

# VPLIV ZASTEKLITVE NA ENERGETSKO UČINKOVITOST MONTAŽNIH LESENIH STAVB

## INFLUENCE OF GLAZING ON THE ENERGY EFFICIENCY OF PREFABRICATED TIMBER BUILDINGS

pred. Vesna Žegarac Leskovar, univ. dipl. inž. arh.,  
red. prof. dr. Miroslav Premrov, univ. dipl. inž. grad.,  
UM FG, Smetanova 17, 2000 Maribor

Znanstveni članek  
UDK: 694:699.86

**Povzetek** | Prispevek prikazuje numerično parametrično analizo vpliva povečanega deleža zasteklitve na energetsko učinkovitost montažnih lesenih enodružinskih hiš z osnovnim ciljem prikaza vpliva zasteklitve na južni strani, tako na novih velikopanelnih stenskih sistemih z različno toplotno prehodnostjo kakor tudi na starih malopanelnih sistemih, pri katerih predstavlja ustrezna izbira velikosti zasteklitve enega od mogočih načinov učinkovite energijske sanacije. Pri tem so parametrično na primeru dvoetažne stanovanjske hiše analizirani vplivi povečanega deleža steklenih površin ob upoštevanju klimatskih pogojev za Ljubljano. Kot rezultat študije je podana funkcijska odvisnost letnih energijskih potreb za ogrevanje in ohlajevanje v odvisnosti od deleža steklenih površin južne fasade objekta ob predpostavki, da se vplivi aktivnih sistemov ne spreminjajo. Rezultati so po eni strani potrdili nekatera že poznana dejstva izvedenih parametričnih analiz različnih avtorjev, po drugi strani pa dodatno privedli do nekaterih povsem novih ugotovitev, predvsem glede optimalnih vrednosti deleža zasteklitve na južni fasadi v odvisnosti od stopnje toplotne prehodnosti zunanjih lesenih stenskih elementov ob upoštevanju klimatskih pogojev za Ljubljano.

**Summary** | The paper presents a numerical analysis of the increased proportion influence of glazing surfaces on energy efficiency of prefabricated timber single-family houses with a basic purpose to determine the influence of south oriented glazing area for new macro-panel wall elements of different thermal transmittances, as well as for old micro-panel wall elements, for which the installation of an optimal glazing size represents one of the possible energy efficient renovation methods. The research is based on a case study of a two-storey house and its parametric analysis of an increased-proportion-of-the-glazing-surfaces impact, taking into account the climate data for Ljubljana. As the result of the study, the annual energy demand for heating and cooling depending on the proportion of the glazing area in relation to the total surface area of the south oriented façade, under presumption that active systems are not changed, is presented. The results accord well with some findings of the existing parametrical analyses of different authors, while, on the other hand, they lead to some completely new findings regarding the optimal glazing share in south oriented external wall in dependence from the thermal transmittance of the wall element, considering climate data for Ljubljana.

## 1 • UVOD

V času, ki ga zaznamujejo specifične razmere na področju klimatskih sprememb, se gradbena in arhitekturna stroka intenzivno usmerjata v iskanje ustreznih ekoloških rešitev in načinov gradnje, s katerimi je mogoče doseči večjo energijsko varčnost in s tem povezano zmanjšanje okoljskih bremen. Les kot naraven material ima že v osnovi odlično izhodišče za energijsko učinkovito gradnjo, saj ima v primerjavi z drugimi osnovnimi konstrukcijskimi materiali (beton, opeka, jeklo, kamen) nižji faktor toplotne prevodnosti, ima dobre mehanske lastnosti in zagotavlja prijetno bivalno okolje. Zaradi naštetih lastnosti je montažna lesena konstrukcija primerna za gradnjo energijsko varčnih objektov različnih razredov, podanih v preglednici 1, pri katerih pa sta zaradi solarnih toplotnih dobitkov velikega pomena tudi povečan delež in ustrezna orientacija steklenih površin. Z upoštevanjem dejstva, da so steklu proizvajalci skozi leta razvoja izboljšali toplotnoizolacijske in trdnostne lastnosti ter z izboljšanjem faktorja prepustnosti energije sončnega sevanja omogočili, da lahko z velikimi steklenimi površinami, orientiranimi primarno na južno stran, ne le osvetlimo bivalne prostore, ampak zagotovimo tudi ogrevanje le-teh z energijo sonca, predstavlja danes gradnja z lesom v kombinaciji z uporabo ustreznih in pravilno orientiranih steklenih površin velik potencial.

Prve računske analize glede vpliva povečanega deleža zasteklitev na energijske potrebe v stanovanjskih in poslovnih objektih zasledimo že v osemdesetih letih. Tako je v (Johnson, 1984) analiziran vpliv zasteklitev na prototipnih poslovnih objektih za različne klimatske pogoje in orientacije objekta, v (Steadman, 1987) pa na primeru šestih izbranih hiš s poudarkom na analizi vpliva zasteklitev na južni fasadi. Računski model, ki ga je leta 2000 razvil Karlsson (Karlsson, 2000) omogoča zelo preprost način v oceni energetske učinkovitosti objekta z uporabo različnih tipov oken na različnih geografskih lokacijah. Čeprav analiza v glavnem temelji na primerjavi različnih tipov

zasteklitev, kar sicer ne bo predmet naše analize, je v določenih primerih lahko zelo koristna iztočnica za naše raziskave. V tem pogledu je zelo koristna tudi študija (Bülow-Hübe, 2001), izvedena na okvirnih lesenih poslovnih objektih s povečano zasteklitvijo na južni fasadi za švedske klimatske pogoje. Pri tem so kot variabilni upoštevani številni parametri, ki vplivajo na energijske potrebe objekta, kot so velikost in tip zasteklitve, orientacija objekta in toplotna prehodnost zunanjih sten. Parametrična študija vpliva zasteklitev na konkretnem primeru 20 družinskih hiš, zgrajenih leta 2001 v Göteborgu, je predstavljena v (Persson, 2006a). Predstavljene so zanimive ugotovitve vpliva zasteklitve na južni fasadi, kjer povečan delež zasteklitve ugodno vpliva na energijske potrebe za ogrevanje, medtem ko je delež zasteklitve tako na vzhodni kot zahodni fasadi praktično indiferenten glede energijskih izgub za ogrevanje objekta. Razširjena študija, tudi z nekaterimi vplivi z različnimi klimatskimi pogoji, je sicer predstavljena v (Persson, 2006b). Precej drugih študij je tudi izvedenih za klimatske pogoje, ki so precej različni od evropskih, kot je na primer (Bouden, 2007) za Tunizijo, (Hassouneh, 2010) za Jemen, (Ghisi, 2001) za Brazilijo, ki pa so navkljub dejstvu, da so analizirani masivni konstrukcijski sistemi, lahko v določenih segmentih vendarle zanimivi za analizo rezultatov študije, predstavljenih v tem prispevku.

