

AR

2011/2

Arhitektura, raziskave
Architecture, Research

UDK 72.02.1:502.13
COBISS 1.02

MATEJA DOVJAK
ROMAN KUNIČ

39 - 46

REŠEVANJE PROBLEMOV
URBANEGA TOPLOTNEGA
OTOKA IN VELIKE RABE
ENERGIJE Z OZELENJENIMI
KONSTRUKCIJSKIMI SKLOPI STAVB

*GREEN BUILDING ELEMENTS AND
THE URBAN HEAT-ISLAND EFFECT*



Fakulteta za arhitekturo
Inštitut za arhitekturo in prostor
Ljubljana 2011

AR

Arhitektura, raziskave
Architecture, Research
2011/2



Fakulteta za arhitekturo
Inštitut za arhitekturo in prostor
Ljubljana 2011

Fakulteta za arhitekturo
Inštitut za arhitekturo in prostor

ISSN 1580-5573
ISSN 1581-6974 (internet)
<http://www.fa.uni-lj.si/ar/>

revija izhaja trikrat letno / published three times a year
urednik / editor
prof dr Borut Juvanec

regionalna urednika / regional editors
prof dr Grigor Doytchinov, Avstrija
prof dr Lenko Pleština, Hrvaška

uredniški odbor / editorial board
prof dr Vladimir Brezar
prof dr Peter Fister
prof dr Borut Juvanec
prof dr Igor Kalčič
doc dr Ljubo Lah

znanstveni svet / scientific council
prof dr Paul Oliver, Oxford
prof Christian Lassure, Pariz
prof Enzo d'Angelo, Firenze

recenzentski svet / supervising council
prof dr Kaliopa Dimitrovska Andrews
akademik dr Igor Grabec
prof dr Hasso Hohmann, Gradec
prof mag Peter Gabrijelčič, dekan FA

tehnični urednik / technical editor
doc dr Domen Zupančič

prelom / setting
Astroni d.o.o.

lektoriranje, slovenščina / proofreading, Slovenian
Karmen Sluga

prevodi, angleščina / translations, English
Milan Stepanovič, Studio PHI d.o.o.

klasifikacija / classification
mag Doris Dekleva-Smrekar, CTK UL

uredništvo AR / AR editing
Fakulteta za arhitekturo
Zoisova 12
1000 Ljubljana
Slovenija

naročanje / subscription
cena številke je 17,60 EUR / price per issue 17,60 EUR
za študente 10,60 EUR / student price 10,60 EUR
dekanat@fa.uni-lj.si

revija je vpisana v razvid medijev pri MK pod številko 50
revija je dosegljiva in ali indeksirana na naslednjih mestih:
Cobiss, ICONDA, MIT digital library, CEEOL, DLib, UL FA AR

za vsebino člankov odgovarjajo avtorji / authors are responsible for their articles

revija sofinancirata / cofinanced

JAK, Javna agencija za knjigo RS
MŠŠ, Ministrstvo za šolstvo in šport

tisk / printing
Tiskarna Bograf

© AR, Arhitektura raziskave, Architecture Research
Ljubljana 2011

Revija AR Arhitektura, raziskave izdaja Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, Inštitut za arhitekturo in prostor, Ljubljana. Revija izide trikrat letno in objavlja predvsem znanstvene članke. Objavljena besedila so s področja arhitekture, urbanizma, oblikovanja, arhitekturne dediščine in z drugih področij, ki so povezana z oblikovanjem prostora. **Besedila prispevkov so praviloma v slovenskem jeziku in enem od svetovnih jezikov.** Vaše prispevke lahko oddajate čez vse leto. Avtorji se z oddajo besedil in slikovnega gradiva strinjajo z uredniško politiko revije in s postopkom recenziranja. Objavljeni prispevki niso honorirani. Uredništvo ne vrača prejetega gradiva.

AR Architecture, research magazine is published by the University of Ljubljana, Faculty of Architecture, Institute for Architecture and Space. The magazine publishes scholarly, reviews of research work at the school, news and views on teachers' activities at congresses etc. AR Architecture, research is interdisciplinary scholarly magazine of research in architecture, urban design and architectural heritage. Authors are constantly invited to submit their papers. For more information about the magazine and details on how to submit a paper please refer to the author guidelines. AR magazine is academic and refereed. Papers may be published in Slovene, English or other language.

Uvodnik / Editorial 1**Članki / Articles**

Srđan Nađ 5
 MIES VAN DER ROHE IN NJEGOV VPLIV NA
 VEČSTANOVANJSKO ARHITEKTURO V CHICAGU /
 MIES VAN DER ROHE'S INFLUENCE ON MULTI-DWELLING
 ARCHITECTURE IN CHICAGO

Boštjan Kerbler 15
 PAMETNI DOM ZA SAMOSTOJNO IN KAKOVOSTNO
 BIVANJE STAREJŠIH LJUDI /
 SMART HOMES FOR INDEPENDENCE AND QUALITY OF
 LIFE FOR THE ELDERLY

Brankica Stojnić, Tomaž Novljan 23
 NOVA OPREDELITEV LOČNICE MED ZASEBNM IN
 JAVNIM V SODOBNI ARHITEKTURI /
 REDEFINING THE BOUNDARY: MULTIPLE REALMS OF
 THE PRIVATE AND PUBLIC IN MODERN ARCHITECTURE

Miha Praznik, Martina Zbašnik-Senegačnik 29
 ANALIZA KVALITATIVNIH PARAMETROV ZA
 ENERGIJSKO UČINKOVITE HIŠE /
 ANALYSIS OF QUALITATIVE PARAMETERS FOR ENERGY-
 EFFICIENT HOUSES

Mateja Dovjak, Roman Kunič 39
 REŠEVANJE PROBLEMOV URBANEGA TOPLOTNEGA
 OTOKA IN VELIKE RABE ENERGIJE Z OZELENJENIMI
 KONSTRUKCIJSKIMI SKLOPI STAVB /
 GREEN BUILDING ELEMENTS AND THE URBAN HEAT-
 ISLAND EFFECT

Sabina Jordan, Martina Zbašnik-Senegačnik 47
 ANALIZE IN VPLIVI ZASTEKLENEGA STAVBNEGA
 OVOJA /
 ANALYSES AND INFLUENCES OF GLAZED BUILDING
 ENVELOPES

Mojca Furman Oman, Peter Gabrijelčič 55
 PREPOZNAVANJE RAZPRŠENE GRADNJE PRI PRIPRAVI
 OBČINSKIH PROSTORSKIH AKTOV /
 IDENTIFYING DISPERSED DEVELOPMENT IN PREPARING
 MUNICIPAL AND COMMUNAL SPATIAL PLANS

Luka Jančič, Fedja Košir 67
 MAKETA V DIGITALNEM PROCESU NAČRTOVANJA /
 MODELS IN THE DIGITAL DESIGN PROCESS

Maša Pahor 75
 ENERGETSKO UČINKOVITA PRENOVA
 VEČSTANOVANJSKIH OBJEKTOV /
 ENERGY-EFFICIENT RENOVATION OF MULTI-DWELLING
 STRUCTURES

Problematika / Problematics

Vladimir Brezar 85
 PRAGMATIČNO GRADITELJSTVO ALI SINDROM 4
 METROV /
 PRAGMATIC CONSTRUCTION OR A 4-METER SYNDROME

Navodila avtorjem / Author guidelines 91

This year, there have been three issues of AR: the additional one will be a thematic issue dealing with 'stone'. But the present issue also offers a number of interesting reflections.

Professor **Vladimir Brezar** deals with the interesting theme of selecting the length of construction elements. In the article Pragmatic construction, or the 4-metre syndrome he discusses the history of architecture, which is a history of continuing efforts to bridge ever-increasing spans and, accordingly, ever-increasing spaces. More than two thousand years of such development can be found in any history of architecture treating monumental buildings made from solid and durable materials. The 4-metre syndrome is a very special phenomenon within this context.

It is worth reading.

A young colleague, **Srdan Nad**, returned from the U.S. with a number of interesting items of information. He has collected his reflections in the paper Mies van der Rohe's influence on multi-dwelling architecture in Chicago, pondering on the works of the great architect. He claims that a quick sight-seeing tour of the city quickly reveals that many Chicago architects adopted the concept of the façade, or merely the visual appearance of a structure, following the model of Mies's architecture. Some even emulated the whole design of Mies's residential structure.

An issue which some of us are increasingly becoming aware of, and which has been dealt with on several occasions, is old age. Slovenia is getting old; this is a fact. Has architecture been following this development? **Boštjan Kerbler** presents a number of estimates and suggestions in his article Smart homes for independence and quality of life for the elderly. He claims that due to the rising costs of health and social services, the ageing population is becoming an increasing challenge for all developed societies. Therefore, achieving financial sustainability increasingly requires that these services be rationalised. One of the responses of society to these problems is the idea that services should be 'transferred' to the residences of older people, which also means changing in architecture in response to this development.

Brankica Stojnić, a PhD student, ponders the re-evaluation of boundaries between the public and the private. The article Redefining the boundary: multiple realms of the private and public in modern architecture raises the problems of some key elements blurring the distinctions between these two categories. She says that an insightful understanding of these problems is essential for addressing the problems of changing physical boundaries.

Miha Praznik and **Martina Zbašnik-Senegačnik** are concerned with the regulation of energy consumption in houses. The article Analysis of qualitative parameters for energy-efficient houses analyses many buildings having varying degrees of efficiency depending on their size, number of occupants, location in space, shape factor and materials.

