# Termoizolacijska učinkovitost ekstenzivnog zelenog krova u području srednje Dalmacije

**Anić-Kaliger, Darijo**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2009**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Science / Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:217:059828

*Rights / Prava:* In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-03-28**

*Repository / Repozitorij:*

Repository of the Faculty of Science - University of Zagreb

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**

**Prirodoslovno-matematički fakultet**

**Biološki odsjek, Roosveltov trg 6.**

Darijo Anić-Kaliger

# TERMOIZOLACIJSKA UČINKOVITOST EKSTENZIVNOG ZELENOG KROVA U PODRUČIJU SREDNJE DALMACIJE

# DIPLOMSKI RAD

ZAGREB , 2009. god.

# TERMOIZOLACIJSKA UČINKOVITOST EKSTENZIVNOG ZELENOG KROVA U PODRUČIJU SREDNJE DALMACIJE

**IZRADIO:** **MENTOR:**

**DARIJO ANIĆ-KALIGER** **Doc. dr. VLADIMIR HRŠAK,.**

# SADRŽAJ

1. Uvod.....4
1.1 Klima ili podneblje.....5
1.2 Klimatološka doba.....5
2. Zeleni krov.....6
2.1. Ekstenzivni zeleni krovovi.....6
2.2. Intenzivni krovovi.....7
2.3 Povijest zelenih krovova.....8
3. Materijali i metode.....10
3.1 Izgradnja zelenog krova.....10
3.1.1 Čišćenje krova.....11
3.1.2 Izgradnja armiranog zida.....12
3.1.3. Postavljanje izolacije i drenaže.....13
3.1.4 Postavljanje supstrata.....15
3.1.5 Koloniziranje biljkama.....19
3.2 Mjerenje temperature.....19
4. Rezultati.....19
5. Diskusija .....22
5.1. Izračunavanje troškova.....22
6. Zaključak.....29
7. Dodatak.....32
7.1 Mjerenje temperatura.....32
7.2 Primjeri zelenih krovova.....37
8. Literatura.....38

# 1. Uvod

Rad je izabran nakon tri godine intenzivnog praćenja najnovih ekoloških alternativa uštede električne energije. Inspirativan je primjer spajanja organskog s arhitekturom. Pod organskom arhitekturom ne mislimo na klasični dizajn već „simbiotički spoj neživog i živog“. Znanstveni radovi uključeni na istraživanja zelenih krovova su malobrojna, ali su dala izuzetna otkrića koja se ne mogu replicirati zbog unikatnosti svakog zelenog krova. Kod svakog ekosustava koji se mijenja i ovisi o biotičkim i abiotičkim čimbenicima postoji unikatnost. Tako da rezultati jednog istraživanja dosta variraju od drugih, ali također postoje brojne sličnosti ( u smislu ekologije, uštede itd. ) što će biti elaborirano tokom ovog rada. Ekosustav ili ekosistem je prostor (biotop) naseljen organizmima i njihovim zajednicama, u kojem se neprekidno stvara primarna biomasa, koju troše (i razgrađuju) heterotrofni potrošači. Izrada krova ne zahtjeva velika financijska izdavanja, niti zahtjeva profesionalno rukovođenje, vremenski okvir izrade krova je izuzetno kratak, estetika na drugu ruku je ukus pojedinca.

Zeleni krovovi su u mnogim državama subvencionirani kao poticaj od strane ekoloških institucija kao i alternativni izvori energije, u Hrvatskoj taj poticaj ne postoji. Takvo veliko neznanje kao i svi drugi oblici neznanja i predrasuda dovode do negativnih konotacija kod ljudi.

Cilj ovog projekta je prikazati jedan od načina izrade zelenog krova, te ušteda električne energije kao korelacija sa njegovim termoizolacijskim svojstvima.

Rezultati zelenog krova obrađeni su tokom tri godine, što je ograničeni vremenski period za zeleni krov koji se treba razvijati više godina do potpunog potencijala. Unatoč ograničenosti prvi rezultati pokazali su se vrlo obećavajućim.

## 1.1 Klima ili podneblje

•***Prosječne vremenske prilike tijekom višegodišnjeg motrenja***

**makroklima** - određuje sastav i strukturu životnih zajednica

**mikroklima**-kombinacija klimatskih uvjeta na ograničenom području. Važna za opstanak i razvoj pojedinih vrsta.

**ekoklima**–grupa organizama mijenja klimatske karakteristike na nekom području

## 1.2 Klimatološka doba

Datum početka klimatološkog godišnjeg doba ne poklapa se sa astronomskim datumom. Klimatološki zima počinje prvog prosinca a završava zadnjeg dana veljače (1.12-28.2), proljeće zahvaća kompletne mjesece ožujak, travanj i svibanj (1.3-31.5), ljeto tri prosječno najtoplija mjeseca u godini lipanj, srpanj i kolovoz (1.6-31.8) a na jesen (1.9-30.11) se odnosi rujan, listopad i studeni.

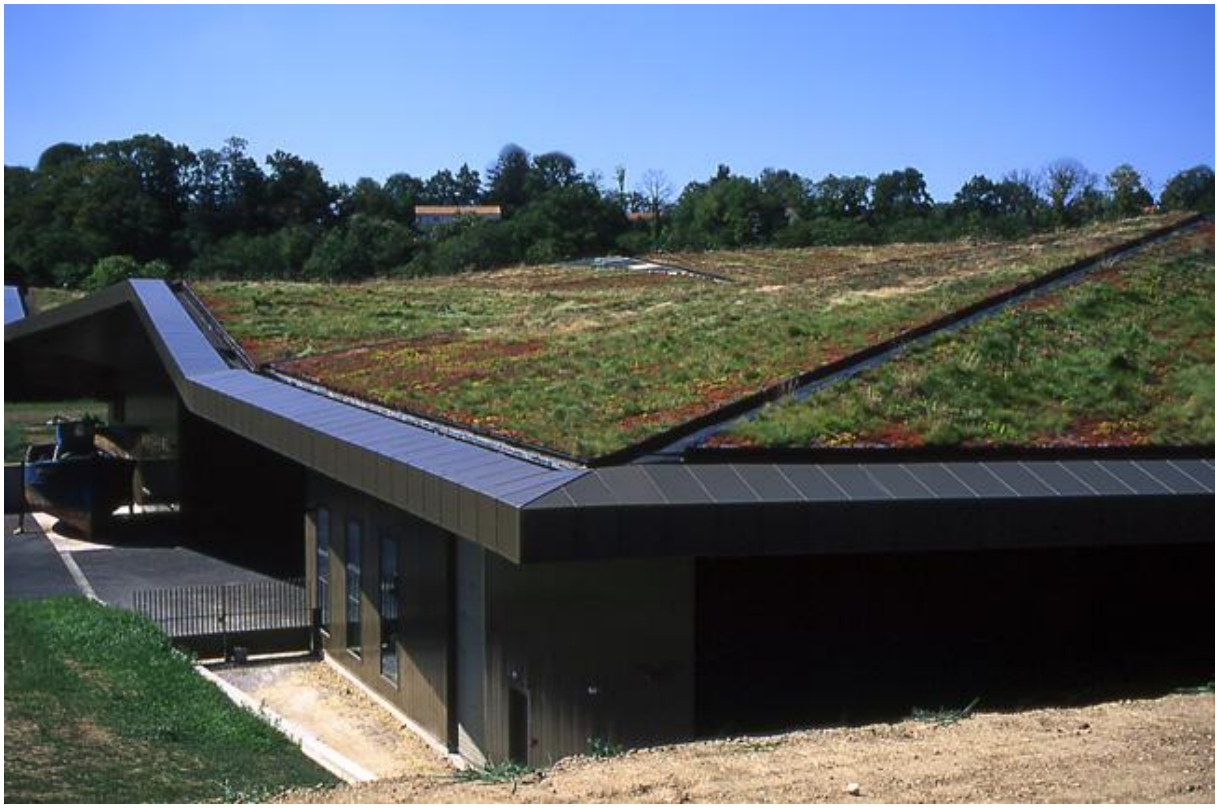
# 2. Zeleni krov

Pod zelenim krovom smatramo krov ili zgradu pokrivenu djelomično ili cjelovito zelenom površinom.

Razlikujemo dvije grupe zelenih krovova. To su intenzivni i ekstenzivni zeleni krovovi**.**

## 2.1.Ekstenzivni zeleni krov

**Ekstenzivni** zeleni krovovi su krovovi koji ne zahtijevaju manualni rad niti navodnjavanje osim u početnom stupnju razvoja, izvode se na dubini tla do 15 cm.