Osnovni cilj naše študije je v končni fazi določitev optimalnega modela energijsko učinkovite montažne lesene stavbe s povečanim deležem zasteklitve z upoštevanjem poznanih klimatskih pogojev ter ob osnovni predpostavki, da se vplivi aktivnih sistemov ne spreminjajo. Vpliv fotovoltaike in drugih energijskih virov prav tako ni upoštevan. Postopek določitve takšnega modela je precej širok in zapleten proces, saj na energijsko učinkovitost objekta v splošnem vpliva več medsebojno neodvisnih dejavnikov, kot so predvsem faktor oblike objekta, njegova orientacija, upoštevani klimatski pogoji, ma-

terialne lastnosti vgrajenih elementov, vpliv aktivnih sistemov, itd. (Persson, 2006b).

Predlagani postopek zato poteka v več korakih. V prvi fazi z analizo vpliva zasteklitve na vsaki strani objekta (jug, sever, zahod, vzhod) posebej ter z analizo stenskih elementov z različnim faktorjem toplotne prehodnosti ( $U_{wall}$ ), v drugi fazi z generalizacijo problema vpliva zasteklitve na južni fasadi, kjer je le-ta lahko glede energijskih dobitkov pozitiven, na eno neodvisno spremenljivko ( $U_{wall}$ ), ter v končni fazi z določitvijo aproksimativnih izrazov za energijske potrebe objekta glede na generalizacijo. Ta prispevek obravnava le prvo fazo, analize druge faze pa so predstavljene v (Žegarac Leskovar, 2010a). Z izvedeno analizo želimo dodatno tudi prikazati vpliv zasteklitve na južni fasadi na različne konstrukcijske sisteme okvirne montažne lesene gradnje, tako na novejšo velikopanelne kot na starejše malopanelne. Primerjave s polnostenskimimi, križno lepljenimi lesenimi panelnimi stenski sistemi tipa KLH, ki jih lahko smatramo kot neke vrste konkurenčne obravnavani montažni okvirni gradnji in bi bile lahko potencialno zanimive za investitorje in proizvajalce, pa so predstavljene v (Žegarac Leskovar, 2010b).

V prvem delu prispevka so predstavljeni bistveni principi energetske učinkovite lesene gradnje, v drugem delu pa je pozornost posvečena smiselnosti uporabe povečanega deleža zastekljenih površin. Pri tem so parametrično na primeru dvoetažne stanovanjske hiše, zgrajene z montažnim okvirnim sistemom, analizirani vplivi povečanega deleža zasteklitve. Analiza je izvedena na šestih sistemih montažne okvirne lesene gradnje z uporabo različnih tipiziranih zunanjih stenskih elementov glede na stopnjo toplotne prehodnosti ovoja pri isti florisni zasnovi objekta. V izračunih sicer niso upoštevani različni vplivi aktivnih sistemov, kot so rekuperacija, solarni sistemi, fotovoltaika itd. Posebej je treba poudariti, da je v izračunih z uporabljenim programskim orodjem PHPP (Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist Darmstadt, 2007) upoštevano glede toplotne kapacitete dejstvo, da gre za objekt z majhno maso, zato tudi rezultate analize ni mogoče posplošiti na obravnavo masivnih konstrukcijskih sistemov.

energijskega razreda lahko skladno s standardi v tujini postavimo pri potrebni letni energiji za ogrevanje  $Q_h \leq 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Razredi energetske učinkovite gradnje se od države do države nekoliko razlikujejo. V Sloveniji so tovrstni razredi definirani v Pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic

## 2 • BISTVENI PRINCIPI IN ZAHTEVE ENERGETSKO UČINKOVITE GRADNJE

Dandanes se pri gradnji stanovanjskih objektov govori le še o energetske učinkovitih oziroma nizkoenergijskih gradnjah. Nizko-

energijska gradnja zajema vse energetske učinkovite objekte z relativno majhno potrebo energije po ogrevanju. Zgornjo mejo nizko-

stavb (Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb, Ur. l. RS, št. 77/2009). V preglednici 1 je predstavljena delitev razredov skladno s pravilnikom in v praksi pogosto uporabljena delitev nizkoenergijske gradnje z variantami potrebne konstrukcijske izvedbe na montažnih lesenih objektih (Praznik, 2010).

Kot je razvidno iz preglednice, lahko pasivni razred gradnje dosegamo z ustrežno dodatno izoliranim ovojem z  $U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ , priporočena vrednost za enostanovanjske hiše pa je v praksi še nekoliko strožja in znaša  $U \leq 0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Omejena je tudi zgornja meja toplotne prehodnosti za vgrajeno stavbno pohišstvo, in sicer  $U_w < 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$  z visokim faktorjem prehoda sončne energije  $g > 50\%$ , kar omogoča toplotne dobitke tudi v zimskem času. Ključni za izvedbo so pravilno rešeni detajli, ki morajo biti projektirani in izvedeni brez toplotnih mostov.