It seems that highly energy-efficient family homes emerged in Slovenia around 2005, and were becoming more numerous in 2008. Since energy efficiencies vary, thoughtful consideration when making a choice is increasingly important.

Mateja Dovjak, a colleague from the Faculty of Civil Engineering and Geodesy, and a practice expert, Dr Roman Kunič, try to shed light on an issue already discussed in AR some years ago: greening. The paper Green building

elements and the urban heat-island effect broadens and updates the issue. It reports on green roofs, exterior walls and building envelopes. The authors claim that green building elements have become increasingly popular in the last few years. They are passive technologies employed to solve modern city problems and thereby contribute to the sustained development of the urban environment. The authors investigate the contribution of green building elements to solving the heat-island effect issue and huge energy consumption in buildings. Above all, this is a great architectural challenge.

This is not the last of the papers by PhD students, which dominate this issue. A young colleague, **Sabina Jordan**, along with her mentor Prof **Martina Zbašnik-Senegačnik**, presents analyses and the influence of glazing on two different yet interacting levels - the building as a whole and glazing as a building element. The authors focus on glazing as such, which in today's architecture too often constitutes a problem. The paper Analyses and influences of glazed building envelopes contains quite a lot of critical reflection. At the building level, analyses were performed on a sample of high-rise commercial buildings in Slovenia. These reflections are especially relevant when decisions about this type of building are being made.

One of the better articles is Identifying dispersed development in preparing municipal and communal spatial plans which deals with a policy about which there is much discussion but with which we are far too unfamiliar. Therefore a response from the practical field is much more important. **Mojca Furman Oman** writes about the absence of methods for determining dispersed housing, which thus leads to a lack of standardisation and confusing municipal and communal spatial plans, which take completely different approaches to settlements in rural areas.

The model is one of the oldest types of representation in architecture. In the course of history, it has not changed much, but the last few years have seen a turning point in its evolution: it appears as a physical model and as a virtual space that we may discover as circumstances require, verifying details which once remained concealed until the final realisation. In their article Models in the digital design process, **Luka Jančič** and **Fedja Košir** discuss the use of models in the design process and highlight the changes introduced to this field by new digital modes of design and implementation.

Maša Pahor, a PhD student and researcher from the economic sector, deals with renovation. She claims that in Slovenia there is a considerable divergence between wishes and goals respectively and the actual situation regarding the renovation of multi-dwelling structures. The implementation of comprehensive renovations - due to the great share of private property share and financial incapacity of owners - is extremely difficult, a judgement with which we can fully agree.

The third issue will then be devoted to stone; in the first issue of 2012, we will also publish conference proceedings as well as research reports from 2011; these are quite numerous and concern the response to our scholarly work, which is a necessity for this area of research.

The Editor

Letos bo AR izšel v treh številkah: pridružila se mu bo tematska številka na temo 'kamen'. Ampak že pričujoča vsebina kaže kar nekaj zanimivih razmišljanj.

Profesor **Vladimir Brezar** razkriva zanimivo tematiko izbora dolžine konstrukcijskih elementov. V članku Pragmatično graditeljstvo ali sindrom 4 metrov govori o zgodovini arhitekture, ki spremlja neprestane napore za premostitev vedno večjih razpetin in s tem vedno večjih prostorov. Več kot dvatisoč let takega razvoja je najti v vsaki zgodovini arhitekture, ki obravnava monumentalne zgradbe, narejene iz trdnjših in trajnejših materialov. Sindrom štirih metrov je pri tem prav poseben fenomen.

Se ga izplača prebrati.

Mladi kolega **Srdan Nad** je z obiska v Združenih državah prinesel kar nekaj zanimivih podatkov. Razmišljanje je združil v članku Mies van der Rohe in njegov vpliv na večstanovanjsko arhitekturo v Chicagu kjer razmišlja o delih velikega arhitekta. Trdi, da je že s samim hitrim ogledom mesta možno ugotoviti, da so mnogi čičaški arhitekti povzemali idejo fasade ali zgolj vizualni videz objekta po vzoru Miesove arhitekture. Nekateri so po njem posnemali kar celotno zasnovo stanovanjskega objekta.

Tematika, ki se je - nekateri - vse bolj zavedamo in je bila že večkrat obdelovana, je starost. Slovenija se stara, to je dejstvo. Ali arhitektura temu razvoju sledi? **Boštjan Kerbler** postavlja kar nekaj ocen in predlogov v članku Pametni dom za samostojno in kakovostno bivanje starejših ljudi. Pravi, da postaja staranje prebivalstva zaradi naraščajočih stroškov za zdravstvene in socialne storitve vse večji izziv vseh razvitih družb. Vse bolj se zato pojavljajo zahteve, da bo treba za doseganje finančne vzdržnosti te storitve čim bolj racionalizirati. Eden od odzivov družbe na te probleme je zamisel, da bi bilo treba storitve prenesti v kraj bivanja starejših ljudi. S tem se spreminja tudi arhitektura, ki temu razvoju sledi.

Doktorantka **Brankica Stojnič** razmišlja o prevrednotenju meja med javnim in zasebnim. Članek Redefining the Boundary: Multiple Realms of the Private and Public in Modern Architecture odpira problematiko nekaterih ključnih elementov, ki zamegljujejo razlike med tema dvema kategorijama. Pravi, da je za problematiko spreminjanja fizičnih mej ključnega pomena prav njeno razumevanje.

Miha Praznik in **Martina Zbašnik-Senegačnik** se ukvarjata z ureditvijo izrabe energije in energij v hiši kot taki. Članek Analiza kvalitativnih parametrov za energijsko učinkovite hiše analizira mnoge primere zgradb različnih učinkovitosti, ki zavisijo od velikosti, števila prebivalcev, umeščenosti v prostor, od oblike in materialov. Pravita, da so se energijsko visoko učinkovite družinske hiše v Sloveniji pojavile okrog leta 2005, bolj množično so začele nastajati šele leta 2008. Njihova energijska učinkovitost je različna, zato je preudarek pri izboru zanjo vse pomembnejši.

Kolegica z Gradbene fakultete **Mateja Dovjak** in strokovnjak iz prakse dr **Roman Kunič** skušata osvetliti problematiko, ki smo jo v reviji AR imeli že pred leti: ozelenitev. Članek Reševanje problemov urbanega toplotnega otoka in velike

rabe energije z ozelenjenimi konstrukcijskimi sklopi stavb obstoječo problematiko razširja in jo nadgrajuje. Govori o ozelenjenih strehah, o zunanjih stenah in o stavbnih ovojih. Pravita, da ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb v zadnjih letih pridobivajo na popularnosti. Predstavljajo pasivne tehnologije, s katerimi rešujemo probleme modernih mest in s tem pripomoremo k trajnostnem razvoju urbanega okolja. Preučujeta prispevek ozelenjenih konstrukcijskih sklopov stavb na reševanje urbanega toplotnega otoka in (pre)velike rabe energije v stavbah. To je predvsem za arhitekturo velik izziv.

Člankov doktorantov še ni konec, v tej številki kar prevladujejo. Mlada kolegica **Sabina Jordan** z mentorico, prof **Martino Zbašnik-Senegačnik** predstavljata analize in vplive zasteklitev na dveh različnih, medsebojno povezanih nivojih, stavbi in stavbnem elementu. Govorita predvsem o zasteklitvi, ki je v današnji arhitekturi vse prevečkrat problem. V članku Analize in vplivi zasteklenega stavbnega ovoja je kar nekaj analitičnega razmišljanja. Analize na nivoju stavbe so izdelane na vzorcu visokih poslovnih stavb v Sloveniji. Razmišljanje je pomembno predvsem za odločanje za nove tovrstne gradnje.

Eden boljših člankov je na vsak način Prepoznavanje razpršene gradnje pri pripravi občinskih prostorskih aktov, ki se ukvarja s politiko, o kateri mnogo govorimo, a problematiko vse premalo zares poznamo. Zato je odziv prakse toliko pomembnejši. **Mojca Furman Oman** piše o odsotnost metodologije določanja razpršene gradnje, ki zato povzroča neenotnost in konfuznost novih občinskih prostorskih načrtih, ki povsem različno obravnavajo poselitev podeželskega prostora.

Maketa je ena najstarejših predstavitev tehnik arhitekture. V zgodovini se maketa ni dosti spreminjala, v zadnjih letih pa doživlja prelomne spremembe: nastopa kot klasična maketa in kot navidezni prostor, ki ga lahko odkrivamo po potrebi in preverjamo detajle, ki so bili nekdanj skriti vse do končne finalizacije. **Luka Jančič** in **Fedja Košir** v članku Maketa v digitalnem procesu načrtovanja obravnavata uporabo maket v projektantskem procesu in osvetlujeta spremembe, ki jih v to polje vnašajo novi digitalni načini zasnove in izvedbe.

Doktorantka, raziskovalka iz gospodarstva, **Maša Pahor**, se ukvarja s prenovo. Trdi, da v Sloveniji prihaja do velikega razkoraka med željami oziroma cilji in dejanskim stanjem na področju prenavljanja večstanovanjskih objektov. Izvedba celovitih prenov je, zaradi visokega zasebnega lastniškega deleža in finančne nezmožnosti lastnikov izredno problematična. Temu lahko pritrdimo.

Tretja številka bo torej kamnita, v letu 2012 pa bomo v prvi objavili tudi nastope na kongresih ter poročila o raziskavah v letu 2011. Kar nekaj jih je in govorijo o odmevnosti našega znanstvenega dela, ki je za raziskovalno področje nujno.