**Slika 1. Primjer ekstenzivnog zelenog krova. (*http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof)***

## 2.2. Intenzivni krov

**Intenzivni** krovovi su nazvani upravo zbog intenzivnog rada na njima, tako se ti krovovi moraju održavati i navodnjavati te dubina medija u kojem se biljke nanose je dublja od 15 centimetara (obično intenzivne krovove poistovjećujemo s biljakama koje imaju duboki korjenov sustav) tako da na njima nalazimo stabla i grmove koji ne mogu preživljavati na tankom sloju supstrata. Pod intenzivne krovove smatramo i površine koje su pokrivene uglavnom vrstama trava, to su takozvani „travnjaci“ koji zahtijevaju zalijevanje.



**Slika 2. Primjer intenzivnog zelenog krova u urbanoj sredini.** ***(http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof)***

## 2.3. Povijest zelenih krovova

Povijest zelenih krovova započinje u skandinavskim zemljama, čiji su stanovnici često izgrađivali kuće ispod zemlje tako da su krovovi bili pokriveni naslagama mahovina. Urbanizacija zelenih krovova započeta je 60-ih godina u Njemačkoj, ona se počinje širiti na ostale zemlje među kojima na današnjoj fronti istraživanja (kao i subvencioniranja) stoje prve Kanada, pojedini gradovi unutra SAD-a, Švicarska i Njemačka. Danas se procjenjuje da 10% svih krovova u Njemačkoj je „ozelenjeno“ (Penn State Sveučilište Green Roof Research: About Green Roofs–pogledati navedenu web stranicu u literaturi).



**Slika 3. Obnova vikinških kuća u Newfoundlandu**

***(http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof)***



**Slika 4. Seoske kuće 18. stoljeća  Heidal, Norveška**
***(http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof)***

# 3. Materijali i metode

## 3.1. Izgradnja zelenog krova

Kod izgradnje zelenih krovova susrećemo se s mnogim poteškoćama. U urbanim područijima razvijenih zemalja prva prepreka je mijenjanje kulturne baštine te mijenjanje urbanističkih planova. Zato je projekt preuzet na manjoj lokaciji. Izgradnja zelenih krovova zahtijeva izvedbu višeslojne konstrukcije s razrađenim drenažnim slojem i sustavom navodnjavanja, pri čemu se susrećemo s nizom poteškoća. Potrebno se je savjetovati sa arhitektom o izdržljivosti krovne konstrukcije kod pritiska zemlje i biljne biomase. Nosivost krova ovog projekta je bila adekvatna čak i za izgradnju intenzivnog krova jer je beton prolazio kroz dvostruku armaturizaciju pri izgradnji.
Slijedeći problem koji se nameće je zemlja. Preporuča se uzimanje zemlje iz vlastite okolice radi smanjenja troškova gradnje.
Kod kolonizacije savjetuje se sadnja biljaka koje imaju habitat ovisno o geografskoj širini i dužini. Takav problem se rješava naseljavanjem biljaka iz neposredne okolice (te biljke mogu biti i primjer azonalne vegetacije). Sukcesija ima ključnu ulogu u razvoju svakog zelenog krova. Sukcesija je zamjenjivanje jedne vegetacije s drugom koja je bolje prilagođena za mikro- i makroklimatske prilike. Početna oskudna naseljenost biljaka izmjenit će se nastupom povoljnijih prilika. Kao svaki ekosustav sam će se dignuti na razinu maksimalne (optimalne) naseljenosti. Kod ekspanzije biljnog materijala nalazimo strogu kompeticiju što će rezultirati preživljavanjem najprilagođenijih biljaka. Mnoge biljke kao predstavnici geofita i terofita niknut će za vrijeme vlažnijeg perioda. Te biljke učvršćuju strukturu zemlje te sprečavaju eroziju i otplavljivanje tla.
Ukupna površina projekta iznosi 100 četvornih metara pri čemu bi trebalo biti utrošeno 10 kubika zemlje. U realnim očekivanjima utrošeno je 13 kubika za debljinu supstrata od 10 cm. Projekt je realiziran na dvokatnoj kući s ravnim krovom na području Rogoznice.

### 3.1.1 Čišćenje krova



**Slika 5. Dio ne očišćenog ravnog krova**



**Slika 6. Dio očišćenog krova**

### 3.1.2 Izrada armatiziranog zida koji će biti granica krova zbog sprječavanja početne erozije zemlje



**Slika 7. Izrada željeznog skeleta betonskog zida**

### 3.1.3 Postavljanje izolacije i drenaže



**Slika 8. Postavljeni drenažni sustav**



**Slika 9. Postavljanje ljepenke za izolaciju krova**



**Slika 10. Detaljni pogled na drenažnu cijev**

### 3.1.4. Postavljanje supstrata



**Slika 11. Raspoređivanje supstrata na drenažnoj podlozi**



**Slika 12. Pogled na raspoređeni supstrat**

### 3.1.5. Koloniziranje biljkama



**Slika 13. Raspoređivanje biljnog materijala**

## Danas:



**Slika 14. Današnji izgled zelenog krova**

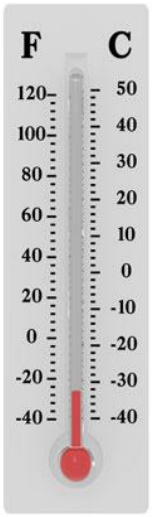
Supstrat se ravnomjerno raspodjeli po izoliranom krovu, biljke koje smo namjenili za sadnju sadimo sa razmacima (slika 13). Razmaci između biljaka su potrebni jer očekujemo intenzivnu ekspanziju biljaka zbog nedostaka početne kompeticije. U području Rogoznice *Carpobrotus sp. L. (postajanje hibrida otežava determinaciju)* ima široko rasprostranjenje (slika 15). Uspjeva na vrlo tankoj supstratnoj podlozi uz obale mora. Zahvaljujući svom CAM metabolizmu (sukulentna prilagodba) preživljava ekstremne uvjete izravnog zračenja te izrazite suše tokom ljetnog perioda. Na praznim mjestima između biljaka tokom kišne sezone niču brojni predstavnici iz porodice *Poaceae* koji tokom ljeta odumiru te dopuštaju sukulentima širenje. Supstrat kojeg koristimo za ovaj projekt je dalmatinska crvenica „terra rosa“ nastala ispiranjem karbonatne podloge koja je crvene boje zbog oksidiranih željezovih iona. Na raspoređeni supstrat zasađeni su i predstavnici roda *Seduma* (Žednjaci) no njihova količina naspram Carpobrotusa je zanemariva.



**Slika 15. *Carpobrotus edulis***

## 3.2. Mjerenje temperature

Mjerenje temperature izvedeno je u dezigniranoj prostoriji unutar stambenog objekta te izvan, zaklonjeno od sunčevog svjetla. Unutar objekta mjerenje je provedeno u spavaćoj sobi bez prozračivanja. Termometar kojeg koristimo stoji na svojoj poziciji cijelo vrijeme bez prenošenja kako ne bi došlo do fluktuacija temperatura. Korištena su dva tipa termometra, klasični živin i digitalni koji su pozicionirani jedan do drugoga. Temperature koje su očitavane uzete su u obliku srednje vrijednosti za rezultate oba termometra. Temperature očitavamo u točno određenom vremenu (14 sati) što je prikazano u tablici 1. i 2. za svaki pojedini vremenski period.
Rezultate mjerenja temperatura prikazujemo tablično (tablica 1. -2.) koje obrađujemo statistički.




Slika 16. Klasični alkoholni termometar




Slika 17. Digitalni termometar

# 4.Rezultati

Srednja vrijednost temperaturnih mjerenja za 2007. godinu unutar stambenog objekta iznosila je $t_{av}$=29.4 °C dok vanjska je iznosila $t_{av}$=28.2 °C .
Srednja vrijednost temperaturnih mjerenja za 2009. godinu unutar stambenog objekta iznosila je $t_{av}$=22.1 ° dok vanjska je iznosila $t_{av}$=20.1 °C .