Za razliko od nizkoenergijskih pogojev so razredi in pogoji pasivne gradnje (A1 in A2) točno določeni. Koncept gradnje so razvili v Nemčiji, kjer danes deluje tudi svetovno priznani Passivhaus Institut, ki se ukvarja z razvojem in certificiranjem pasivne gradnje. Razredi pasivne gradnje pa niso omejeni le z največjo dovoljeno letno potrebo po toploti za ogrevanje, ki znaša  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , pač pa tudi z omejeno zrakotesnostjo  $n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$  ter

z omejeno rabo skupne letne rabe primarne energije na  $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

Za gradnjo v nizkoenergijskem razredu pogoji niso tako strogo določeni in se lahko s pomočjo računalniških programov optimirajo znotraj vsakega energijskega razreda. Za zagotavljanje kakovostnih nizkoenergijskih objektov, ki bodo ponujali tudi prijetno bivalno ugodje, je treba zagotoviti kakovost na vseh ravneh. Tako je na primer za doseganje razreda zelo dobrih nizkoenergijskih zgradb (razred porabe pod  $25 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ) že potrebna vgradnja sistemov za prezračevanje z rekuperacijo toplote od-

padnega zraka, ki pa učinkovito deluje le pri ustrezni zrakotesni izvedbi ( $n_{50} < 1,0 \text{ h}^{-1}$ ). Pri gradnji nizkoenergijskih in predvsem pasivnih hiš so pomembni vsi detajli:

- detajli stikovanja zunanje in notranje stene na talno oziroma kletno ploščo (vključno z izvedbo fasadnega podzidka),
- detajli stikovanja zunanje stene in stropne konstrukcije,
- detajli stikovanja zunanje stene in strešne konstrukcije,
- detajli dolžinskega stikovanja zunanjih sten,
- vgradnja stavbnega pohišstva (zasteklitve).

Stopnja/Delitev skladno s Pravilnikom	V praksi pogosto uporabljena delitev	Letna potreba po toploti za ogrevanje ( $\text{kWh/m}^2\text{a}$ )	Varianta izvedbe (Praznik, 2010)
Razred C	minimalna zahteva energijske učinkovitosti	40–50	klasični ovoj
Razred B2	nizkoenergijske hiše	25–40	izolativno izboljšan ovoj
Razred B1	boljše nizkoenergijske hiše	15–25	izolativno izboljšan ovoj + rekuperacija
Razred A2	pasivna hiša	10–15	dodatno izolativno izboljšan ovoj + rekuperacija
Razred A1	1-litrska hiša	$\leq 10$	dodatno izolativno izboljšan ovoj + rekuperacija + izboljšano stavbno pohišstvo

Preglednica 1 • Delitev energetsko učinkovite gradnje (Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb, Ur. l. RS, št. 77/2009)

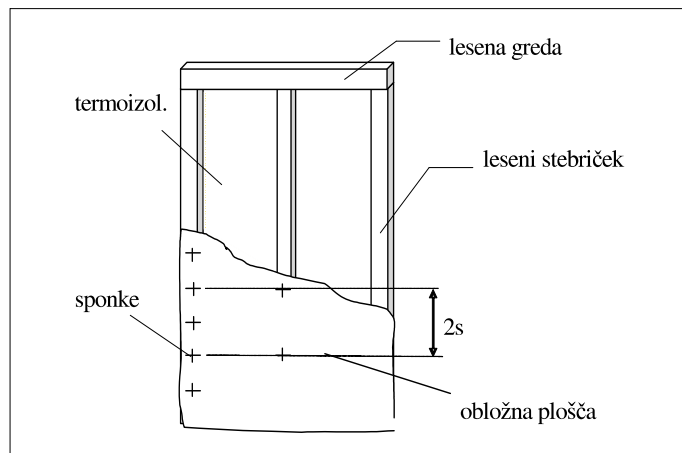
### 3 • MONTAŽNA LESENA OKVIRNA GRADNJA

Montažni okvirni sistem lesenih stanovanjskih objektov danes večinoma temelji na uporabi

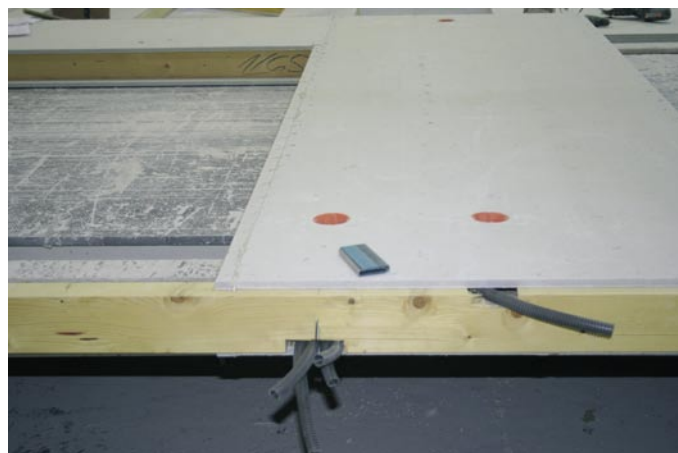
velikpanelnega montažnega konstrukcijskega sistema, ki se je razvil iz osnovnega (malopanelnega) sistema, katerega stenski element

sestavlja nosilni leseni okvir (slika 1a). Na nosilni leseni okvir so pritrjene obložne plošče, običajno tipske širine  $b = 1,25 \text{ m}$ , ki zagotavljajo horizontalno stabilnost sten in celotnega objekta. Razvoj velikpanelnega sistema v

a.)



b.)



a.) Sestava stenskega elementa z osnovnim gabaritom obložne plošče (malopanelni sistem)

b.) Velikpanelni sistem s položeno toplotno izolacijo med lesenimi pokončniki

Slika 1 • Sestava okvirnih stenskih elementov

zadnjem desetletju predstavlja velik napredek v omenjenem načinu gradnje, saj so stenski elementi kot osnovni vertikalni montažni elementi finalizirani v obratu, zato je montaža na gradbišču precej hitrejša kot pri malopanelnem sistemu. Pri tem so v stenski element v končni obliki vgrajene tako okenske kot vratne odprtine kakor tudi vse inštalacije (slika 1b). Ker je običajni raster malopanelnega sistema  $b = 1,25\text{ m}$ , je velikopanelni sistem običajno mnogokratnik osnovnega panelnega rastra obložne plošče, s tem da zaradi transportnih problemov celotna dolžina montažnega stenskega elementa običajno ne presega 12,5 m. Bistvena prednost okvirnega sistema lesene gradnje izhaja iz same zasnove konstrukcije, saj se prazni prostori v lesenem okvirju zapolnijo s toplotno izolacijo, s čimer konstrukcije že pri majhnih debelinah dosegajo izredno dobre toplotno izolacijske lastnosti. Z današnjo tehnologijo in širokim izborom izolacijskih materialov je nizkoenergijski standard v okvirni leseni gradnji tako dosegljiv že z najenostavnejšimi konstrukcijskimi sestavami. Vendar je pa na tem mestu treba posebej poudariti, da energijska učinkovitost konstrukcije ne raste linearno z dodajanjem izolacijskih materialov in ima tudi neko svojo mejno vrednost, ko energijske učinkovitosti zgradbe z enostavnim dodajanje izolacije več ni mogoče izboljšati.