Urednik

REŠEVANJE PROBLEMOV URBANEGA TOPLOTNEGA OTOKA IN VELIKE RABE ENERGIJE Z OZELENJENIMI KONSTRUKCIJSKIMI SKLOPI STAVB

GREEN BUILDING ELEMENTS AND THE URBAN HEAT-ISLAND EFFECT

izvleček

Ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb v zadnjih letih pridobivajo na popularnosti. Predstavljajo pasivne tehnologije, s katerimi rešujemo probleme modernih mest in pripomoremo k trajnostnem razvoju urbanega okolja. Članek bo preučil prispevek ozelenjenih konstrukcijskih sklopov stavb na reševanje urbanega toplotnega otoka in velike rabe energije v stavbah. Toplotna učinkovitost ozelenjenih konstrukcijskih sklopov je odvisna od klimatskih značilnosti lokacije, deleža vegetacije na stavbi in od geometrije urbanega okolja. Znižanje temperature zraka v urbanem okolju je največje v primeru stavbe z ozelenjenim ovojem, v toplejši klimi in ožjem urbanem kanjonu. V primeru strehe z ekstenzivno vegetacijo deluje temen substrat kot močan toplotni vir in povzroča višje temperature površin in zraka v primerjavi s klasično betonsko streho. Gostejša vegetacija deluje kot hladilni vir. Ozelenjeni konstrukcijski sklopi se lahko uporabljajo tudi za pasivno hlajenje, z 12–90 % energijskimi prihranki. Največji prihranki so doseženi v primeru toplotno neizolirane stavbe, v zadnjih nadstropjih stavbe in v vroči suhi klimi.

ključne besede

ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb, urbani toplotni otok, rabe energije v stavbi, bioklimatsko načrtovanje

abstract

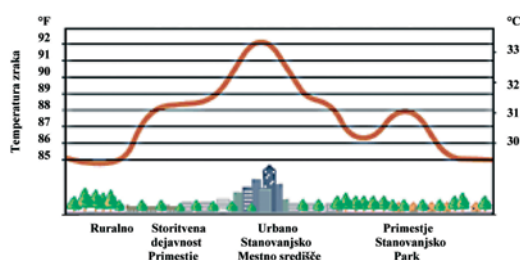
Green building elements have been gaining popularity in the last few years. They constitute passive technologies that we employ to solve problems of modern cities, thereby contributing to the sustainable development of the urban environment. The thermal efficiency of green building elements depends on the climatic characteristics of the location, relative quantity of vegetation in the building, and on urban environment geometry. The air temperature in the urban environment falls most in buildings with a green envelope in a warmer climate sited in a narrow urban canyon. In cooler climates, green building elements improve the occupants' thermal comfort. A comparison with a roof cooled by white reflective paint shows that green rooftops have a better thermal impact due to evapotranspiration. In the case of a rooftop with extensive vegetation, the dark substrate acts as a powerful heat source causing higher surface and air temperatures than a classic concrete roof. Green building elements can also be used for passive cooling, allowing for 12%-90% energy savings. The greatest savings are attained in a thermally non-insulated building in the building's upper floors, and in a hot dry climate.

key words

green building elements, urban heat-island, energy uses in building, bioclimatic design

Urbanizacija v šestdesetih in sedemdesetih letih 20. stoletja je povzročila širjenje mest v ruralna področja, povečano rast mestnega prebivalstva in storitvenih dejavnosti ter vplivala na rabo energije v stavbnem sektorju. Pozidava urbanega okolja, spremenjene hidrotermalne lastnosti površin in pomanjkanje vegetacije pa so vplivali na klimo mest in povzročili tako imenovan učinek urbanega toplotnega otoka [Kosareo in Ries, 2007; Hien in sod., 2007]. Nepremišljena raba materialov za urbane površine ter neupoštevanje principov bioklimatskega načrtovanja je še poslabšala situacijo.

"Kamuflačna arhitektura" temelji na racionalizaciji, saj del izgubljenega zemljišča povlečemo čez stavbni ovoj. Med ozelenjene konstrukcijske sklope stavb, ki v zadnjih letih pridobivajo na popularnosti, prištevamo ozelenjene strehe, ozelenjene stene in ozelenjen stavbni ovoj. Predstavljajo pasivne tehnologije, s katerimi rešujemo probleme modernih mest in s tem pripomoremo k trajnostnem razvoju urbanega okolja. Z ozelenjenimi konstrukcijskimi sklopi lahko pripomoremo k reševanju problema urbanega toplotnega otoka in velike rabe energije v stavbah.



Slika 1: Značilen temperaturni profil urbanega toplotnega otoka [EPA, 2011].

Figure 1: Typical urban heat-island profile.

Pregledni znanstveni članek bo na osnovi znanstvenih dognanj preučil prispevek ozelenjenih konstrukcijskih sklopov stavb na reševanje urbanega toplotnega otoka in velike rabe energije v stavbah. Problematika toplotnega otoka in rabe energije v stavbah bo predstavljena z izsledki znanstvenih študij. Definirane bodo možne rešitve zasnovane na procesu bioklimatskega načrtovanja. Končne ugotovitve pa omogočajo načrtovalcem, da izberejo najprimerneje zasnovan konstrukcijski sklop, ki predstavlja pomemben korak k trajnostnemu razvoju urbanega okolja.

Problematika urbanega toplotnega otoka

Pojem urbani toplotni otok je znan že od leta 1810 [Howard, 1818-20] in pomeni zvišanje temperature zraka v urbanem okolju glede na referenčno točko v ruralnem okolju. Zanj je značilen tipičen temperaturni profil, njegov vpliv pa je moč zaslediti na mikro, mezo in makro nivoju (Slika 1) [EPA, 2011; Santamouris in sod., 2007].

Lastnosti	Beton	Asfalt	Zemlja	Rastlinje
Specifična toplotna kapaciteta (MJ/m ³ K)	1,60	2,00	1,15	2,60
Toplotna prevodnost (W/mK)	1,70	1,30	—	—
Difuzivnost vodne pare (10 ⁻⁶ m ² /s)	0,55	1,58	—	—
Razmerje med difuzivnostjo vodne pare in celotno difuzivnostjo (-)	0,20	0,10	—	—
Emisivnost (-)	0,94	0,81	0,94	0,94
Albedo (-)	0,23	0,10	0,23	0,30
Hidraulična prevodnost (10 ⁻⁴ m/s)	—	—	0,01	—
Vodni potencial (cm)	—	—	-49,0	—
Maksimalna volumetrična vsebnost vode (m ³ /m ³)	—	—	0,492	—
Konvekcijski toplotni upor rastline (s/m)	—	—	—	200
Ekstinkcijski koeficient vegetacije (-)	—	—	—	1,4
Spodnji nivo vlage v zemlji, pri kateri se bo pojavila trajna ovenitev rastline (m ³ /m ³)	—	—	—	0,25

Tabela 1: Primerjava hidrotermalnih lastnosti za izbrane materiale [Alexandri in Jones, 2007:4].

Table 1: Comparison of hydrothermal properties for selected materials.

Urbani toplotni otok se pojavi tekom dneva ali noči, zime ali poletja. Njegov učinek pa je najbolj izrazit v jasnih poletnih nočeh, ko vlada brezvetrje [Santamouris in sod., 2001]. Povzročata številne neželene posledice z vplivom na človeško zdravje [Alexandri in Jones, 2007; Kosareo in Ries, 2007; Takebayahi in Moriyama, 2007]. Med poglavitne vzroke za njegov nastanek prištevamo antropogeno povzročene spremembe urbanih površin. Hidrotermalne lastnosti materialov, ki so razširjeni v urbanem okolju, in njihova primerjava z rastlinjem je predstavljena v Tabeli 1.

Na razvoj urbanega toplotnega otoka pa vplivajo tudi številni faktorji. Najpogostejši med njimi so [Oke in sod., 1991]:

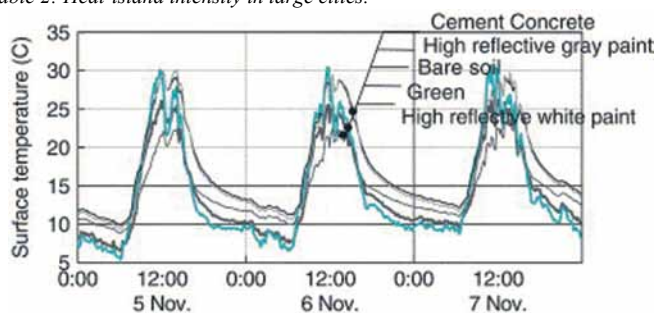
- Geometrija urbanega kanjona, ki vpliva na zmanjšanje izgub dolgovalovnega sevanja v okolico, vključno s sevanjem v vesolje - atmosfero;
- Toplotne lastnosti urbanih materialov, ki povečajo hrambo senzibilne toplote;
- Antropogeni viri toplote, kot so zgorevanje fosilnih goriv, delovanje klimatskih naprav ipd.;
- Učinek tople grede na nivoju mesta, ki se razvije zaradi kopičenja dolgovalovnega sevanja v onesnaženem zraku;
- Geometrija urbanega kanjona, ki vpliva na zmanjšanje efektivnega albeda sistema in povzroči mnogokratno odboj sevanja med površinami znotraj kanjona;
- Zmanjšanje obsega površin za evaporacijo povzroči, da se tvorijo večje količine senzibilne toplote in manj latentne;
- Zmanjšana turbulentni prenos toplote med ulicami.