*Napomena: Razlika srednje vrijednosti za 2007. i 2009. godinu rezultat su vremenskog perioda u kojem su temperature mjerene. U 2009. godini obuhvaćen je i mnogo hladniji zimski period. Razlike nisu toliko značajne jer je rad fokusiran prvenstveno na termoizolacijsko djelovanje zelenog krova u ljetnom razoblju.*

Srednja vrijednost temperaturnih mjerenja kroz zadani datum (jedan dan) za 2007. godinu unutar stambenog objekta iznosila je $t_{av}$=26.6 °C dok je vanjska iznosila $t_{av}$=30.5 °C . Srednja vrijednost temperaturnih mjerenja kroz zadani datum (jedan dan) za 2009. godinu unutar stambenog objekta iznosila je $t_{av}$=28.1 °C dok je vanjska iznosila $t_{av}$=24.1 °C.

Izveli smo statističku usporedbu temperatura za klimatološko ljeto ( 2.6-22.8) za obje godine te dobili slijedeće rezultate.
Za 2007. godinu dobili smo prosječnu temperaturu od $t_{av}$=31.5 °C za vanjsko mjerenje te $t_{av}$=35.8°C za unutrašnje.
Za 2009. godinu dobili smo prosječnu temperaturu od $t_{av}$=31.4 °C za vanjsko mjerenje te $t_{av}$=24.7°C. **Znači da je razlika između razlika u srednjim vanjskim i temperaturama tijekom ljeta bez zelenog krova i sa zelenim krovom iznosila punih 11,0 $^0$C.**
Zbog velikog broja podataka proveli smo parni t-test te dobili slijedeće rezultate.Za 2007. godinu dobili smo p=3,18911E-11 dok za 2009. p=1,04628E-08

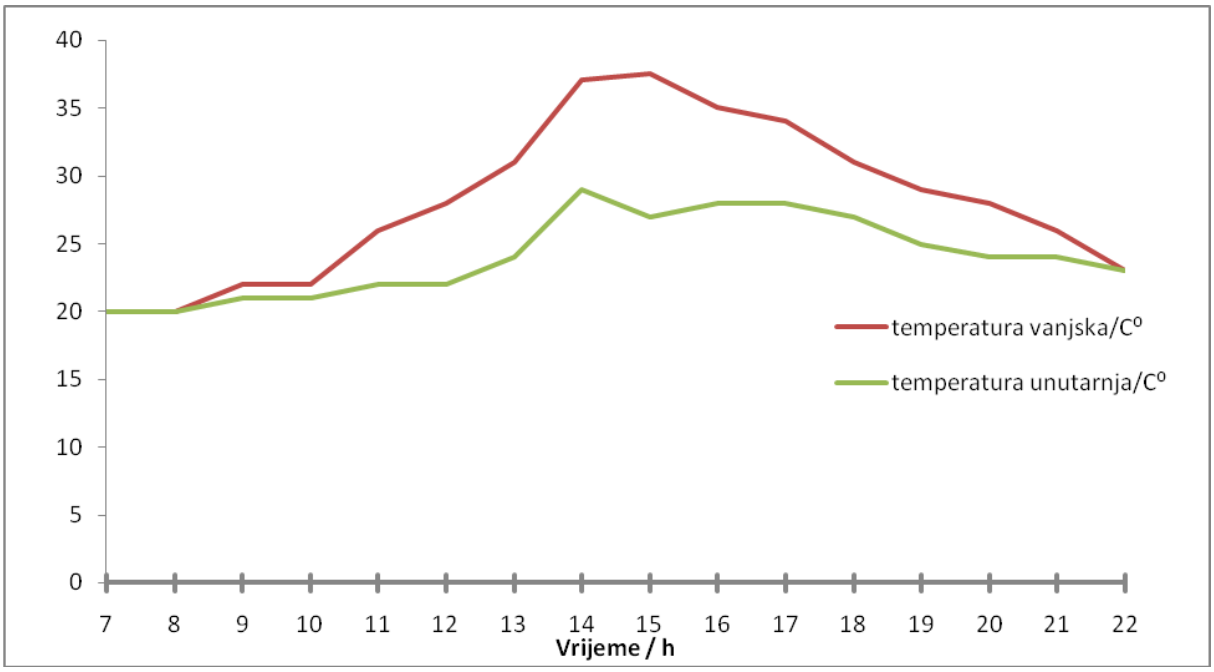
Razlika između unutrašnje i vanjske temperature za 2007. godinu iznosila je Δt=1.2 °C dok za 2009. Δt=-2°C

Razlike kod prosječne temperature za klimatološko ljeto iznosile su za 2007. godinu Δt=4.3°C dok za 2009. Δt=-6.7°C

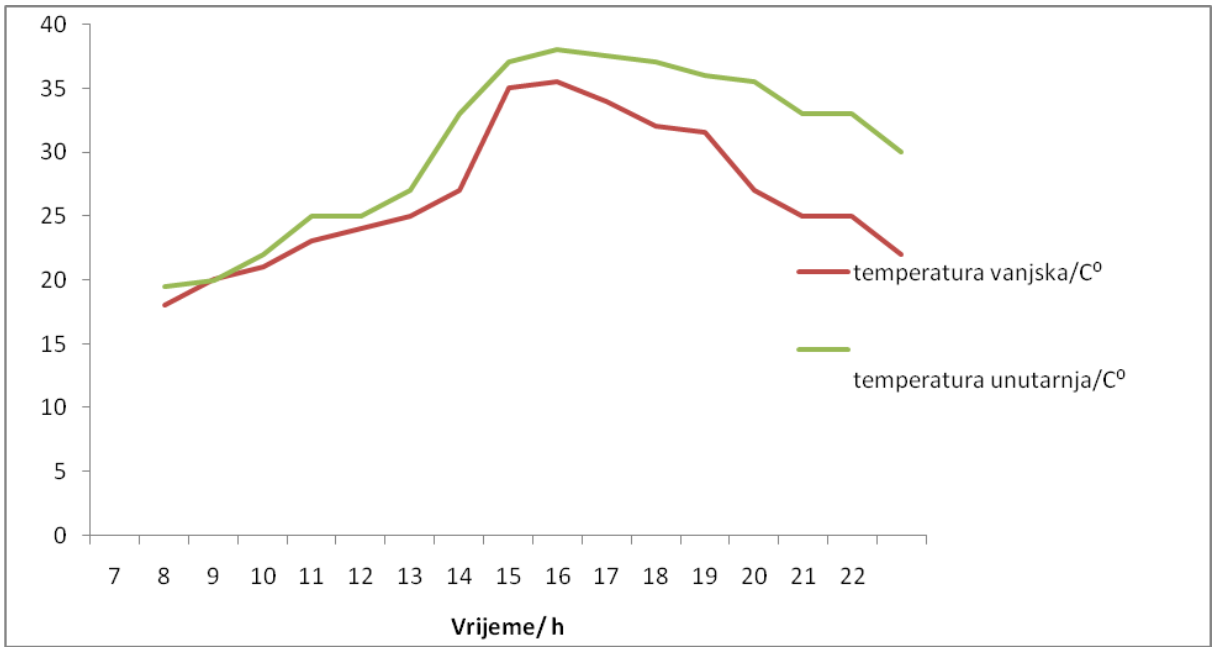
Proveli smo t-test i usporedili vanjske temperature za 2007. i  2009. godinu za isto razdoblje dobili smo p=0,002339 te unutarnje te dobili p=2,00016E-14.

Što znači da postoje statističke razlike u temperaturi jer nismo smo odbacili nultu hipotezu, no unutar meteorologije teška je obrada podataka statističkim prognozama, ako pogledamo razliku kod t-testa za unutarnju temperaturu koja iznosi  11 eksponenta razlike što sa komparacijom od 11 stupnjeva celzijusa unutar klimatološkog ljeta daje nam uvid u učinkovitost zelenog krova.

Postoji određena statistička sličnost kod klimatoloških gledanja ali zbog kompleksnosti varijabli koji utječu na temperaturu, periodicitet padalina kalkulacije se izvode na superbrzim NASA cluster računalima i opet prognostička analiza dalja od jednog dana postaje nesigurnija i nesigurnija. Tako da iako ne odbacujemo nultu hipotezu ona je približno bliska iznosu od 0.05 te uzimamo pretpostavku da zbog raznih varijabli (globalno zatopljivanje, sunčeve baklje, degradacija šuma, mijenjanje okoline itd.) možemo reći da temperaturne razlike unutar vremenskog perioda od 3 godine statistički se ne razlikuju.




