

**VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA,
MARIBOR**

DIPLOMSKO DELO

**IZVEDBA TOPLOTNEGA OVOJA IN ZRAKOTESNOSTI NA
PRIMERU HIŠE »VITA NOVA«
IN MERITEV ZRAKOTESNOSTI**

Kandidat: David Hribernik

Študent študija ob delu

Številka indeksa: 11190060017

Program: gradbeništvo

Mentor v šoli: Benedikt Boršič

Mentor v podjetju: Robert Menonni

Maribor, junij 2011

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani David Hribernik z vpisno številko 11190060017 izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:

IZVEDBA TOPLOTNEGA OVOJA IN ZRAKOTESNOSTI NA PRIMERU HIŠE »VITA NOVA« IN MERITEV ZRAKOTESNOSTI

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo diplomsko delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženi nalogi, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia,
- se zavedam, da je plagiatorstvo – predstavljanje tujih del oz. misli, kot moje lastne kaznivo po Zakonu o avtorskih in sorodnih pravicah; UL št. 16/2007; (v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom VSŠ Academia skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32. členom ZASP dovoljujem VSŠ Academia objavo diplomske naloge na spletnem portalu šole.

Maribor,

Podpis:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju Višje strokovne šole Academia Maribor Benediktu Boršiču za izkazano zaupanje ob mentorstvu ter mentorju v podjetju Kager d.o.o. Robertu Menoniju za strokovno vodenje in svetovanje pri pisanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se podjetju Kager d.o.o., ki mi je omogočilo izobraževanje na Višji strokovni šoli Academia Maribor in nabiranje izkušenj ob delu.

Prav tako gre zahvala celotnemu osebju Višje strokovne šole Academia Maribor za pridobljeno znanje, izkušnje, pozitiven odnos ter dvigovanje morale in samozavesti v najtežjih trenutkih.

Največjo zahvalo si vsekakor zasluži moja družina, ki mi je stala ob strani s spodbujanjem in potrpežljivostjo.

POVZETEK

Kadar se odločamo za energijsko varčno gradnjo, je zelo pomembno, da v to gradnjo vključimo strokovnjake, ki so na tem področju dobro usposobljeni in imajo tudi dovolj izkušenj.

Že samo nepravilna izbira materialov, ki so morda cenejši od drugih, se lahko čez nekaj let izkaže kot slaba naložba. Gradnja energijsko varčnega objekta se začne že pri samem projektiranju. Projektant mora točno vedeti, kateri materiali se bodo uporabili, kajti le na ta način lahko izbere pravilne detajle, ki bodo zagotovili zrakotesnost zgrajenega objekta.

Kot dokaz o zrakotesnosti objekta nam je na razpolago naprava za merjenje zrakotesnosti, s katero lahko ob pravočasnem merjenju odkrijemo in odpravimo morebitne napake.

Ključne besede: nizkoenergijske hiše, toplotni ovoj, zrakotesni ovoj, meritev zrakotesnosti

ABSTRACT

When we decide for an energy saving construction it is very important to include professionals, who are very well trained in that field and have enough experience, in that construction.

Just the wrong choice of materials, which may be cheaper than others, can prove a poor investment in the following years. The construction of an energy saving object begins at the very design. The designer must know exactly which materials will be used, because only in that manner can the designer choose adequate details, which will provide air-tightness of the constructed object.

The device for measuring air-tightness is available for providing evidence of air-tightness of the object. With this device we can discover and eliminate potential errors if measurements are undertaken in time.

Key words: low-energy houses, thermal envelope, airtight envelope, air-tightness measurements

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	3
POVZETEK	4
ABSTRACT	5
1 UVOD.....	8
1.1 Opredelitev obravnavane zadeve	9
1.2 Namen, cilji in osnovne trditve	9
2 O PODJETJU KAGER D.O.O.	10
3 UVOD V TEMATIKO TOPLOTNEGA OVOJA IN MERITEV ZRAKOTESNOSTI..	11
3.1 Toplotni ovoj.....	11
3.2 Meritev zrakotesnosti (Blower door test)	13
4 GRAFIČNI PRIKAZ DETAJLOV TOPLOTNEGA OVOJA PO SISTEMU KAGER – za objekt »Vita nova«	15
4.1 Tla na terenu	16
4.2 Zunanja stena – vidni skelet z zasteklitvijo	17
4.3 Zunanja (polna) stena.....	18
4.4 Strešna konstrukcija – polno izolirana 300 mm.....	19
5 OSNOVNE ZNAČILNOSTI ZRAKOTESNOSTI OVOJA STAVBE IN PRIKAZ MERITEV	20
5.1 Zrakotesnost.....	21
5.1.1 Načrtovanje zrakotesnega ovoja.....	22
5.1.2 Principi načrtovanja zrakotesnega ovoja zgradbe	23
5.1.3 Izvedba zrakotesnega ovoja po sistemu Kager HIŠA D.O.O. – za objekt »Vita nova« 24	
5.2 Meritev zrakotesnosti na gradbišču z merilno napravo Blower door	29
5.3 Odkrivanje napak med merjenjem zrakotesnosti in odpravljanje le-teh.....	31
6 STROŠKI MERITEV	35
7 ZAKLJUČEK	36
8 UPORABLJENA LITERATURA IN VIRI	37
PRILOGA.....	38

KAZALO SLIK

Slika 1: Toplotni ovoj objekta mora biti neprekinjen.....	12
Slika 2: Ventilator z merilno napravo, ki v hiši ustvari podtlak / nadtlak, nameščen na vhodna vrata	13
Slika 3: Merjenje količine uhajanja zraka z anemometrom	14
Slika 4: Prikaz toplotnega ovoja zgradbe in označba detajlov, ki bodo predstavljeni v naslednjih poglavjih.....	15
Slika 5: Toplotna izolacija temeljne plošče pri NEH-D1	16
Slika 6: Detajl zunanje skeletne stene s fiksno zasteklitvijo (Vita nova) - D2.....	17
Slika 7: Detajl zunanje polne stene z oknom, vgrajenim po RAL-u - D3	18
Slika 8: Detajl polno izolirane strehe (300 mm - lesena vlakna) - D4	19
Slika 9: Uhajanje pare oziroma dima skozi slabo izolirano in ne zrakotesno streho	20
Slika 10: Rdeča črta prestavlja zrakotesno ravnino, ki mora biti po celotnem objektu neprekinjena	23
Slika 11: Tlorisno prikazan detajl stika dveh sten, kjer pred spajanjem sten na montaži namestijo tesnilne trakove v za to pripravljene utore	25
Slika 12: Detajl vgrajenega okna s tesnilnimi trakovi po RAL-u (pogled s strani)	26
Slika 13: Tlorisno prikazan detajl vgrajenega stekla po RAL-u. Le dobro zatesnjeno steklo lahko dosega svojo vrednost $U_G = 0,6 \text{ W/m}^2$	27
Slika 14: Detajl stika strehe z zunanjo steno (pogled s strani) Folija, ki je spuščena s stene, se ob montaži po vgraditvi strehe na steno prilepi z zračno zaporo na strešni element	28
Slika 15: Tesnjenje strojno inštalacijskih prebojev z gradbeno - montažno peno.....	29
Slika 16: Tesnjenje elektro inštalacijskih prebojev z baloni	30
Slika 17: Vgrajena vrata s folijo, v katerih je vgrajen ventilator z merilno napravo.....	30
Slika 18: uhajanje zraka skozi zgornji desni vogal drsnih vrat, zaradi slabo nameščenih tesnil	31
Slika 19: Uhajanje zraka skozi spodnji desni vogal vrat zaradi slabo nameščenih tesnil	32
Slika 20: Slabo zalepljena folija na strešni element, kjer je uhajal zrak	32
Slika 21: Uhajanje zraka skozi električne kanale, kar je bila napaka električarjev.....	33
Slika 22: Odkrivanje uhajanja zraka s termovizijskim aparatom	34

1 UVOD

Toplotni ovoj pomeni obleko hiše, ki jo pozimi ščiti pred mrzlim zrakom, poleti pa pred pregrevanjem. **Sklenjen toplotni ovoj** pomeni izvedbo toplotne izolacije objekta po **zunanjem obodu** brez prekinitev. Zunanji ovoj je potrebno načrtovati tako, da je njegova toplotna izolativnost čim bolj enakomerna, toplotna izolacija sklenjena in enake debeline po celotnem zunanjem ovoju.

Toplotni ovoj ali zrakotesnost objekta se v zadnjih nekaj letih vedno bolj uveljavlja pri gradnji objektov, kot so šole, vrtci, manjši poslovni prostori, še vedno pa se najbolj uveljavlja pri gradnji stanovanjskih objektov. Ker so cene za razne energente, s katerimi se pozimi ogrevamo (kurilno olje, plin, elektrika) in poleti hladimo (klime), vsako leto višje, se vedno več ljudi ravno zaradi tega odloča za nizkoenergijske ali pasivne hiše. Pogoj za nizkoenergijsko ali pasivno hišo pa sta ravno sklenjen toplotni ovoj in zrakotesnost teh hiš.

Zaradi nove tehnologije in novih materialov, ki se danes uporabljajo pri gradnji objektov, imajo projektanti zelo zahtevno nalogo pri izbiri materialov. Vedeti morajo, katere materiale bodo uporabili za fasade in katere za zrakotesni ovoj. Ne dolgo tega so se na primer za zrakotesni ovoj na notranji strani uporabljale PE-folije, torej polietilenske, danes pa jih večina uporablja OSB ali LSB plošče, ki so enako učinkovite kot PE-folija (so zrakotesne).

Poleg poznavanja materialov za gradnjo morajo projektanti zelo dobro vedeti tudi, kateri detajli se bodo uporabljali za posamezen objekt, saj se ob slabi izbiri detajla in izvedbi le-tega, lahko zgodi, da objekt ne bo tesnil, kot je predpisano v merilih za energijsko varčne gradnje. Poleg tega mora biti tudi nadzor gradnje zdaj na višji ravni, kot je bil nekdanj.

Torej se v današnjem času splača razmisliti, ali bomo v gradnjo vključili strokovne projektante, nadzornike in izvajalce – ko je objekt že zaključen, je namreč sanacija dosti dražja od cene na primer strokovnega nadzornika.

Poleg vsega omenjenega je zelo priporočljiva meritev zrakotesnosti z **Blower door** testom, ki nam pove, ali so izvajalci, projektanti in nadzorniki dobro opravili svoje delo.

1.1 Opredelitev obravnavane zadeve

Za doseganje standarda nizkoenergijske gradnje sta pomembna celoten ovoj zgradbe in tudi ustroj njenega delovanja. Vsaka komponenta ima svoj pomen, šele upoštevanje vseh da zadovoljiv rezultat. Velik pomen imajo toplotni ovoj zgradbe, njegova oblika, sestava in kakovost izvedbe. Zato, morajo biti pred gradnjo izdelane vse rešitve za toplotne mostove, do katerih prihaja na objektu. Za primer si lahko predstavljamo, če damo na primer neko stvar v vrečko in jo zapremo. Do te stvari v vrečki ne bo prišel ne topel in ne hladen zrak in tudi mokra ne bi postala, če bi ta vrečka imela sposobnost odvajanja vlažnega in slabega zraka ki se ustvarja v vrečki. Takšen toplotni ovoj moramo tudi zagotoviti na nizkoenergijskih hišah. Ko to zagotovimo, lahko govorimo o zrakotesnosti.

Seveda pa ima hiša v primerjavi z vrečko še komponente ki prekinjajo toplotni ovoj stavbe o katerih bo v diplomskem delu tudi predstavljeno ter seveda detajli in načini izvedbe.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomske naloge je, predstaviti izvedbo toplotnega ovoja na nizkoenergijski hiši Kager d.o.o. in pa dokaz zrakotesnosti z meritvami te hiše. To pomeni, da se bom osredotočil in prikazal vse detajle, ki so problematični za toplotne mostove zaradi katerih ponavadi uhaja zrak iz ovoja stavbe. Toplotni mostovi se največkrat pojavljajo pri stavbnem pohištvi (okna, vhodna vrata, balkonska vrata), stropovi proti neogrevanih prostorih, strehi in pa talni plošči oziroma estrihih ter raznih prebojih za inštalacije.

Namen je tudi predstaviti napravo za meritev zrakotesnosti BLOWER DOOR test in pa kako se uporablja.

Po končani montaži, bomo z uporabo testa BLOWER DOOR, preizkusili zrakotesnost te hiše in poskušali ugotoviti, če je toplotni ovoj izveden kvalitetno, kajti v nasprotnem primeru še lahko odpravimo morebitne napake. Po odpravi morebitnih napak in vseh zaključenih obrtniških delih, torej do vselitve investitorja, bomo še enkrat izvedli blower door test in z njim ugotavljali, če je uhajanje zraka ki ga bomo izmerili v mejah dopustnosti po standardu o nizkoenergijskih in pasivnih hišah.

2 O PODJETJU KAGER D.O.O.

Podjetje Kager d.o.o. se ukvarja s proizvodnjo in montažo nizkoenergijskih montažnih hiš (v nadaljevanju NEH) že dobrih 20 let. V začetku je gradnja potekala na skeletni način na gradbišču, nato pa se je večino gradnje premestilo v proizvodnjo, kjer izdelujejo večje elemente, kot so stene, stropni elementi, strešni elementi, ki se na gradbišču sestavijo s pomočjo dvigala. Ker se podjetje pri načrtovanju in gradnji prilagaja željam stranke, je lastnik podjetja g. Kager ponudil strankam še več: začel je z gradnjo hiš, ki se imenujejo »Vita nova« (Novo življenje) in v Sloveniji postavil že več kot pet hiš te vrste.

Gre za skeletno gradnjo, pri kateri je les obdelan do pahištvne natančnosti, večji del hiše pa je zastekljen. Ne glede na to, da je večina objekta zastekljenega, spada tudi ta vrsta hiše v nizkoenergijski razred, saj so se v zadnjem času na novejših hišah te vrste izvajale meritve zrakotesnosti in rezultati so pokazali manj kot 1,0 izmenjave zraka na uro, kar pomeni, da spada v razred nizkoenergijskih hiš.

Ena izmed njih, ki je bila zgrajena pred približno pol leta v Jurovskem dolu, je predstavljena v tej diplomski nalogi. Gre za podrobno predstavitev toplotnega in zrakotesnega ovoja tega objekta ter meritve zrakotesnosti z Blower door testom.

3 UVOD V TEMATIKO TOPLOTNEGA OVOJA IN MERITEV ZRAKOTESNOSTI

Za doseganje standarda nizkoenergijske gradnje sta pomembna celoten ovoj zgradbe in ustroj njenega delovanja. Vsaka komponenta ima svoj pomen, šele upoštevanje vseh da zadovoljiv rezultat. Velik pomen imajo toplotni ovoj zgradbe, njegova oblika ter sestava in kakovost izvedbe. Zato morajo biti pred gradnjo izdelane vse rešitve za toplotne mostove, do katerih prihaja na objektu.

Da bi se izognili toplotnim mostovom in veliki porabi energije za ogrevanje stavbe ali hlajenje v poletnih dneh, se moramo držati zelo pomembnega pravila, ki pravi, da je **pogoj za dobro izolirano stavbo sklenjen toplotni ovoj**.

Za ugotavljanje, če je izvedba toplotnega ovoja kakovostna, pa uporabljamo meritev zrakotesnosti ali Blower door test. S tem testom ugotovimo, kje obod objekta ni zrakotesen. Če je, so bile meritve opravljene pravočasno, lahko napake popravimo s saniranjem teh kritičnih mest.

(http://www.fa.uni-lj.si/filelib/2_novice/razno/knjige/pasivna_pdf_internet.pdf, dne 23.4.2011)

3.1 Toplotni ovoj

Toplotni ovoj zgradbe predstavljajo vsi gradbeni elementi, ki tvorijo mejo med dvema temperaturnima območjema, poteka pa po **zunanjem delu** stavbe. To so zunanje stene, notranje stene proti neogrevanim delom stavbe, streha, tla, okna in zunanja vrata. Znotraj toplotnega ovoja morajo biti tisti prostori, ki so stalno ogrevani, zunaj toplotnega ovoja pa so neogrevane kleti, shrambe, garaže in ostali pomožni prostori. Zaradi čim boljšega faktorja oblike mora biti toplotni ovoj čim bolj kompakten.

Pri NEH in PH morajo biti vsi elementi toplotnega ovoja (brez izjeme) dobro toplotno izolirani. Zelo pomembno je, da toplotnoizolativna plast poteka neprekinjeno po vsem ovoju. Toplotna izolacija mora prekrivati okna in vrata (špalete), ki so tudi toplotnoizolacijska.

Izogibati se je potrebno tudi prebojem na zunanji strani ovoja in pravilno izvesti stike. Kljub dobri toplotni zaščiti, vendar brez rešenih toplotnih mostov, lahko delež toplotnih izgub zaradi toplotnih mostov predstavlja več kot tretjino vseh transmisijskih toplotnih izgub. (http://www.fa.uni-lj.si/filelib/2_novice/razno/knjige/pasivna_pdf_internet.pdf 11.3.2011)

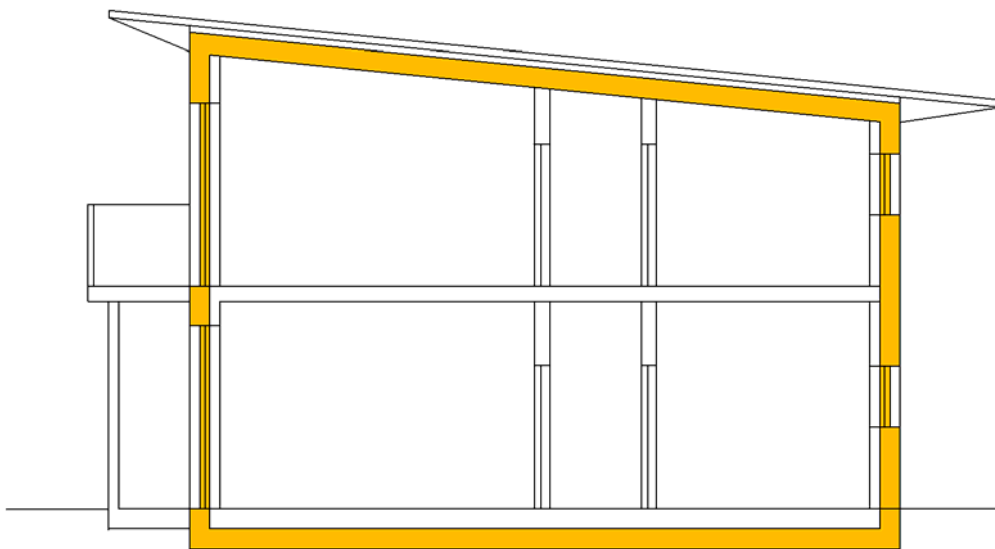
Zato je zelo pomembno, da se že pri projektiranju določi, kateri detajli in kateri materiali ustrezajo posameznemu objektu, ki mu bodo zagotavljali sklenjen toplotni ovoj.

Na spodnji sliki je prikazan sklenjen toplotni ovoj. Z nje je razvidno, da se toplotni ovoj začne izvajati že pri temeljenju betonske plošče, nadaljuje se na stene, kjer je potrebno poleg stikov med stenami in toplotno izolacijo biti pozoren tudi na pravilno izbiro in vgradnjo oken ter vrat, konča pa se pri strehi.

Vsi elementi, ki sklenjujejo toplotni ovoj NEH Kager »Vita nova«, imajo naslednje vrednosti:

- Tla na terenu (temeljna plošča) imajo U-vrednost cca. $0,20 \text{ W/m}^2$.
- U-vrednost pri zunanji steni z 260 mm toplotne izolacije znaša $0,17 \text{ W/m}^2$.
- Vidni skelet s fiksno zasteklitvijo ima U-vrednost $0,6 \text{ W/m}^2$.
U-vrednost oken in vrat znaša $0,96 \text{ W/m}^2$.
- Streha s 300 mm toplotne izolacije (lesna vlakna) ima U-vrednost $0,14 \text{ W/m}^2$.

Nižja kot je U-vrednost toplotno izolacijskih materialov, manjša je toplotna izguba.



Slika 1: Toplotni ovoj objekta mora biti neprekinjen

Vir: Lasten

3.2 Meritev zrakotesnosti (*Blower door test*)

Zrakotesnost v stavbi preverjamo s t.i. Blower door testom. Običajno se naprava za merjenje zrakotesnosti postavi v okensko odprtino ali odprtino vhodnih vrat, ki jih tako zrakotesno zapremo. To smo v našem primeru storili z okvirjem in folijo.

Pred izvedbo meritve se na hiši zaprejo oziroma zalepijo (PO POTREBI ZAČASNO ZATESNIJO), vse odprtine, ki bodo kasneje zaprte (luknje za kljuke na vratih in oknih, cevi prezračevalne naprave, sifoni).

Po tem se v merilno napravo vnesejo podatki o objektu, in sicer tlorisna površina, višina in prostornina. Prav tako moramo v napravo vpisati, ali je objekt še v fazi gradnje ali je že vseljen, kdo je oseba, ki izvaja test, kaj točno merimo (v našem primeru nadtlak in podtlak), vpisati pa je potrebno tudi, kolikšna je moč vetra zunaj. Ko so podatki vneseni, moramo najprej na kratko prekriti ventilator in pustiti, da se naprava za merjenje uravna, potem ventilator odkrijemo in vklopimo napravo. Ko ustvarimo stalen podtlak (izsesavanje zraka iz objekta) v objektu, velikosti 50Pa, izmerimo količino zraka, ki ga moramo konstantno vpihovati, da imamo stalen podtlak v višini 50Pa. Tako lahko izračunamo razmerje med celotnim volumnom stavbe in količino zraka, ki ga moramo vpihati. Največja dovoljena izmenjava zraka skozi netesna mesta pri pasivni hiši je 0,6 celotnega volumna stavbe, za NEH hiše pa 1,0. (<http://www.thermofloc.si/index.php/blower-door-test.html> 12.3.2011)



Slika 2: Ventilator z merilno napravo, ki v hiši ustvari podtlak / nadtlak, nameščen na vhodna vrata

Vir: <http://www.thermofloc.si/index.php/blower-door-test.html> 12.3.2011

Za preverjanje zrakotesnosti se uporabljajo posebne dimne ampule, s katerimi spustimo dim v predelih okenskih špalet, ob robovih zunanjih vrat ter denimo tam, kjer potekajo električne inštalacije. Če ta mesta ne bi tesnila, bi zračni tok dim odrinil proč. Pomembne so zunanje stene. Če z dimnimi ampulami ugotovimo, da kateri izmed naštetih predelov ne tesni dovolj dobro oziroma da ni v mejah dopustnega, se to mesto zabeleži. Če je možno, se napake odpravijo kar sproti, če gre za večjo napako, pa je treba steno odpreti in problem sanirati.

Anemometer je naprava, s katero določimo hitrost zraka (prepiha) v določeni točki. Glede na velikost luknje ali špranje, kjer merimo, ocenimo dejanski pretok zraka, npr.: v ozki špranji širine približno 0,5 mm in dolžine 10 cm, kjer je pretok zraka 0,8 m/s, je pretok zraka približno 60-krat manjši kot pri luknji širine 5 mm in dolžine 2,5 m ter s hitrostjo pretoka 0,1 m/s, čeprav je v drugem primeru hitrost pretoka zraka 8-krat manjša. (<http://www.thermofloc.si/index.php/blower-door-test.html> 13.3.2011)



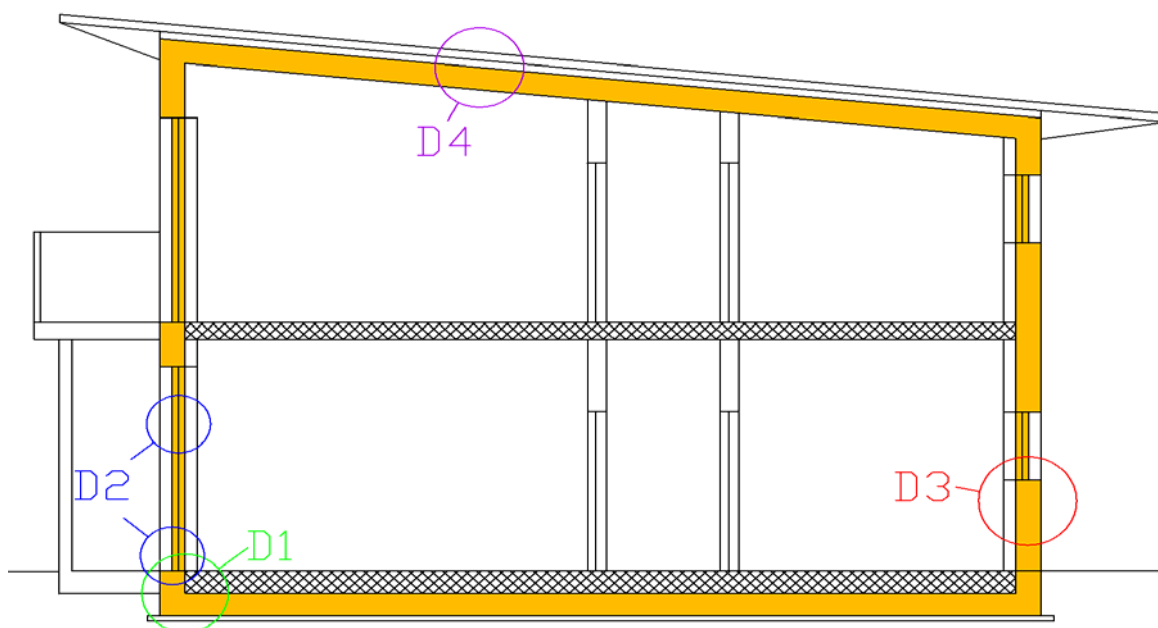
Slika 3: Merjenje količine uhajanja zraka z anemometrom

Vir: <http://www.thermofloc.si/index.php/blower-door-test.html> 13.3.2011

4 GRAFIČNI PRIKAZ DETAJLOV TOPLOTNEGA OVOJA PO SISTEMU KAGER – za objekt »Vita nova«

V poglavju št. 3. *TOPLOTNI OVOJ*, je bilo predstavljeno vse o toplotnem ovoju zgradbe in ugotovljeno je bilo bistvo, da je pogoj za dobro izolirano hišo **sklenjen toplotni ovoj** brez prekinitev po zunanjem delu stavbe.

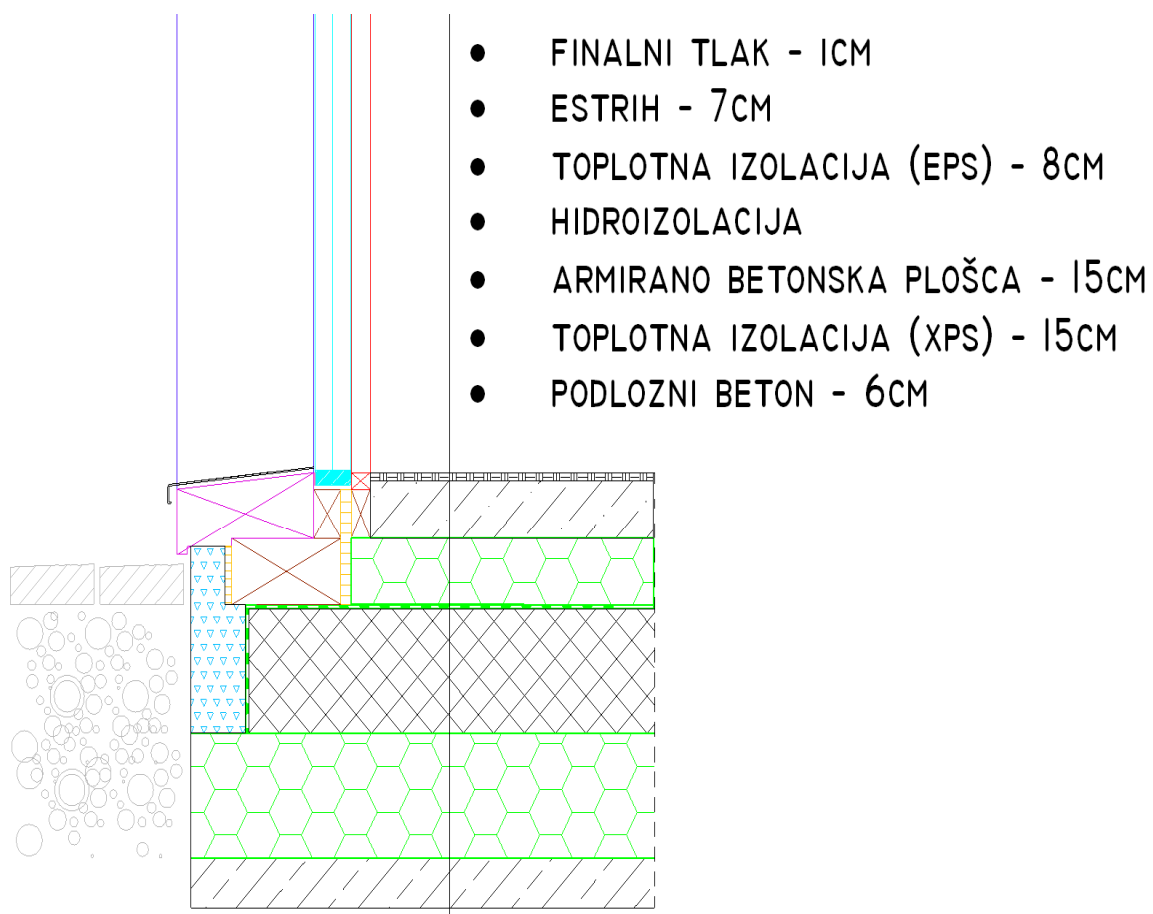
Tukaj lahko vidimo, da je delo projektanta zelo zahtevno, saj se pri projektiranju objektov srečuje z velikim številom detajlov, ki jim mora posvetiti ogromno pozornosti, saj lahko ne zrakotesen objekt prinese velike izgube toplote z uhajanjem zraka skozi konstrukcijo. Zato bodo v tem poglavju podrobneje prikazani vsi detajli, ki so pomembni za sklenjen toplotni ovoj izbranega objekta Vita nova, na katerem je bil tudi izveden test zrakotesnosti – Blower door test.



Slika 4: Prikaz toplotnega ovoja zgradbe in označba detajlov, ki bodo predstavljeni v naslednjih poglavjih

Vir: Lasten

4.1 Tla na terenu

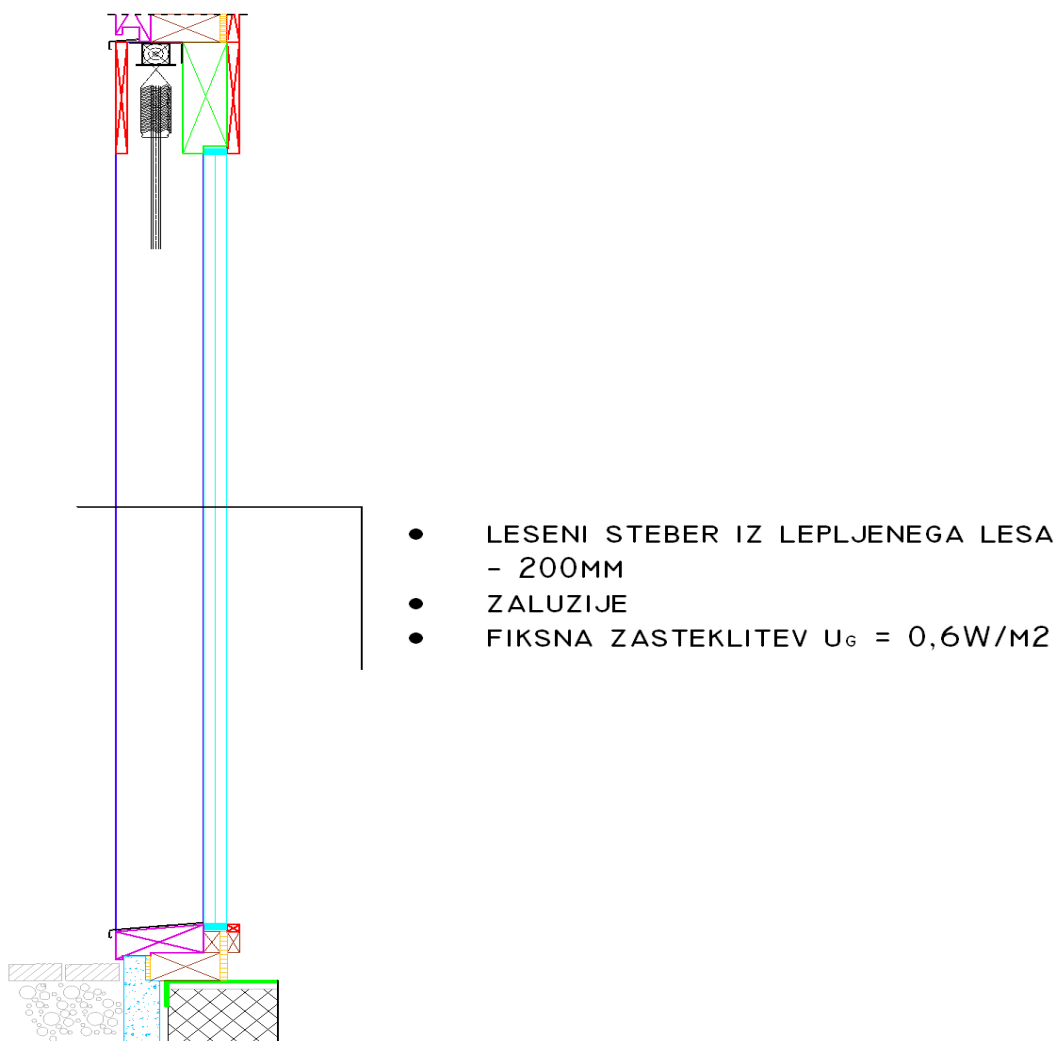


Slika 5: Toplotna izolacija temeljne plošče pri NEH-D1

Vir: Lasten

4.2 Zunanja stena – vidni skelet z zasteklitvijo

Fiksna zasteklitev $U_G = 0,6 \text{ W/m}^2$



Slika 6: Detajl zunanje skeletne stene s fiksno zasteklitvijo (Vita nova) - D2

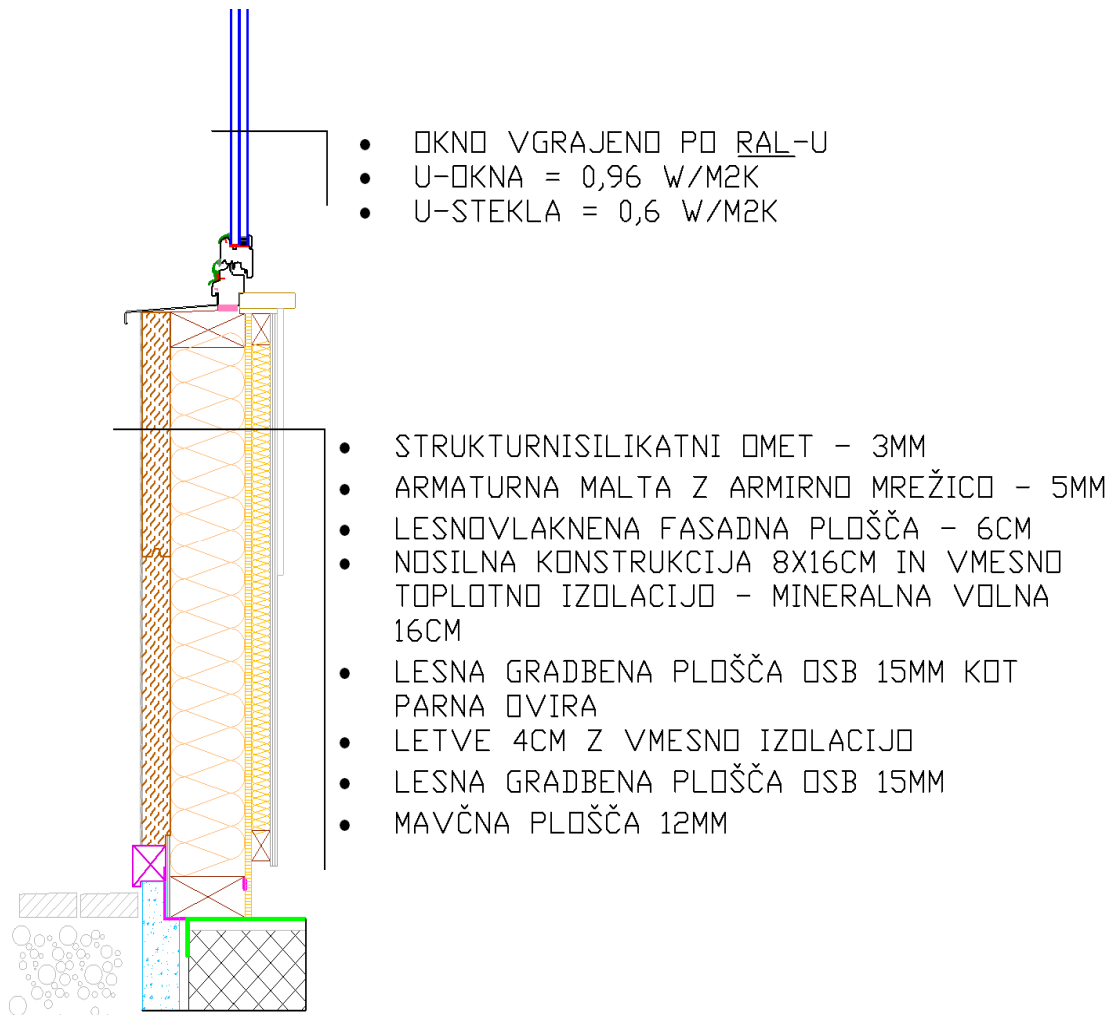
Vir: Lasten

4.3 Zunanja (polna) stena

Zunanja polna stena, $U = 0,17 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Fazni zamik, $\eta_{EM} = 9,7\text{h}$

Okna in balkonska vrata, $U\text{-stekla} = 0,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$, $U\text{-okna} = 0,96 \text{ W/m}^2 \text{ K}$



Slika 7: Detajl zunanje polne stene z oknom, vgrajenim po RAL-u - D3

Vir: Lasten

4.4 Strešna konstrukcija – polno izolirana 300 mm

Vrednost polno izolirane strešne konstrukcije znaša: $U = 0,14 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

Fazni zamik: $\eta_{EM} = 12,3\text{h}$



Slika 8: Detajl polno izolirane strehe (300 mm - lesena vlakna) - D4

Vir: Lasten

5 OSNOVNE ZNAČILNOSTI ZRAKOTESNOSTI OVOJA STAVBE IN PRIKAZ MERITEV

Zrakotesnost, ki bi jo lahko poimenovali tudi parotesnost, je pomembna tako z zornega kota porabe energije kot zaradi preprečevanja gradbenih poškodb.

V naših podnebnih razmerah je v stavbi večino leta bolj toplo kot zunaj nje. Ker se zraku s spreminjanjem temperature spreminja tudi tlak, bi zrakotesna hiša, v kolikor bi bila lahka kot balon, poletela. Ker pa to ni mogoče, topel zrak išče netesne stike v ovoju stavbe. Težava je v tem, da se topel zrak, ko prehaja skozi gradbeni sklop (stena, streha ipd.) ohlaja, pri tem pa kondenzira. Pred leti, ko smo imeli vgrajena slabša oz. manj tesna okna, poraba energije za ogrevanje in hlajenje pa ni bila tako pomembna, kot je danes, je večina toplega zraka prehajala skozi netesna okna. Danes ima večina tistih, ki so stara okna zamenjali z novimi, problem s pojavom plesni v stavbi. Ta nastaja deloma zaradi boljše tesnosti stavbe, deloma pa zaradi nezadostnega prezračevanja prostorov in toplotnih mostov, saj so vogali stavb praviloma pomanjkljivo in nezadostno izolirani. Kljub temu pa je problem vlage v lesenih konstrukcijah mnogo večji, saj les pri preveliki vlažnosti začne plesneti in s tem propadati. V Avstriji in Nemčiji so se začeli z zmanjševanjem rabe energije v stavbah resno ukvarjati že sredi 90-ih let, ko so sprejeli vrsto podobnih ukrepov, kot jih poznamo danes tudi pri nas. Zaradi vgradnje kakovostnejših oken in večjih debelin toplotne izolacije so se začeli pogosteje pojavljati problemi z vlago, kar je pripeljalo do izrazitejšega merjenja zrakotesnosti stavb. (<http://www.ekoprodukt.si/zrakotesnost.html> 14.3.2011)



Slika 9: Uhajanje pare oziroma dima skozi slabo izolirano in ne zrakotesno streho

Vir: <http://www.ekoprodukt.si/zrakotesnost.html> 14.3.2011

5.1 Zrakotesnost

Z zrakotesnostjo označujemo intenzivnost nekontroliranega pretoka zraka skozi konstrukcijo v zgradbo ali iz nje zaradi tlačne razlike. Nekomtrolirani pretok zraka se pojavlja v fugah, špranjah in drugih netesnih mestih na ovoju zgradbe. Trditev, da se skozi netesna mesta v zgradbi zagotavlja zadostno prezračevanje v prostorih, ni pravilna. Taka izmenjava zraka je namreč odvisna od tlaka vetra in temperaturnih razlik ter največkrat ne zagotavlja kakovostne bivalne klime. Le pri izredno netesnih zgradbah, kjer ob močnem vetru znotraj hiše že precej vleče, je v brezvetrnem času prezračevanje zadostno. Prehajanje zraka skozi zunanji ovoj zgradbe ima kar nekaj pomanjkljivosti:

- nezanesljivost,
- gradbene poškodbe,
- prevajanje zvoka,
- nekontrolirane toplotne izgube.

Zrak lahko nekontrolirano teče v dveh smereh, pri tem pa prihaja do različnih pojavov:

➤ Tok zraka od zunaj navznoter

Če teče tok zraka od zunaj navznoter, lahko tlak vetra potiska padavinsko vodo v konstrukcijo stene. Voda se zbira v luknjicah in porah sten, od koder se izsušuje zelo počasi. Ta proces je najpogostejši vzrok poškodb pri lahkih lesenih konstrukcijah. Les je namreč slabo odporen proti izmeničnemu navlaženju. Na splošno pa je tok zraka od zunaj navznoter manj problematičen (če obstaja zadostna zaščita pred padavinami), ker se zrak na poti navznoter ogreje in ni nevarnosti za rosenje.

➤ Tok zraka od noter navzven

Kadar teče tok zraka od noter navzven, je situacija bolj neugodna. Zaradi dejavnosti v hiši (npr. kuhanje in tuširanje) je vlažnost zraka v notranjosti vedno višja kot zunaj. Ob prehodu skozi špranje navzven se zrak ohladi, pri tem pa se zlasti v hladnem času skoraj vedno ohladi pod temperaturo rosišča. V fugah nastane kondenzat, ki navlaži gradbeni element, kar povzroči pojav plesni na notranji strani konstrukcije.

➤ Vlek:

Drugi pojav, ki ga povzroča prehod zraka od zunaj navznoter, je vlek, ki nastane pri večjih fugah in špranjah v ovoju zgradbe, in sicer pri močnem vetru in nizkih zunanjih temperaturah. Vlek, ki se pojavi zaradi vdora vetra skozi gradbene fuge, je zelo neprijeten, ker hitrost in smer toplotnega toka močno nihata, poleg tega je ta zrak hladen. Hladen zrak, ki priteka skozi netesna mesta v konstrukciji, se ogreje na notranjo temperaturo, kar povečuje porabo energije. Izrabljen zrak, ki zapušča zgradbo, je topel, zato je vsak nekontroliran masni tok zraka v hladnem delu leta povezan s toplotnimi izgubami.

(http://www.fa.uni-lj.si/filelib/2_novice/razno/knjige/pasivna_pdf_internet.pdf 15.4.2011)

5.1.1 Načrtovanje zrakotesnega ovoja

Za doseganje zadostne zrakotesnosti ovoja zgradbe je treba natančno načrtovati vse stike gradbenih elementov. Tako kot toplotnoizolacijski ovoj mora biti tudi zrakotesni ovoj zgradbe popoln in brez prekinitev, upoštevani pa morajo biti trije glavni principi:

Ravnina zrakotesnega ovoja mora biti v načrtu neprekinjena na vseh delih zgradbe. Če jo v tlorisih in prerezi označimo s črto, ta nikjer ne sme biti prekinjena.

Obstajati mora samo ENA zrakotesna ravnina. Netesna mesta se NE odpravljajo z drugo zrakotesno ravnino pred ali za netesnim mestom (npr. podvajanje tesnjenja pri oknih, vratih vetrolova ali vhodnih vratih). To lepo ponazarja naslednja primerjava: luknje v vedru za vodo se ne odpravijo tako, da vedro z luknjami postavimo v drugo, prav tako poškodovano vedro.

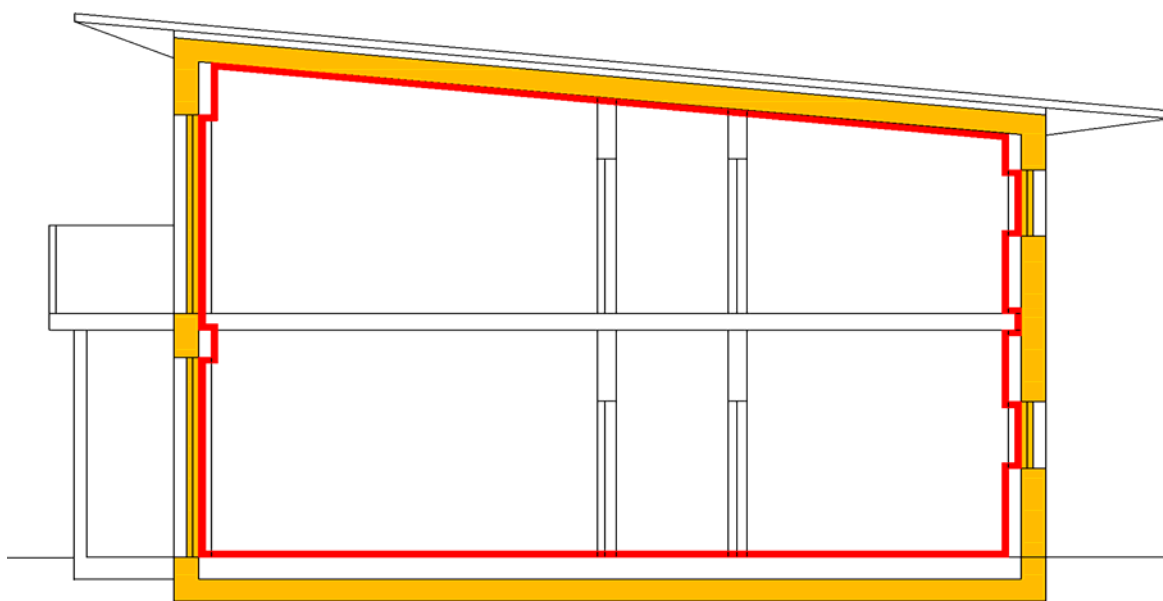
Zrakotesni ovoj je vedno pritrjen na notranjo stran toplotnoizolacijskega ovoja. Zrakotesna ravnina deluje tudi kot parna ovira, zato ne sme biti popolnoma difuzijsko zaprta. Zrakotesna ravnina v nizkoenergijski in pasivni hiši mora popolnoma omejiti ogrevan volumen zgradbe, kot bi ga zarisali z neprekinjeno črto.

(http://www.fa.uni-lj.si/filelib/2_novice/razno/knjige/pasivna_pdf_internet.pdf 16.4.2011)

5.1.2 Principi načrtovanja zrakotesnega ovoja zgradbe

- Enostavnost: vsi konstrukcijski detajli morajo biti čim enostavnejši in lahko izvedljivi, da je napak pri obrtniškem delu čim manj.
- Površine, ki jih tesnimo, naj bodo izvedene na enak način, da se izognemo menjavi gradiv in težavam pri oblikovanju stikov.
- Izbira zanesljivih osnovnih konstrukcij: pri nizkoenergijski in pasivni hiši ni priporočljiva uporaba popolnoma novih ali eksotičnih principov tesnjenja; že uporabljeni sistemi se lahko vgradijo povsod.
- Načelnost pri načrtovanju stikov: za določen stik med dvema osnovnima konstrukcijama, ki se na objektu ponavlja, se povsod uporablja enak detajl.
- Praviloma se prebojem zrakotesnega ovoja izogibamo oz. jih skušamo zmanjšati na najnižjo raven. Ob upoštevanju vseh naštetih principov je ovoj zgradbe zrakotesen in visoko kakovosten.

(http://www.fa.uni-lj.si/filelib/2_novice/razno/knjige/pasivna_pdf_internet.pdf 16.4.2011)



Slika 10: Rdeča črta predstavlja zrakotesno ravnino, ki mora biti po celotnem objektu neprekinjena

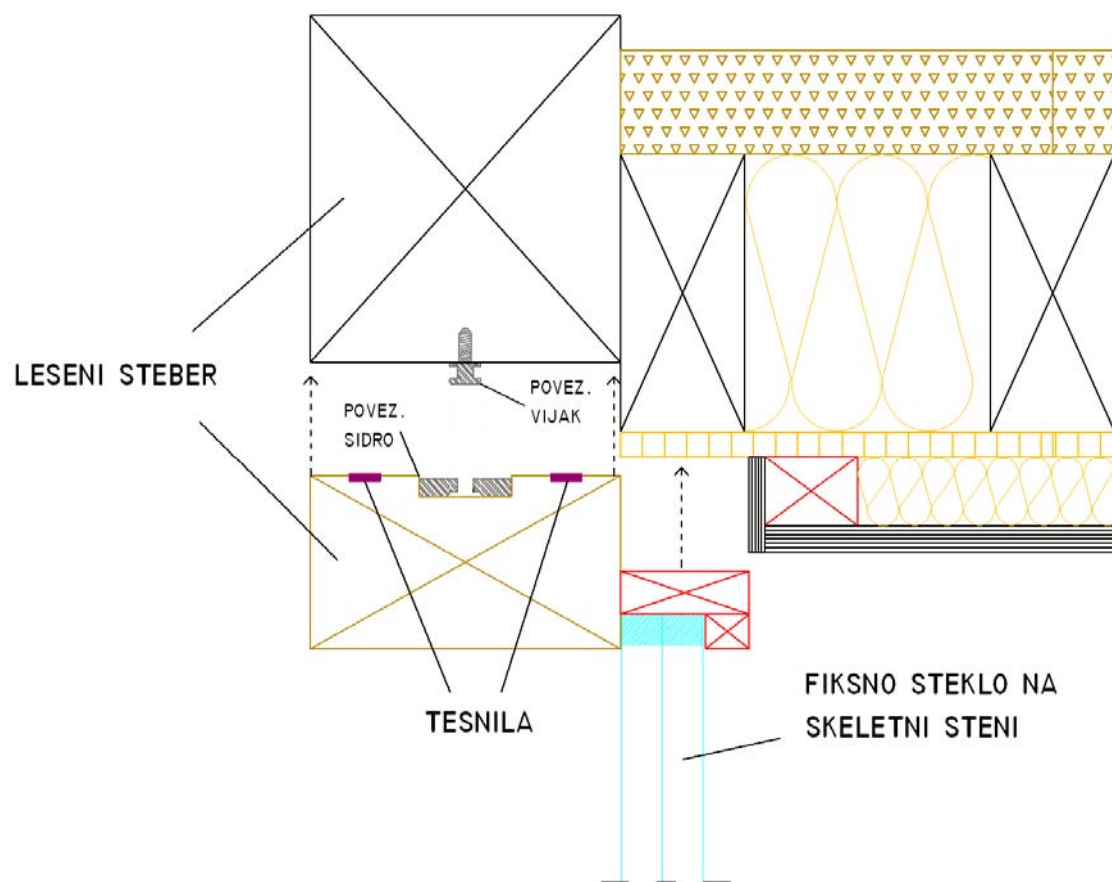
Vir: Lasten

5.1.3 Izvedba zrakotesnega ovoja po sistemu Kager HIŠA D.O.O. – za objekt »Vita nova«

Zrakotesni ovoj zgradbe se vedno izvaja na notranji strani zgradbe. Največjo pozornost za zagotovitev zrakotesnosti je potrebno nameniti stikom med seboj povezanih sten, okenskim in vratnim odprtinam ter stikom strehe s steno. Izvaja se ga lahko s PVC folijo, natron papirjem ali OSB ploščami (**O**riented **S**trand **B**oard – so lepljene, troslojno sestavljene prešane plošče iz usmerjeno nasutih mikrofurnirjev), ki imajo po ugotovitvah izdelovalcev in prodajalcev podobno lastnost kot parna ovira, saj naj ne bi prepuščale zraka. Pomembno je samo to, da je potrebno stike med dvema folijama ali stike med dvema ploščama prelepiti s posebnim lepilnim trakom (Air-stop) ali pa pred vgraditvijo plošče na leseno konstrukcijo nanesti posebno tesnilno maso.

Pri objektu Vita nova so bile kot parna ovira ali zrakotesni ovoj uporabljene OSB plošče, kot podaljšek v drugo etažo pa folija. V nadaljevanju bo prikazanih nekaj primerov izdelave zrakotesnosti, ki so se izvajali na tem objektu: **stik dveh sten, vgradnja oken in stekla, izdelava ovoja na stiku strehe s steno.**

- **Stik dveh sten** – Pri stiku dveh sten je treba posvetiti veliko pozornost izvedbi, saj se lahko zgodi, da na tem mestu nastane toplotni most. V proizvodnji se na krajnih delih sten vgradi lesen pokončni steber, v katerem so narejeni trije utori – dva manjša in en večji, ki poteka po sredini. V dva manjša kanala se na montaži vgradi tesnilo, večji kanal pa je namenjen za vgradnjo povezovalnih sider (Walcco). Na drugi steni pa je lesen pokončni steber brez kanalov, a so na njem privijačeni povezovalni vijaki. Spodaj je grafično prikazano, na kakšen način se izvede stik dveh pokončnih lesenih stebrov, ki sta vgrajena v steno.

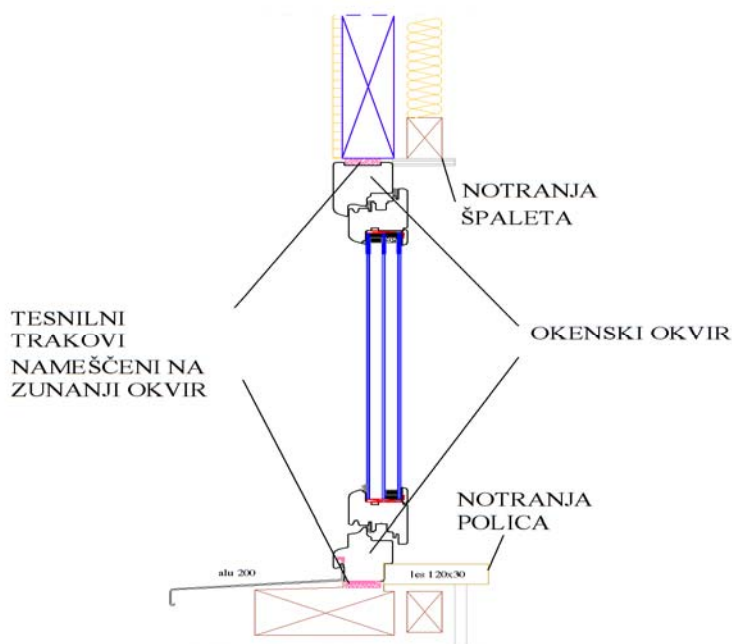


Slika 11: Tlorisno prikazan detajl stika dveh sten, kjer pred spajanjem sten na montaži namestijo tesnilne trakove v za to pripravljene uture

Vir: Lasten

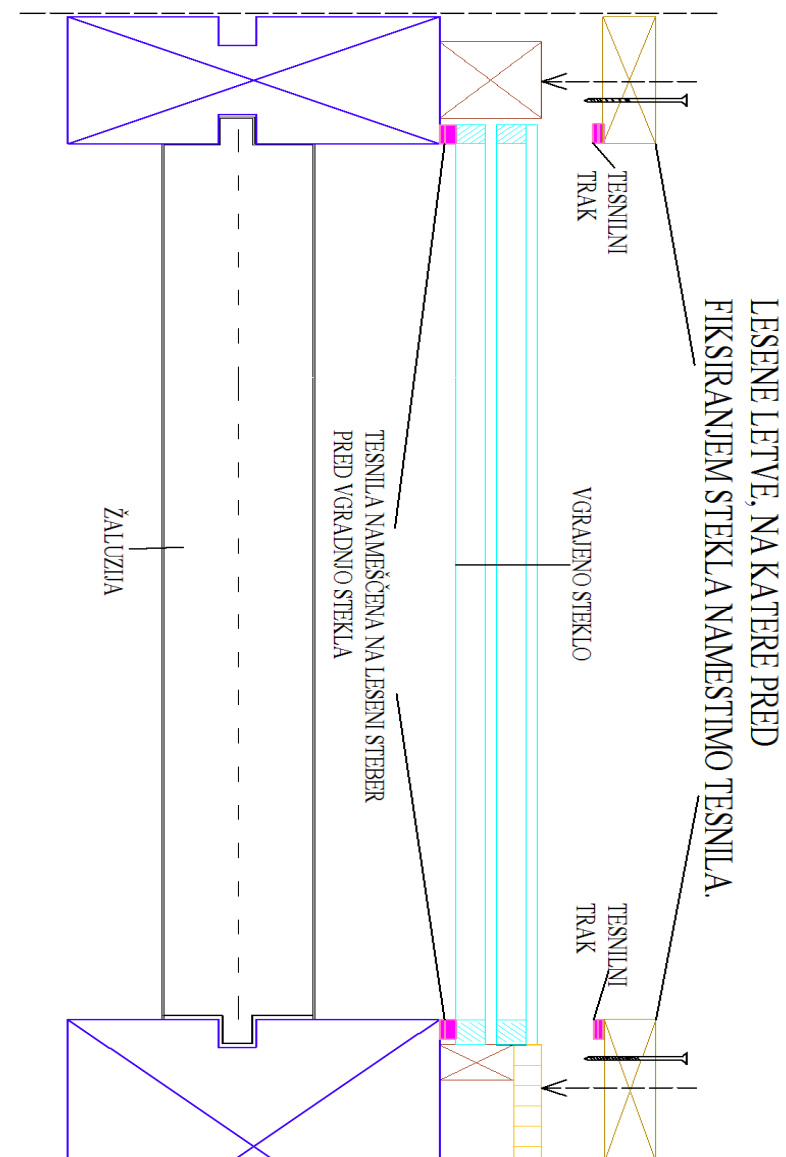
➤ Vgradnja oken in stekla

Vgrajevanje oken, vrat in stekel se pri podjetju Kager, izvaja po RAL-u. To pomeni, da se pri vgrajevanju stavbnega pohištva uporabljajo različni tesnilni trakovi, ki zagotavljajo zrakotesnost okenskih ali vratnih odprtin. Pred vgradnjo vsakega okna namestimo v utore, ki obkrožajo okenski okvir, tesnilni trak. Namestimo ga tudi pod okenski okvir, kjer je že pripravljen utor narejen v les. Ko so tesnila nameščena, lahko okno vgradimo in privijamo. Pri vgrajevanju stekla pa tesnilne trakove namestimo na notranjo stran zasteklitvene odprtine brez prekinitev. Nato vgradimo steklo in ga fiksiramo z lesenimi zaključnimi letvami, na katere prav tako namestimo tesnilni trak. Na takšen način vgrajeno steklo je zrakotesno tako z zunanje kot z notranje strani.



Slika 12: Detajl vgrajenega okna s tesnilnimi trakovi po RAL-u (pogled s strani)

Vir: Lasten

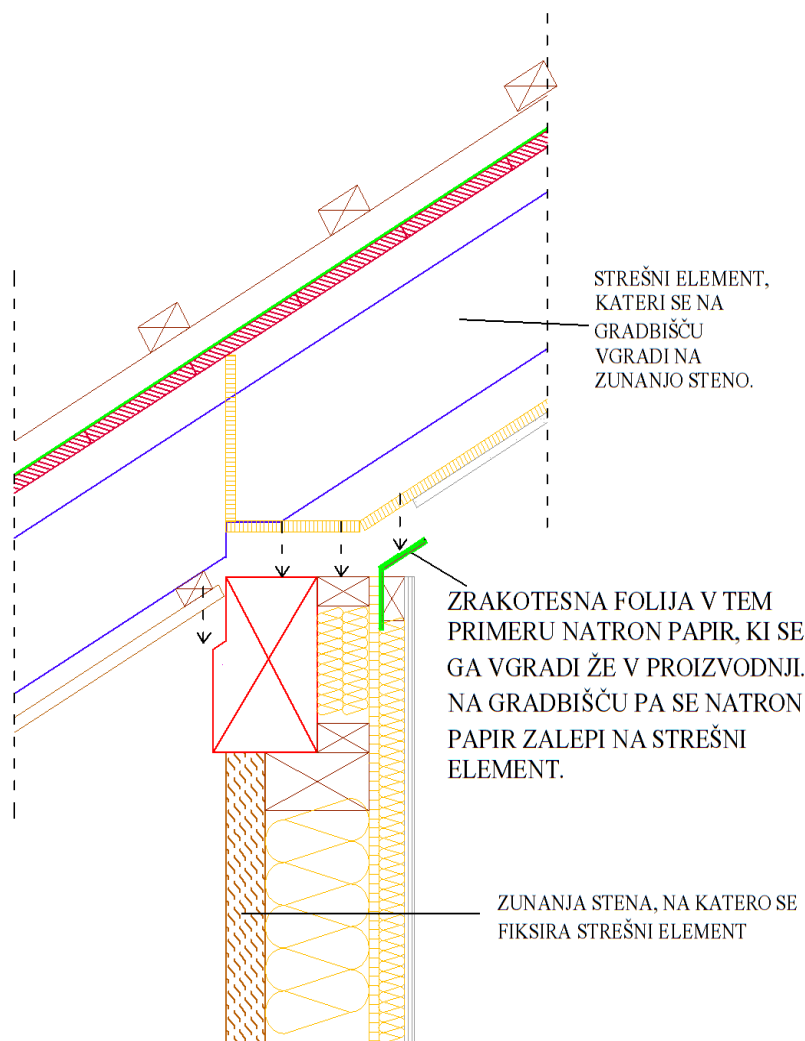


Slika 13: Tlorisno prikazan detajl vgrajenega stekla po RAL-u. Le dobro zatesnjeno steklo lahko dosega svojo vrednost $U_G = 0,6 \text{ W/m}^2$

Vir: Lasten

➤ Stik strehe na steno

Ta stik se deloma izvede že v proizvodnji, preostanek dela pa opravijo monterji na gradbišču. V proizvodnji se med sestavo skeleta stene pusti na vrhu stene približno 50 cm folije (v tem primeru natron papir) preko. Ko strešni element med na montažo vgradijo na steno, ta natron papir zalepijo na ta element/ to steno, s čimer se prepreči uhajanje zraka na stiku strehe s steno.



Slika 14: Detajl stika strehe z zunanjo steno (pogled s strani) Folija, ki je spuščena s stene, se ob montaži po vgraditvi strehe na steno prilepi z zračno zaporo na strešni element

Vir: Lasten

5.2 Meritev zrakotesnosti na gradbišču z merilno napravo Blower door

V drugem poglavju je bil na splošno opisan prikaz meritev z Blower door testom, v tem poglavju pa bo praktično izveden prikaz merjenja zrakotesnosti s tem testom.

Merjenje je priporočljivo v dveh fazah. Prvo merjenje se priporoča, ko je objekt zgrajen in ko so vsi preboji inštalacij in druge odprtine že opravljene ter deloma zatesnjene. V primeru slabih rezultatov napake brez težav odpravimo.

Druga meritev pa se priporoča, ko je objekt pripravljen za vselitev. Tako lahko dobimo še natančnejše rezultate, ki jih prikažemo na certifikatih za pridobitev ekosklada.

Preden pričnemo z merjenjem, je potrebno zelo skrbno izvesti še nekaj opravil, v nasprotnem primeru rezultati ne bi bili natančni.

Potrebno je vgraditi nadomestna vrata, v našem primeru so bila iz okvirja in folije, v katero smo vgradili ventilator z merilno napravo.

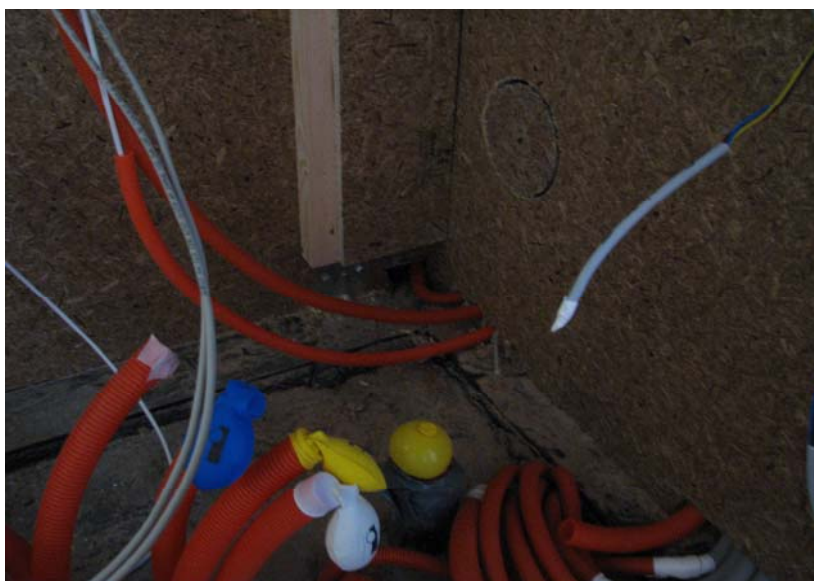
Potrebno je zatesniti vse preboje in strojno inštalacijske napeljave, kar je bilo v našem primeru izvedeno z napihnjenimi baloni, preboji pa so se zalili z gradbeno peno, ki se hitro strdi.

Vsa okna in vrata morajo biti dobro zaprta. Ko je vse to opravljeno, se lahko začne z merjenjem.



Slika 15: Tesnjenje strojno inštalacijskih prebojev z gradbeno - montažno peno

Vir: Lasten



Slika 16: Tesnjenje elektro inštalacijskih prebojev z baloni

Vir: Lasten



Slika 17: Vgrajena vrata s folijo, v katerih je vgrajen ventilator z merilno napravo

Vir: Lasten

V objektu se je s pomočjo ventilatorja ustvaril podtlak, in sicer 50Pa, in že tukaj se lahko izračuna, koliko zraka se izgubi skozi netesna mesta in koliko zraka je potrebno konstantno vpihovati, da razlika tlakov ostaja 50 Pa. Tako izračunamo razmerje med celotnim volumnom stavbe in količino zraka, ki ga moramo vpihati. Največja dovoljena izmenjava zraka skozi netesna mesta pri nizkoenergijski hiši je 1,0 celotnega volumna stavbe. Objekt »Vita nova« je dosegal te rezultate. Potrebno je bilo preveriti še, skozi katera mesta je uhajal zrak, da bi se lahko te napake po merjenju odpravile.

5.3 Odkrivanje napak med merjenjem zrakotesnosti in odpravljanje le-teh

Že na začetku smo ugotovili, da objekt »Vita nova« ustreza standardu nizkoenergijskih hiš, saj je izmenjava zraka pod 1,0 na uro glede na volumen stavbe, ki znaša 294 m³.

Sledi odkrivanje napak oziroma mesta, kjer je uhajal zrak.

Odkrivanje napak se je začelo pri stavbnem pohištvu, torej pri oknih in vratih, ter pri zastekljenih stenah. Prva napaka je bila odkrita na stavbnem pohištvu, in sicer pri drsnih vratih. Ugotovljeno je bilo, da je bila to napaka proizvodnje, saj so bila tesnila na zgornjem desnem in spodnjem desnem vogalu okvirja drsnih vrat med vgrajevanjem slabo nameščena. Napaka se je kasneje odpravila s tesnilno maso in dodatnim tesnilom.



Slika 18: uhajanje zraka skozi zgornji desni vogal drsnih vrat, zaradi slabo nameščenih tesnil

Vir: Lasten



Slika 19: Uhajanje zraka skozi spodnji desni vogal vrat zaradi slabo nameščenih tesnil

Vir: Lasten

Ne zrakotesno mesto, kjer je uhajal zrak, je bilo najdeno tudi na stiku streha–stena, kjer je bila folija (natron papir – v proizvodnji je bil puščen iz stene) slabo prilepljena na strešni element na montaži. Mesto, kjer je uhajal zrak, se je po meritvah oblepilo s trakom, ki se imenuje Air stop ali zračna zapora.



Slika 20: Slabo zalepljena folija na strešni element, kjer je uhajal zrak

Vir: Lasten

Kot zadnja izmed večjih napak je bila odkrita napaka elektro inštalaterjev. Med napeljevanjem električnih kablov so poškodovali kanal, po katerem se napelje električna žica. Na tem mestu bi bila izguba zraka velika, vdor zraka skozi kanal je bil preverjen s približevanjem roke in se ga je dalo močno začutiti.. Elektro inštalaterji so napako odpravili z oblepljanjem električnega kanala z izolirnim trakom.



Slika 21: Uhajanje zraka skozi električne kanale, kar je bila napaka električarjev

Vir: Lasten

Na koncu so se meritve opravile še s termo vizijo, ki deluje na osnovi hladnih in toplih predmetov oziroma mest, kjer je zrak topel in kjer je zrak hladen. Nekatera mesta, ki jih je bilo potrebno preveriti, so bila prej nedostopna, s tem aparatom pa so bile najdene še manjše napake, ki niso zahtevale večjih sanacij in so se rešile s trakom zračne zapore ali pa s silikonsko tesnilno maso.



Slika 22: Odkrivanje uhajanja zraka s termovizijskim aparatom

Vir: Lasten

6 STROŠKI MERITEV

Zelo pomembno je vedeti, da so stroški za pravočasno izvajanje meritev zelo ugodni v primerjavi s stroški, ki bi se pojavili po približno petih letih bivanja v nezrakotesnem objektu. Kasnejše sanacije, na primer odstranjevanje vlage v ali na objektu ali pa propadanje konstrukcije, so dosti dražje od sanacij, ki jih izvedemo na nedokončanem objektu. V primeru, ki je opisan v diplomski nalogi, so se meritve izvedle pravočasno, zato so lahko bile napake odstranjene hitro in brez večjih stroškov.

Torej je priporočljivo izvesti **sprotne meritve**, kar pomeni, da jih izvedemo na še nedokončanem objektu (lažje in cenejše saniranje napak), in meritve pred vselitvijo v objekt. Stroški sprotnih meritev znašajo CA. 450 € na posamezno stavbo (2× meritev, prvič v fazi gradnje po izvedbi in zatesnitvi vseh prebojev in drugič pred vselitvijo, po zaključku vseh del), za vsakega investitorja pa bi pomenili dobro investiran denar.

Strošek enkratne meritve, t.i. **enkratno merjenje**, najbolje takrat, ko so narejeni vsi preboji za strojno in elektro inštalacijo ter ko je vgrajeno vso stavbno pohištvo. Cena za enkratno merjenje znaša 300 €.

7 ZAKLJUČEK

Ugotovljeno je bilo, da je ob pravilni izbiri materialov in pravilni izbiri detajlov za toplotni in zrakotesni ovoj, možno zgraditi zrakotesen objekt kot je »Vita nova« podjetja Kager hiša D.O.O.

S takšno gradnjo se zagotovi objektu minimalno porabo energentov (tako za ogrevanje pozimi in hlajenje v poletnem času), saj se cene energentov iz dneva v dan dražijo. Z zrakotesnostjo hiše ne zmanjšamo le porabe energentov, temveč jo zaščitimo pred nadaljnjimi poškodbami kot so vlaga in posledično propadanje konstrukcije. Čeprav je vložek v nizkoenergijske hiše nekaj odstotkov dražji od navadne gradnje je vredno razmisliti na kakšen način bomo gradili.

Kljub temu, da objekt zgradijo strokovno usposobljena podjetja za nizkoenergijsko gradnjo, je priporočljivo opraviti meritve zrakotesnosti s strani neodvisnega ponudnika. Meritve so priporočljive, ker bi se naknadne napake, ugotovljene čez nekaj let, izkazale za BISTVENO dražje kot je vrednost ene ali dveh meritev. Če vzamemo primer dveh meritev v teku gradnje, ki bi nas stali približno 450EUR in bi se morebitne napake sanirale takoj, bi to predstavljalo znatno manjši strošek, kot pa naknadno odstranjevanje poškodb s strani kondenzne vlage, nastalih npr. zaradi toplotnih mostov.

8 UPORABLJENA LITERATURA IN VIRI

LITERATURA

1. Kager, T.: Konstrukcijska zaščita lesa – Diplomsko delo, Fakulteta za gradbeništvo, Maribor, 2010.
2. Zbašnik Senegačnik, M.: Pasivna hiša, Univerza v Ljubljani Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2007.

INTERNETNI VIRI

1. <http://www.gb-hisa.si> (12.5.2011)
2. tudi moj članek o zrakotesnosti
3. <http://www.thermofloc.si/index.php/blower-door-test.html> (12.3.2011)
4. <http://gcs.gi-zrmk.si/> (12.5.2011)
5. <http://www.arhem.si/> (25.4.2011)
6. <http://www.gradbenik.eu/> (28.3.2011)
7. <http://www.fibran.si/fibran-xps/gradbenistvo/konstrukcije-v-zemlji/temeljna-plosca> (22.4.2011)
8. <http://www.academia.si/diplome/diploma-g-2009-tomas-gulin.pdf> (28.3.2011)
9. <http://thermofloc.medifit.si/> (13.3.2011)
10. http://www.student-info.net/sis-mapa/skupina_doc/fgghidrotehnika/knjiznica_datoteke/1255537546_78_pasivna_hisa.pdf (16.4.2011)
11. <http://www.tuzin.si/?content=21> (12.5.2011)
12. http://www.dnevnik.si/tiskane_izdaje/dnevnik/1042294690 (28.3.2011)
13. <http://www.pasivnahisa.eu/slovenija/44-spremljamo-gradnjo-pasivne-hise-5-del> (22.4.2011)
14. http://www.fa.uni-lj.si/filelib/2_novice/razno/knjige/pasivna_pdf_internet.pdf (23.4.2011)
15. <http://www.evip.si/images/stories/gradbena%20fizika%20za%20evip%20zgradbe.pdf> (13.3.2011)
16. http://www.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf (25.3.2011)
17. <http://www.ekoprodukt.si/zrakotesnost.html> (15.3.2011)

PRILOGA

PRILOGA 1: Certifikat o BlowerDoor Testu