Intenzivnost toplotnega otoka pomeni maksimalno razliko med temperaturo zraka v središču mesta ter temperaturo zraka v referenčni točki v ruralnem okolju. Odvisna je od toplotne bilance mesta in lahko pomeni tudi 10 °C temperaturne razlike. Po podatkih [IPCC, 1990; Santamouris, 2006; Kajfež-Bogataj, 2005] je intenzivnost toplotnega otoka v večjih mestih od 1,1 °C do 15 °C (Tabela 2).

Mesto	Intenzivnost toplotnega otoka [°C]
30 mest v ZDA	1,1
New York, ZDA	2,9
Moskva, Rusija	3,0 – 3,5
Tokio, Japonska	3,0
Šanghaj, Kitajska	6,5
Atene, Grčija	6,0 – 15,0
London, VB	8
Ljubljana	1,0 – 3,0

Tabela 2: Intenzivnost toplotnega otoka v večjih mestih [IPCC, 1990; Santamouris, 2006; Kajfež-Bogataj, 2005].

Table 2: Heat-island intensity in large cities.



Slika 2: Pojav urbanega toplotnega otoka in predlagane rešitve [Krainer, 2002a:3].

Figure 2: Appearance of heat-island phenomenon in large cities with alternative solution.

Atene so primer urbanega okolja, kjer je učinek toplotnega otoka še posebej izrazit. Maksimalen porast temperature zraka se pojavi v mestnem središču (6 – 15 °C tekom dneva, 2 – 5 °C tekom noči), njegov učinek pa sega tudi v primestje Aten (6 – 2 °C). Pri tem pa je potrebno poudariti, da je temperatura zraka v območju ozelenjenih površin za 2 – 3 °C nižja, kot je v referenčni točki brez ozelenjenih površin [Santamouris, 2006: 98]. Urbano okolje z upoštevanimi principi bioklimatskega načrtovanja, učinkovitim naravnim prezračevanjem in zadostnim deležem ozelenjenih površin predstavlja smer reševanja problema toplotnega otoka.

Raba energije za gretje in hlajenje stavb

Stavbni sektor v svetovnem merilu označuje pravilo 40 %. To pomeni, da gradbena industrija porabi 3 milijone ton gradbenih materialov na leto, kar predstavlja 40 % celotnih svetovnih zalog; v fazi gradnje in uporabe objekta porabijo stavbe 40 % celotne energije; po zaprtem proizvodno-potrošnem krogu pa predstavljajo gradbeni odpadki 40 % svetovnih količin [Kernan, 2001; Gluch, 2005; Kunič, 2007].

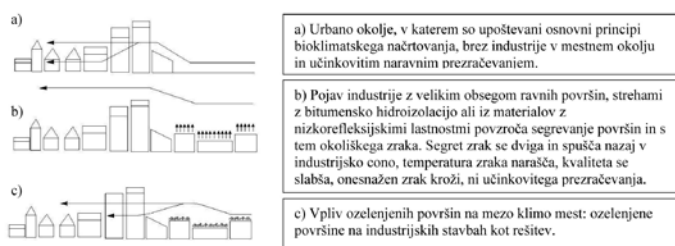
Urbano okolje zajema 2 % zemeljske površine, vendar pa porabi kar 75 % vseh resursov. Vpliv urbanizacije na rabo energije je bil dokazan s številnimi študijami. 1 % povečanje števila urbane populacije povzroči 2,2 % povečanje v rabi energije. 1 % povečanje BDP na prebivalca pa se odraža v skoraj enakem povečanju v rabi energije (1,03 %) [Jones, 1992; Santamouris in sod., 2001]. Statistične analize, izvedene v zahodni in južni Evropi [Stanners in Bourdeau, 1995], so pokazale, da se je delež energije za gretje in hlajenje stavb v zadnjih dveh desetletjih signifikantno povečal. V Atenah, mestu z izrazitim toplotnim otokom, je bilo ugotovljeno, da znaša število ur hlajenja 385, v primestju Aten pa 132 [Santamouris in sod., 2001]. Ojima [1991] pa je ugotovil, da so se v Tokiju, med leti 1965 in 1975, hladilne obremenitve povečale za 10 – 20 %.

Akbari s sod. [1992] je v mestih v ZDA (s populacijo večjo od 100.000) preučeval povezavo med toplotnim otokom in rabo energije. Ugotovil je, da je dvig temperature zraka za 1 °C povzročil povečanje vršnih električnih obremenitev (iz 2,7 % na 3,6 %). Če upoštevamo, da so se v zadnjih štiridesetih letih temperature zraka v US mestih dvignile z 1,1 °C na 2,2 °C, se domneva, da se 3 – 8 % električne energije porabi samo za kompenzacijo toplotnega otoka [Santamouris in sod., 2001]. V Los Angelesu so po letu 1940 ugotovili znatno povečanje maksimalnih temperatur zraka, kar pa se je odrazilo v dodani potrebi po električni energiji (2,7 GW za 1 °C dviga temperature zraka). V ZDA so ocenjeni stroški porabe elektrike v poletnem času znašali 1 milijon \$ na uro (667.913,44 EU) ali več kot 1 bilijon \$ na leto (667.913.438,42 EU) [Akbari in sod., 1992]. Z računalniškimi simulacijami pa je bilo na nivoju celotne države dokazano povečanje vršnih električnih obremenitev za hlajenje, i.s. 0,9 – 5,4 % za 1 °C dviga temperature zraka [Santamouris in sod., 2001].

Mehanizem delovanja ozelenjenih konstrukcijskih sklopov stavb

Mehanizem toplotnih tokov skozi ozelenjene konstrukcijske sklope stavb temelji na fizikalnih zakonih prenosa toplote in snovi skozi zračni sloj, rastlinje, zemljino, gradbene materiale znotraj konstrukcijskega sklopa in mejne razmere [Alexandri in Jones, 2007]. Primerjava med ozelenjenimi in klasičnimi betonskimi strehami na osnovi toplotnih tokov je bila izvedena

s številnimi študijami [Alexandri in Jones, 2008; Takebayashi in Moriyama, 2007; Hien in sod., 2007]. Zaradi poenostavitve je bil preučevan le mehanizem prenosa toplote na nivoju zunanje površine strehe in ne celotnega sklopa.

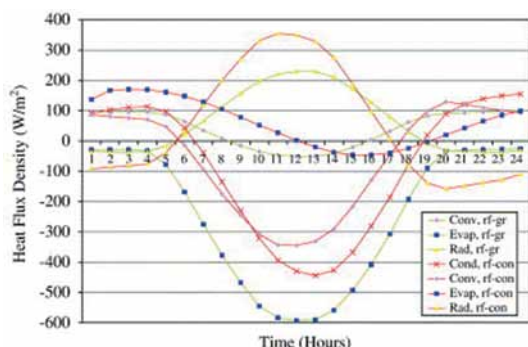


Slika 3: Gostota toplotnega toka (heat flux density, W/m²) s konvekcijo (Conv), evaporacijo (Evap), sevanjem (Rad) in kondukcijo (Cond) na betonski (rf-con) in zeleni strehi (rf-gr), Montreal [Alexandri in Jones, 2008:6].

Figure 3: Convective (Conv), evaporative (Evap), long and short-wave radiative (Rad) and conductive (Cond) heat fluxes on a concrete roof (rf-con) and on a green roof (rf-gr) in Montreal.

Gostote toplotnih tokov s sevanjem, kondukcijo, konvekcijo in evaporacijo na zunanji površini betonske in ozelenjene strehe se razlikujejo med seboj. Gostota toplotnega toka s sevanjem (kratko in dolgovalovno sevanje) je maksimalna pri betonski strehi. To posledično privede do višjih površinskih temperatur. Na ozelenjeni strehi pa se pojavi mnogo večja gostota toplotnega toka s konvekcijo kot v primeru betonske strehe. Največja razlika med ozelenjeno in betonsko streho se pojavi v gostoti toplotnega toka z evaporacijo, kjer deluje ozelenjena streha kot ponor toplote. Gostota toplotnega toka s kondukcijo je minimalna pri ozelenjeni strehi, medtem ko predstavlja pomemben del pri betonski [Alexandri in Jones, 2008; Takebayashi in Moriyama, 2007; Hien in sod., 2007].

Energijska bilanca ozelenjene strehe, tekom dneva in noči je prikazana na sliki 4 [Krainer, 2002]. Podnevi predstavlja sevanje glavni pritek energije skozi konstrukcijski sklop ozelenjene strehe (100 %). Energijski odtoki pa potekajo z evaporacijo in konvekcijo, ki sta tudi enakomerno zastopani (43 %, 47 %). Ponoči pa poteka pritek energije skozi ozelenjeno streho s kondukcijo (75 %), odtoki pa s sevanjem (67 %) in delno z evaporacijo (33 %). Podnevi znaša dotok energije v stavbo 10 %, ponoči pa je odtok energije iz stavbe 25 %.

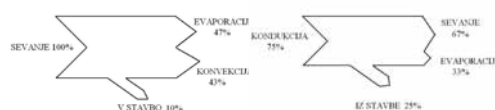


Slika 4: Energijska bilanca konstrukcijskega sklopa ozelenjene strehe (levodan, desnonoč) [Krainer, 2002].

Figure 4: Energy balance for green roof, day/night.