Proizvajalci lesenih montažnih objektov v splošnem ponujajo različne stopnje energijske učinkovitosti objektov. Z numerično analizo

TF 1		TF 2		TF 3	
material	debelina (mm)	material	debelina (mm)	material	debelina (mm)
zunanji omet	6	zunanji omet	6	zunanji omet	9
fasadna izolacija – mineralna volna	100	fasadna izolacija – mineralna volna	100	fasadna izolacija – lesno-vlakenne plošče	60
MVP*	15	mavčno-vlakena plošča	15	/	
nosilna lesena konstrukcija z izolacijo	160	nosilna lesena konstrukcija z izolacijo	160	nosilna lesena konstrukcija z izolacijo	360
parna zapora	0,2	parna zapora	0,2	OSB-plošča	15
/	/	lesena podkonstrukcija z izolacijo	60	/	/
MVP*	15	MVP*	15	/	/
MVP*	10	MVP*	10	MKP**	12,5
skupna debelina (mm)	306,2	skupna debelina (mm)	366,2	skupna debelina (mm)	456,5
toplotna prehodnost stene ( $W/m^2K$ )	0,164	toplotna prehodnost stene ( $W/m^2K$ )	0,137	toplotna prehodnost stene ( $W/m^2K$ )	0,104

\* mavčno-vlakena plošča, \*\* mavčno-kartonska plošča

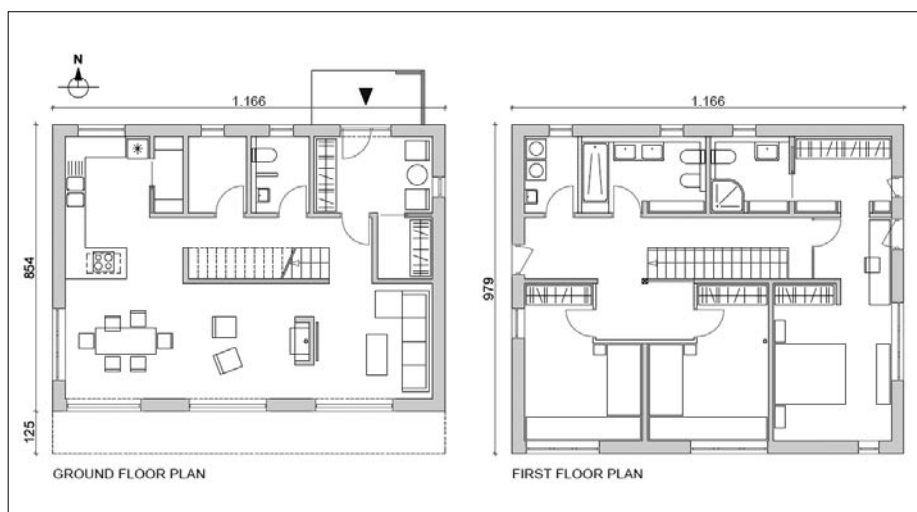
Preglednica 2 • Sestava tipiziranih zunanjih velikopanelnih stenskih elementov (Lumar, 2010)

bomo obravnavali tri glavne tipizirane zunanje stenske elemente glede na stopnjo izolativnosti (TF 1, TF 2 in TF 3), katerih sestava

je podana v preglednici 2, nato pa v podporo nekaterim podanim zaključkom dodatno tudi tri slabše izolativne sisteme.

#### 4 • PARAMETRIČNA NUMERIČNA ANALIZA VPLIVA ZASTEKLITVE

V študiji se bomo v smislu energijske učinkovitosti omejili le na različne konstrukcijske sisteme šestih različnih zunanjih montažnih okvirnih stenskih elementov z različno toplotno prehodnostjo ( $U_{\text{wall}}$ ), različnih vplivov aktivnih sistemov, fotovoltaike, klimatskih pogojev in različnih tipov zasteklitve pa na tem mestu ne bomo obravnavali. Ker želimo z analizo poiskati optimalno površino zasteklitve na zunanjih stenah zgradbe, ki najugodneje vpliva na energijske potrebe objekta, je v izračunih upoštevan zelo kakovosten tip zasteklitve z zelo nizko toplotno prehodnostjo ( $U_g$ ). Za izvedene izračune bomo podali določene primerjave z nekaterimi že poznanimi analizami, omenjenimi v uvodnem poglavju, vendar bo pri tem pomembno upoštevati tudi vpliv različnih vhodnih para-



Slika 2 • Tloris pritličja in nadstropja

metrov, podanih v točkah 4.1 do 4.6, ki lahko bistveno vplivajo na končne rezultate.

#### 4.1 Simulacijski model

Predmet študije je dvoetažna enodružinska montažna lesena hiša florisnih dimenzij pritičja 11,66 x 8,54 m in etaže 11,66 x 9,79 m (slika 2). Skupna ogrevana površina hiše znaša 168,40 m<sup>2</sup>. Konstrukcija je zgrajena v okvirnem montažnem lesenem sistemu, katerega debelino zunanjih stenskih elementov spreminjamo glede na podane tipe TF 1, TF 2 in TF 3, s podanimi materialnimi in geometrijskimi lastnostmi v preglednici 2. S ciljem določitve vpliva deleža zasteklitve na energijske potrebe tudi na starejših montažnih lesenih objektih so dodatno analizirani tudi trije malopanelni stenski sistemi (slika 1a) z zelo veliko toplotno prehodnostjo ( $U \geq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), kar bi nam lahko služilo kot morebitna iztočnica za energijske sanacije takšnih lesenih sistemov. Kakovost vgrajenega lesa znaša v vseh primerih C22 glede na EN 338 (European Committee for Standardization, 2003).

Odstotni deleži zasteklitve na posameznih zunanjih stenah do površine le-teh (AGAW) in celotne florisne površine objekta (AGAF) na osnovnem primeru obravnavane hiše so podani v preglednici 3, shematsko pa prikazani na sliki 3.