**Graf 1. Prikaz rasporeda temperatura tokom dana uzetih za datum 18.7.2009.**




**Graf 2. Prikaz rasporeda temperatura tokom dana uzetih za datum 18.7.2007.**

**Napomena: Boje kod grafova 1. I 2. su invertirane.**

# 5.Diskusija

Inicijalno svrha krova trebala je biti korelacija snižavanja temperature i potrošnje električne energije, prvenstveno ljeti. Današnji podatci govore da tokom ljetnog perioda potrošnja električne energije je veća od zimskog (hlađenje stambenog prostora). Unutar perioda projekta došlo je do promjene potrošnje električne energije pod utjecajem nepredvidivih varijabli (početna pretpostavka je bila ujednačena potrošnja iz godine u godinu ). Zato uzimamo aproksimativno kalkuliranje uštede na osnovi nekorištenja uređaja koji bi u ljetnom periodu bili potrebni.

## 5.1. Izračunavanje

Kat ispod krova ima 3 prostorije koje zahtjevaju hlađenje. Kao primjer uzimamo rashladni uređaj koji troši 2,5 kW/h uz pretpostavku da ne prozračujemo prostorije. Izračunom bi doši do:

1kW/h-99 lipa za jednotarifno brojilo

2,5kW/h jedan uređaj

7,5kW/h tri uređaja

broj sati u danu

**7,5x99x24x30**

prosječni broj dana u mjesecu

**5346 kn –prosječna mjesečna ušteda tokom ljetnog perioda**

Kada pogledamo grafove 1. i 2. Vidimo da za 2007. godinu temperaturni maksimum se postiže od 16-17 sati.

Razlike na kraju krivulje za 2007. godinu postaju sve izraženije, dok za 2009. imamo gotovo izjednačavanje, također vidimo da temperaturni maksimum za 2009. godinu je dosta raniji ali ne toliko ekstreman kao za 2007 godinu.

*Carobrotus edulis* svoj centar rasprostranjenja ima u južnom djelu Afrike. Postoji par vrsta nativne za Ameriku i Australiju. To je sukulentna biljka bridastih listova, prilagođena za aridne uvjete. Rasprostranjuje se sjemenkama i vegetativno. U našim krajevima donešena je kao ornamentalana biljka no zbog svoje agresivnosti u rasprostranjivanju (vegetativno) rasprostranila se je duž Dalmatinske obale. Ova biljka se je pokazala kao savršen primjer biljke kod korištenja za ekstenzivne krovove. Svi drugi predstavnici nisu mogli izdržati ekstremne uvjete (biotičke i abiotičke) zato Carpobrotus prevladava na projektnom supstratu. Njena agresivnost u propagiranju i plitki korjenov sustav savršen je reprezent biljke za zelene krovove u Dalmatinskom području.



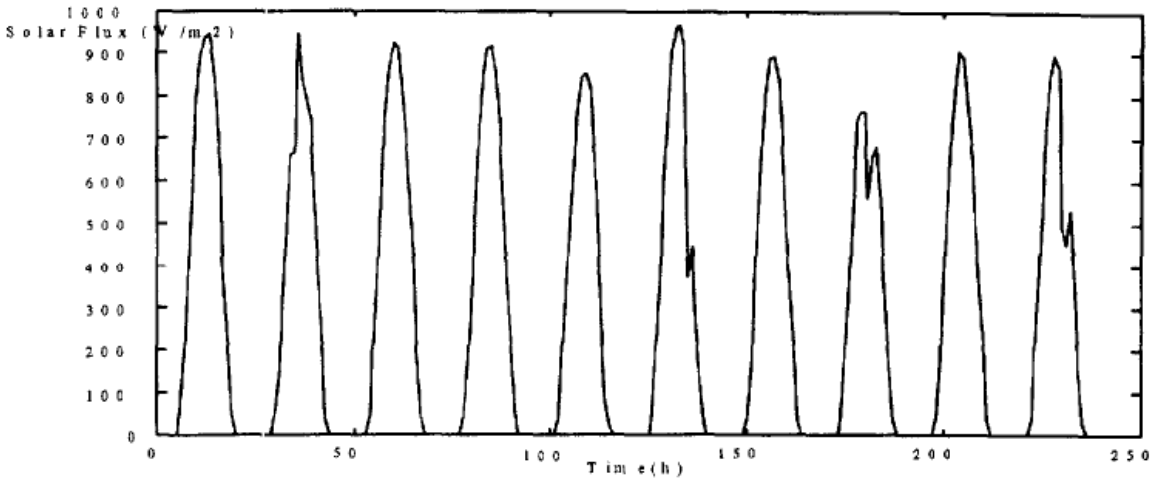
Slika 18. Prikaz tipičnog staništa Carpobrotusa gdje vidimo ekstremne uvjete na kojima preživljava te njenu invazivnost[1]

1) http://www.invasivespeciesireland.com/mostunwanted/species/54_image2.jpg

Kada se osvrnemo na akademske radove koji su rađeni na tematiku zelenih krovova možemo spomenuti :

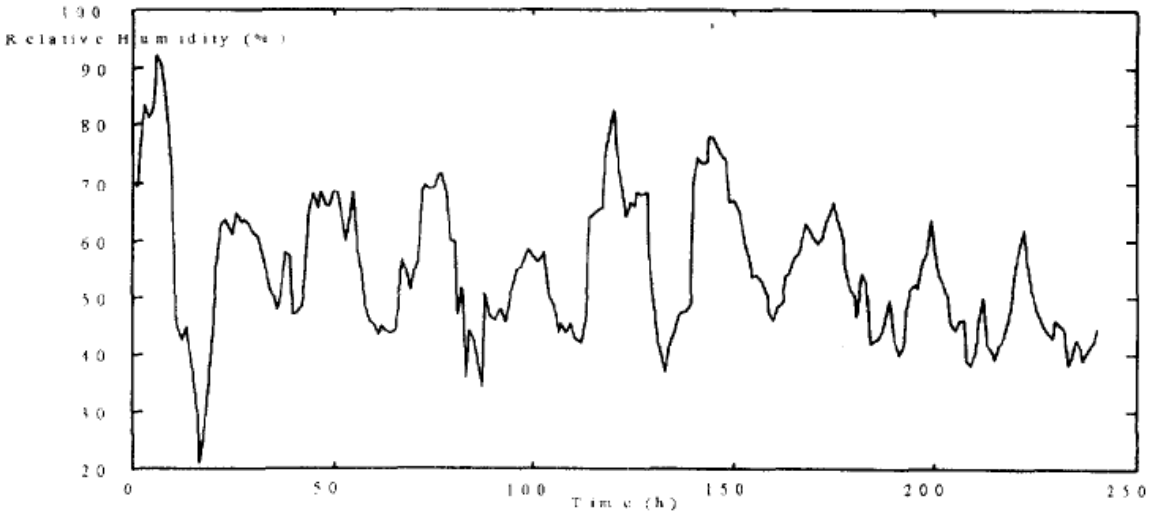
„Analiza rashladnog potencija zelenih krovova kod zgrada“ (*Del Barrio, 1998*).

Ovaj rad je izrađen u okviru energetike i arihikteture gdje je osvrt bio na ljetno razdoblje u Grčkoj koja ima mediteransku klimatiku. Rad prati promjene temperature u odnosu na zelenu folijažu (tj. listove). Unutar zaključka preporučava se uzimanje bilja sa velikom količinom horizontalne distribucije listova. Uzimanje lakši tala zbog smanjenja težine ukupnog tereta na strukturalni integritet zgrade. U radu se ne spominju temperaturne varijance unutar i izvan kuće već temperaturni flux. Navodi se kako debljina i vrsta supstrata su najvažniji čimbenici za termalnu izolaciju tokom ljetnog perioda. Što smo iznijeli s zaključcima  ovog projekta, no spominje se da temperaturna mjerenja za zimski period kod stambenih objekata koji su izolirani zelenim krovom nisu potrebna no kod najnovijih istraživanja (pogledat 6. Zaključak) spominje se termalna efikasnost kod sviju godišnjih doba. Unutar rada su prikazani klimatski faktori koji su za ovaj projekt bili odsutni zbog nedostatka aparature no zbog sličnosti klimatski uvjeta možemo ih iznijeti radi bolje perspektive na rad koji je rađen da bi vršili usporedbu. Podaci koji su izneseni kao i svi vremenski podaci vjerojatno su dostupni preko meteorološki stranica širokoj publici. Nije navedeno da li su mjerenja provedena s vlastitom aparaturom no vidimo da se radi o zastarjelim podacima jer izneseni podaci se odnose za 1982. godinu. Kod ovog rada možemo se osvrnuti samo na biljni materijal kojeg smo nanijeli i transpiracijski faktor te debljinu supstrata. Biljni materijal kojeg smo nanijeli nema veliku površinu jer je to sukulentna prilagodba Carpobrotusa , no on raste u veoma velikoj gustoći u odnosu na površinu zemlje. Nanijeti Carpobrotus ponaša se kao zeleni sag, što nadoknađuje na površini listova. Na toliko veliku površinu biljne mase transpiracijski koeficijent sigurno se može usporediti sa ekstenzivnim vrstama.