Prednosti in slabosti ozelenjenih konstrukcijskih sklopov stavb študije [Pech in sod., 1999:7; Luley in Bond, 2002; Hien in sod., 2007; Akbari in Konopacki, 2005; Santamouris in sod.,

2001; Alexandri in Jones, 2007 in 2008; Zbašnik-Senegačnik in Kresal 1999; Simonič in Dobrilovič, 2005; Mentens et al, 2006; Getter et al., 2007; GRO, 2011] so dokazale, da ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb prispevajo k trajnostnemu razvoju mest, v katerem so medsebojno uravnoteženi vsi vidiki razvoja: zdravstveni, okoljski, ekonomski in socialni vidik. Ena od pomembnih prednosti ozelenjenih konstrukcijskih sklopov pred klasičnimi pa je tudi daljša življenjska doba in trajnost materialov (predvsem sloja hidroizolacije, v nadaljevanju HI) [Kunič, 2007]. Vegetacija namreč zaščiti nižje ležeče sloje pred zunanji vplivi, kot so toča in veter, temperaturne spremembe in kemični vplivi. Vpliv temperaturnih razlik na HI pri različnih tipih streh je predstavljen v Sliki 6.



Slika 5: Vpliv temperaturnih razlik na sloj hidroizolacije (HI) pri različnih tipih streh (poletje/zima, dan/noč) [Krainer, 2002].

Figure 5: Impact of temperature differences on waterproof membrane during summer and winter period (day/night) for different types of green roofs.

Poleg številnih prednosti, ki sta jih povzela Simonič in Dobrilovič [2005], imajo ozelenjeni konstrukcijski sklopi tudi nekatere slabosti, ki jih je potrebno upoštevati v fazi načrtovanja. Največ pomanjkljivosti imajo strehe z intenzivno ozelenitvijo. Teža zemljine povzroči potrebo po dodatno ojačani nosilni konstrukciji. Sloji, ki podpirajo intenzivno ozelenitev, pa privedejo do višjih začetnih stroškov in dodatnega vzdrževanja [Hien in sod., 2007].

V nadaljevanju bo predstavljena učinkovitost ozelenjenih konstrukcijskih sklopov stavb na zmanjšanje intenzitete urbanega toplotnega otoka in rabe energije v stavbah. Učinkovitost se bo ugotavljala glede na klimatske značilnosti lokacije, delež vegetacije na stavbi, vpliv orientacije in geometrije urbanega okolja. Ozelenjeni konstrukcijski sklopi pa se bodo primerjali tudi z ostalimi alternativami, kot so visokorefleksijski premazi.

Rezultati

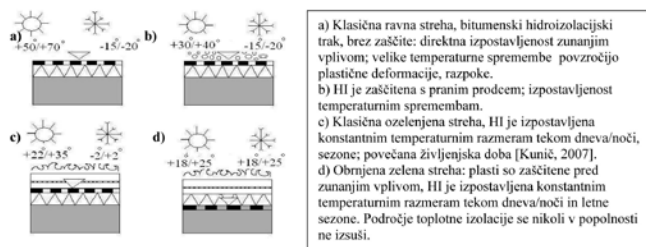
Reševanje problema urbanega toplotnega otoka

Ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb imajo pozitiven vpliv na mikro, mezo in makro klimo mest, prispevajo pa tudi k izboljšanim toplotnim razmeram v notranjosti stavb. Vpliv je lahko neposreden ali posreden. Med neposredne vplive prištevamo znižanje temperature zraka nad nivojem strehe, znižanje temperature zraka v urbanem kanjonu ter znižanje površinskih temperatur na ozelenjenem konstrukcijskem sklopu. Med posredne vplive pa prištevamo znižanje temperatur na neozelenjenih površinah.

Učinkovitost ozelenjenih konstrukcijskih sklopov glede na lokacijo: "Kje načrtovati ozelenjene konstrukcijske sklope?"

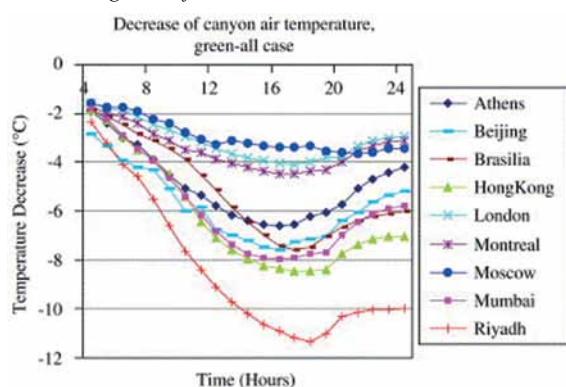
Učinkovitost ozelenjenih konstrukcijskih sklopov je odvisna od klimatskih značilnosti lokacije, deleža vegetacije na stavbi, orientacije in geometrije urbanega kanjona. Študija [Alexandri in Jones, 2008] je glede na klimatske značilnosti lokacije preučevala vpliv ozelenjenih konstrukcijskih sklopov na znižanje temperature zraka in površin v urbanem kanjonu. V analizo je bilo vzetih 9 lokacij z različnimi klimatskimi značilnostmi (London – zmerna klima, Montreal –subarktična klima, Moskva

– kontinentalna klima s hladnim poletjem, Atene – mediteranska klima, Peking – stepa, Riad – puščava, Hong Kong – vlažna subtropska klima, Mumbai – deževni gozd, Brazilija – savana).



a) Klasična ravna streha, bitumenski hidroizolacijski trak, brez zaščite: direktna izpostavljenost zunanjim vplivom; velike temperaturne spremembe povzročijo plastične deformacije, razpoke.
b) HI je zaščiten s pranim prodecem; izpostavljenost temperaturnim spremembam.
c) Klasična ozelenjena streha, HI je izpostavljena konstantnim temperaturnim razmeram tekom dneva/noči, sezona; povečana življenjska doba [Kunič, 2007].
d) Obrnjena zelena streha: plasti so zaščitene pred zunanjim vplivom, HI je izpostavljena konstantnim temperaturnim razmeram tekom dneva/noči in letne sezone. Področje toplotne izolacije se nikoli v popolnosti ne izsuši.

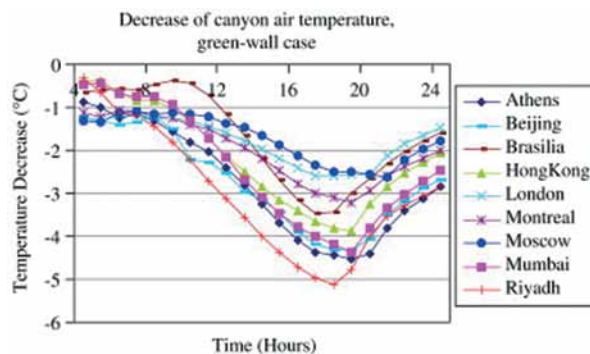
Slika 6: Znižanje temperature zraka v urbanem kanjonu za stavbo z ozelenjenim ovojem, po klimatskih conah [Alexandri in Jones, 2008: 6].
Figure 6: Temperature decrease in canyon, when both roofs and walls are covered with vegetation for all climates examined.



Slika 7: Znižanje temperature zraka v urbanem kanjonu za stavbo z ozelenjenimi stenami, po klimatskih conah [Alexandri in Jones, 2008: 7].
Figure 7: Temperature decrease in canyon, when only walls are covered with vegetation for all climates examined.

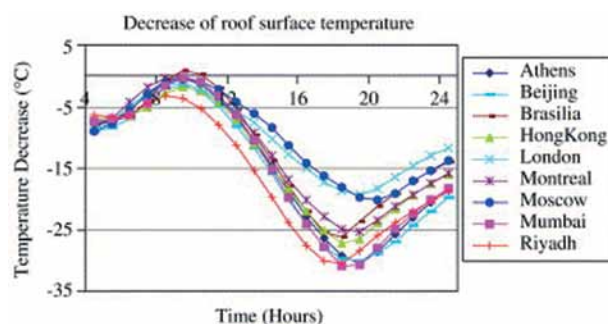
Če primerjamo stavbo z ozelenjenim ovojem ter stavbo z ozelenjenimi stenami, vidimo, da se največje znižanje temperature zraka v urbanem kanjonu pojavi pri stavbi z ozelenjenim ovojem v vroči suhi klimi (Riad-puščava). Največje znižanje temperature zraka znaša 11.3 °C (Riad), najmanjše pa 3.6 °C (Moskva). Pri stavbi z ozelenjenimi stenami pa je znižanje temperature zraka manjše (5.1 °C za Riad, 2.6 °C za Moskvo) (Slika 8). V toplejši in bolj suhi klimi je učinek vegetacije večji. Če spremljamo temperaturo zraka na nivoju strehe (1 m nad streho), vidimo, da se največje znižanje pojavi pri stavbi v vroči suhi klimi, ki ima ozelenjen celoten ovoj (do 26.0 °C, Riad). Znižanje temperature zraka na nivoju strehe pa posledično vpliva tudi na nižjo temperaturo zraka v urbanem kanjonu (11.3 °C, Riad).

Maksimalno znižanje površinske temperature na ozelenjeni strehi se pojavi v vroči suhi klimi (Riad 28 °C) in minimalno v hladnejši klimi (Moskva 18 °C) (Slika 9). Glede na vpliv orientacije pa ugotovimo, da bolj kot je intenzivno vpadno sončno sevanje na ozelenjeno površino, večje je znižanje površinskih temperatur. Tako se v primeru ozelenjenih streh pojavi večje znižanje površinskih temperatur kot na ozelenjenih južnih stenah (Riad 18 °C, Moskva 9 °C). Na nivoju ozelenjene strehe pričnejo temperature zraka in površin padati po 12:00 h, medtem ko v notranjosti kanjona temperature padajo že od jutranjih ur dalje, kar gre pripisati toplotno stabilnejšim razmeram znotraj kanjona.