#### 4.2 Lokacija, orientacija in klima

Hiša je locirana v Ljubljani na zemeljski širini 46,03° N in dolžini 14,30° na nadmorski višini 298 m z daljšo florisno stranjo orientirano jug-sever. Privzeta je klima za Ljubljano (<http://en.wikipedia.org/wiki/Ljubljana#Climate>) s povprečno letno temperaturo  $T_{ext} = 10,4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.3 Zasteklitve

Upoštevana je trislojna okenska zasteklitve Unitop 0,51–52–UNIGLAS (4 mm–12 mm–4 mm–12 mm–4 mm) z dvema nizkoenergij-skima nanosoma in kriptonom kot polnilom v obeh zračnih slojih. Toplotna prehodnost zasteklitve znaša  $U_g = 0,51 \text{ W/m}^2\text{K}$ , lesenega okenskega okvirja debeline 114 mm pa  $U_f = 0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Gustavsen, 2007).

#### 4.4 Senčenje

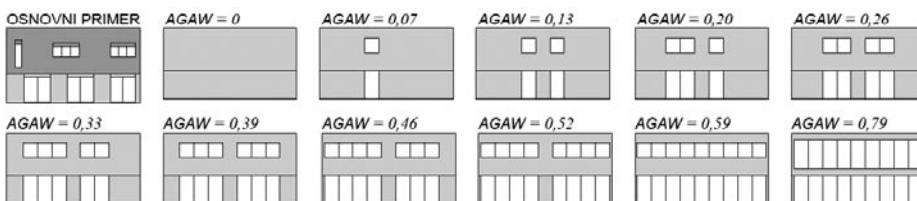
Senčenje zastekljenih površin je predvideno z zunanjimi senčili z izjemo oken južno orientirane pritične fasade, ki je zamaknjena za 1,25 m proti notranosti hiše (slika 2). Čeprav v praksi na nizkoenergij-skih hišah severnih oken zaradi izredno majhne površine

	jug	sever	vzhod	zahod
AGAW (%)	27,6	8,9	10,5	8,4
AGAF (%)	12,1	3,9	3,7	2,9

Preglednica 3 • Delež zasteklitve na osnovnem primeru stavbe



Slika 3 • Shematski prikaz deleža zasteklitve na osnovnem primeru objekta na južni, vzhodni, severni in zahodni fasadi



Slika 4 • Model spreminjanja deleža steklenih površin na zunanji, južno orientirani steni

načeloma ni treba senčiti, smo v našem primeru z namenom primerjave energijskih izgub za ohlajevanje za zasteklitve na vseh štirih fasadah hiše upoštevali redukcijski faktor senčenja  $z = 0,5$ .

#### 4.5 Aktivni sistemi

Predvideno je prisilno prezračevanje z reku-peracijo toplote odpadnega zraka in ogrevanje vode s toplotno črpalko. Upoštevani so povprečni notranji toplotni dobitki 2,1 W/m<sup>2</sup>. Minimalna predvidena notranja temperatura je  $T_{min} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  in maksimalna  $T_{max} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 4.6 Variabilni parametri

Bistvo študije je parametrično spreminjanje deleža steklenih površin ločeno na vsaki fasadi posebej (slika 4). Poseben poudarek je namenjen določiti optimalnega deleža površine zasteklitve na južni strani objekta do površine pripadajoče fasade (AGAW). Vsak konstrukcijski sistem je obravnavan posebej, na koncu pa je podana primerjava med vsemi šestimi okvirnimi sistemi.

#### 4.7 Računalniški program

Za vse izračune je uporabljen komercialni računalniški program Passive House Planning Package 2007 (Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist Darmstadt, 2007), ki je mednarodno certificiran za izračunavanje energijskih potreb pasivnih stavb, lahko pa se uporablja tudi za projektiranje in analizo nizkoenergij-

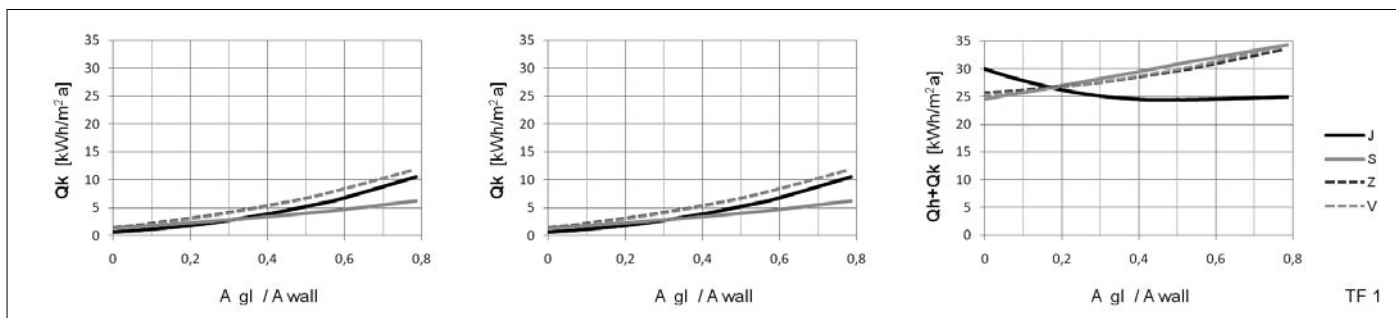
skih hiš. Računska metoda za izračun letnih energijskih potreb temelji na standardu EN ISO 13790, ki ga upošteva tudi *Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb* (Ur. l. RS, št. 77/2009) pri delitvi energijske učinkovitost stavb v posamezne razrede, le da gre za označbo SIST EN ISO 13790.

#### 4.8 Rezultati in diskusija

Rezultati so najprej predstavljeni za vsak tipiziran velikopanelni konstrukcijski sistem posebej (TF1, TF2 in TF3) glede na karakteristike, podane v preglednici 2. Grafično so podane vrednosti porabe energije za ogrevanje ( $Q_n$ ), potrebne energije za ohlajevanje ( $Q_k$ ) in njuna vsota ( $Q_n + Q_k$ ) v odvisnosti od deleža zastekljenih površin zunanje stene do skupne površine te stene ( $A_{gl}/A_{wall}$ ), v tekstu nadalje imenovan z AGAW. Vrednosti so podane ločeno za južno (J), severno (S), zahodno (Z) in vzhodno (V) orientacijo.

##### 4.8.1 TF 1, $U = 0,164 \text{ W/m}^2\text{K}$

Rezultati za vse štiri strani različno orientiranih zunanjih sten so grafično prikazani na sliki 5. Iz rezultatov za potrebno ogrevanje stavbe ( $Q_n$ ) je razvidno, da južna stran izkazuje s povečanjem deleža zastekljenih površin AGAW skoraj linearen potek toplotnih dobitkov, ki pri AGAW = 0,79 znašajo približno 15 kWh/m<sup>2</sup>a oziroma kar 50 % začetne vrednosti, podane pri AGAW = 0. Toplotne izgube na severni



Slika 5 • Grafična predstavitev energijskih potreb različne orientacije zunanjih sten sistema TF 1

strani so z večanjem AGAW precej manjše, le približno  $5 kWh/m^2 \cdot a$  oziroma 18 %. Vzhodna in zahodna stran izkazujejo praktično enako obnašanje, ki je skoraj neodvisno od deleža steklenih površin na teh fasadah.

Izmed vse navedene literature je dobljene rezultate glede primerjave konstrukcijskih sistemov še najbolj smiselno primerjati z numeričnimi raziskavami parametrične študije vpliva steklenih površin v (Bülow-Hübe, 2001), izvedene na okvirnih lesenih poslovnih objektih s toplotno prehodnostjo zunanjsih sten  $U_{wall} = 0,18 W/m^2K$ , ter uporabo oken z  $U_g = 0,67 W/m^2K$  in  $U_f = 1,70 W/m^2K$ . Treba je tudi poudariti, da je omenjena študija izvedena le za variacijo AGAW od 0 do 0,50, pri tem pa se energijske potrebe za ogrevanje ( $Q_h$ ) zmanjšajo z variacijo zasteklitve na južni fasadi za približno  $\Delta Q_h = 14 kWh/m^2 \cdot a$ , kar je približno 18,5 % vrednosti pri  $AGAW = 0$ . Pri naših rezultatih znaša navedeno odstopanje v istem območju modifikacije AGAW-a  $\Delta Q_h = 11 kWh/m^2 \cdot a$ , kar znaša 34,5 % vrednosti pri  $AGAW = 0$ . Seveda pa je pri tem treba upoštevati dejstvo, da je omenjena študija izvedena za klimatske pogoje mesta Lund na Švedskem na zemeljski širini  $55,72^\circ N$  s povprečno letno zunanjo temperaturo  $T_{ext} = 8,2^\circ C$ , kar bistveno odstopa od naših privzetih vrednosti za Ljubljano, zato razlike, dodatno tudi zaradi različne kakovosti zasteklitve, nastopijo že pri primerjavi osnovnih primerov. Tako so letne energijske potrebe za ogrevanje osnovnega primera objekta v Lundu ( $AGAW = 0,30$ )  $Q_h = 68 kWh/m^2 \cdot a$ , podobnega v Ljubljani ( $AGAW = 0,276$ ) pa le  $23 kWh/m^2 \cdot a$ . Posledično so odstotne vrednosti razlik potrebne energije za ogrevanje ( $\Delta Q_h$ ) seveda zato za objekt v Lundu ustrezno večje, četudi so absolutne vrednosti kar primerljive. So pa v obeh primerjalnih analizah zelo podobne ugotovitve za vpliv deleža zasteklitve na vzhodno in zahodno stran, ki izkazujejo približno enako obnašanje in sta praktično neodvisni od vrednosti AGAW.

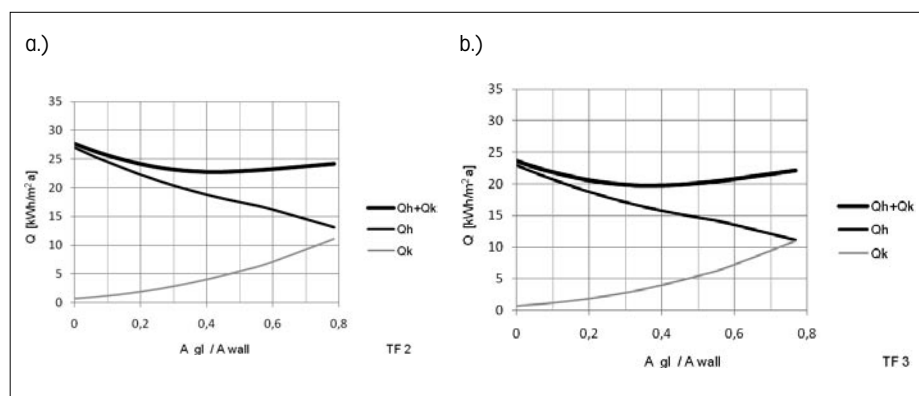
Predstavljene rezultate je tudi mogoče primerjati z nekaterimi ugotovitvami iz (Pagliano, 2007) za upoštevano klimo v Milanu, ki je klimatskim pogojem v Ljubljani sicer precej podobnejša, vendar je analiza izvedena na masivni zidani konstrukciji s precej večjo termično maso. V tej študiji vpliv AGAW na južni strani na energijske potrebe za ogrevanje, prav tako kot v našem primeru, izkazuje približno linearno odvisnost. Le-ta pri variaciji AGAW od 0,2 do 0,4 izkazuje 14,2 % zmanjšanje energijskih potreb za ogrevanje, medtem ko je v našem primeru ta razlika približno 16,6 %.

Rezultati za potrebno ohlajevanje stavbe ( $Q_c$ ) izkazujejo v našem primeru najnižje energijske izgube na severni strani, katerih obnašanje je v praktično linearni odvisnosti z rastočim AGAW. Zahodna in vzhodna stran, katerih obnašanje je zelo podobno, izkazujejo največje izgube, ki so le nekoliko večje kot na južni strani, katerih funkcijska odvisnost z naraščajočim AGAW je rahlo eksponentna. Navedene ugotovitve glede funkcijskega obnašanja kar dobro sovpadajo z analizami v (Bülow-Hübe, 2001) in (Pagliano, 2007), le da so odstotne vrednosti zaradi prej omenjenih različnih parametrov nekoliko različne.

Zelo zanimiva je analiza za skupne energijske potrebe za ogrevanje in ohlajevanje ( $Q_h + Q_c$ ). Funkcije za severno, vzhodno in zahodno stran izkazujejo praktično linearno obnašanje in so si med seboj zelo podobne. Zelo pomembna pa je analiza za južno stran, ki izkazuje z ozirom na AGAW neki funkcijski optimum, ki nastopi pri vrednosti  $AGAW = 0,46$ . Vpliv povečane zasteklitve na skupno energijsko porabo je pri večjih vrednostih AGAW le minimalen, tako da funkcija praktično konvergira. V splošnem pa velja, da lahko s pravilno uporabo deleža zasteklitve na južni strani za ogrevanje in ohlajevanje skupaj prihranimo približno  $6 kWh/m^2 \cdot a$  energije ali približno 19 % glede na začetno vrednost pri  $AGAW = 0$ .

#### 4.8.2 TF 2, $U = 0,137 W/m^2K$ , in TF 3, $U = 0,104 W/m^2K$

Ker smo na primeru TF 1 prikazali, da lahko minimalne skupne energijske potrebe dosežemo s pravilno izbiro deleža zasteklitve na južni fasadi objekta, bomo nadalje obravnavali le tovrstni primer. Z izračuni na vseh opisanih konstrukcijskih sistemih se je namreč izkazalo, da glede severne, vzhodne in zahodne fasade veljajo podobne ugotovitve



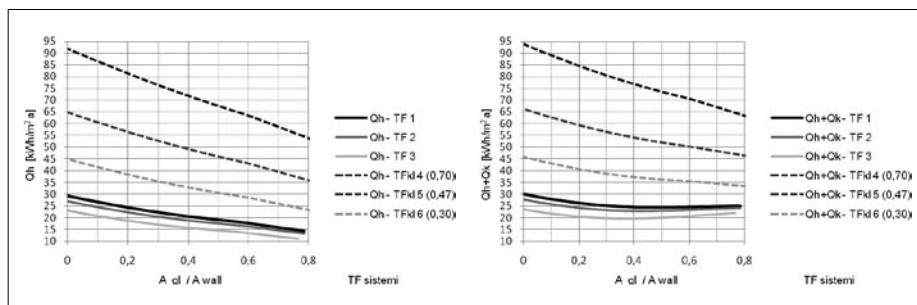
Slika 6 • Grafična predstavitev energijskih potreb v odvisnosti od deleža zasteklitve na južni strani za sistem TF 2 (a) in TF 3 (b)

koč za prej opisane na TF1. Rezultati energijskih potreb za južno orientirano zunanjo steno v odvisnosti od variabilnega deleža zasteklitve (AGAW) v konstrukcijskih sistemih TF2 in TF3 so grafično prikazani na sliki 6.

Iz predstavljenih rezultatov na sliki 6 le za južno stran objekta je razvidno, da je funkcijska odvisnost  $Q_h$  spet približno linearna, dobitki pa pri  $AGAW = 0,79$  znašajo z ozirom na steno brez zasteklitvev pri TF 2 približno 51 %, za TF 3 pa 52 %. Opazimo tudi, da je optimum skupnih energijskih potreb nekoliko izrazitejši kot pri TF 1 in nastopi pri nekoliko nižji vrednosti, za TF 2 pri  $AGAW = 0,41$  in za TF 3 pri  $AGAW = 0,34$ . Navedeno je v precej dobri korelaciji z ugotovitvami analiz (Ghisi, 2001), izvedenimi sicer za zidane hiše v Florianopolisu v Braziliji, kjer so navedene optimalne vrednosti za AGAW od 0,31 do 0,40, pri večjih vrednostih AGAW pa je vpliv površine zasteklitvev na skupne energijske potrebe precej neznačen.

#### 4.8.3 Slabo izolativni sistemi z $U \geq 0,30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Na koncu za primerjavo in v podporo postaviti nekega splošnega aksioma vpliva zasteklitve na južni fasadi analizirajmo še najmanj izolativni klasični malopanelni tipski stenski element (TFkl 5) z  $U = 0,474 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , ki



Slika 7 • Grafična predstavitev energijskih potreb v odvisnosti od deleža zasteklitve na južni strani za sisteme z različno izolativnostjo sten

glede toplotne prehodnosti ne zadošča niti kriteriju nizkoenergijskih hiš (preglednica 1), ter dva fiktivno izbrana stenska sistema z  $U = 0,70 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (TFkl 4), pri katerem je izolativnost stene približno enaka skupni izolativnosti zasteklitve z okvirjem, ter TFkl 6 z  $U = 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Rezultati za južno stran objekta, ki nas nadalje edina zanima, so grafično predstavljeni na Sliki 7.

Iz dobljenih vrednosti je razvidno, da rezultati izkazujejo izrazito linearno funkcijsko odvisnost za  $Q_h$ , pri čemer je naklon energijskih dobitkov odvisen od izolativnosti stene. Primerjava energijskih prihrankov med obema ekstremnima sistemoma v kilovatih urah,  $39 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  za TFkl 4 in  $12 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  za TF 3, pokaže, da ima povečanje zasteklitve v slabše izolativnih

sistemih veliko večji vpliv na porabo energije za ogrevanje kot v visokoizolativnih sistemih zunanjih sten. Še zanimivejša je analiza za skupno energijsko porabo ogrevanja in ohlajevanja ( $Q_h + Q_k$ ), ki s povečanjem toplotne prehodnosti stenskih elementov sploh več ne izkazuje funkcijskega optimuma, temveč prehaja iz parabolične odvisnosti pri zelo dobrih izolativnih sistemih (TF 2 in TF 3) v praktično linearno odvisnost pri slabo izolativnih sistemih (TFkl 4–6). Energijski dobitki zaradi povečanja zasteklitve iz  $AGAW = 0$  na  $AGAW = 0,79$  tako v primeru sistema TFkl 4 znašajo kar približno  $31 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ , kar pomeni 33 %, kar je občutno več kot v sistemu TF 3, kjer dobitki znašajo le še približno  $4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ .

## 5 • SKLEP

Analiza letnih energijskih potreb objekta za ogrevanje in ohlajevanje je precej širok in kompleksen problem, na katerega vpliva precej neodvisnih parametrov, vrsta konstrukcijskega sistema in upoštevani klimatski pogoji so le nekateri pomembni izmed njih. Pri tem je zelo pomembna tudi variacija deleža zasteklitve, predvsem na južni strani objekta, ki lahko ugodno vpliva na energijske potrebe, kot smo prikazali v izvedeni analizi.

Predstavljena numerična parametrična študija vpliva deleža zasteklitve na zunanjih stenskih elementih montažnih okvirnih lesenih objektov z različno toplotno prehodnostjo zunanjih stenskih elementov, izvedena za klimatske pogoje v Ljubljani, je sicer potrdila nekatera že poznana osnovna dejstva izvedenih parametričnih analiz energijskih potreb za ogrevanje in ohlajevanje v odvisnosti od deleža in tipa zasteklitve ((Bülow-Hübe, 2001),

(Pagliano, 2007), (Ghisi, 2001)). Treba pa je poudariti, da imajo navedene primerjalne študije nekoliko različne vhodne parametre, predvsem glede upoštevanih klimatskih pogojev ali pa konstrukcijskega sistema, zato neposredna primerjava rezultatov zahteva ustrezne modifikacije.

Dodatno je predstavljena analiza privedla do nekaterih povsem novih ugotovitev glede skupne energijske porabe za ogrevanje in ohlajevanje zgradb v odvisnosti od deleža zasteklitve. Izkazalo se je, da funkcijska odvisnost v primeru zunanjih stenskih elementov z nizko toplotno prehodnostjo izkazuje približno parabolično odvisnost z optimumom površine zasteklitve ter glede na parameter AGAW niha med vrednostma 0,35 in 0,45. V primeru stenskih elementov z večjo toplotno prehodnostjo funkcijska odvisnost za  $Q_h + Q_k$  iz parabolične prehaja najprej v konvergenčno, nato pa pri

stenskih elementih z veliko toplotno prehodnostjo celo v skoraj linearno odvisnost glede na AGAW, pri čemer je naklon funkcijske odvisnosti odvisen od stopnje toplotne prehodnosti stenskega elementa (slika 7).

S praktičnega vidika navedeno pomeni, da z vgrajevanjem povečanega deleža visokokakovostnih zasteklitvev na južni strani objekta lahko bistveno vplivamo na energetsko učinkovitost objekta tako z vidika energijskih potreb za ogrevanje ( $Q_h$ ) kakor tudi skupnih za ogrevanje in ohlajevanje ( $Q_h + Q_k$ ). Kakor je razvidno s slike 7, je navedeno zelo ugodno predvsem v primeru starih malopanelnih stenskih sistemov s sorazmerno veliko toplotno prehodnostjo ( $U \geq 0,30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ), kar bi bilo možno smiselno izkoristiti v primeru sanacije takšnih objektov v energetsko učinkovite razrede z uporabo povečanega deleža kakovostne zasteklitve na južni fasadi. Vpliv povečanega deleža zasteklitve na zelo kakovostnih nizkoenergijskih in pasivnih objektih današnje prakse na skupne energijske potrebe pa je občutno manjši.

## 6 • LITERATURA

- Bouden, C., Influence of glass curtain walls on the building thermal energy consumption under Tunisian climatic conditions: The case of administrative buildings, *Renewable Energy* 32, 141–156, 2007.
- Bülow-Hübe, H., The Effect of Glazing Type and Size on Annual Heating and Cooling Demand for Swedish Offices, Energy efficient window systems, Effects on energy use and daylight in buildings. (Report No TABK-01/1022), Department of Construction and Architecture, Lund University, Division of Energy and Building Design, Lund, 2001.
- European Committee for Standardization, EN 338:2003 E: Structural timber – Strength classes, Brussels, 2003.
- Pagliano, L., The Passivhaus Standard in European Warm Climates: Design guidelines for comfortable low energy homes – Part 2: Italy, Passiv-on Project report, 2007.
- Ghisi, E., Tinker, J., Optimising energy consumption in offices as a function of window area and room size, In *Proceedings in Building Simulation*, Rio de Janeiro, 2001.
- Gustavsen, A., Bjorn, P., Jelle, P., Arasteh, D., Kohler, K., State-of-the-art Highly Insulating Window Frames, Research and market review, Oslo, 2007.
- Hassouneh, K., Alshboul, A., Al-Salaymeh, A., Influence of windows on the energy balance of apartment buildings in Amman, *Energy Conversion and Management*, 51, 1583–1591, 2010.
- Johnson, R., Sullivan, R., Selkowitz, S., Nozaki, S., Conner, C., Arasteh, D., Glazing energy performance and design optimization with daylighting, *Energy and Buildings*, 6, 305–317, 1984.
- Karlsson, J., Karlsson, B., Roos, A., A simple model for assessing the energy performance of windows, *Energy and Buildings* 33, 641–651, 2001.
- Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist Darmstadt, PHPP 2007 Guide book, Darmstadt, 2007.
- Persson, ML., Roos, A., Wall M., Influence of window size on the energy balance of low energy houses, *Energy and Buildings* 38, str. 181–188, 2006a.
- Persson, ML., Windows of Opportunities, The Glazed Area and its Impact on the Energy Balance of Buildings, PhD Thesis, Uppsala Universitet, 2006b.
- Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskega izkaznika stavb, Ur. l. RS, št. 77/2009.
- Praznik, M., Kovič, S., Z aktivnimi sistemi in toplotno zaščito do pasivnih in plus energijskih stanovanjskih stavb, Mednarodni posvet Energetska učinkovitost v arhitekturi in gradbeništvu, Maribor, 21. 10. 2010, str. 47–57, 2010.
- Steadman, P., Brown, F., Estimating the exposed surface area of the domestic stock, *Energy and urban built form*, Centre for Architectural and Urban Studies, University of Cambridge, 113–131, 1987.
- Žegarac Leskovar, V., Premrov, M., Influence of Glazing Size on Energy Efficiency of Timber-Frame Buildings, poslano v objavo v revijo *Construction and Building Materials*, 2010a.
- Žegarac Leskovar, V., Premrov, M., Impact of the proportion of glazing surface in south facade on energy efficiency of prefabricated timber buildings, poslano v objavo v revijo *LesWood*, 2010b.
- EN ISO 13790, ISO 13790:2008, Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, International Organization for Standardization, Geneva, 2008.
- Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, Ur. l. RS, št. 52/2010.
- <http://www.lumar.si/si/konstrukcijski-sistemi>
- <http://en.wikipedia.org/wiki/Ljubljana#Climate>.