Slika 19. Količina solarne radijacije na horizontalnu površinu, Atena , kolovoz 1982[1]

[1)] ***Del Barrio, 1998***




Slika 20. Relativna vlažnost zraka , Atena , kolovoz 1982[1]

[1)] ***Del Barrio, 1998***

Kod objavljenog rada „ Analiza termalnog svojstva zelenog krova i proučavanje njegove energetske učinkovitosti“ (*Niachou* et al. 2001)

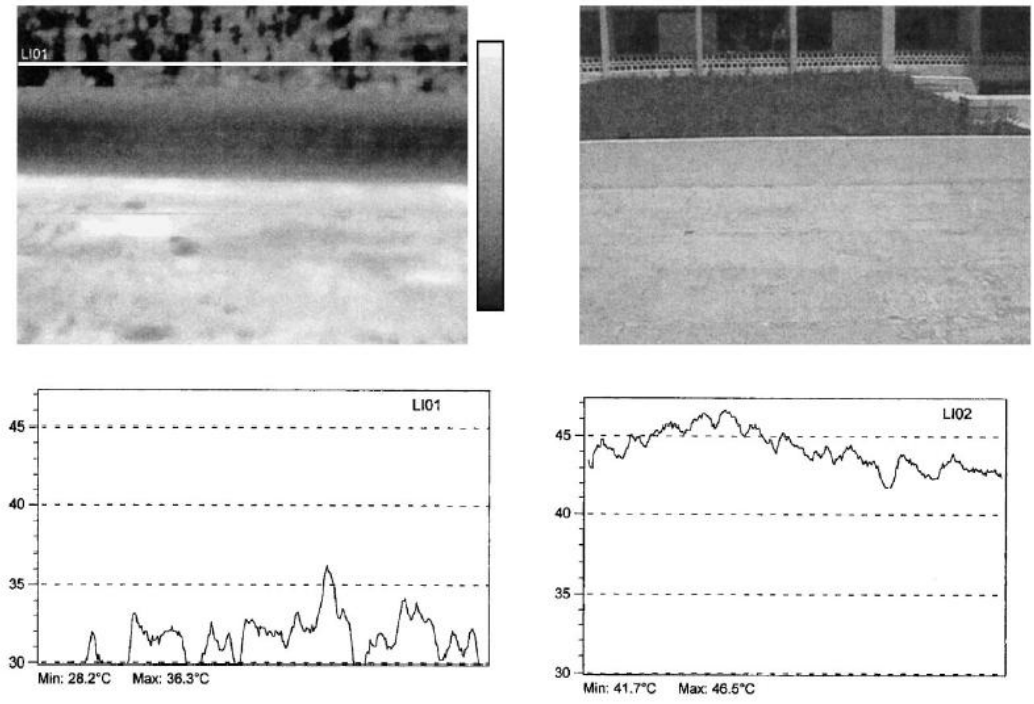
Kod zaključaka navodi se:

Površinska temperatura zelenog krova varira od vrste biljaka koja je kolonizirana te ovisi o gustoći zelene biomase koja poriva prostor.

Temperatura ovisi o konstrukciji kuće/zgrade.

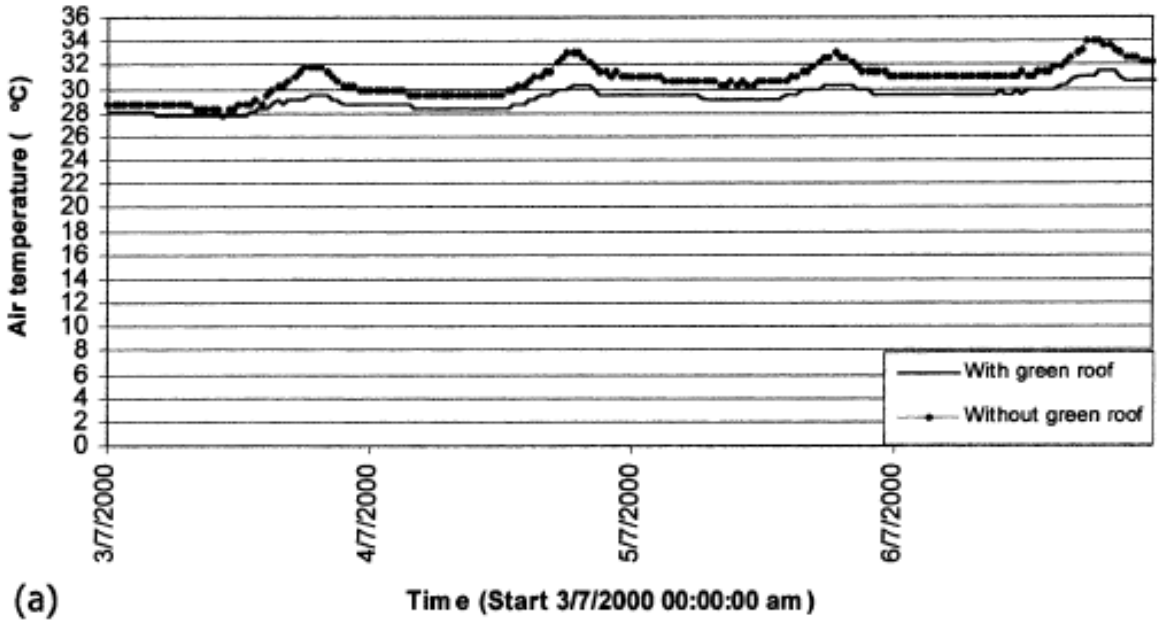
Za vrijeme ljetnog razdoblja temperatura ispod ravnog krova na koji je nanesen zeleni krov se smanjuje.

Kod uštede električne energije spominje se 37 postotno uštađenje energije kod neizoliranih zgrada koja se povećava na 48 posto kod noćnog protoka zraka (ventilacije)

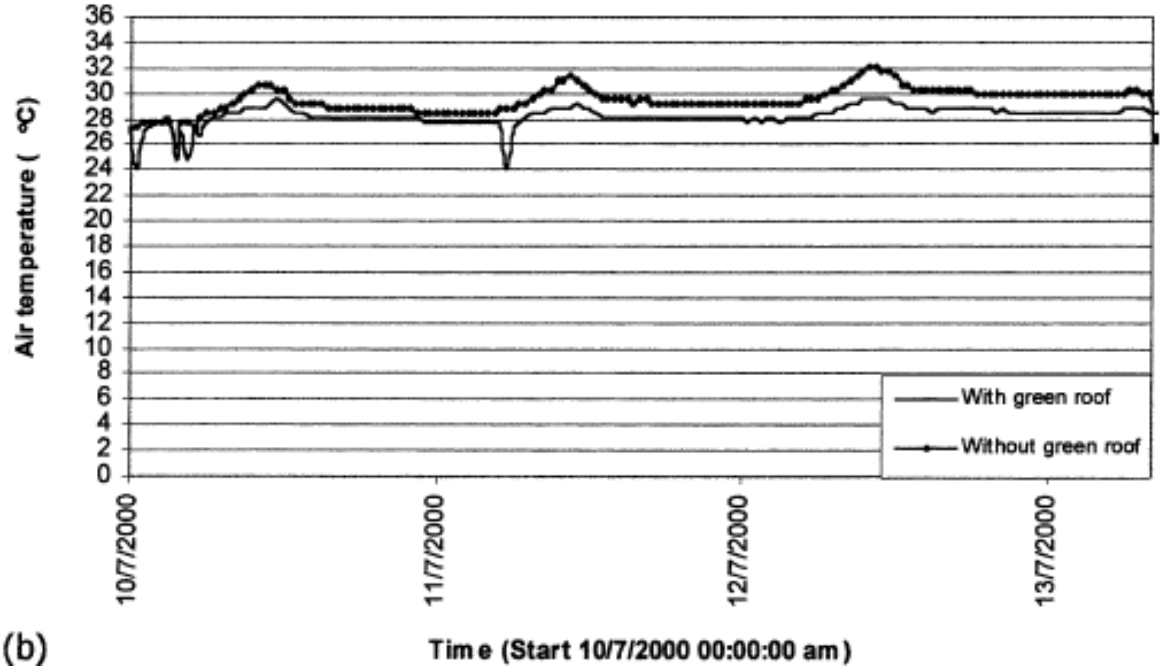



Slika 21. Neizolirani krov sa i bez zelenog krova , sa prikazom termalne kamere i grafičkim prikazom maksimalnih i minimalnih temperatura.[1]