Slika 8: Temperatura površine ozelenjene strehe, po klimatskih conah [Alexandri in Jones, 2008:7].

Figure 8: Roof surface temperature decrease when covered with vegetation, for all climates examined.



Slika 9: Znižanje temperature asfaltnih površin v primeru stavbe z ozelenjenimi stenami, po klimatskih conah [Alexandri in Jones, 2008: 7].

Figure 9: Asphalt temperature decrease when walls are vegetated in canyon for all nine climates examined.

Evapotranspiracija je proces prehajanja vode v obliki vodne pare z zemeljske površine in skozi listne reže rastlin v ozračje. Učinek evapotranspiracije pomembno prispeva k znižanju temperature ozelenjenih površin in zraka v urbanem kanjonu. To pa posredno povzroči tudi nižjo temperaturo na neozelenjenih površinah, npr. na cestnih in prometnih površinah (maksimalno znižanje 2.0 °C za Riad, minimalno 0.9 °C za Moskvo). Posredni sevalni hladilni učinek dodatno znižuje temperature v urbanem okolju in prispeva k izboljšanju toplotnega udobja v mestih. Glede na omenjeno dejstvo pa je potrebno rabo materialov, ki poslabšajo toplotne razmere v mestih strogo omejiti. Na nivoju stavbnega ovoja je priporočena raba vegetacije.

Študija [Alexandri in Jones, 2008] je v izbranih klimatskih conah spremljala vpliv deleža vegetacije, orientacije in geometrije urbanega kanjona na zmanjšanje temperature zraka znotraj kanjona. V vseh klimah je bilo ugotovljeno, da ima delež vegetacije in geometrija kanjona pomembnejši vpliv na znižanje temperature zraka kot sama orientacija. Pri stavbi z ozelenjeno steno se pojavi samo 0.8 °C razlike med dvema orientacijama. Pri ozelenjenem ovoju pa postane vpliv orientacije na znižanje temperature še manjši (dnevno povprečje 0.2 °C za vse klime). Smer vetra ima še manjši vpliv na znižanje temperature kot orientacija. Za vse geometrije pa velja, da bolj kot je kanjon izpostavljen direktnemu sončnemu sevanju, večje je znižanje temperature (širši kanjon: 9.3 °C; ožji kanjon: 12.3 °C za ozelenjen ovoj).

Glede na študije, ki podpirajo dejstvo, da je učinkovitost ozelenjenih konstrukcijskih sklopov večja v vroči suhi klimi,

se je potrebno vprašati, ali sploh graditi zelene konstrukcijske sklope v hladnejših klimah. Alexandri in Jones [2008] sta ugotovila, da v milem poletju v Moskvi ozelenjevanje stavbnega ovoja ne doprinese toliko k izboljšanju toplotnega udobja zunaj stavbe. Vendar pa ima pozitiven vpliv na toplotno udobno razmere v notranjem okolju. V primeru stavbe z ozelenjeno streho so notranje temperature zraka (brez aktivnega hlajenja) najmanj 3 – 4 °C nižje od zunanjih temperatur, ki znašajo med 25 °C in 30 °C [Liesecke in sod., 1989]. Ozelenjena streha in stene izboljšajo toplotno udobje v notranjem okolju, ne le v vroči klimi, ampak tudi v hladnejših klimah, kjer so ljudje tudi aklimatizirani na nižje temperature.

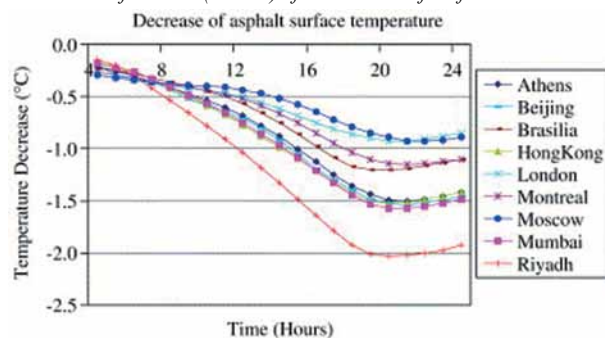
Učinkovitost visokorefleksijskih premazov: "Zelena streha ali visokorefleksijski premaz?"

Študije izvedene s strani Lawrence Berkely National Laboratory dokazujejo, da visokorefleksijski premazi pomembno prispevajo k zmanjšanju intenzivnosti urbanega toplotnega otoka [LBL, 2011]. Njihova izvedba je možna na strehah ter cestnih površinah [Kraimer in sod., 1987; Orel in sod., 1993; LBL, 2011]. Takebayashi in Moriyama [2007] sta primerjala učinek visokorefleksijskih premazov pri ozelenjenih in klasičnih strehah.

Preučevan tip strešne površine	Gola zemlja	Ozelenjena površina	Betonska površina	Visokorefleksijski premaz v sivi barvi	Visokorefleksijski premaz v beli barvi
solarna refleksija []	0,17	0,15	0,37	0,36	0,74

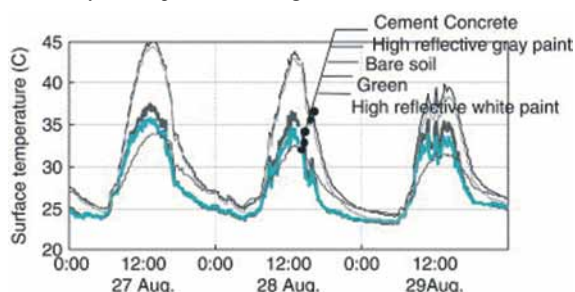
Tabela 3: Solarna refleksija (albedo) za preučevane strešne površine [Takebayashi in Moriyama, 2007:2973].

Table 3: Solar reflectance (Albedo) of examined roof surfaces.



Slika 10: Dnevne spremembe površinskih temperatur na preučevanih površinah (cement concrete-betonska streha, high reflective gray paint-visokorefleksijski siv premaz, bare sole-gola zemlja, green-ozelenjena površina, high reflective white paint-visokorefleksijski bel premaz), avgust 2004 [Takebayashi in Moriyama, 2007:2973].

Figure 10: Surface temperature on August, 2004.

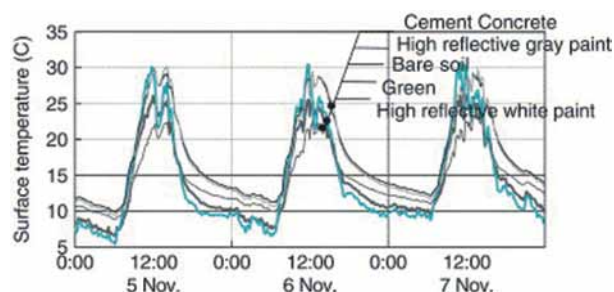


Slika 11: Dnevne spremembe površinskih temperatur na preučevanih površinah (cement concrete-betonska streha, high reflective gray paint-visokorefleksijski siv premaz, bare sole-gola zemlja, green-ozelenjena površina, high reflective white paint-visokorefleksijski bel premaz), novembra 2004 [Takebayashi in Moriyama, 2007: 2973].

Figure 11: Surface temperature on November, 2004.

Takebayashi in Moriyama [2007] sta merila površinske temperature na različnih strešnih površinah. V poletnem času sta ugotovila, da je temperatura na betonski površini in visokorefleksijski sivi barvi približno enaka ali celo 10 °C višja, kot je na ostalih površinah, ki so prekrivane z visokorefleksijskim belim premazom ali so ozelenjene. Temperatura ozelenjene površine pa je zaradi učinka evapotranspiracije nekaj stopinj nižja v primerjavi z golo zemljo in za nekaj stopinj višja kot na visokorefleksijskem premazu bele barve. Novembra pa so površinske temperature na ozelenjeni strehi in goli zemlji približno enake.

Evaporacija se pojavi samo na ozelenjeni strehi in goli zemlji. Njena količina pa je odvisna od vsebnosti vode, ki je večja v globljih plasteh. V zimskem času je količina evaporacije na ozelenjeni strehi manj kot polovična od količine v poletnem času. Podnevi je evaporacija na goli zemlji večja kot na ozelenjeni strehi. Ponoči pa je situacija ravno obratna. V realnosti je ocenjeno, da je tekom noči količina evaporacije zelo majhna, saj se voda pomika iz globljih plasti proti plitkejšim.



Slika 12: Toplotni tokovi na ozelenjeni strehi (net radiation-neto radiacija, sensible heat flux-tok senzibilne toplote, conduction heat flux-toplotni tok s kondukcijo, latent heat flux-tok latentne toplote,) avgust 2004 [Takebayashi in Moriyama, 2007].

Figure 12: Surface heat budget on the green surface on August, 2004.

W/m ²	Ozelenjena površina	Betonska površina	Visokorefleksijski premaz v sivi barvi	Visokorefleksijski premaz v beli barvi
Maksimalen	361	408	399	153
Povprečen	2	72	97	20

Tabela 4: Tok senzibilne toplote na preučevanih površinah (maksimalni, povprečni), avgust 2004 [Takebayashi in Moriyama, 2007:2978].

Table 4: Sensible heat flux on each surface (maximum, average on August, 2004) [Takebayashi and Moriyama, 2007:2978].

