelji na podatkih predhodno izračunanih energetskih bilanc. Za oceno v primeru bloka je uporabljen isti program, s tem, da je vpeljan tudi dejanski energent, to je toplovod. To je za primer bloka tudi edini relevantni energent, program pa omogoča tudi primerjavo ob hipotetični zamenjavi energenta.

Za primer sanacije bloka je cena izračunana na podlagi kvadrature sanirane površine in ponujene cene sanacije na kvadratni meter. Za ta primer pa ni mogoče natančno izračunati cene zaradi nepredvidenih del pri obnovi fasade (police, keramika/klinker,...). Namesto tega je cena izračunana na osnovi informacije o ceni sanacije na kvadratni meter ob predvidenih ukrepih.

Analiza variant energetskih sanacij večstanovanjskega bloka pokaže, da je kot

parcialni ukrep najučinkovitejša izolacija fasade in sicer predvsem zato, ker so na objektu v področju plošč intenzivni toplotni mostovi, ki so s tem odpravljeni, ter zato, ker izdelava nove fasade pomeni zatesnitev oboda stavbe in s tem bistveno zmanjšanje ventilacijskih izgub. Razmerje je razvidno tudi iz primerjave, prikazane na grafu 1. Posebej se izpostavijo ventilacijske izgube objekta. Ukrepi, ki zmanjšajo ventilacijske izgube, so bistveno učinkovitejši kot ukrepi, kjer to ni zajeto. S tem se izkaže, da je pravzaprav najučinkovitejši ukrep zmanjšanje ventilacijskih izgub, ki pa ga samostojnega ne moremo izvesti oziroma to nima smisla. Iz grafa je razvidno tudi to, da uvedba rekuperacije dodatno bistveno pripomore k energetske učinkovitosti stavbe (oznaka TRANS+VENT).

Graf 1: zmanjšanje rabe energije za ogrevanje v primerjavi z obstoječim stanjem za različne obravnavane variante sanacij.



Energetska učinkovitost parcialnih ukrepov (od najučinkovitejšega do najmanj učinkovitega) po vrsti je:

1. menjava (sanacija) fasade
2. menjava oken
3. izolacija strehe
4. izolacija stropa kleti

Analiza cenovne učinkovitosti pokaže nekoliko drugačno stanje, saj je izolacija fasade relativno drag ukrep. Enako velja za izolacijo strehe, ker je potrebno celotno ravno streho izdelati na novo z vsemi sloji.

Cena posameznih ukrepov, ki smo jih upoštevali, je:

	cena	Vračilna doba*
menjava oken	44.000 EUR	16 let, 9 mes. in 13 dni
sanacija fasade	70.600 EUR	18 let, 1 mes. in 5 dni
sanacija streh	26.000 EUR	25 let, 1 mes. in 2 dni
sanacija stropa kleti	6.000 EUR	16 let, 4 mes. in 26 dni

*Opomba: kot parcialni ukrep

Cenovna učinkovitost parcialnih ukrepov po vrsti (od najučinkovitejšega do najmanj učinkovitega) je:

1. izolacija stropa kleti
2. menjava oken
3. menjava (sanacija) fasade
4. izolacija strehe

Vidimo torej, da zaradi različne cene izvedbe posameznih faz pride do razlike med energetsko in cenovno učinkovitostjo posameznih variant. Prav tako so vračilne dobe pri sanaciji bloka dolge. Vzrok za to je v tem, da stavba v obstoječem stanju ni zelo slaba: ima kompaktno obliko z ugodnim razmerjem obodne površine in ogrevane prostornine, v konstrukcijah je že nakaj toplotne izolacije, energent pa je cenovno zelo učinkovit.

Navedeno pomeni, da je pri sanacijah z ekonomskega stališča ključno to, da se le-te izvedejo z zelo intenzivnimi ukrepi, ker to praviloma ne spreminja cene bistveno. Posledica tega je, da so smiselne sanacije, ki vsaj v izvedenih ukrepih dosegajo pasivni nivo. Sanacije na nizkoenergijski nivo s stališča vračilne dobe in ob upoštevanju spreminjanja stanja tehnike v bodoče večinoma niso smiselne.

Ob tej ugotovitvi pa je nezanemarljivo, da intenzivne energetske prenove ne smemo izvajati na pamet, saj se pojavi vrsta pasti:

- energetske performanse,
- izvedba detajlov,
- sklop z drugimi področji gradbene fizike (svetloba, požar, akustika).

4.3 Ocena poteka projekta v celoti

Delo na projektu je potekalo v skladu s časovnico in sicer vzporedno pri pripravi analize za stanovanjsko hišo (UL-FE/LMK) ter za večstanovanjski blok (ZAG).

Glede na zastavljen načrt je bilo v drugi in tretji fazi projekta uvedenih nekaj manjših smiselnih sprememb oziroma dopolnitev pri simulaciji energetske sanacije obeh tipov stavb.

V najavi projekta smo kot eno izmed faz energetske sanacije predvideli uvedbo avtomatskega prezračevalnega sistema z rekuperacijo toplote ter vgradnjo solarnih kolektorjev in/ali toplotne črpalke. To so lahko tri ločene faze energetske sanacije, od katerih je uvedba avtomatskega centralnega prezračevalnega sistema v praksi malo verjetna zaradi omejene višine prostorov. Obstajajo sicer izvedbe prezračevalnih kanalov pravokotnega prereza z dimenzijami (70x50) mm, kar bi pomenilo približno 10 cm nižje strope, ki so že v osnovi relativno nizki (približno 240 cm). Za učinkovito in neslišno prezračevanje so potrebni kanali okroglega prereza s premerom vsaj 125 mm. To pa verjetno zahteva dodatne spuščene strope, kar lahko precej zniža višino razpoložljivega prostora in bi bilo za mnoge stavbe nesprejemljivo. Nadalje problem prisilnega prezračevanja predstavlja zahteva po določeni stopnji zrakotesnosti. Bolj kot je hiša zrakotesna, bolj učinkovit je prezračevalni sistem. Za preskus zrakotesnosti pri hišah z mehanskim (avtomatskim) prezračevalnim sistemom z izmenjavo več kot 0,7 volumna zraka v hiši se izvaja preskus pri povišanem tlaku 50 Pa (t.i. door blower test). Za učinkovito prezračevanje mora biti zrakotesnost stavbe takšna, da se v dveh urah ne izmenja več kot dvojni volumen zraka. Ta kriterij pri pasivnih hišah je postavljen pri 0,6 volumna zraka. Dobro zrakotesnost stare stavbe je v praksi težko zagotoviti, ker je potrebno zelo detajlno delo pri izvedbi sanacije. Izkušnje meritev na vzorčnem primeru pokažejo, da je tesnenje obstoječe stavbe povezano z večjimi gradbenimi posegi, ki pa niso načrtovani, še posebej v primeru bloka, kjer bi tesnenje pomenilo reševanje vseh stikov lahke konstrukcije. Poleg tega se z drugimi ukrepi (namestitve fasade, zamenjava oken in vrat) tesnost objekta temeljito spremeni. Problem pa predstavljajo obstoječi jaški in dimniki. Kljub temu smo zaradi verjetnega doseganja relativno dobrega tesnenja ovoja stavbe, za učinkovito prezračevanje in s tem ustrezno kakovost zraka uvedli avtomatsko prezračevanje z rekuperacijo toplote. Najbolj enostavni in cenovno ugodni prezračevalni sistemi z rekuperacijo toplote se lahko namestijo neposredno na steno objekta in zadostujejo za prezračevanje enega stanovanja oziroma enega nadstropja v hiši.

Vgradnja solarnih kolektorjev za ogrevanje tople vode je sicer zaželjena in sprejemljiva, vendar je le-ta odvisna od lokacije oziroma orientacije strehe in razpoložljive površine pri večstanovanjskih stavbah. Izvedba je sicer enostavnejša pri enostanovanjskih stavbah, vendar smo se zaradi primerljivosti energetske sanacije pri obeh vrstah stavb odločili, da jo izpustimo. Zaradi pomanjkanja sončne energije pozimi to ni samostojna in celovita rešitev, pač pa potrebuje pri ogrevanju dopolnitev. Pri pasivnih in nizkoenergetskih hišah dopolnitev solarnim kolektorjem predstavlja toplotna črpalka. Problem solarnih kolektorjev predstavlja tudi odvajanje viška energije v poletnih mesecih. Poleg tega je obravnavani stanovanjski blok priključen na daljinsko ogrevanje.

Pri energetske sanaciji starih stavb je v praksi malo verjetna uvedba toplotne črpalke bodisi s sistemom zemlja-voda ali voda-voda. Pri sistemu zrak-voda je grelno število pozimi najmanjše, poleg tega pa so drage izvedbe toplotnih črpalk, ki delujejo tudi pri temperaturah nižjih od 0 °C. Tega sistema v osnovi ne priporočamo za ogrevanje. Pri sistemu voda-voda je v osnovi problem razpoložljivost podtalnice, povrh vsega pa je potrebno za delovanje takšnega načina ogrevanja pridobiti ustrezno soglasje Ministrstva za okolje in prostor. Sistem toplotne črpalke zemlja-voda je sicer najbolj enostaven, vendar je glede na potrebno ogrevalno moč in sestavo zemlje potrebno imeti na razpolago dovolj veliko površino ali pa pridobiti dovoljenje za izvrtanje in namestitev geosond. V grobem lahko ocenimo, da potrebujemo za ogrevanje določene površine stanovanja približno dvakrat večjo površino zemlje, v katero na globini približno 1,2 do 1,5 m zakopljemo zemeljski kolektor. Grelno število toplotne črpalke je tudi nižje pri radiatorskem sistemu ogrevanja. Toplotne črpalke so v osnovi predvidene za ogrevanje v kombinaciji z nizkotemperaturnim ogrevalnim sistemom (talno, stensko gretje). Ker izvedba pri starih stavbah iz navedenih razlogov v praksi ni verjetna, smo se odločili, da izpustimo študijo uvedbe ogrevanja s toplotno črpalko.