[1)] ***Niachou*** **et al. 2001**




(a)




(b)

Slika 22. Grafički prikaz temperature sa i bez zelenog krova s početkom mjerenja od a) 3.7-6.7 2000. b)10.7-13.7 2000.[1]

[1)] ***Niachou*** **et al. 2001**

Temperaturne usporedbe drugog članka ( pogledaj 6. Zaključak) ne možemo korelirati s našim. Kod naših mjerenja razlike između kuntinuranog dnevnog mjerenja su mnogo izraženije nego na slici 22. no autori spominju da mjerenja ovise o daljnjim izolacijskim svojstvima samog stambenog objekta. No kad odbacimo sve nepotrebne činjenice kod svih zaključaka dolazimo do sličnosti termoizolacijske učinkovitosti zelenog krova. To su supstrat, refleksija i transpiracija što je objašnjeno u poglavlju 6. unutar zaključka. Te same okoline ( objašnjeno putem mikro- makroklimatskih , biotičkih abiotičkih čimbenika unutar zaključka). Što nam daje dobru osnovu za hipotezu unikatnosti projekta i nemogućnosti projeciranja podataka na naše podatke.

# 6. Zaključak

Naneseni supstrat djeluje kao toplinski izolator unatoč nedostatku biljnog materijala (mjerenja za 2008. godinu koja su izostavljena). Supstrat se ponaša kao termoizolator zbog mikropukotina ispunjenih zrakom. Tokom kišne sezone dolazi do erozije tla i začepljivanja mikropukotina. Zato na supstrat stavljamo biljke koje ga učvršćuju te proširavaju mikroprostore svojim korjenovim sustavom. To je jedno od glavnih termoizolacijskih djelovanja zelenog krova.

Biljke u svojim kapilarnim prostorima sakupljaju vodu koja evaporira. Na veliku količinu biljnog materijala nalazi se velika količina vode za koju je potrebna enormna količina energije za postizanje evaporacije. Entalpija evaporacije tolike količine vode dovodi do dodatnog hlađenja donje podloge.

Rašireni biljni materijal reflektira dio sunčevog zračenja, dio se koristi za fotosintezu koja je povezana sa otvaranjem puči kod biljaka i transpiracijom vode (ponovni utrošak energije).

Reflekcija, evaporacija i mikropukotine ispunjene zrakom dovode do snižavanja temperature.

Svaki zeleni krov je jedinstven, ovaj projekt je u incijalnoj fazi. Očekuje se proširavnje nanesenog biljnog materijala i stroga kompeticija na razini živih bića, što će dovesti do konačnog formiranja zelenog krova kroz nekoliko godina. Praćenje podataka je poželjno zbog nedostatka informacija koje se vežu za ovakve tipove zelenih krovova.

U urbanim sredinama jedan od razloga stvaranja zelenih krovova je borba protiv takozvanog *„urban heat island“* efekta, tradicionalni materijali apsorbiraju sunčevu radijaciju te je re-emitiraju, čineći gradove toplijim za više od 4 stupnja celzijusa (Donald D. 2002 ). Zeleni krovovi dramatično povećavaju izolaciju krova -26% smanjenje hlađenja i grijanja tokom ljetnog odnosno zimskog perioda (studija od strane „Environment Canada“ web link)

Kada se osvrnemo na prvi članak kojeg smo citirali (ali i drugi) ne uočavamo o kojem se tipu zelenog krova radi. Svakako to stoji do činjenice da su radovi

rađeni u drugim sferama znanost. S biološkog tipa gledišta ta informacija da bi korelirali s našim rezultatima kompletno izostaje. Prvi rad koji je usmjeren na isticanje važnosti folijarne mase govori o refleksiji sunčevog zračenja te stavlja važnost na površinu lista i njegovu usmjerenost na upadni kut solarne radijacije. Iz toga bi mogli izvesti da se radi o intenzivnom krovu jer gotovo da ne postoje biljke sa jako velikom površinom listova i plitkim korjenovim sustavom da izdržale aridne uvjete (sam bršljan koji se koristi za prekrivanje velikih površina ne izdržava izravno sunčevo zračenje te smanjuje površinu svojih listova ili listovi odumiru[1])

Također osvrnemo li se na prvi članak i njegove podatke koji su uzeti za grafički prikaz solarne radijacije, relativne vlažnosti te brzine vjetra primjećujemo da se spominje godina od prije dvije dekade. Unutar klimatologije, ekologije te svih bioloških grana znanosti ti podaci su izvan svog vremena (pogotovo u ekologiji) te ih ne možemo aplicirati na zeleni krov koji bi izgradili na području Grčke a pogotovo ne u Dalmaciji.

Kod drugog članka kad pogledamo sliku 22. vidimo da gornje granice ne prelaze 36 stupnjeva celzijusa što je nerazumno ako Grčka koja sa svojim geografskim položajem se nalazi južnije od Hrvatske. Izmjerene temperature unutar ovog projekta premašuju takav temperaturni raspon kod većine ljetnih dana bez zelenog krova što daje naslutiti da se radi o moderno izolirano kući, zgradi ili klimatiziranom prostoru (od čega podaci nisu navedeni). Tek kod slike 21. vidimo prikaz temperature sa i bez zelenog krova koji bi se mogao usporediti u konačnoj fazi sa ovim projektom, također u radu se slikovno prikazuje termalni prikaz (skalirani) pojedinih područja na krovu što je izuzetno efikasno ako želimo doznati koji je dio krova termalno najslabije pokazuje izolacijska svojstva.

Kod standardnog Hrvatskog kućanstava ne možemo očekivati praćenje zaključaka iz prvoga rada jer dovodi do zaključka da je prvenstveno zemlja izolatorni i najvažniji faktor te bi trebalo upotrebljavati samo biljke sa velikim listovima što u praksi ne bi bilo moguće. Zaključak ovog rada je trebao biti

1) **Pogledati izraze heliofiti , skiofiti**

nalaženje idealne vrste biljke koja bi omogućila simbiotski odnos između kuće i supstrata pokrivenog s biljnom masom. Kad govorimo o simbiotskom odnosu unutar prvog rada autor govori o nepotrebnosti mjerenja temperature (temperaturnog fluxa) za vrijeme zimskog perioda. Zaključak ovog rada je da čovjek samim življenjem i grijanjem stambenog objekta unutar tog perioda pospješuje rast nanesenih biljaka. Jer biljke su poikilotermni organizmi tj. ovise o temperaturi okoline. Zagrijavanjem površine ispod njih omogućavamo njihovo daljnje širenje i funkcioniranje metabolizma te uspješniju izolaciju tokom ljetnog perioda.

Kod grafova za prikaz temperature tokom dana najvažniji zaključak zbog čega su zeleni krovovi učinkoviti je blagi uspon u temperaturi te održavanje te temperature unatoč što vanjska temperatura je niža (pred jesensko, jesensko razdoblje). Ovi podaci nisu izneseni ali kod prvog grafa kod večernjih sati vanjska temperatura bi trebala opadati dok unutrašnja bi zadržala jednu konstantu.

Kod grafa za 2007. godinu vidimo da temperature se tokom noćnog perioda penju, zbog kolektirane sunčeve radijacije koju onda ravni krov reemitira na donju prostoriju zahtijevajući hlađenje i time dodatno korištenje električne energije.

Kod statističke analize klimatološkog ljeta vidimo rezultate parnog t-testa koji nam govore da unutar tog razdoblja razlike u temperaturi nisu slučajne jer je $p<0.05$.

Kada pogledamo statističku analizu razlike srednjih temperatura (4.Rezultati) uočavamo veliku razliku u prosječnoj temperaturi za klimatološko ljeto nakon nanošenja zelenog krova u 2009. godini i to u $11C^{o}$.