Na površini z visokorefleksijskim belim premazom se pojavi manjši toplotni tok s kondukcijo kot na betonski, saj je količina neto pritoka zaradi radiacije majhna. Na površini z visokorefleksijsko sivo barvo pa sta toplotni tok s kondukcijo in tok senzibilne toplote približno enaka kot sta tokova na betonski površini. Neto sevanje je največje na ozelenjeni površini zaradi majhne solarne refleksije. Tok senzibilne toplote pa je na ozelenjeni površini majhen, saj se velik delež absorbirane toplote porabi za evaporacijo (Tabela 4 in Slika 13). Tok senzibilne toplote je tako za 60 W/m² manjši kot na betonski površini, kjer je tudi maksimalen. Razlika se pojavi tudi v nočnem času. Iz rezultatov je moč zaključiti, da so hladne strehe s visokorefleksnimi belimi premazi sicer učinkovite, vendar pa imajo ozelenjene strehe zaradi procesa evapotranspiracije in nižje vrednosti toka senzibilne toplote bistveno boljši toplotni učinek.

Pomanjkljivost študije [Takebayashi in Moriyama, 2007:2978] je v tem, da je analiziran visokorefleksijski premaz z vrednostjo albeda, ki velja za čisto površino. Študija [LBL, 2011] pa je dokazala, da se po vgradnji visokorefleksijskega premaza njegov albedo zelo zmanjša, tudi do 24 %. Po čiščenju se vrednost povrne za

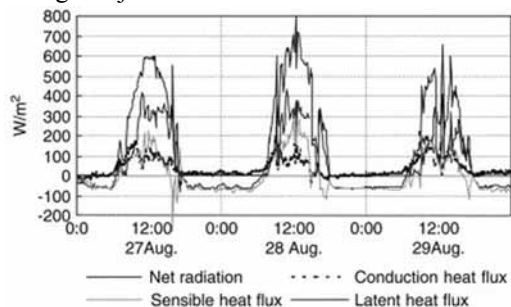
90 %, glede na začetno, kar pa ni stroškovno upravičeno. V eksperimentalnih študijah [Krainer in sod., 1987; Orel in sod., 1993] pa je bil upoštevan tudi faktor umazanije.

Učinkovitost različnih vegetacij

Hien s sod. [2007] je preučeval toplotno učinkovitost različnih tipov vegetacije v Singapurju, kot primeru ozelenjenega mesta. Rezultati meritev na strehi z ekstenzivno ozelenitvijo so pokazali, da se nižje površinske temperature pojavijo po izvedbi ozelenitve. Največja razlika med temperaturami zraka pred in po izvedbi ozelenitve znaša 18 °C. Zanimivo pa je dejstvo, da ima substrat pod ekstenzivno ozelenitvijo celo višjo površinsko temperaturo, kot jo je imel pred izvedbo ozelenitve (izmerjena temperatura substrata je okoli 60 °C). Še več, dosežena temperatura je bila celo višja kot na betonski strehi. Situacija pa se je še poslabšala pri nižji vsebnosti vode v substratu, višjim temperaturam zraka ter večjemu deležu sončnega sevanja. Možni razlogi za višje površinske temperature so temna barva substrata (večji delež absorbiranega sončnega sevanja), suh substrat (manjši hladilni učinek z evaporacijo), redkejša ozelenitev in nižja toplotna kapaciteta substrata. V primeru gostejše vegetacije so temperature substrata relativno nižje [Hien in sod., 2007].

Višje temperature substrata pa imajo tudi pomemben vpliv na temperaturo zraka nad površino strehe. Meritve temperature zraka na različnih višinah (300, 800, 1200 mm) pred in po izvedbi ozelenitve kažejo, da bližje kot smo površini strehe (na 300 mm) višja je temperatura zraka, predvsem po izvedbi ozelenitve. Podnevi deluje substrat kot toplotni vir, evaporacijski učinek pa je šibak. Tako so vršne zunanje temperature nad ozelenjenimi površinami višje kot nad neozelenjenimi in dosežejo tudi 40 °C. Situacija se še poslabša ob nižjih hitrostih zraka. Ponoči pa se pojavi obratna situacija, saj vegetacija deluje kot hladilni vir. Bližje kot smo vegetaciji, nižja je temperatura zraka. Pri tem pa je potrebno poudariti, da se hladilni učinek pojavi le v primeru gostejše ozelenitve. Redkejša ozelenitev in temna barva substrata povzročata višje površinske temperature tudi v nočnem času [Hien in sod., 2007].

Izboljšano učinkovitost ozelenjene strehe se doseže z izvedbo gostejše ozelenitve. Primerjava površinskih temperatur na ozelenjenih strehah, merjeno z IR kamero pokaže, da se nižje površinske temperature pojavljajo na ozelenjeni strehi, ki ima gostejšo vegetacijo.



Slika 13: Površinske temperature merjene z IR kamero na dveh primerih ozelenjenih streh (april 2004) [Hien in sod., 2007:53].

Figure 13: Surface temperatures measured with IR camera for two green roof cases (April, 2004) [Hien et al., 2007:53].

Reševanje problema velike rabe energije v stavbah

Poleg pozitivnega učinka, ki ga imajo ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb na klimo urbanega okolja, jih lahko uporabljamo tudi za pasivno hlajenje. Hladilni učinek ozelenjenih konstrukcijskih sklopov namreč povzroči znižanje temperatur v okolici stavb in vpliva na manjšo rabo energije za hlajenje. Vpliv je odvisen od klimatskih značilnosti lokacije, deleža in pozicije vegetacije na stavbi. Privarčevanje energije je tako od 12 % do 90 % [Santamouris in sod., 2007; Alexandri in Jones, 2007; Spala in sod., 2008] in se pojavi kot rezultat znižanja toplotnih pritokov in izgub skozi ozelenjene dele stavbe. Hien s sod. [2007] je ugotovil, da so se z izvedbo ozelenitve toplotni tokovi skozi streho zmanjšali za več kot 60 %. Če pa je objekt dodatno toplotno izoliran, je odstotek zmanjšanja še večji.

Santamouris s sod. [2007] je izvedel analizo vpliva ozelenitve strehe in izoliranosti stavbe v Atenah na zmanjšanje hladilnih obremenitev. Po izvedbi ozelenitve se hladilne obremenitve v neizolirani stavbi zmanjšajo za 15 – 49 %, v izolirani pa za 6 – 33 %. V primeru hladilnih obremenitev, določenih za zadnje nadstropje, pa je zmanjšanje še večje (v neizolirani stavbi za 27 – 87 %, v izolirani stavbi za 12 – 76 %) [Santamouris in sod., 2007]. Podobne rezultate je dobil tudi Spala s sod. [2008] in sicer je zmanjšanje hladilnih obremenitev na nivoju celotne stavbe med 15 % in 39 %, v zadnjem nadstropju pa doseže 58 % [Spala in sod., 2008].

Glede na izračunano rabo energije za hlajenje stavb je Santamouris s sod. [2007] ugotovil, da je najučinkovitejša izolirana stavba z ozelenjeno streho (31,1 kWh/m²), sledi neizolirana stavba z ozelenjeno streho (32,26 kWh/m²) in izolirana stavba z neozelenjeno streho (34,49 kWh/m²). Najslabši primer predstavlja neizolirana stavba z neozelenjeno streho (40,97 kWh/m²). Zanimivo pa dejstvo, da je raba energije manjša v primeru neizolirane stavbe z ozelenjeno streho kot pa pri izolirani stavbi brez ozelenjene strehe. Vzrok je predvsem v izgubah toplote skozi streho, ki v povprečju znašajo od 20 do 30 %. Ozelenjena streha dodatno pripomore k toplotni izolativnosti in deluje na princip akumulacije z maso. Najslabši primer z vidika rabe energije in toplotnega neudobja pa je primer neizolirane stavbe s klasično streho. Le-to pa se odraža tudi v večji rabi klimatskih naprav (npr. mansardna stanovanja).

Alexandri in Jones [2007] sta izvedla primerjavo še med stavbo z ozelenjenim ovojem in stavbo z ozelenjenimi stenami v različnih klimatskih conah. Ugotovila sta, da je razlika med hladilnimi obremenitvami v stavbi z ozelenjenim ovojem in stavbi z ozelenjeno steno manjša v hladni vlažni klimi (32 – 37 %) in večja v vroči suhi (53 %) [Alexandri in Jones, 2008].

V primeru ogrevalnih obremenitev pa je razlika med ozelenjeno in neozelenjeno stavbo manjša. V realnosti pa je ocenjena mnogo večja razlika [Santamouris in sod., 2007].

Vpliv na makrolokacijo mesta

Ozelenjeni konstrukcijski sklopi stavb imajo pozitiven vpliv tudi v širšem merilu, na nivoju celotnega mesta. Izsledki raziskave o okoljskih prednostih zelenih konstrukcijskih sklopov v Torontu so pokazali, da izvedba ozelenitve na 50 % strešnih površin povzroči znižanje temperature zraka od 0,5 °C do 2°C na nivoju celotnega mesta [CTOCE, 2005; GRPD, 2011]. Vendar pa predstavljajo ozelenjeni deli stavb le majhen korak k celostnemu reševanju. Raziskava na temo reševanja problema toplotnega otoka v New Yorku je pokazala, da ima kombinirana strategija, ki vključuje urbano pogozdovanje, ozelenjene strehe

in ozelenjene površine [NYSERDA, 2006], večji doprinos kot katerakoli individualna strategija. Simulacije so pokazale, da so se temperature zraka po uvedbi kombinirane strategije znižale od 0.1 °C do 0.4 °C [NYSERDA, 2006]. Susca et al. [2011] pa je izvedel meritve toplotnega otoka na štirih izbranih lokacijah New Yorka. Povprečna razlika med temperaturami zraka nad ozelenjenimi in neozelenjenimi deli mesta je znašala 2 °C.

Zaključki

Problemi, s katerimi se srečujejo moderna mesta, se ne rešujejo celostno. Načrtovanje grajenega okolja ne sledi osnovnim principom bioklimatike, na nivoju konstrukcijskih sklopov pa se uporabljajo recepti, ki se jih le prekopira z ene lokacije na drugo. Osnovni princip bioklimatskega načrtovanja je, da izhajamo iz značilnosti lokacije [Krainer, 2002a in 2002b; Kristl in Krainer, 2001 in 2007; Kristl in sod., 2005; Košir in sod., 2010]. Brez upoštevanja bioklimatskega oblikovanja, upoštevanja same lokacije objekta in uporabe dinamičnih računskih modelov ne dosežemo trajnostnih rešitev, pa čeprav izbiramo, v pogledu toplotnih in energetskega karakteristik, še tako dobre materiale, posamezne konstrukcijske sklope ali zasnovo celotnega objekta. Tako mora tudi zasnova ozelenjenih konstrukcijskih sklopov izhajati iz klimatskih značilnosti lokacije, upoštevajoč orientacijo in geometrijo stavbe. Samo s premišljenim izborom ozelenjenega konstrukcijskega sklopa lahko izboljšamo klimo mest in znižamo rabo energije ter s tem pripomoremo k trajnostnemu razvoju urbanega okolja.

Zahvala

Prof.dr. Aleš Krainer, Doc.dr. Živa Kristl, Asist. dr. Mitja Košir, Rudi Perdan; Romana Hudin, Olga Košorok, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente.

Viri in literatura

- Akbari, H., Davis, S., Dorsano, S., Huang, J., Winnett, S., (1992): Cooling our Communities - A Guidebook on Tree Planting and Light Colored Surfacing. US Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division, Washington, D.C.
- Akbari, H., Konopacki, S., (2005): Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. V: Energy policy, Let. 33, str.: 721-756.
- Alexandri, E., Jones, P., (2007): Developing a one-dimensional heat and mass transfer algorithm for describing the effect of green roofs on the build environment: Comparison with experimental results. V: Building and Environment, Let. 42, str.: 2835-2849.
- Alexandri, E., Jones P., (2008): Temperature decreases in a urban canyon due to green walls and green roof in diverse climates. V: Building and Environment, Let. 43, št. 4, str.: 480-493.
- CTOCE, City of Toronto and Ontario Centres of Excellence –Earth and Environmental Technologies, Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto 2005. <http://www.toronto.ca/greenroofs/pdf/fullreport103105.pdf>, <dostop junij, 2011>.
- EPA, Environmental Protection Agency, Heat Island Effect, <http://www.epa.gov/hiri/about/index.html>, <dostop junij, 2011>.
- Getter, K., Rowe, D.B., Andresen, J.A., (2007): Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention. V: Ecological Engineering, Let. 31, št. 4, str.: 225-231.
- Gluch, P., (2005): Building Green, Perspectives on Environmental Management in Construction. PhD dissertation. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden.
- GRPD, Green Roof Project Database, Toronto City Hall Green Roof Demonstration Project. 2000. <http://www.greenroofs.com/projects/pview.php?id=59>, <dostop junij, 2011>.
- GRO, Green Roof Organization, The Green roofs for healthy cities, http://www.greenroofs.org/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=40, <dostop junij, 2011>.
- Hien, N. W., Yok, T. P., Yu, C., (2007): Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. V: Building and Environment, Let. 42, str.: 25-54.
- Howard, L., (1818-20): The climate of London, deduced from Meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis, 2 vol., London.
- IPPC, International Panel on Climate Change, Working Group II, (1990): Climate Change-The IPCC Impacts assessment. IPPC, Geneva.
- Jones, B. G., (1992): Population growth, urbanization and disaster risk and vulnerability in metropolitan areas: a conceptual framework. V: Environmental Management and Urban Vulnerability, World Bank Discussion Paper: stran 168.
- Kajfež-Bogataj, L., (2005), Climate change impacts on quality of human live. V: Acta agriculturae Slovenica, Let. 85, št. 1, str.: 41-54.
- Kernan, P. (2001): Best Practice Guide, Material Choices for Sustainable Design, Greater Vancouver Regional District. Busby Perkins+Will and Stantec Consulting, Metro Vancouver.
- Kosareo, L., Ries, R., (2007): Comparative environmental life cycle

- assessment of green roofs. V: *Building and Environment*, Let. 42, str.: 2606-2613.
- Košir, M., Krainer, A., Kristl, Ž., (2010): Solar Gains Regulation via Holistically Defined Control System of the Internal Environment. V: *Proceedings Graz ISES*, str.: 1-8.
- Krainer, A., Kladnik, R., Orel, R., Klanjšek-Gunde M. (1987): Thermal Performance of a building with radiative cooling roof. V: *European Conference on Architecture, Munich*, str.: 69-74.
- Krainer, A., (2002a): Viri in pasivni sistemi, Modul 2, Stavba 1. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, Univerza v Ljubljani.
- Krainer, A., (2002b): High - tech stavba in bioklimatika. V: *Bioklimatske Zgradbe*, Let. 7, str.: 19-22.
- Luley, C. J., Bond, J., (2002): A plan to integrate management of urban trees into air quality planning. Report to. Northeast State Foresters Association. NSFA, Waterbury, VT.
- Kristl, Ž., Krainer, A., (2001): Energy evaluation of urban structure and dimensioning of building site using iso-shadow method. V: *Solar Energy energy*, Let. 70, št.1, str.: 23-34.
- Kristl, Ž., Zabret, L., Krainer, A., (2005): Karst urban patterns as a function of heating and cooling of buildings. V: *Gradbeni vestnik*, Let. 54, št. 8, str.: 184-189.
- Kristl, Ž., Krainer, A., (2007): Determination of influential area with solar envelope. V: *Gradbeni vestnik*, Let. 56, št. 6, str.: 156-163.
- Kunič, R., (2007): Načrtovanje vrednotenja vpliva pospešenega staranja bitumenskih trakov na konstrukcijske sklope. Doktorska disertacija. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente, Univerza v Ljubljani.
- Liesecke, H-J., Krupka, B., Brueggemann, H., (1989): Grundlagen der Dachbegruenung Zur Planung, Ausfuehrung und Unterhaltung von Extensivbegruenungen und Einfachen Intensivbegruenungen. Patzer Verlag, Berlin-Hanover.
- LBL, Lawrence Berkeley National Laboratory, Cool Roofing Materials Database, <http://eetd.lbl.gov/coolroof/> www.nyserda.org/programs/, <dostop junij, 2011>.
- Mentens, J., Raes, D., Hermy, M., (2006): Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century? V: *Landscape and Urban Planning*, Let.77, str.: 217-226.
- NYSERDA, The New York State Energy Research And Development Authority, Mitigating New York City's Heat Island With Urban Forestry, Living Roofs, And Light Surfaces, New York City Regional Heat Island Initiative. Final Report 2006, <http://www.nyserda.org/programs/environment/emep/project/>, <dostop junij, 2011>.
- Ojima, T., (1991): Changing Tokyo Metropolitan Area and its Heat Island Model. V: *Energy and Buildings*, Let.15, št.1-2, str.: 191-203.
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn D.G., Watson, I.D. (1991): Simulation of surface urban heat islands under ideal conditions at night part 2: Diagnosis of causation Boundary-Layer Meteorology, Let. 56, str.: 339-358.
- Orel, B., Klanjšek Gunde, M., Krainer, A. (1993). Radiative cooling efficiency of white pigmented paints. V: *Soar Energy*, Let. 50, št. 6, str.: 477-482.
- Peck, S.W., Callaghan, C., Kuhn, M. E., Grass, B., (1999): Greenbacks from green roofs: forging a new industry in Canada. Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada.
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., Assimakopoulos, D.N., (2001): On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. V: *Solar Energy*, Let. 70, št.3, str.: 201-216.
- Santamouris, M., (2006). Environmental design of urban buildings. An integrated approach. Earthscan, UK.
- Santamouris, M., Pavlou, C., Doukas, P., Mihalakakou, G., Synnefa, A., Hatzibiros, A., Patargias, P., (2007): Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. V: *Energy*, Let. 32, str.: 1781-1788.
- Spala, A., Bagiorgas, H.S., Assimakopoulos, M.N., Kalavrouziotis, J., Matthopoluis, D., Mihalakakou, G., (2008): On the green roof system. Selection, state of art and energy potential investigation of a system installed in an office building in Athens, Greece. V: *Renewable Energy*, Let 33, št.1, str.: 173-177.
- Takebayashi, H., Moriyama, M., (2007): Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. V: *Building and Environment*, Let. 42: 2971-2979.
- Simonič, T., Dobrilovič, M., (2005): The role of green roofs and facades in building refurbishment. V: *AR*, Let.2, str.: 44-49.
- Stanners, D., Bourdeau, P., (1995): Europe's Environment: the Dobris Assessment. European Environmental Agency, Copenhagen.
- Susca, T., Gaffin, S.R., Dell'Osso, G.R., (2011): Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. V: *Environmental Pollution*, Let.159, št. 8-9, str.: 2119-2126.
- Zbašnik-Senegačnik, M., Kresal, J., (1999): Ozelenjene strehe. V: *Gradbeni vestnik*, Let. 48, št. 8/10, str.: 221-226.