Ker pa ima večina starejših stavb neogrevane kleti, smo se odločili, da dodatno uvedemo fazo izolacije stropa neogrevane kleti. Tudi pri tej fazi je vprašljiva prostorska razpoložljivost zaradi višine stropa kleti, vendar v tem primeru zmanjšana višina ne predstavlja bistvenega zmanjšanja kakovosti bivanja, ker je zadrževanje ljudi v kleti zgolj kratkotrajno.

Rezultati, ki smo jih dobili v projektu kažejo, da je energetska sanacija starih stavb smiselna in realno izvedljiva, tako s tehničnega kot tudi z ekonomskega vidika. Še posebej je priporočljiva celovita energetska sanacija, kajti vračilna doba pri vseh energentih razen pri sekancih ni pretirano dolga (6 do 15 let v odvisnosti od energenta in izkoristkov grelnega sistema) in tudi ne bistveno daljša od vračilne dobe pri posameznih fazah energetske sanacije, v nekaterih primerih pa je celo krajša (streha, strop neogrevane kleti). Edina ovira pri celoviti energetske sanaciji je relativno visoka investicija, ki pa po naši oceni predstavlja zgolj med 1/5 in 1/7 investicije v novo stavbo s primerljivimi energetskimi lastnostmi in površinami.

Glede na sedanje stanje projekta bi bilo zanimivo izvesti nadaljevanje študije energetske sanacije do nizkoenergetskega standarda (NEH) oziroma pasivnega standarda (PH). Nadaljevanje obstoječe študije o upravičenosti doseganja tako nizkih energetskih potreb bi trajalo približno 6 mesecev in bi predvsem obsegalo realno oceno ekonomske upravičenosti take sanacije.

Projekt je izvajalcem nazorno pokazal, da je na mnogih segmentih koristno sodelovanje strokovnjakov različnih profilov in znanj. Takšnega sodelovanja je v Sloveniji na mnogih področjih bistveno premalo. Zato se kot vodja raziskovalnega projekta zahvaljujem za učinkovito sodelovanje Zavodu za gradbeništvo Slovenije, predvsem vodji in osebju Laboratorija za toplotno zaščito.

Vodja raziskovalnega projekta
doc. dr. Igor Pušnik

4.4 Literatura

- [1] MOP-ARSO, Testno referenčno leto, Ljubljana junij 2008
- [2] PUŠNIK, Igor. Problematika merjenja s termografskimi kamerami pri ugotavljanju energetske učinkovitosti stavb. Elektroteh. vestn., 2008, letn. 75, št. 4, str. 171-176
- [3] MOP, Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Ur. list RS 93/2008, str. 12698-12717
- [4] <http://www.umanotera.org/index.php?node=170> (30.4.2009)

4.5 Priloge

4.5.1 Stanovanjska hiša

1. pomožni izračuni.xls
2. test_ref_year_ljubljana.xls
3. test_ref_year_description.doc
4. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca pred energetske sanacijo.xls
5. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetske sanaciji_okna.xls
6. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetske sanaciji_fasada.xls
7. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetske sanaciji_streha.xls
8. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša bilanca po energetske sanaciji_klet.xls
9. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša sanacija_okna_streha.xls
10. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša sanacija_okna_fasada.xls
11. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša sanacija_streha_klet.xls
12. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša sanacija_okna_fasada_klet.xls
13. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša sanacija_okna_fasada_streha.xls
14. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša sanacija_okna_fasada_klet_streha.xls
15. PHPP2007_CRP V2 0469 hiša okna_fasada_klet_streha_ventilacija.xls
16. Lossnay_VL-100U-E tehnični podatki.pdf
17. Prihranki hiša_končna verzija.xls

4.5.2 Stanovanjski blok

1. PHPP_CRP V2 0469-1-BLOK-Obstojece stanje.xls
2. PHPP_CRP V2 0469-2-BLOK-Okna.xls
3. PHPP_CRP V2 0469-3-BLOK-Fasade.xls
4. PHPP_CRP V2 0469-4-BLOK-Streha.xls
5. PHPP_CRP V2 0469-5-BLOK-Strop kleti.xls
6. PHPP_CRP V2 0469-6-BLOK-Streha + Okna.xls
7. PHPP_CRP V2 0469-7-BLOK-Fasade + Okna.xls
8. PHPP_CRP V2 0469-8-BLOK-Streha + strop kleti.xls
9. PHPP_CRP V2 0469-9-BLOK-Fasade + Okna + strop kleti.xls
10. PHPP_CRP V2 0469-10-BLOK-Fasade + Okna + streha.xls
11. PHPP_CRP V2 0469-11-BLOK-Fasade + Okna + streha + strop kleti.xls
12. PHPP_CRP V2 0469-12-BLOK-Fasade+Okna+streha+strop kleti+rekuper.xls