Nakon punog razvoja zelenog krova očekuje se da će statističke razlike između temperatura za unutarnji i vanjski prostor biti sve veće.

# 7. Dodatak

## 7.1 Mjerenje temperatura za 2007 i 2009. godinu

**Temperature za 2007. godinu**.

Podatci su sakupljeni prije nanošenja zelenog krova, temperature su mjerene u 14 sati.

**Tablica 1. Prikaz temperatura kroz određeni vremenski period za 2007. godinu**

| Datum | temperatura vanjska/C$^o$ | temperatura unutarnja/C$^o$ |
|---|---|---|
| | | |
| 2.5.2007 | 17,5 | 17 |
| 4.5.2007 | 16 | 17 |
| 6.5.2007 | 17 | 15 |
| 8.5.2007 | 23,5 | 24 |
| 10.5.2007 | 22,5 | 23 |
| 12.5.2007 | 18 | 20 |
| 14.5.2007 | 18 | 21 |
| 16.5.2007 | 23 | 17 |
| 18.5.2007 | 22 | 20 |
| 20.5.2007 | 24,5 | 21 |
| 22.5.2007 | 23 | 24 |
| 2.6.2007 | 24 | 24 |
| 4.6.2007 | 24,5 | 26 |
| 6.6.2007 | 25 | 27 |
| 8.6.2007 | 22 | 25 |
| 10.6.2007 | 26 | 28 |
| 12.6.2007 | 25 | 28,5 |
| 14.6.2007 | 23 | 26 |
| 16.6.2007 | 26 | 30 |
| 18.6.2007 | 28 | 34 |
| 20.6.2007 | 25,5 | 33 |
| 22.6.2007 | 28 | 30 |
| 2.7.2007 | 30 | 33 |
| 4.7.2007 | 27,5 | 36 |
| 6.7.2007 | 33 | 38 |
| 8.7.2007 | 30 | 37 |
| 10.7.2007 | 34 | 37,5 |
| 12.7.2007 | 32 | 38,5 |
| 14.7.2007 | 36 | 39 |
| 16.7.2007 | 36 | 38 |
| 18.7.2007 | 35 | 37 |
| 20.7.2007 | 38,5 | 40,5 |

| | | |
|---|---|---|
| 22.7.2007 | 37 | 40 |
| 2.8.2007 | 32 | 39 |
| 4.8.2007 | 35 | 37 |
| 6.8.2007 | 35 | 36 |
| 8.8.2007 | 37 | 39 |
| 10.8.2007 | 36 | 42,5 |
| 12.8.2007 | 36 | 39 |
| 14.8.2007 | 35 | 37 |
| 16.8.2007 | 36 | 40 |
| 18.8.2007 | 36 | 39 |
| 20.8.2007 | 39 | 45 |
| 22.8.2007 | 37,5 | 39 |
| 2.9.2007 | 37 | 40 |
| 4.9.2007 | 35 | 41 |
| 6.9.2007 | 35 | 39 |
| 8.9.2007 | 34 | 37 |
| 10.9.2007 | 29 | 35 |
| 12.9.2007 | 31 | 34 |
| 14.9.2007 | 34 | 37 |
| 16.9.2007 | 33 | 38 |
| 18.9.2007 | 33 | 35 |
| 20.9.2007 | 27 | 33 |
| 22.9.2007 | 29 | 36 |
| 2.10.2007 | 29 | 33 |
| 4.10.2007 | 27 | 27 |
| 6.10.2007 | 27,5 | 24 |
| 8.10.2007 | 23 | 20 |
| 10.10.2007 | 21 | 25 |
| 12.10.2007 | 23 | 20 |
| 14.10.2007 | 25 | 24 |
| 16.10.2007 | 20 | 21 |
| 18.10.2007 | 22 | 17 |
| 20.10.2007 | 22 | 24 |
| 22.10.2007 | 18 | 23 |
| 2.11.2007 | 14 | 16 |
| | **$t_{av}$=28.2 C$^o$** | **$t_{av}$=29.4 C$^o$** |
| | σ= 6.6 c$^o$ | σ= 7.6 c$^o$ |

**p=3,29816E-06**

## Temperature za 2009. godinu.

Podatci su sakupljeni godinu dana nakon nanošenja zelenog krova.

**Tablica 2. Prikaz temperatura kroz određeni vremenski period za 2009.godinu**

| Datum | temperatura vanjska/C$^o$ | temperatura unutarnja/C$^o$ |
|---|---|---|
| | | |
| 2.2.2009 | 3,5 | 6 |
| 4.2.2009 | 2 | 5 |
| 6.2.2009 | 6 | 7 |
| 8.2.2009 | 5 | 9 |
| 12.2.2009 | 7 | 9 |
| 14.2.2009 | 3 | 6 |
| 16.2.2009 | 8,5 | 10 |
| 18.2.2009 | 6 | 9 |
| 20.2.2009 | 9 | 11 |
| 22.2.2009 | 10 | 10 |
| 2.3.2009 | 11 | 13 |
| 4.3.2009 | 10 | 11 |
| 8.3.2009 | 12 | 12 |
| 10.3.2009 | 8 | 14 |
| 12.3.2009 | 13 | 14 |
| 16.3.2009 | 12 | 14 |
| 18.3.2009 | 10 | 15 |
| 20.3.2009 | 14 | 14 |
| 22.3.2009 | 13 | 16 |
| 2.4.2009 | 12 | 15 |
| 6.4.2009 | 15,5 | 15 |
| 8.4.2009 | 14 | 13 |
| 12.4.2009 | 17 | 20 |
| 14.4.2009 | 14 | 18 |
| 16.4.2009 | 14 | 16 |
| 18.4.2009 | 12 | 12 |
| 20.4.2009 | 18 | 17 |
| 22.4.2009 | 17 | 20 |
| 2.5.2009 | 15 | 18 |
| 4.5.2009 | 21 | 22 |
| 6.5.2009 | 19 | 21 |
| 8.5.2009 | 18 | 20 |
| 10.5.2009 | 22 | 24 |
| 12.5.2009 | 14 | 20 |
| 14.5.2009 | 16 | 21 |
| 16.5.2009 | 16 | 19 |
| 18.5.2009 | 15 | 17,5 |

| | | |
|---|---|---|
| 20.5.2009 | 20 | 20,5 |
| 22.5.2009 | 19 | 22 |
| 2.6.2009 | 19 | 21 |
| 4.6.2009 | 21 | 23 |
| 8.6.2009 | 20 | 21 |
| 10.6.2009 | 23 | 24 |
| 12.6.2009 | 25 | 23 |
| 14.6.2009 | 26 | 26 |
| 16.6.2009 | 25 | 25 |
| 18.6.2009 | 27 | 25 |
| 20.6.2009 | 27 | 24 |
| 22.6.2009 | 28 | 24 |
| 2.7.2009 | 31 | 25 |
| 4.7.2009 | 33 | 25 |
| 6.7.2009 | 36 | 24 |
| 8.7.2009 | 36 | 27 |
| 10.7.2009 | 37 | 25 |
| 12.7.2009 | 36 | 28 |
| 14.7.2009 | 39 | 25 |
| 16.7.2009 | 38 | 26 |
| 18.7.2009 | 37 | 29 |
| 20.7.2009 | 35 | 28 |
| 22.7.2009 | 38 | 25 |
| 2.8.2009 | 34 | 26 |
| 4.8.2009 | 39 | 24 |
| 6.8.2009 | 32 | 27 |
| 8.8.2009 | 34 | 26 |
| 10.8.2009 | 33 | 24 |
| 12.8.2009 | 37 | 23 |
| 14.8.2009 | 30 | 25 |
| 16.8.2009 | 34 | 22 |
| 18.8.2009 | 30 | 24 |
| 20.8.2009 | 31 | 24 |
| 22.8.2009 | 34 | 23 |
| 2.9.2009 | 30 | 27 |
| 4.9.2009 | 30 | 24 |
| 6.9.2009 | 28 | 23 |
| 8.9.2009 | 24 | 24 |
| 10.9.2009 | 29 | 27 |
| 12.9.2009 | 28 | 25 |
| 14.9.2009 | 34 | 27 |
| 16.9.2009 | 27 | 24 |
| 18.9.2009 | 27 | 24 |
| 20.9.2009 | 26 | 24 |
| 22.9.2009 | 25 | 26 |

| | | |
|---|---|---|
| 2.10.2009 | 27 | 24 |
| 4.10.2009 | 22 | 22 |
| 6.10.2009 | 25 | 23 |
| 8.10.2009 | 21 | 21 |
| | **$t_{av}$=22.1 C$^o$** | **$t_{av}$=20.1 C$^o$** |
| | σ= 10.2 **C$^o$** | σ= 6.1 **C$^o$** |

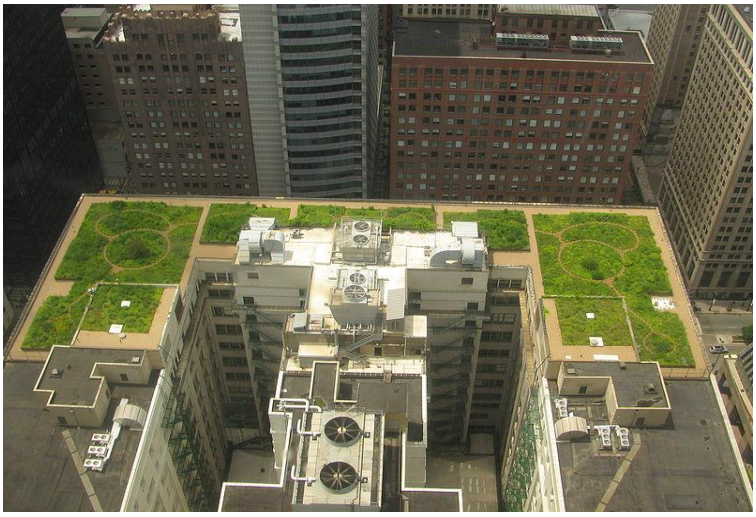
**p=0,000478**

Iz obrade podataka za 2007. i 2009. godinu (tablica 1.1-1.2) izračunata je srednja vrijednost za svaki stupac kao i standardna devijacija. Proveden je parni t-test da bi utvrdili da li postoji statistička razlika između temperatura mjerenih unutar kuće i izvan. Sve statističke obrade podataka vršimo u Microsoft Office 2007. programu. Kod 2007. godine izračunat je p=3,29816E-06 a kod 2009. p=0,000478. Nultu hipotezu možemo odbacit jer je p<0.05, što znači da između uzoraka postoje statističke razlike koje nisu slučajne *( Fisher Box at al.1987)*. Podatke koje smo statistički obradili nemaju toliko veliki značaj. Postoje nepredvidljive varijable koje se ne mogu obraditi putem statističkog obrasca a imaju znatni utjecaj na temperature koje su izmjerene jedanput dnevno:

- Temperature su znatno ovisne o mikroklimatskim uvjetima, ekspoziciji teritorija, okolnom okruženju (urbano područje, obalno , šuma itd. ).

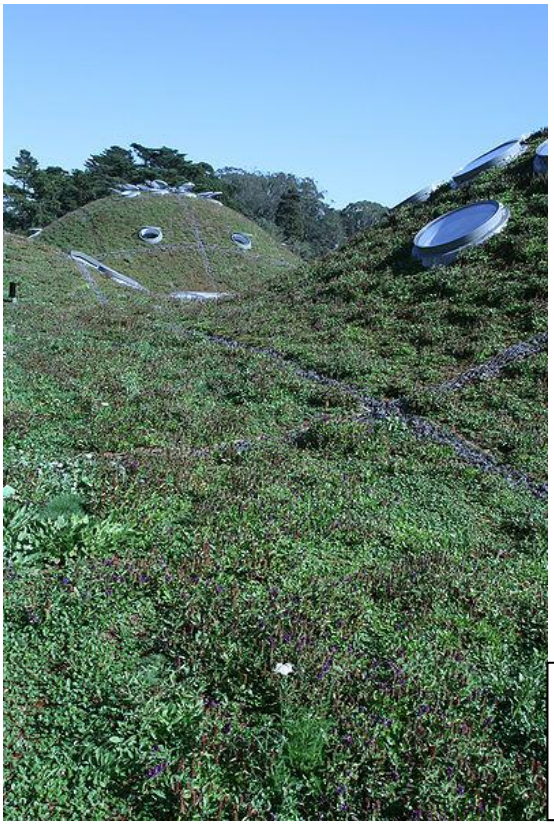
- Veći uvid u djelovanje dobijemo mjerenjem temperatura kroz dan (graf 1. -.2.). Temperaturni maksimum za specifično vrijeme kojeg uzimamo mijenja se iz dana u dan. Temperaturni gradijent se ponaša različito pod djelovanjem zelenog krova. Bez zelenog krova radijacijska toplina se akumulira tokom dana dok svoj maksimum postiže u večernjim satima. Idealna bi bila statistička obrada podataka multiplih mjerenja temperatura tokom dana kroz više godina. Zbog inicijalnosti projekta to nije bilo moguće

## *7.2. Primjeri zelenih krovova*



**Slika 23. Gradska vijećnica, Chicago Illinois**

**(*http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof)***



**Slika 24. Moderni zeleni krov, Akademija Znanosti u Kaliforniji**

**(*http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof)***

## *8. Literatura*

*Niachou, A., K. Papakonstantinou, M. Santamouris, A. Tsangrassoulis, M. Mihalakakou, 2001: analysis of the green foor thermal properties and investigation of its energy performance. Energy and Buildings, 33(7): 719-729.*

*Del Barrio ,Elena Palomo,1998: Analysis of the green roofs cooling potential in buildings , Energy and Buildings, 27(2): 179-193.*

*Fisher Box, Joan,1987: "Guinness, Gosset, Fisher, and Small Samples", Statistička znanost 2,:45-52.*

*Fowler J., Cohen L. 1995: Practical statistics for field biology. John wilea & sons, Chichester, Open University Press.*

**Korištene web stranice:**

*http://en.wikipedia.org/wiki/Green_roof*
*http://www.greenroofs.org*
*http://web.me.com/rdberghage/Centerforgreenroof/Home.html*
*http://news.nationalgeographic.com/news/2002/11/1115_021115_GreenRoofs_2.html*
*http://www.greenroofs.net/index.php?option=com_content&task=view&id=26&Itemid=40*
*http://www.biol.pmf.hr/~eko/zlatko/Predavanje1P.pdf*

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prirodoslovno-matematički fakultet
Biološki odsjek

Diplomski rad

# TERMOIZOLACIJSKA UČINKOVITOST EKSTENZIVNOG ZELENOG KROVA U PODRUČJU SREDNJE DALMACIJE

**Darijo Anić-Kaliger**
Geobotanički zavod, Marulićev trg 20.

Izgradnja i upotreba zelenog krova kao ekološka alternativa za uštedu električne energije. Slikovni prikaz izgradnje ekstenzivnog zelenog krova u srednjodalmatinskom području. Statističko istraživanje korelacije između temperature stambenog prostora i zelenog krova. Teoretske hipoteze koje objašnjavaju očekivano termoizolacijsko svojstvo izgrađenog ekstenzivnog krova.
( 38 stranica, 24 slike, 2 tablice, 2 grafa, 6 navoda originalno u engleskom)

Rad je pohranjen u Središnjoj biološkoj knjižnici

**Ključne riječi:** Ekstenzivni zeleni krov, konstrukcija, termoizolacija.

**Voditelj**: Dr.sc. Vladimir Hršak, Doc.

**Ocjenitelji:**

**Rad prihvaćen:**

# BASIC DOCUMENTATION CARD

University of Zagreb
Faculty of Science
Department of Biology

Graduation Thesis

## THERMOISOLATION EFFICIENCY OF EXTENTSIVE GREEN ROOF IN THE CENTRAL DALMATION REGION

Darijo Anić-Kaliger
Geobotanical institute in Zagreb, Marulićev trg 20.

Construction and usage of green roofs as an ecological alternative in domestical energy savings. Photographical construction presentation of the extensive green roof in the Central Dalmation Region . Statistical research of the temperature correlation between green roofing and the living space. Theoretical hypotheses that gives an explanation for the expected thermoisolation properties of the constructed extensive green roof.
(38 pages, 24 pictures, 2 tables, 2 charts, 6 references original in english)

Thesis deposited in Central biological library

Key words: Extensive green roofs, construction, thermoisolation.

Supervisor: Dr. Vladimir Hršak, Asst. Prof.

Reviewers:
Thesis accepted: