

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA BIOLOGIJO

Ana CELESTINA

**VPLIV UMETNE OSVETLITVE NA POJAVNOST PAJKOV V
URBANEM OKOLJU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

**INFLUENCE OF ARTIFICIAL ILLUMINATION ON APPEARANCE
OF SPIDERS IN URBAN ENVIRONMENT**

GRADUATION THESIS

University studies

Ljubljana, 2016

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija biologije. Opravljeno je bilo na Katedri za zoologijo Oddelka za biologijo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Študijska komisija Oddelka za biologijo je 15. 1. 2016 odobrila predlagano temo in za mentorja imenovala prof. dr. Roka Kostanjška in za recenzenta doc. dr. Ceneta Fišerja.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik: Prof. dr. Rudi VEROVNIK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Član: Prof. dr. Rok KOSTANJŠEK
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
Član: Doc. dr. Cene FIŠER
Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo

Datum zagovora: 28. 9.2016

Podpisana izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovanja in se strinjam z objavo svoje naloge v polnem besedilu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki jo oddajam v elektronski obliki, identična tiskani verziji in na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja.

Ana Celestina

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD Dn
DK UDK 595.44(043.2)=163.6
KG Pajki (Araneae)/*Brigittea civica*/urbano okolje/svetlobno onesnaževanje/pročelja/mreže
AV CELESTINA, Ana
SA KOSTANJŠEK, Rok (mentor)/FIŠER, Cene (recenzent)
KZ SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
ZA Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo
LI 2016
IN VPLIV UMETNE OSVETLITVE NA POJAVNOST PAJKOV V URBANEM OKOLJU
TD Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP X, 45 str., 1 pregl., 19 sl., 73 vir.
IJ sl
JI sl/en
AI Svetloba močno vpliva na življenje organizmov ponoči, zaradi prevelikega obsega in neustrezne uporabe umetnih svetlobnih virov. Med drugim vpliva na množično privabljanje žuželk ter posledično prisotnost njihovih plenilcev - pajkov. Vrsta pajka *Brigittea civica*, ki v Sloveniji doslej ni bila najdena, je bila prvič določena prav na pročeljih zgradb v mestnem jedru. Vrsta na pročeljih gradi za dlan velike kribelatne mreže, na katerih se nabirajo prah ter ostanki plena. Mreže kazijo estetski videz stavb, njihovo odstranjevanje je težavno in drago, vrsta pa je zato obravnavana kot škodljiva. Namen diplomske naloge je ugotoviti vrstno pestrost pajkov na pročelju zgradbe Slovenske filharmonije, ugotoviti vpliv spektralne sestave in intenzitete svetlobe na pojavnost pajkov *B. civica* ter testirati hipotezo ali osvetljevanje pročelja zgradb s svetlobo z omejenimi spektralnimi lastnostmi zmanjša ali upočasni njihovo kolonizacijo pročelja. V triletnem obdobju po čiščenju pročelja smo spremljali pojavljanje pajčevin na vzorčnih ploskvah, ki so bile osvetljene ali zasenčene v prvotni beli ali v spremenjeni natrijevi svetlobi. Fotografirali smo pročelje in analizirali številčnost mrež. Vzorčili in določili smo pajke z ometenega pročelja. Pri tem smo ugotovili, da v začetni stopnji poselitve pajkov na njihovo prisotnost vpliva predvsem prisotnost svetlobe, kasneje pa pridejo do izraza tudi njene spektralne lastnosti. Pod vplivom bele svetlobe dva krat hitreje kot pod vplivom natrijeve svetlobe narašča številčnost mrež na pročelju. Zamenjava osvetlitve z natrijevo svetlobo je upravičena, saj statistično značilno zmanjša povečevanje števila pajčevin na pročelju. V zaključku smo podali predloge in smernice za zmanjšanje pojavnosti pajkov na osvetljenih objektih.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN Dn
DC UDC 595.44(043.2)=163.6
CX Spiders (Araneae)/*Brigittea civica*/urban environment/light pollution/facades/webs
AU CELESTINA, Ana
AA KOSTANJŠEK, Rok (supervisor)/FIŠER, Cene (rewiver)
PP SI-1000 Ljubljana, Jamnikarjeva 101
PB University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Biology
PY 2016
TI INFLUENCE OF ARTIFICIAL ILLUMINATION ON APPEARANCE OF SPIDERS IN URBAN ENVIRONMENT
DT Graduation thesis (University studies)
NO X, 45 p., 1 tab., 19 fig., 73 ref.
LA sl
AL sl/en
AB Light has a powerful influence on the life of organisms at night, given the excessive usage and inappropriate use of artificial light sources. One such influence is mass attracting of insects, and consequently the presence of their predators – the spiders. The spider species *Brigittea civica*, which has not been found previously in Slovenia, was first identified right on the exteriors of buildings in the city centre. On the fronts of the buildings, this species spins a palm-sized orb web, which gathers dust and remains of its prey. Since the webs blight the aesthetic appearance of buildings and their removal is tricky and expensive, the species is considered as a pest. The purpose of this diploma thesis is to determine the species diversity of spiders on the exterior of the Slovenian Philharmonic building, to determine the influence of the spectral composition and intensity of light on the presence of *B. civica* spiders, and to test the hypothesis of whether lighting the front of the building with a limited spectrum would reduce or slow down their colonisation of the building facade. In the three-year period after the facade was cleaned, we monitored the colonization of spider webs on sample panels, which were illuminated or shaded with originally white or modified sodium lighting. We photographed the building facade and analysed the numerical density of the webs. We sampled and identified the spiders on the cleaned facade. In so doing we found that in the initial level of spider colonization, their presence was influenced principally by the presence of light, then later the spectral properties of the light were seen to play a part. Under the influence of white light, the number of webs on the facade grows two times faster than under influence of sodium lighting. Replacing the lighting with sodium lights is justified, since it reduces the increase in the number of webs on the facade in a statistically significant degree. In conclusion we offered suggestions and guidelines for reducing the presence of spiders on illuminated buildings.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VII
KAZALO SLIK	VIII
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	X
1 UVOD	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 URBANO OKOLJE	2
2.2 PAJKI V URBANIH OKOLJIH	3
2.3 SVETLOBA IN SVETLOBNO ONESNAŽENJE	3
2.3.1 Lastnosti svetlobe.....	3
2.3.2 Svetlobno onesnaženje.....	4
2.3.3 Svetloba v urbanem okolju	5
2.3.4 Vpliv svetlobnega onesnaženja na členonožce	7
2.3.5 Vpliv svetlobe na pojavnost pajkov	8
2.4 PROČELJE KOT NADOMESTNO OKOLJE PAJKOV V URBANEM OKOLJU	9
2.4.1 Pogoji za naselitev nadomestnih habitatov z vrsto <i>B. civica</i>	11
2.4.2 Sredstva za zaščito fasadnih površin pred pajki	13
3 MATERIAL IN METODE	15
3.1 TERENSKO DELO.....	15
3.1.1 Terenski dnevi.....	18
3.2 OBDELAVA PODATKOV	18
3.3 STATISTIČNA ANALIZA.....	20
4 REZULTATI.....	21
4.1 ANALIZA MREŽ NA NADSTREŠKU	21
4.1.1 Analiza mrež spodnjega nadstreška	21
4.1.2 Analiza mrež zgornjega nadstreška.....	30

4.2	SEZNAM VRST NA PROČELJU ZGRADBE	32
5	RAZPRAVA IN SKLEPI.....	33
5.1	VPLIV SPEKTRALNE SESTAVE IN INTENZITETE SVETLOBE NA ŠTEVILČNOST PAJKOV	33
5.2	V NALOGI NAJDENE SINANTROPNE VRSTE	36
5.3	SKLEPI.....	36
6	POVZETEK.....	38
7	VIRI	40
7.1	CITIRANI VIRI	40
7.2	DRUGI VIRI	45

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Terenski dnevi fotografiranja in vzorčenja.....	18
--	----

KAZALO SLIK

Sl. 1: Nadomestni habitat pajka <i>Brigittea civica</i> na umetni površini	10
Sl. 2: Nočna osvetlitev pročelja zgradbe Slovenske filharmonije pred začetkom poskusa v letu 2006	15
Sl. 3: Spektralne lastnosti a) natrijeve nizekotlačne sijalke in b) kovinsko halogenidne (MH)	16
Sl. 4: Nočna osvetlitev pročelja zgradbe Slovenske filharmonije v času trajanja poskusa.	17
Sl. 5: Izsek dela pročelja s prikazom vzorčnih enot	19
Sl. 6: Položaj vzorčnih enot na osvetljenem pročelju (1-42 prekati).....	19
Sl. 7: Levi (a) in desni (b) nadstrešek osvetljen z belo svetlobo, pred čiščenjem (13.4.2006)	21
Sl. 8: Število mrež (pajčevin) v prekatih spodnjega nadstreška pred čiščenjem leta 2006 glede na intenziteto svetlobe.....	22
Sl. 9: Število mrež (pajčevin) glede na intenziteto in spektralno sestavo svetlobe na spodnjem nadstrešku v časovnem razmiku treh let (2007, 2008, 2009) po čiščenju v letu 2006	23
Sl. 10: Levi nadstrešek filharmonije osvetljen z natrijevo svetlobo (27.4.2007)	24
Sl. 11: Desni nadstrešek a), b) in c) filharmonije osvetljen z belo svetlobo (27.4.2007)....	24
Sl. 12: Primerjava vzorčnih ploskev spodnjega nadstreška v letu 2007 (368 dni po čiščenju pročelja)	25
Sl. 13: Levi nadstrešek filharmonije osvetljen z natrijevo svetlobo (15.10.2008)	26
Sl. 14: Desni nadstrešek filharmonije osvetljen z belo svetlobo (15.10.2008)	26
Sl. 15: Primerjava vzorčnih ploskev spodnjega nadstreška v letu 2008 (905 dni po čiščenju pročelja)	27
Sl. 16: Levi nadstrešek filharmonije a) in b) osvetljen z natrijevo svetlobo (11.11.2009)..	28
Sl. 17: Desni nadstrešek Filharmonije a) in b) osvetljen z belo svetlobo, (11.11.2009).....	29
Sl. 18: Primerjava vzorčnih ploskev spodnjega nadstreška v letu 2009 (1297 dni po čiščenju pročelja).....	30
Sl. 19: Število mrež (pajčevin) v zgornjem nadstrešku v časovnem razmiku treh let (2007, 2008, 2009) po čiščenju pročelja v letu 2006.....	31

KAZALO PRILOG

Pril. A1: Tabela podatkov za statistično analizo-zgornji nadstrešek.....	47
Pril. A2: Tabela podatkov za statistično analizo- spodnji nadstrešek	50
Pril. B: Rezultati statističnih testov: Mreže pred čiščenjem 2006 na spodnjem nadstrešku	53
Pril. C: Rezultati statističnih testov: Mreže 368 dni po čiščenju (2007) na spodnjem nadstrešku	54
Pril. D: Rezultati statističnih testov: Mreže 905 dni po čiščenju (2008) na spodnjem nadstrešku	55
Pril. E: Rezultati statističnih testov: Mreže 1297 dni po čiščenju (2009) na spodnjem nadstrešku	56
Pril. F: Rezultati statističnih testov: Mreže pred čiščenjem 2006 na zgornjem nadstrešku	57
Pril. G: Rezultati statističnih testov: Mreže 368 dni po čiščenju (2007) na zgornjem nadstrešku	58
Pril. H: Rezultati statističnih testov: Mreže 905 dan po čiščenju (2008) na zgornjem nadstrešku	59
Pril. I: Rezultati statističnih testov: Mreže 1297 dan po čiščenju (2009) na zgornjem nadstrešku	60

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

LED - (Light Emitted Diodes) svetleča dioda

CRI - (Chromatic Rendering Index) indeks barvne reprodukcije

CCT - (Correlated Color Temperature) barvna toplota

HSD test - (Honest Significant Difference) test mnogoterih primerjav

MH sijalke – (metal halogenidne) kovinsko halogenidne sijalke

1 UVOD

Umetna osvetlitev predstavlja motnjo naravnemu ciklu dneva in noči, ki je bil konsistenten skozi dolga obdobja geološke in evolucijske zgodovine in spreminja kvaliteto in kvantiteto naravne nočne svetlobe (Held in Hölker, 2013). Nočna osvetlitev v mestih se je v stotih letih močno povečala in se še povečuje, zaradi varnostnih, dekorativnih, reklamnih in delovnih namenov (Gaston in sod., 2015). Sočasno so se začele kazati nezaželene posledice, ki terjajo okoljevarstveno skrb, zaradi sprememb v vedenju nočno aktivnih živali, oblikovanju novih prehranskih niš in drugih prilagoditev na nove okoljske pogoje (Longcore in Rich, 2004).

Narejene so bile številne raziskave o vplivu tako imenovanega svetlobnega onesnaževanja na žuželke in druge členonožce, podatki o vplivu svetlobe na pojavnost pajkov in njihovo vrstno pestrost pa so zaenkrat še zelo skopi in slabo raziskani, četudi so biološko in ekonomsko pomembni (Rich in Longcore, 2006). Pajki so v prehranski verigi poleg ptic ključni plenilci žuželk. Ker nočne luči v velikem številu privabljajo žuželke, se v njihovi bližini poveča tudi število pajkov (Adams, 2000).

Povod za raziskavo je problematika kopičenja pajčevin pod napušči streh in na pročeljih. Pajčevine pri nekaterih pajkih ostanejo pritrjene na zidove in nase lovijo prah in umazanijo ter posledično kazijo videz stavb, čiščenje pa je zamudno in drago (Prinz, 2013). Strokovnjaki različnih področij od gradbenikov, urbanistov, arhitektov, biotehnologov, kemikov in biologov so že poskušali zmanjšati in razumeti pojav povečane številčnosti pajkov, vendar brez večjih uspehov (Billaudelle, 1954; Lindner, 2005; Antošova, 2011; Prinz, 2013). V podjetju JUB, kjer imajo poleg trženja, razvoja fasad in barv tudi tehnično svetovanje za zaščito, sanacijo in vzdrževanje zgradb, so se zavedali pomembnosti raziskav na pajkih in sodelovanja z drugimi strokami ter predlagali diplomsko delo.

Izmed vseh biotskih in abiotskih dejavnikov, ki lahko vplivajo na ta pojav, smo se osredotočili na očitno korelacijo med prisotnostjo pajkov in umetno osvetlitvijo pročelja v nočnem času.

Določili smo cilje diplomskega dela:

- ugotoviti vrstno pestrost pajkov na pročelju Slovenske filharmonije,
- ugotoviti vpliv spektralne sestave svetlobe na pojavljanje pajkov,
- ugotoviti vpliv intenzitete svetlobe na pojavljanje pajkov,
- zbrati uporabno znanje in metode za zmanjšanje številčnosti pajkov na fasadah,

ter testirali raziskovalno hipotezo, da osvetljevanje pročelja zgradb s svetlobo z omejenimi spektralnimi lastnostmi zmanjša ali upočasni kolonizacijo pročelja s pajki.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 URBANO OKOLJE

»Mesto kot človekovo okolje je sestavljena tvorba, ki jo je človek ustvarjal stoletja. Nastaja, raste, se spreminja in tudi odмира. Nikoli ni do kraja zgrajeno. Človek nenehno spreminja svoje okolje in ga prilagaja lastnim potrebam« (Tarman, 1992 po Gaberščik, 1990). Mesta trenutno predstavljajo le okoli 5 % vseh zemljišč v rabi (Liu in sod., 2014), njihov učinek na klimo, biodiverzitetu, onesnaževanje in vire pa je velikanski in sega daleč čez mestne meje (Grimm in sod., 2008). Francis (2013) namesto besede mesto predlaga izraz 'urbano okolje'. Po njegovi definiciji je to območje z veliko gostoto človeške populacije in z velikim deležem zgrajenega okolja, z ekološkim pomenom. Vse, kar ne ustreza tej definiciji, je ruralno, torej ne-urbano okolje. Mesto je torej vedno urbano okolje, vsako urbano okolje pa ni vedno mesto, kot npr. avtocestne povezave.

Urbanizacija in zagotavljanje življenjskega prostora v mestnih okoljih sta nerazdružljivo povezana s posegi v okolje. Ti posegi primarno vključujejo pozidavo, sekundarni posegi pa vse ostale motnje kot so košnja, promet in druge. Sočasno urbanizacija krajine generira skupek edinstvenih abiotičnih okoljskih dejavnikov, kot so velike gladke površine, hrup, učinki toplotnega otoka, onesnaženost in prisotnost polarizirane svetlobe, ki jih v naravnih ekosistemih ne najdemo (Tarman, 1992; Faeth in sod., 2011). Z večanjem števila prebivalstva in z ekonomskim razvojem so se pozidava mest, širjenje njihove površine ter z njima povezane motnje še okrepile.

Urbano okolje je mozaičen, ekološko heterogen prostor, kjer se na majhni površini menjavajo različni novoustvarjeni habitati (zgradbe, zidovi, pločniki, ceste) in ostanki ali približki naravnih habitatov (npr. kanali rek, zelenice, drevoredi, vrtovi), ki imajo značilnosti analogne naravnemu okolju. Posledično urbane habitate zasedajo enake ali funkcionalno enake vrste, tistim v naravnem okolju. Primeri so sokol selec, ki v mestih gnezdi na visokih zgradbah, skalni golobi in mestna lastovica, ki gradi gnezda pod mostovi in napušči zgradb. Iz študij vpliva urbanega okolja na členonožce in ptice je razvidno, da urbanizacija na splošno znižuje vrstno pestrost teh dveh skupin, pri tem pa zaradi dobrega izkoriščanja niš, kot je na primer odsotnost plenilcev, pogosto narašča gostota (oz. številčnost) dobro prilagojenih vrst. Na splošno se s prehodom iz ruralnega v urbano okolje znižuje biodiverzitetu lokalnih vrst, zviša pa se zastopanost vnešenih, tujih vrst, ki v urbanih okoljih postanejo tudi številčnejše. Urbanizacija ima tako pozitiven vpliv na biodiverzitetu širšega območja, ki pa praviloma ni pokazatelj stabilnosti ekosistema (Setälä, 2009).

S spreminjanjem deleža rastlin in prevlado monokultur, kot so zelenice, parki in drevoredi, se v urbanih okoljih dramatično spreminjajo tudi procesi kroženja snovi in energije. Upad primarne produkcije močno vpliva na vrstno sestavo in gostoto živali in mikrobov (Faeth in sod., 2011), zato se urbani trofični sistem močno razlikuje od naravnega (Faeth in sod., 2005). Trofična piramida, ki ima v naravnem ekosistemu največji delež primarnih producentov, je v urbanem ekosistemu obrnjena - največ je plenilcev; razkrojevalci, ki omogočajo kroženje snovi, pa so v urbanem okolju močno zmanjšani ali celo povsem odstranjeni. Za vzdrževanje urbanih ekosistemov je zato potrebna velika količina snovi in energije, zaradi odsotnosti razkrojevalcev pa urbani sistemi producirajo znatne količine

neizkoriščene energije in kompleksnih snovi v obliki polutantov (Setälä, 2009).

2.2 PAJKI V URBANIH OKOLJIH

Pajki (Araneae) po najnovejših podatkih presegajo število 46 000 opisanih in določenih vrst (World Spider Catalog, 2016), po predvidevanjih pa jih je lahko več kot 120 000 (Agnarsson in sod., 2013). Pripadajo kar 3958 rodovom in 114 družinam; kot plenilci generalisti so razširjeni skoraj v vseh kopenskih ekosistemih.

Kot uspešni kolonizatorji pajki hitro in učinkovito zasedajo nova okolja (Foelix, 2011). Glede na izvor in stopnjo prilagoditve na urbano okolje so razdeljeni na več skupin:

- tujerodne vrste («neozoa») (Geiter in sod., 2002): so pajki, vnešeni v neavtohtono okolje s človekovim neposrednim ali posrednim vnosom,

- invazivne vrste (Geiter in sod., 2002): so avtohtone ali tujerodne vrste, ki agresivno kolonizirajo območja, kjer jih prej ni bilo, pri tem pa izpodrivajo druge vrste.

Sinantropni pajki so avtohtoni ali tujerodni pajki, ki sobivajo s človekom, znotraj, na in/ali v bližini stavb. Delimo jih na več podskupin. I.) **Pravi sinantropni pajki** se pojavljajo v človeških bivališčih in njihovih populacij ne najdemo v naravnem okolju v okolici urbanega ekosistema. Posebna podskupina v tej kategoriji so pajki toplih gred. Gre za tujerodne, praviloma toploljubne vrste, ki formirajo populacije v rastlinjakih in toplih gredah, v hiše pa zaidejo z lončnicami. Te vrste ne morejo preživeti v mrzlih podnebnih razmerah zmernega pasu, v ogrevanih hišah pa najdejo primeren habitat in hrano (Blick in sod., 2006) .II.) **Hemisinantropne vrste** živijo v bližini človeških bivališč, najdemo pa jih tudi v naravnih okoljih v okolici urbanega ekosistema (npr. *Parasteatoda tepidariorum* (C.L. Koch, 1841)). V primeru, ko gre za vrste, ki so izrazito številnejše v urbanem okolju kot v njihovih naravnih habitatih, govorimo o **sinurbanih vrstah pajkov** (Francis, 2011).

Od 87 tujerodnih vrst pajkov v Evropi je 71 % sinantropnih. Številne so postale kozmopolitske, nobena od njih pa ni invazivna tujerodna vrsta, ker morajo za to biti izpolnjeni vsi štirje ključni kriteriji: tujerodna vrsta v Evropi, hitro širjenje, velika številčnost in škodljiv vpliv na življenje ljudi (Nedved in sod., 2011).

2.3 SVETLOBA IN SVETLOBNO ONESNAŽENJE

2.3.1 Lastnosti svetlobe

Zaradi načrtovanja osvetlitve in pojavov, ki nastanejo zaradi vpliva svetlobe, je pomembno poznavanje lastnosti svetlobe.

Svetlobne vire delimo po različnih kriterijih. Naravni vir svetlobe so nebesna telesa; Sonce

in druge zvezde kot primarni vir svetlobe, ter sekundarni naravni viri svetlobe Lune, neba, svetlobnika, ki so posledica odboja primarnega vira sončne svetlobe. Umetna svetloba poskuša posnemati naravne vire svetlobe, v primerjavi z njimi pa je drugačna: v okolju je mozaično razporejena, v nočnem času veliko bolj intenzivna, najrazličnejših spektralnih sestav in je za razliko od naravne pulzirajoča pri visokih frekvencah (Gaston in sod., 2014).

Poznani so trije načini nastanka svetlobe: žarenje, razelektritev in fotoluminiscenca. Naravna svetila oddajajo svetlobo z enim od treh načinov, umetna svetila pa izkoriščajo en ali dva načina. V žarnicah je to žarenje, fluorescentna svetila pa svetijo zaradi hkratnega učinka razelektritve v plinu, ki napolnjuje svetilko, in fotoluminiscence v plasti posebne snovi, ki prekriva notranjo steno svetilke. Taka svetila imenujemo sijalke (Molek in Golob, 2010).

Svetloba je transverzalno elektromagnetno valovanje. Pri svetlobi nihata električno in magnetno polje. Nosilec svetlobe je foton. Foton je nihajoči paket energije, ki potuje skozi prostor. Vsak foton ima specifičen energijski nivo in zato tudi specifično valovno dolžino (Molek in Golob, 2010).

Vidni del elektromagnetnega spektra ima valovno dolžino med 380 nm (vijolična svetloba) in 780 nm (rdeča svetloba). Vsaka barva ima svojo **valovno dolžino** in **frekvenco**. **Barve** v svetlobi krajše valovne dolžine so hladne (modra in zelena), imajo visoko frekvenco in nizko energijo, pri daljših valovnih dolžinah pa so tople (oranžna, rdeča), imajo nizko frekvenco in visoko energijo. Izvir svetlobe lahko oddaja svetlobo ene same valovne dolžine, čemur pravimo enobarvna, **monokromatska svetloba** (npr. laser), ali pa je svetloba večbarvna (**multikromatska**). Multikromatski spekter sevanja svetlobe je lahko **diskreten** (seva več posameznih valovnih dolžin) ali pa **zvezen** (ima vse valovne dolžine) (Harris in Freudenrich, 2000). Bela svetloba seva v vseh valovnih dolžinah vidne svetlobe (zvezni spekter), lahko pa je vidna kot topla ali hladna bela svetloba, ker njen spekter variira v različnih barvnih razmerjih (Negrao, 2012).

Pri načrtovanju osvetlitve sta uporabni dve lastnosti svetlobe: barvna toplota svetlobe (CCT) in indeks barvne reprodukcije (CRI). Barvna toplota variira med 1800° K in 16 000° K. Višja kot je vrednost barvne temperature, večji je delež modre svetlobe, ki jo seva svetilka (Negrao, 2012). Indeks barvne reprodukcije svetila nam pove, kako bogato bodo prikazane barve pod svetilom. Vrednosti indeksa so od 0 do 100. CRI je določen s spektrom izsevane svetlobe. Za referenčni svetlobni vir je izbrana naravna dnevna svetloba, ki ima CRI 100.

2.3.2 Svetlobno onesnaženje

Pod svetlobno onesnaženje štejemo vse antropogene svetlobne vire, ki oponašajo naravno svetlobo, podaljšujejo čas dneva in s prekomerno osvetlitvijo, največkrat nad vodoravnico, vplivajo na izgled pokrajine ter kvaliteto bivanja ponoči. Prvi so na pretirano in nepravilno uporabo nočnega osvetljevanja opozorili poklicni in ljubiteljski astronomi, saj se jim je zmanjšala možnost opazovanja nočnega neba. Junija 2016 so raziskovalci (Falchi in sod., 2016) objavili nov svetovni atlas razsvetljenosti nočnega neba. V njem razkrivajo, da je Zemlja ponoči že tako svetlobno onesnažena, da samo tretjina prebivalstva lahko v nočnem

času opazuje našo galaksijo Mlečno cest.

Ekološko svetlobno onesnaženje je termin za svetlobo, ki spreminja naravne vzorce svetlobe in teme v ekosistemu (Longcore in Rich, 2004). Pojavi, ki ob tem nastajajo, so bleščanje, povečan sij nočnega neba, dolgotrajno povečana osvetlitev in nihanja v osvetljenosti. Vpliva na hranjenje, reprodukcijo, komunikacijo in druga vedenja živali. Pojav je globalen, najbolj pa so nanj občutljivi organizmi okoli ekvatorja, kjer je dolžina dnevno-nočnih ritmov konstantna (Gliwicz, 1999).

Polarizirano svetlobno onesnaženje je nova vrsta ekološkega svetlobnega onesnaženja. Gre za visoko in horizontalno polarizirano svetlobo, ki se odbije od temnih, gladkih, umetnih površin in vpliva na vedenje organizmov, ki uporabljajo polarizirano svetlobo za prepoznavanje vodnih teles, primernih za razmnoževanje (Horvath in sod., 2009).

Vsiljena svetloba ali svetlobno nadlegovanje je vstop svetlobe v osebni prostor posameznika neodvisno od njegove privolitve (Schreuder, 2002; Mohar, 2005). Ker je pojem antropocentričen, zajema obravnavo negativnih vplivov na življenje ljudi, med katerimi je tudi motnja tvorbe hormona melatonina in vpliv na cirkadiani ritem (Lewy, 1983).

2.3.3 Svetloba v urbanem okolju

V središču mesta je večja svetlobna obremenitev in proti predmestju intenziteta upada.

Schreuder 2002 razdeli zunanjo razsvetljavo v tri razrede:

1. Funkcionalna razsvetljava zaradi varnosti in zaščite. Sem sodi razsvetljava za cestni promet, razsvetljava športnih objektov, industrijskih kompleksov, parkirišč. Zagotavlja ustrezno vidljivost za naloge, ki se na površinah opravljajo.
2. Razsvetljava za povečanje ugodja, kot npr. osvetljevanje fasad na javnih zgradbah, razsvetljava sprehajališč, spomenikov. Vidiki vidljivosti so prednostni, vendar je poudarjen tudi občutek varnosti.
3. Dekorativna razsvetljava. Njen namen je estetski, v namen zabave.

Osvetljevanje pročelij ima dva vidika: poveča kulturno vrednost in atraktivnost mesta, toda porablja energijo in se nagiba k nepotrebnim nočnim osvetljenostim. Ker je vpliv osvetlitve na okolje, naravo in zdravje ljudi lahko negativen, je priporočljivo, da je varnostni vidik pri načrtovanju osvetlitve na prvem mestu. Dober energetski izkoristek pa je druga lastnost dobrega svetlobnega koncepta (Light for facades ..., 2010).

Za javno razsvetljavo so se najboljše izkazale sijalke (žarnice imajo veliko izgubo v obliki toplote in krajšo življenjsko dobo):

1. **Fluorescentne sijalke** odlikuje bela svetloba in visok izkoristek, saj pretvorijo približno četrtino energije v svetlobo. Njihova uporaba je redka.
2. **Živosrebrove sijalke** imajo močan poudarek v UV in vijoličnem delu spektra, zaradi katerega so za zunanjo razsvetljavo najmanj primerne. Imajo zelo nizek energetski izkoristek. Njihova uporaba se opušča.
3. **Kovinsko-halogenidne sijalke (MH)** temeljijo na visoko tlačni živosrebri sijalki, so zmogljive in trdne. Sijejo z intenzivno belo svetlobo, ki ima visoko barvno ločljivost in manjši del spektra v UV kot živosrebrove. So energetsko učinkovite z dolgo življenjsko dobo. Uporablja se jih za reflektorje, v industriji in trgovskih prostorih. Ne smemo jih zamenjati s halogenimi žarnicami (halogenkami) zaradi podobnega imena, saj le-te za razliko od kovinsko halogenidnih sijalk delujejo na principu termičnega sevanja. Bučka halogene žarnice je poleg inertnega plina napolnjena s halogenim elementom, kot je brom ali jod, ki podaljšuje njeno življenjsko dobo.
4. **Visokotlačne natrijeve sijalke** sevajo svetlobo dolgih valovnih dolžin, vključno z majhnim deležem v kratki UV valovni dolžini, tretjino energije pa pretvorijo v svetlobo. Imajo visok izkoristek in dolgo življenjsko dobo. Pogosto so uporabljene za cestno razsvetljavo, za žaromete in notranjo industrijsko osvetlitev.
5. **Nizkotlačne natrijeve sijalke** so skoraj monokromatske. Njihov svetlobni izkoristek je visok, ker je rumeni spekter v bližini največje občutljivosti človeškega očesa, vendar imajo najmanjšo CRI vrednost od vseh sijalk. So med energetsko najbolj učinkovitimi sijalkami.
6. **LED** svetila so relativno novejša in so šele v zadnjem času uporabljana za zunanjo razsvetljavo. Odlikuje jih prilagodljiva svetlost in barva, porabijo malo energije, se ne segrevajo in so nevsiljiva (Bruce-White in Shardlow, 2011; Majoros, 2011; Negrao, 2013).

Osvetlitev mestnega jedra, cestnih vpadnic ter znamenitosti urejajo arhitekti in urbanisti, ki svoje odločitve utemeljujejo z znanjem, estetskimi merili in zakonskimi predpisi. Leta 2007 je bila v Sloveniji sprejeta Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja (Ur.l. RS št.81/2007), ki zavezuje upravjalce zunanje razsvetljave na predpisan način osvetljevanja. K sprejetju direktive so z raziskavami in utemeljenimi predlogi veliko pripomogle nevladne organizacije (Astronomsko društvo Orion, DOPPS, Temno nebo) in drugi raziskovalci in politiki, ki so se zavedali negativnih vplivov svetlobnega onesnaževanja in pomembnosti smotrne osvetljenosti (Bevk in sod., 2001).

Poleg Slovenije so znani še nekateri primeri ureditve zakonodaje na področju svetlobnega onesnaževanja, kot so nekatere italijanske regije in Lombardija, dve regiji v Čilu in del Kanarskih otokov, kjer so začeli zmanjševati svetlobno onesnaženost (Falchi in sod., 2016). V nekaterih mestih Nemčije, Francije, Avstrije pa tudi brez uredb lokalno ugašajo razsvetljavo po 1. uri zjutraj (Mohar in sod., 2014).

2.3.4 Vpliv svetlobnega onesnaženja na členonožce

Nevretenčarji predstavljajo večino biodiverzitete, saj samo žuželke (Insecta) pripadajo več kot polovici vseh opisanih živalskih vrst na Zemlji, in so pokazatelji vitalnosti ekosistemov (Bruce-White in Shardlow, 2011). Največ raziskav vpliva svetlobe je bilo narejenih na žuželkah, predvsem nočnih metuljih, saj so pomembni opraševalci in člani prehranskih verig v kopenskih ekosistemih (Rich in Longcore, 2006).

Zaznavanje svetlobe je ključnega pomena za večino terestričnih živali, saj vid uporabljajo za iskanje prehranskih virov, parjenje, migracijo – od svetlobe je odvisen njihov življenjski cikel. Umetna svetloba vpliva na vedenje, vrstno pestrost in številčnost žuželk (Insecta). Večina žuželk je pozitivno fototaktičnih, kar pomeni, da se obračajo proti svetlobi ali pa jih ta privlači; obstajajo pa tudi negativno fototaktične, ki se izogibajo svetlobi. Let proti svetlobi vpliva na žuželke zaradi različnih vidikov, velikokrat vodi v visoko smrtnost (Bowden, 1982).

Ločimo bližnji vpliv umetne svetlobe, ki je v območju privlaka umetne svetlobe, in daljni vpliv umetne svetlobe, ki je posledica spreminjanja osvetlitve ozadja zaradi lune ali drugega vira svetlobe. Na vir svetlobe se žuželke različno odzovejo. Zaradi bližnjega vpliva nastane: (1) učinek ujetosti – ko žuželke zmoti, privlači cestna luč in jih odvrne od nadaljnje aktivnosti. Ob dotiku z vročo površino svetila žuželke poginejo ali pa krožijo okoli svetlobe, dokler se ne izmučijo ali jih ujame plenilec. (2) Učinek naleta – motnja, ko svetloba zmoti migracijsko pot žuželk, ki se ujamejo v območje svetlobe, kar jim preprečuje nadaljevanje poti. (3) Učinek vakuumskega sesalnika – ta vpliva na žuželke, ki se ponoči ne premikajo, svetloba pa jih pritegne in jih »posesa« iz habitata, kar izčrpa lokalno populacijo.

Daljni vpliv drugega vira svetlobe, kot je npr. luna ali pa disperzijska svetloba nočne osvetlitve, skrajšajo razdaljo, ki privablja žuželke na umetno svetlobo (Eisenbeis, 2006). Long s sodelavci (2011) je ugotovil, da vetrne elektrarne s svojo barvo privablja v bližino velike količine žuželk, kadar so bile le-te obarvane v beli, sivi ali rumeni barvi, ali pa barva celo odbija del spektra v UV svetlobi. Posledično je bila v okolici velika smrtnost žuželk in njihovih plenilcev – ptičev in netopirjev.

Nočne metulje privablja umetna svetloba v taki meri, da vpliva na njihov celotni reprodukcijski cikel (Frank, 1988).

Primer aplikativne raziskave je vpliv svetlobe na koruzno veščo (*Ostrinia nubilalis* (Hübner, 1796)), ki v Sloveniji povzroča škodo predvsem na koruzi in hmelju (Cizej Rak in sod., 2014). S pomočjo raziskave so uspešno testirali svetlobno past, ki je najučinkovitejše sredstvo proti temu rastlinskemu škodljivcu. Koruzna vešča je aktivna zvečer in ima oči prilagojene na vid v šibki svetlobi, zato jo je moč uloviti na svetlobne pasti. Ključnega pomena pri raziskavi so bile elektrofiziološke raziskave barvnega vida koruzne vešče, s katerimi so določili spektralno občutljivost mrežnice sestavljenega očesa in dveh majhnih pikčastih očesc (ocelov) koruzne vešče. Ugotovili so, da sestavljeno oko koruzne vešče nima barvnega vida in da ne more ločevati med UV in vidno svetlobo, oceli pa imajo to sposobnost. Spektralni analizi barvnega vida koruzne vešče je sledila izbira svetlobne pasti ravno v tem izmerjenem spektru. Živosrebrova in UV LED sijalka sta bili pravi izbiri

svetlobnih pasti, ki sta se obnesli tudi na terenu, bela LED sijalka pa se je izkazala za neučinkovito, saj je večša s svojim vidom ne more zaznati.

2.3.5 Vpliv svetlobe na pojavnost pajkov

Pajki so poleg družine os (Vespidae) edina večja skupina kopenskih nevretenčarjev, ki je v celoti plenilska. Vloga plenilca je ekološko, vedenjsko in evolucijsko izredno pomembna. Pajki lahko zaznajo številčnost in razpoložljivost plena samo z izkušnjo lova, vendar to pomeni, da morajo vložiti precej energije v izgradnjo mreže. Večkratno prestavljanje mreže ob slabem ulovu bi bilo za pajka energetsko zelo potratna aktivnost, zato se je ponovnemu mreženju najbolje izogniti (Nakata in Ushimaru, 2004; Myashita, 2005). Na prostorsko razporeditev pajkov tako najverjetneje bolj vpliva izbira značilnega okolja in njegovih ugodnih abiotičnih dejavnikov, kot pa iskanje številčnega plena (Voss in sod., 2007). Gillespie (1987) v svoji raziskavi predstavlja tri stopnje iskanja najugodnejšega habitata pajka *Tetragnata elongata* Walckenaer, 1841: 1. naključno gibanje, ki se skrajša, ko pajek naleti na najprimernejše abiotično okolje, 2. aktivno iskanje mikrohabitata, ki zadovolji potrebam za gradnjo mreže, 3. vzorčenje plena in prestavljanje mreže, če dostopnost plena ni ustrezna. Pajki, ki investirajo veliko energije v izgradnjo mreže, v fazi vzorčenja ne izgradijo celotne mreže. Primer je kribelatni pajek *Amaurobius similis* (Blackwall, 1861), ki v času vzorčenja terena nepretrgoma za sabo vleče svileno nit (Gillespie, 1987). Nočna svetloba privabi velike količine žuželk na osvetljene površine, zato je tudi količina kemičnih signalov – vonjav velika, kar privabi več pajkov.

Larinioides sclopetarius (Clerck, 1757) (Araneidae), pogost pajek urbanega okolja, na primer, aktivno išče in izbira osvetljene dele za mreženje in hranjenje in ga le redko najdemo na primerljivih, vendar neosvetljenih habitatih. Na osvetljenih delih ulovi dvajsetkrat več hrane kot na neosvetljenih delih, velike količine hrane pa neposredno vplivajo na njegovo višjo reproduktivno stopnjo. Kadar je plena obilo, se gostota pajkov poveča, posledično se zmanjša prostor za mreženje, pajki pa zmanjšajo velikost mreže in teritorij tako, da tvorijo z drugimi pajki svoje vrste agregate in postavljajo kolesaste mreže tudi horizontalno in pod drugimi koti. Posamezni osebki reagirajo na prisotnost osebka in povečajo svojo mrežo, ko sosednjega pajka ni več (Heilling in Herbstein, 1999). Tvorjenje agregatov je označeno za parasocialno vedenje (Schmitt, 2004). Juvenilni pajki te vrste so številčnejši v neosvetljenih delih, zaradi intraspecifičnega plenjenja na osvetljenih delih in ker so manjši in šibkejši kompetitorji. Tudi opažanja Endersa (1973) kažejo, da se juvenilni pajki vrste *Argiope aurantia* Lucas, 1833 zadržujejo v strnjeni vegetaciji, odrasli osebki pa iščejo odprte površine za mreženje na robu gozda. Heilling (1999) je z laboratorijsko raziskavo potrdila, da ima *L. sclopetarius* prirojeno tendenco gradnje kolesastih mrež v bližini vira svetlobe. Neizkušene pajke, vzgojene v laboratoriju, ki še niso bili izpostavljeni svetlobi, je izpostavila izbiri med osvetljenim in neosvetljenim habitatom. Velika večina je prednostno izbrala osvetljeni del za izgradnjo mreže. Predvidevala je, da so pajki to vedenje razvili, ko so ob vodi osvetljeni z mesečino, za mreženje izbirali mesta z večjo številčnostjo plena.

Larinioides cornutus (Clerck, 1757) je nočno aktiven pajek, pri katerem so dokazali, da je izmenjavanje agresivnega vedenja v času hranjenja ponoči in proti plenilskega vedenja-

mirovanja podnevi, posledica cirkadianega ritma, na katerega svetloba in tema nimata vpliva (Jones in sod., 2011). Kljub temu laboratorijske raziskave nakazujejo, da pajek mrežo izgradi in tudi odstrani glede na svetlobne razmere in ne na podlagi endogenega cirkadianega oscilatorja (Uetz in sod., 1994).

Kozmopolitska vrsta kribelatnega pajka *Oecobius navus* Blackwall, 1859, ki naseljuje vertikalne površine kamnov in opečnatih zidov izkorišča razpoke in špranje za pritrditev svoje mreže. V raziskavi so avstralski znanstveniki (Voss in sod., 2007) proučevali biotske in abiotske dejavnike, ki vplivajo na njegovo mreženje, med njimi tudi vpliv umetne svetlobe, ki zagotavlja obilje plena. Ugotovili so, da je *O. navus* bolj številčen pri visoki vlažnosti, nizkih temperaturah zraka in zavetju pred sončno svetlobo in dežjem, ter tudi pri večji razpoložljivosti hrane. Umetna svetloba in vetrna lega pri izbiri prostora za mreženje na to vrsto nista imeli vpliva.

Platycryptus undatus (De Geer, 1778) iz družine skakačev (Salticidae), ki ima izredno dober vid in navadno lovi podnevi, se izogne kompeticiji z drugimi vrstami in dnevnim plenilcem tako, da se premakne v »nočno osvetljeno nišo« in izkorišča nočni lov ob umetni svetlobi v obilici plena (Frank, 2009).

2.4 PROČELJE KOT NADOMESTNO OKOLJE PAJKOV V URBANEM OKOLJU

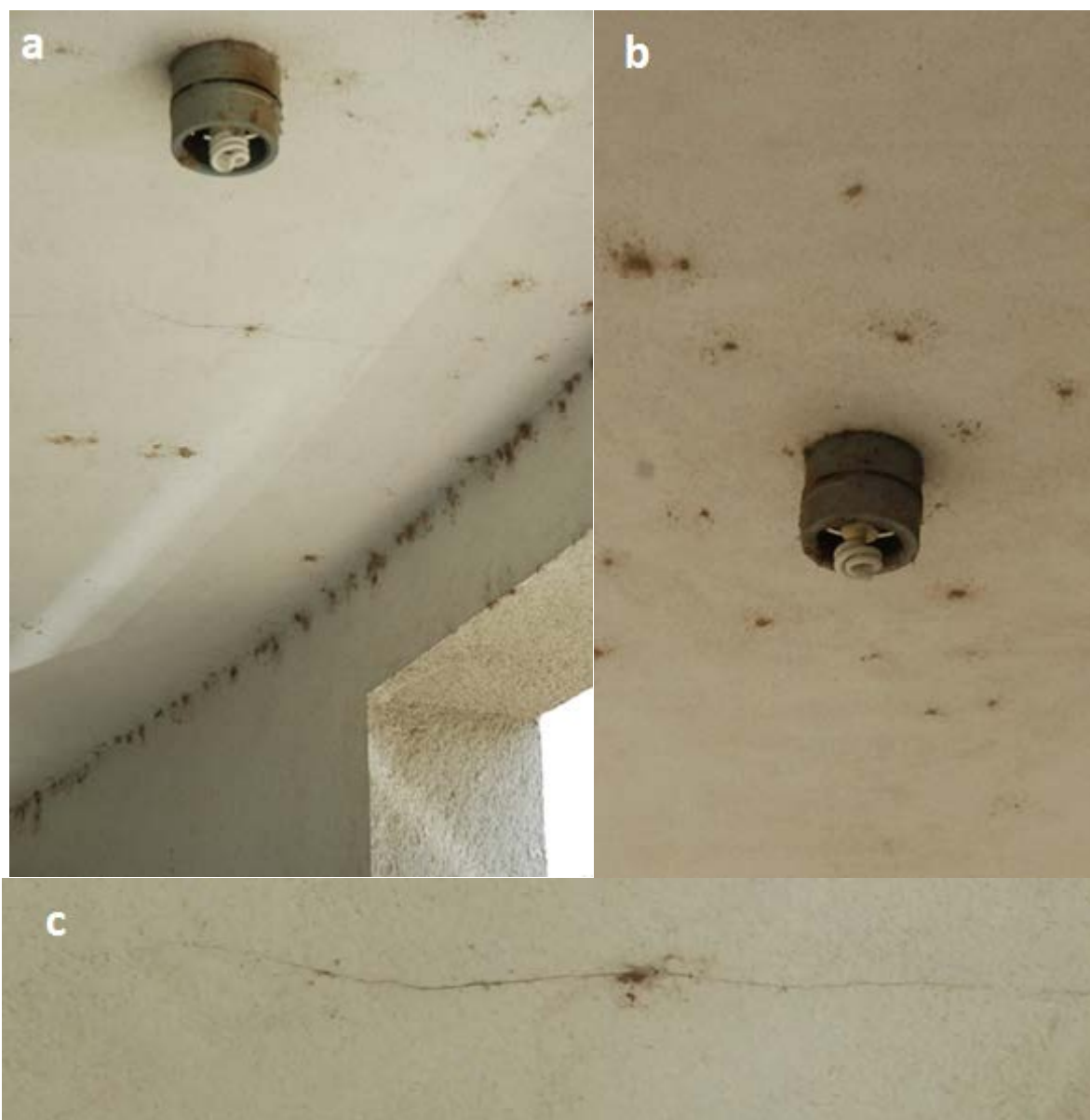
Zidovi so lokalno obsežen, globalno razširjen umetni ekosistem. Zanje so značilne specifične okoljske in fizikalne lastnosti, med katerimi so najpomembnejši substrat, vlaga, hranila in mikroklima (Francis, 2011).

Fasada ali pročelje je zunanja, navadno čelna, arhitektonsko poudarjena stran zgradbe. Pročelja imajo veliko značilnosti zidov, poleg tega pa so zanje značilni še vsaj delna pokritost z nadstreškom in dobre toplotne in hidroizolacijske lastnosti. Na površinah in špranjah pročelij najdejo zatočišča in življenjski prostor številni organizmi: cianobakterije, alge, plesni, mahovi, pajki, pršice, suhe južine, žuželke, netopirji in ptice (Antošova, 2011).

Gradbeniki in vzdrževalci se soočajo s problematiko korozije fasadnih površin, prekomerne naselitve pročelja z organizmi, ki škodujejo materialom na pročelju in/ali kvarijo estetski videz (Antošova, 2011).

Naravna bivališča *Brigittea civica* (Lucas, 1850) so skalne stene v območju subtropskega pasu, nadomestni habitati v urbanem okolju pa so mesta, ki jih vrsta zaradi mikroklimatskih in drugih optimalnih okoljskih pogojev za mreženje primarno in najhitreje naseljuje in na njih dosega največjo gostoto. Ta so v primeru *B. civica* predvsem zunanje kamnite in kamnu podobne površine, kljub temu pa vrsta občasno poseljuje tudi kovinske in lesene površine, z izjemo tistih s premazi zaščitene lesenih površin. Poleg sestave na izbiro nadomestnega mikrohabitata vrste močno vpliva tudi struktura in oblikovanost površine. Koti na primer predstavljajo optimalne mikrohabitatske, kjer je velika zaščita pred plenilci in manjša izpostavljenost abiotskim vplivom. Horizontalne površine vrsta naseli redkeje kot vertikalne, v obeh primerih pa izrazito izkorišča špranje, razpoke in druge nepravilnosti zidu

(Slika 1), (Roberts, 1995; Foelix, 2011).



Slika 1: Nadomestni habitat pajka *Brigittea civica* na umetni površini

- a.) Opazna je izrazita poselitev kota med ploškama in odsotnost mrež *B. civica* na vertikalni površini;
- b) manjša poselitev horizontalne ploskve;
- c) razpoka kot izrazito ugoden nadomestni habitat.

B. civica je pajek zidov in izkorišča špranje ali vdolbine za osnovanje osrednjega, gosteje prepletenega dela mreže pod katerim ima bivališče. Na odprtem vodoravnem ali navpičnem zidu gradi okrogle, za dlan velike mreže, ki so večje kot tiste, ki jih splete v kotih (Billaudelle, 1954; Samu, 2012). Elastične in »lepljive« kribelatne mreže gradi s pomočjo dveh organov– kribeluma in kalamistruma. Kribelum je predilno polje pred prednjimi (anteriornimi) predilnimi bradavicami, ki je pokrit s številnimi drobnimi cevčicami, vsaka

pa je povezana s svojo žlezo. Kalamistrum je organ na metatarzu zadnjih nog, ki deluje kot glavnik, da razčeše posamične svilene niti, ki izhajajo iz šob kribeluma, v večje število izredno finih niti premera 20 nm, v katere se mehansko ujamejo žuželke. Niti kribelatnega prediva so tanke in elastične ter nadomeščajo lepljivost prediva nekribelatnih pajkov (Vollrath, 2000). Zaradi privlaka van der Wallsovih sil se na kribelatno predivo lepijo tudi prašni delci, zaradi česar omenjene pajčevine ob izpostavitvi smogu potemniijo. Elektrostatične lastnosti pajčje mreže omogočajo lovljenje onesnaženih delcev iz zraka in so zato poceni in naravni pokazatelji prisotnosti pesticidov in kvalitete zraka (Vollrath, 2013). Ob lepljenju prašnih delcev in ostankov plena se zmanjšuje tudi funkcionalnost mreže. Pajek zelo umazano mrežo bodisi zapusti bodisi čisti ali pa naredi novo (Samu, 2002). Potemnjene mreže zmanjšujejo estetski videz pročelja stavb, zato so mreže *B. civica* nezaželene.

2.4.1 Pogoji za naselitev nadomestnih habitatov z vrsto *B. civica*

Na kolonizacijo nadomestnih habitatov v urbanih okoljih vplivajo tako abiotski kot biotski dejavniki.

Abiotski dejavniki:

Umetna nočna osvetlitev je dejavnik, ki privablja veliko količino plena na osvetljene površine, ob katerih pajki spletejo mrežo, kar omogoča vrsti varčevanje z energijo pri lovu na hrano (Heiling, 1999). *B. civica* na svetlobo aktivno ne reagira, pri lovu plena uporablja druga taktilna in olfaktorna čutila (Billaudelle, 1957).

V tovarni barv JUB pri pregledu fasad, na katerih so se množično pojavljali pajki, osvetljenosti niso posvečali pretirane pozornosti. Ob svetilih, ki so bila vgrajena v fasadne ploskve ali na bolj osvetljenih fasadnih ploskvah istega objekta, so običajno našli večje število pajčevin kot na ostalih ploskvah. Z veliko gotovostjo pa so potrdili, da so pajčevine pajkov našli tudi na objektih, na katerih fasadne ploskve ponoči niso bile osvetljene, oziroma tudi takrat, ko v bližini teh objektov ni bilo svetlobnih virov (Tornič, osebni vir).

Relativno visoka vlažnost pomeni za urbano okolje bližino vodnih teles in rastlin, ki z izhlapevanjem višajo vlažnost in nižajo temperaturo objektom v neposredni bližini (Shashua-Bar in sod., 2011). *B. civica* je razširjena na območjih v bližini rek in dreves, vendar vrsti za bivanje ustreza nizka relativna vlažnost (30–40 %) in pred dežjem zavarovano okolje. Pri raziskovanju razvoja pajkov iz jajčec (brez kokona), pa je Billaudelle (1957) ugotovil, da se mladi pajki zelo dobro razvijajo pri visoki relativni vlažnosti (80–90%).

Temperatura zraka, ki je vsaj v eni polovici leta optimalna okoli 20° C ali več, omogoča pajkom zaključek razmnoževalnega cikla. Pri nizkih temperaturah okoli 15° C pajek preide v stanje mirovanja, pri 10° C pa v odrevenelost, ki lahko traja tudi pol leta (Billaudelle, 1957).

Struktura in obarvanost pročelja

Največkrat uporabljene barve za fasadne površine (rumena, bela in siva), imajo tudi največjo gostoto pajčjih mrež (Prinz, 2013). Rumena barva privlači dnevne oprasovalce, bela in siva pa sta privlačni žuželkam, ki so aktivne v mraku (Long, 2010). Na splošno velja prepričanje,

da so svetlejši barvni toni bolj problematični, vendar ni nujno. Na svetlih fasadnih površinah so pajkove mreže, predvsem potem, ko se vanje ujamejo delci prahu in smoga bolj vidne in iz tega razloga tudi bolj moteče. Pajke so v JUB opažali tudi na nebarvanih fasadnih površinah (beton ali neobdelan fasadni omet v različnih odtenkih sive barve) (Tornič, osebni vir). Za grobo strukturo fasad se zdi, da nudi boljše zavetje vrsti, vendar temu ni vedno tako. Prinz (2013), na primer, v raziskavi ugotavlja, da se mreže *B. civica* pogosteje pojavljajo na gladkih kot na grobo ometanih površinah, a je pri tem pogoj, da gladka površina vsebuje razpoke in luknje, ki jih vrsta lahko poseli. Sočasno pa raziskava na Madžarskem (Samu in sod., 2002) ni pokazala preferenc pajka pri izbiranju prostora za mreženje glede na tip pročelja. Tudi Tornič (osebni vir) je potrdil, da med bolj ali manj grobo zrnatimi fasadnimi ploskvami v Sloveniji niso zaznali bistvenih razlik v poseljenosti pajkov. Odstopale so morda izjemno grobe fasadne ploskve, kjer so se pajki naselili tudi na padavinam bolj izpostavljenih mestih, če jim je žlebasta, oziroma rustikalna strukturna površina nudila dovolj dobro zaščito. Pajke so kot problem zaznali na vseh vrstah ometov, tako da vrsta veziva najverjetneje nima vpliva na poselitev. Za kolonizacijo z *B. civica* so primerne tudi fasadne površine narejene iz kamna, stekla, keramike in kovine (Antošova, 2011).

Toplotno izolirane površine so po izkušnjah Torniča (osebni vir) bolj poseljene s pajki. Izsledki so pokazali, da so bile za muhe, mušice in druge insekte bližnje, enako obdelane in enako postavljene toplotno izolirane stene veliko bolj privlačne od neizoliranih (na toplotno izoliranih površinah so se insekti zadrževali v veliko večjem številu in veliko daljši čas). Enake ugotovitve navaja tudi Antošova (2011).

Osončenost

Povprečna letna temperatura zraka je v mestih v zmernem pasu do 10°C toplejša od okolice. To so tako imenovani toplotni otoki, ki so posledica antropogene proizvodnje toplote in povečanega sončnega sevanja (Tarman, 1992).

Največja pokrivnost pročelij s pajčjimi mrežami se pojavlja na jugo-vzhodnih površinah, najmanjše število pa je bilo opaženo na pročeljih, obrnjenih proti zahodu. Kjer so bila pročelja večino časa osvetljena z neposredno sončno svetlobo, se pajčje mreže niso pojavile, razen pod napušči streh, v kotih in drugih zaščiteneh nišah (Samu in sod., 2002).

Mikroklima na različnih delih zidu variira. Različna je ob vznožju zidu, na vrhu zida in med posamičnimi vertikalnimi odseki (Francis, 2011).

Izpostavljenost zračnim tokovom je pomemben dejavnik pri razširjanju vrste, saj s pomočjo vetra mladi pajki prepotujejo dolge razdalje. Bivališča gradijo izključno v zavetrni legi.

Podnebne spremembe ter globalno segrevanje in krajše ter bolj blage zime, vplivajo na večjo številnost pajkov in širjenje vrste na sever (Antošova, 2011).

Biotski dejavnik:

Obilje plena je ključnega pomena za razširjenost plenilca (Janetos, 1986). Na mrežah pajka *B. civica* so našli leteče žuželke iz rodov *Drosophila* (vinske mušice) in *Culex* (komarji), redko pa krilate mravlje in male nočne metulje. Kadar so bile v bližnji okolici rastline, so na

mrežo množično zašle tudi listne uši, vendar so jih pajki zaužili le ob pomanjkanju drugega plena. Kanibalizem pri tej vrsti ni poznan (Billaudelle, 1954). Pajki se naseljujejo na dele pročelij, ki imajo ugodne abiotske pogoje, njihova številčnost pa je močno odvisna od tega, koliko insektov je v okolici (Orehek, osebni vir).

Na podlagi opisanih biotskih in abiotskih vplivov na prisotnost *B. civica* v urbanih okoljih lahko predvidimo pogoje na pročelju, za zmanjšanje verjetnosti naselitve z omenjeno vrsto. Takšno pročelje bi torej vključevalo neosvetljenost ponoči, dobro osončenost in vetrovno izpostavljenost, mat, ravno, fino ometano nestrukturirano površino v temnejših odtenkih in barvah, različnih od rumene in sive, z majhno zaščito napušča. Pomembna je odsotnost bližine vodnega telesa ali velikih listavcev. Poleg tega na pojavnost in pogostost poselitve vpliva količina že prisotnih pajkov na fasadi. Količina mrež *B. civica* na določeno površino je namreč končna. Mreže posameznih osebkov so lahko posejane zelo na gosto, dotikajo pa se le redko (slika 1).

2.4.2 Sredstva za zaščito fasadnih površin pred pajki

Antošova (2011) kot tehnološke rešitve za zaščito fasad pred pajki *B. civica* predstavlja postopke, kadar ni znanih pravih vzrokov in življenjskih pogojev za kolonizacijo vrste in posledic njihove naselitve. Za odstranjevanje pajkov loči mehanska in kemična sredstva.

Mehanska sredstva so krtače, omela, sesalniki in visokotlačni zračni čistilci. Kemična sredstva pa so biocidi. Njihova doba delovanja je kratkotrajna, 10 do 20 dni, izjemoma do 2 leti, ker se razgrajujejo pod vplivom svetlobe, vlage in sonca. Ponavljanje nanosov je neekonomična rešitev. Organofosfati delujejo dolgoročno, vendar njihova uporaba ni sprejemljiva, ker so zdravju škodljivi. Delovanje biocidov tudi ni tarčno, saj so po aplikaciji odstranjeni tudi drugi organizmi, ki niso težavni. Znani repelenti in atraktanti na pajke ne učinkujejo.

Antagonistični odnos se oblikuje med plenilcem in plenom, parazitom in njegovim gostiteljem ali v kompeticiji za dobrine. Uporaba biološke kontrole ali antagonizma ni bila preverjena, saj naravni sovražnik vrste ni poznan. Rastopina vodnega stekla (natrijev silikat) po aplikaciji insekticida stabilizira silikatni substrat, dolgoročna učinkovitost sanacijske tehnologije pa z uporabo stabilizatorja še ni bila dokazana.

Najbolj učinkovit in preizkušen postopek za odstranjevanje pajkov tako predstavlja mehansko čiščenje pajčevin. Sledi ji stabilizacija pročelja s premazom vodnega stekla, natrijevim silikatom. Pri novi poselitvi pajkov se postopek ponovi. Preprečevanje poselitve pajkov je možno z rednim čiščenjem v spomladanskem in jesenskem obdobju (Antošova, 2011).

Lindner (2005) v knjigi »Imenik mikrobiocidov« predstavlja površinske premaze proti raznovrstnim škodljivim organizmom (alge, bakterije, plesni) na površinah stavb in navaja, da primerne ukrepe za preprečitev invazije pajka *B. civica* še niso odkrili. Pregled zaključí z mislijo, da bi morale prednosti biocidov odtehtati stroške in negativne posledice, ki jih

imajo le-ti na zdravje in okolje. Sočasno pa prevelika regulacija uporabe biocidov upočasnjuje razvoj novih biocidov, premazov in barv, z vedno nižjimi obremenitvami za okolje.

Do podobnih zaključkov so prišli tudi strokovnjaki tehnično-informativne službe podjetja JUB, po izkušnjah katerih je za odstranjevanje pajčjih mrež, najučinkovitejše in edino sprejemljivo mehansko odstranjevanje z ometanjem, sesanjem ali odpihovanjem (Tornič, osebni vir). Stroški čiščenja pročelja vključujejo najem dvigala s košaro (od 150 €dan), delo strojnika, ki upravlja z dvigalom, in delo čiščenja. Postavitev delovnega odra za namen čiščenja pa ni ekonomsko opravičljiva (Sušnik, osebni vir).

Nanopremazi, so kot novost na tržišču pred leti imeli velik potencial za zaščito pročeljih površin pred vsemi možnimi okoljskimi dejavniki. Po opažanjih Orehka (osebni vir) so pajki prisotni na vseh tipih premazov, odvisno od okolja in razpoložljivosti hranil. Nanotehnologija omogoča pripravo posebnih površin, ki zaradi površinske strukturiranosti onemogočajo oprijem s kutikularnimi strukturami, kar deluje učinkovito proti insektom, ne pa tudi proti pajkom. Ti se s pomočjo pajčevine zlahka izognejo stiku s površino. V JUB-u so pripravili testne premaze, ki v laboratoriju onemogočajo oprijem pajkov na površino pri kotih nižjih od 45°, a je v praksi tovrstno učinkovitost skoraj nemogoče prenesti na pročeljno površino. Težava je v tem, da vsakršno penjenje, mikro razpoke ali kakršnakoli strukturna anomalija efekt popolnoma izniči. Z nanotehnologijo lahko zaenkrat te težave rešujejo le v laboratoriju.

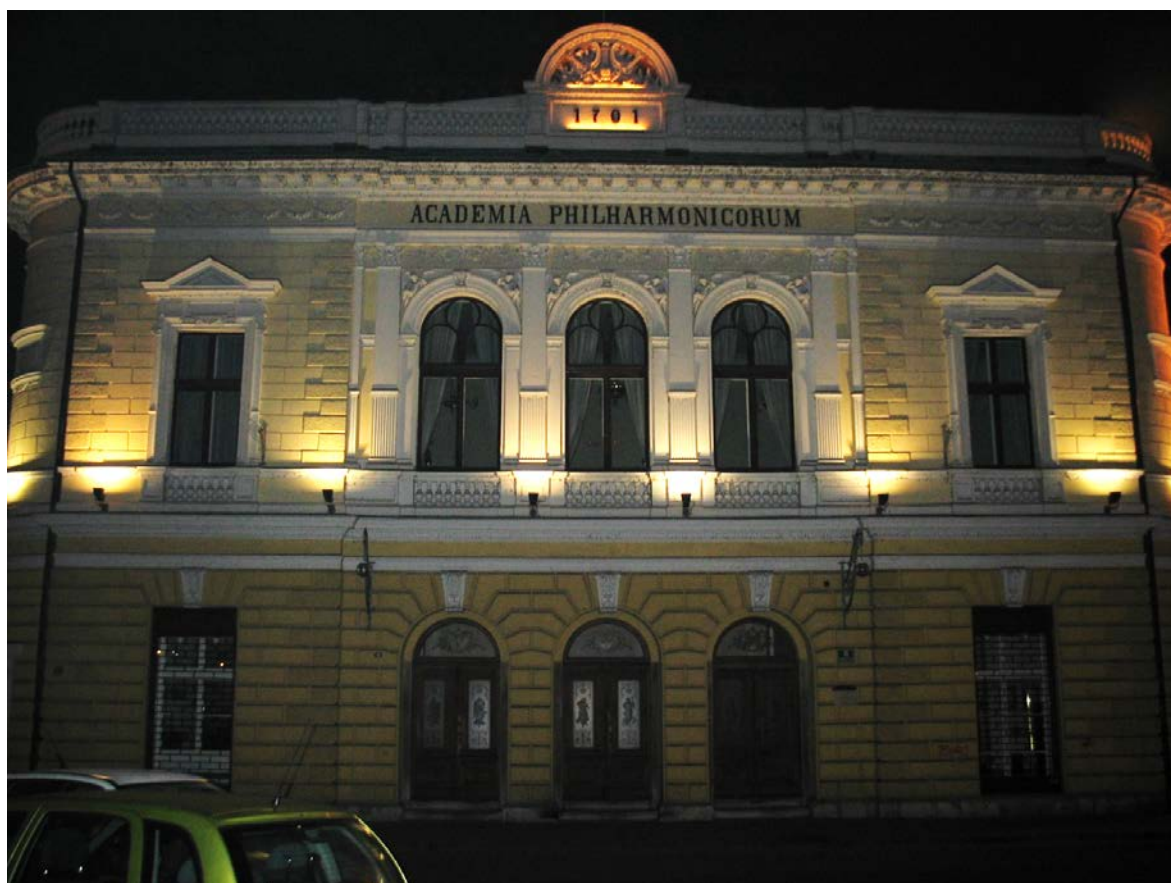
Proti pajkom na tržišču lahko kupite tudi ultrazvočne motilce, ki oddajajo visoko frekvenčni signal od 7 do 14 kHz, ki se periodično zvišuje in znižuje. Ultrazvočni motilci predstavljajo za vse živali neprestan hrup v njihovem okolju. Moti pa živali, ki te frekvence lahko slišijo, oz. komunicirajo v tem frekvenčnem pasu. Raziskave Univerze v Kansasu (2002) so pri testiranju različnih tipov ultrazvočnih motilcev pokazale, da se mravlje in pajki na ultrazvok ne odzivajo, da pa se živali, ki kažejo odziv na motnjo, nanjo hitro navadijo (habituirajo), ko ugotovijo, da je neškodljiva (Gromicko in Tarasenko, 2011).

3 MATERIAL IN METODE

3.1 TERENSKO DELO

Spremljanje števila pajčjih mrež na različno osvetljenih delih Slovenske filharmonije

Za raziskavo smo izbrali stavbo Slovenske filharmonije, na pročelju katere smo spremljali nastanek vidnih pajčjih mrež (v nadaljevanju mrež) ob različnih režimih osvetlitve. Omenjeno zgradbo smo izbrali zaradi njenega simetričnega pročelja, velikega števila mrež na njem in intenzivne umetne osvetlitve tega pročelja. Kot je razvidno iz fotografije, posnete 14. februarja 2006 (Slika 2), zgornjo polovico severo-zahodnega pročelja intenzivno osvetljuje usmerjena svetloba osmih reflektorjev.

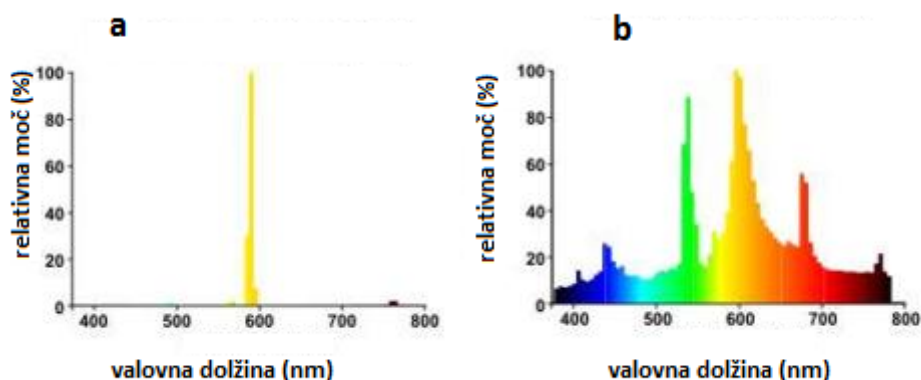


Slika 2: Nočna osvetlitev pročelja zgradbe Slovenske filharmonije pred začetkom poskusa v letu 2006. Pročelje osvetljuje osem reflektorjev z belimi kovinsko halogenidnimi sijalkami usmerjenimi v pročelje.

Pročelje Slovenske filharmonije je bilo nazadnje v celoti prenovljeno leta 2001. S poskusom smo začeli pet let kasneje. Začetni del poskusa je vključeval analizo izhodiščne prisotnosti mrež na pročelju. Da bi prešteli mreže, smo 13. aprila 2006 pri dnevni svetlobi fotografirali pročelje zgradbe. Fotografirali smo iz šestih stojiščnih točk vzdolž zgradbe, s katerih so dobro vidni vsi deli pročelja. Izbrana stojišča smo uporabljali tudi v kasnejših fotografiranjih

pročelja. Pročelje smo nato 24. aprila 2006 mehansko očistili vseh vidnih mrež. Čiščenje smo izvedli s pomočjo sodelavcev podjetja Javna razsvetljava in tovarne JUB, ki so z omeli in dvigalom mehansko omedli površino pročelja; tako nabrane pajke smo do nadaljnjih analiz shranili v 70 % alkoholu.

V nadaljevanju smo v dogovoru z upravo Slovenske filharmonije spremenili osvetlitev na očiščenem pročelju. Izhodiščno osvetlitev z osmimi kovinsko-halogenidnimi sijalkami (Slika 2) smo za potrebe poskusa spremenili. V tri reflektorje na levi strani pročelja smo namestili rumeno-oranžne nizkotlačne natrijeve sijalke, v treh reflektorjih na desnem delu pročelja pa smo pustili bele kovinsko-halogenidne sijalke z vrednostjo CCT 3000K. Nizkotlačna natrijeva svetilka seva večino svetlobe pri 580 nm, t.j. v rumeni barvi (v nadaljevanju natrijeva svetloba). Kovinsko-halogenidna (MH) sijalka ima spektralne vrhove razporejene enakomerno preko celega vidnega spektra in v delu UV spektra ter tremi izrazitimi vrhovi v zelenem, rumenem in rdečem delu vidnega spektra, kar ji daje videz bele svetlobe (v nadaljevanju bela svetloba) (Slika 3). Dve svetilki v srednjem delu pročelja smo ugasnili in s tem zmanjšali območje prekrivanja obeh tipov svetlob levega in desnega dela. (Slika 4). Prirejena osvetlitev pročelja je bila prisotna v celotnem času trajanja poskusa, do novembra 2009.



Slika 3: Spektralne lastnosti a) natrijeve nizkotlačne sijalke in b) kovinsko halogenidne (MH).

(Vir: Hooker, 2016)



Slika 4: Nočna osvetlitev pročelja zgradbe Slovenske filharmonije v času trajanja poskusa.

Pročelje na levem delu osvetljujejo rumeno-oranžne natrijeve sijalke, na desnem delu bele kovinsko-halogenidne sijalke, v osrednjem delu pročelja pa osvetlitve ni. Črte različnih barv prikazujejo vzorčne ploskve na nadstrešku (ploskve Na - rumena, ploskve Na-senca - rdeča, ploskev BELA - bela, ploskev BELA-senca - modra). Posneto 14.10.2008.

Zaradi razgibanosti pročelja smo se pri štetju pajčevin osredotočili na nadstrešek. Na podlagi tipa osvetlitve in senc, ki ju na nadstrešek mečeta okrasna elementa nad stranskima oknoma pročelja, smo preiskovano območje razdelili na štiri vzorčne ploskve:

- Na – del nadstreška osvetljen z neposredno svetlobo natrijeve sijalke
- Na-senca – del nadstreška v območju svetlobe natrijeve sijalke, ki ga senči okrasni element
- BELA – del nadstreška osvetljen z neposredno svetlobo bele svetlobe
- BELA-senca – del nadstreška v območju bele svetlobe, ki ga senči okrasni element (Slika 4).

Z namenom štetja pajčevin in analize njihove akumulacije v vzorčnih ploskvah smo v obdobju med februarjem 2006 in novembrom 2009 (Preglednica 1) enkrat letno fotografirali pročelje. Aprila 2007 in oktobra 2008 smo fotografiranje ponovili iz že omenjenih stojiščnih točk, novembra 2009 pa smo bili zaradi gradbenih del v okolici zgradbe primorani stojiščne točke spremeniti. Te smo izbrali tako, da smo z njimi še vedno zajeli vse proučevane ploskve pročelja. Fotografije smo posneli s fotoaparatom Nikon D80.

3.1.1 Terenski dnevi

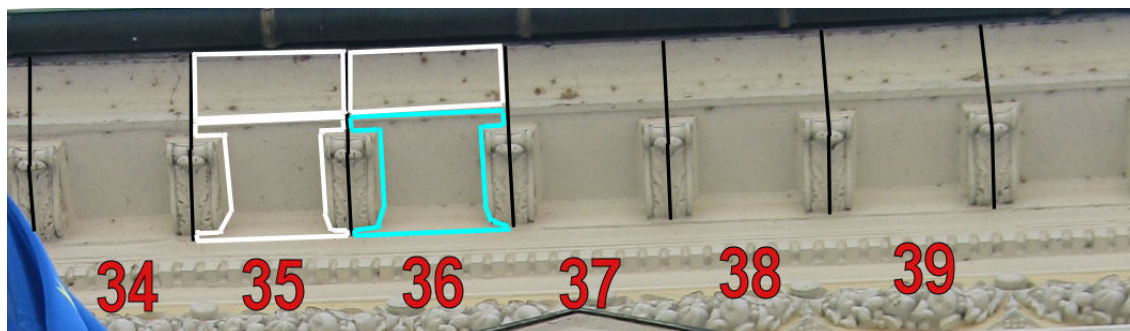
Preglednica 1: Terenski dnevi fotografiranja in vzorčenja

Slovenska Filharmonija Koordinate y:462037 S x:10071 V 305 m n. m.	
14.02.2006	Nočno fotografiranje (Slika 2)
13.04.2006	Fotografiranje, vzorčenje, determinacija
24.04.2006	Fotografiranje
27.04.2007	Fotografiranje
14.10.2008	Nočno fotografiranje (Slika 4)
15.10.2008	Fotografiranje
11.11.2009	Fotografiranje

3.2 OBDELAVA PODATKOV

Iz zbirke fotografij smo izbrali ostre fotografije in jih obdelali s programom Corel Paint Shop Pro Photo X2.

Vzorčne enote v posameznih vzorčnih ploskvah smo določili na naslednji način. Ker nadstrešek po celotni dolžini pročelja enakomerno predeljuje vzorec stebričkov na njegovi spodnji strani (Slika 4), smo te uporabili kot meje za delitev nadstreška na 42 enakih delov (v nadaljevanju prekati), ki smo jih oštevilčili z leve proti desni strani pročelja. Ker površini spodnjega in zgornjega dela prekata nista enaki, smo vsak prekat razdelili na dve vzorčni enoti. Zgornjo vzorčno enoto (v nadaljevanju zgornji prekat) je predstavljal nadstrešek pod žlebom, sestavljen iz dveh poševnih ploskev, zgornje in spodnje, ki se na spodnji tretjini višine nadstreška srečata v širokem kotu, žlebiču. Za spodnjo vzorčno enoto (v nadaljevanju spodnji prekat) pa smo določili horizontalni del, ki ga omejujejo stebrički in prehod v vertikalni del, do ozkega žlebiča, do koder smo še lahko prešteli mreže (Slika 5).



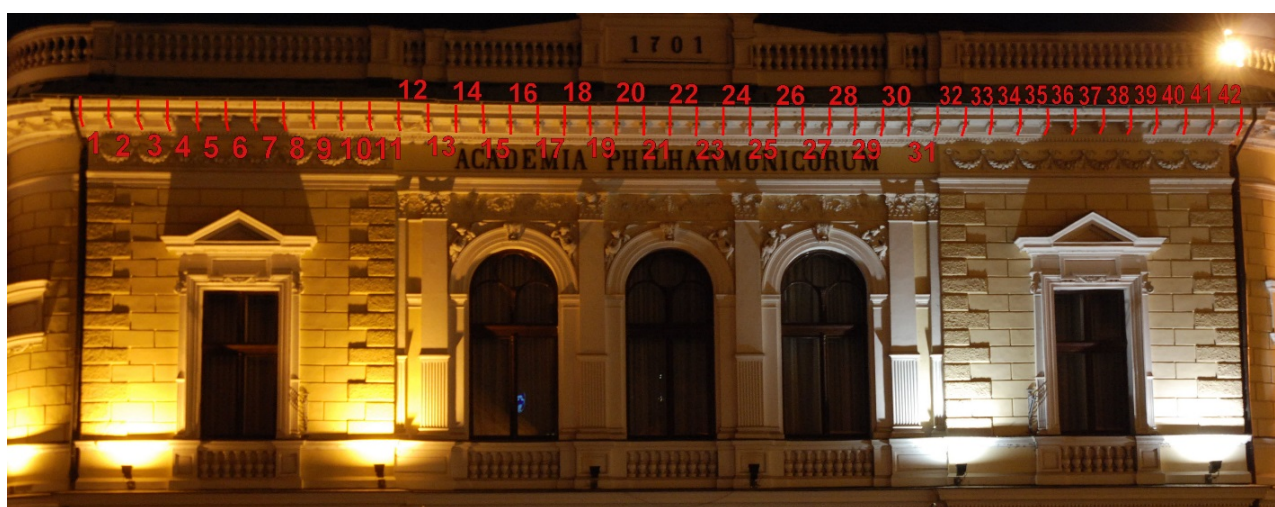
Slika 5: Izsek dela pročelja s prikazom vzorčnih enot.

Slika prikazuje nadstrešek razdeljen na prekate z nestrukturirano zgornjo polovico (v zgornjem nadstrešku sta z belo obrobo omejena zgornja prekata 35 in 36 (BELA)) in z robovi stebričkov predeljeno spodnjo polovico (v spodnjem nadstrešku je z belo obrobo omejen spodnji prekat 35 (BELA) in z modro barvo obrobjen spodnji prekat 36 (BELA-SENCA)).

Na podlagi spremenjene osvetlitve (Slika 6) smo zaradi prekrivanja svetlobe iz natrijevih in MH sijalk iz analize izključili ves osrednji del pročelja, torej prekate od 12 do 31. V analizi so tako ostale vzorčne enote prvih 11 prekatov nad delom osvetljenim s svetlobo natrijevih sijalk in enote zadnjih 11 prekatov (od 32 do 42) osvetljene z belo svetlobo (Slika 6). Pri tem enote prekatov:

- od 1 do 3 ter od 8 do 11 predstavljajo vzorčno polje Na
- od 4 do 7 predstavljajo vzorčno polje Na-SENCA
- od 32 do 35 ter od 40 do 42 predstavljajo vzorčno polje BELA
- od 36 do 39 predstavljajo vzorčno polje BELA-SENCA

Število vzorčnih enot na levi in desni polovici pročelja je tako enako, za manjšim odstopanjem v sicer primerljivih prekatih 4. in 39., pri čemer je senca ornamenta nad oknom v slednjem malce manjša.



Slika 6: Položaj vzorčnih enot na osvetljenem pročelju (1-42 prekatih).

Ob vsakoletnem zajemu slik smo nato v dnevni fotografijah šteli število vidnih mrež v vsaki vzorčni enoti. Kot mrežo smo šteli vsako razpoznavno sivo liso in jo na sliki označili z barvno piko. Z različno barvo pik smo razlikovali pajčevine v vzorčnih enotah zgornjega in spodnjega dela prekata. Pri zasnovi raziskave, v kateri smo želeli preučiti vpliv svetlobe na hitrost poseljevanja očiščenega pročelja, smo upoštevali tudi prednost zavetja pri izbiri mikrohabitata (Foelix, 2011). Zato v študiji nismo upoštevali pajčevin na stebričkih in robovih stebričkov spodnjega nadstreška, ker predstavljajo ta mesta izrazito ugodnejše mikrookolje za vrsto (Slika 1, Slika 5).

3.3 STATISTIČNA ANALIZA

V diplomskem delu smo proučevali vpliv spektralne sestave in intenzitete svetlobe na število pajkovih mrež. Vpliv intenzitete svetlobe na število pajkovih mrež pred čiščenjem (leta 2006) smo analizirali z uporabo t-testa. Vpliv spektralne sestave in intenzitete svetlobe na število pajkovih mrež v letih 2007, 2008 in 2009 na spodnjem nadstrešku, smo ugotavljali z uporabo testa ANOVA s post hoc Tukey-evim HSD-testom. Predhodno smo homogenost varianc testirali z Levene-ovim testom. Za mejno vrednost statistične značilnosti smo določili vrednost $p=0,05$. Vpliv spektralne sestave svetlobe na število mrež v letih 2007, 2008 in 2009 na zgornjem nadstrešku smo analizirali z uporabo t-testa.

Podatke smo analizirali in grafično prikazali s pomočjo programa R (R Core team, 2015).

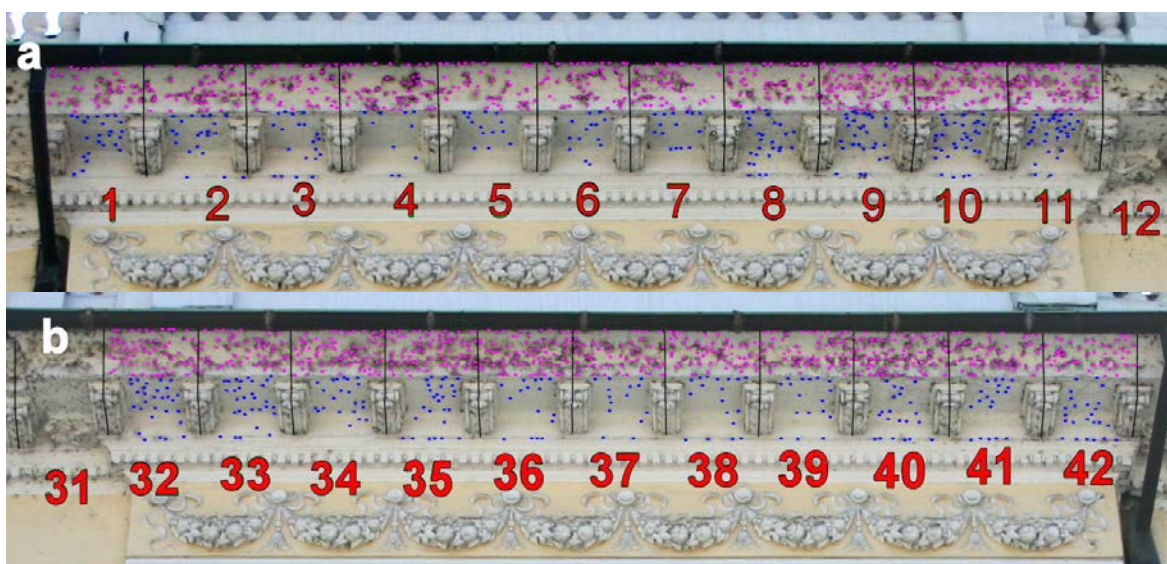
4 REZULTATI

4.1 ANALIZA MREŽ NA NADSTREŠKU

Zaradi boljše preglednosti smo rezultate ločeno analizirali za zgornji in spodnji nadstrešek.

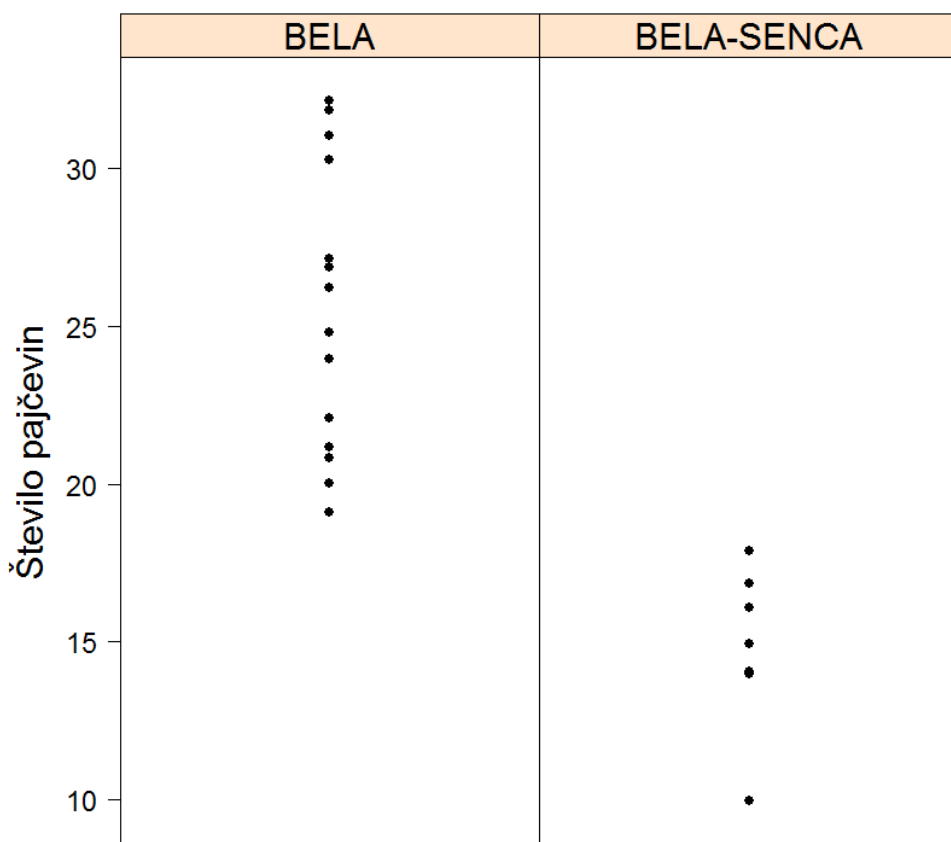
4.1.1 Analiza mrež spodnjega nadstreška

Analizirali smo vpliv intenzitete svetlobe na število pajkovih mrež (v nadaljevanju mrež) na pročelju zgradbe Slovenska filharmonija na spodnjem nadstrešku, ki je bilo leta 2006 v obdobju pred začetkom poskusa (pred čiščenjem) enakomerno osvetljeno s kovinsko halogenidno (belo) svetlobo. Največje število mrež je bilo opaznih v prekatih 10, 11 ter 32 in 33, v katerih smo prešteli 32, 30, 32 in 31 mrež (Slika 7, Slika 8, Priloga A2).



Slika 7: Levi (a) in desni (b) nadstrešek osvetljen z belo svetlobo, pred čiščenjem (13.4.2006).

Prekati 1-11 (a) in 32-42 (b). Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane vijolično, v spodnjem modro

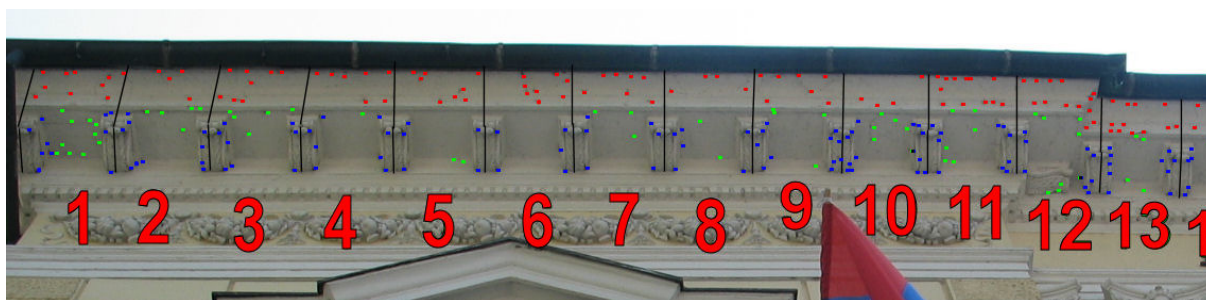


Slika 8: Število mrež (pajčevin) v prekatih spodnjega nadstreška pred čiščenjem leta 2006 glede na intenziteto svetlobe.

Levi del grafa predstavlja število pajčevin v 14 prekatih osvetljenih z belo svetlobo (BELA), desni del grafa pa število pajčevin v 8 senčnih prekatih (BELA- SENCA).

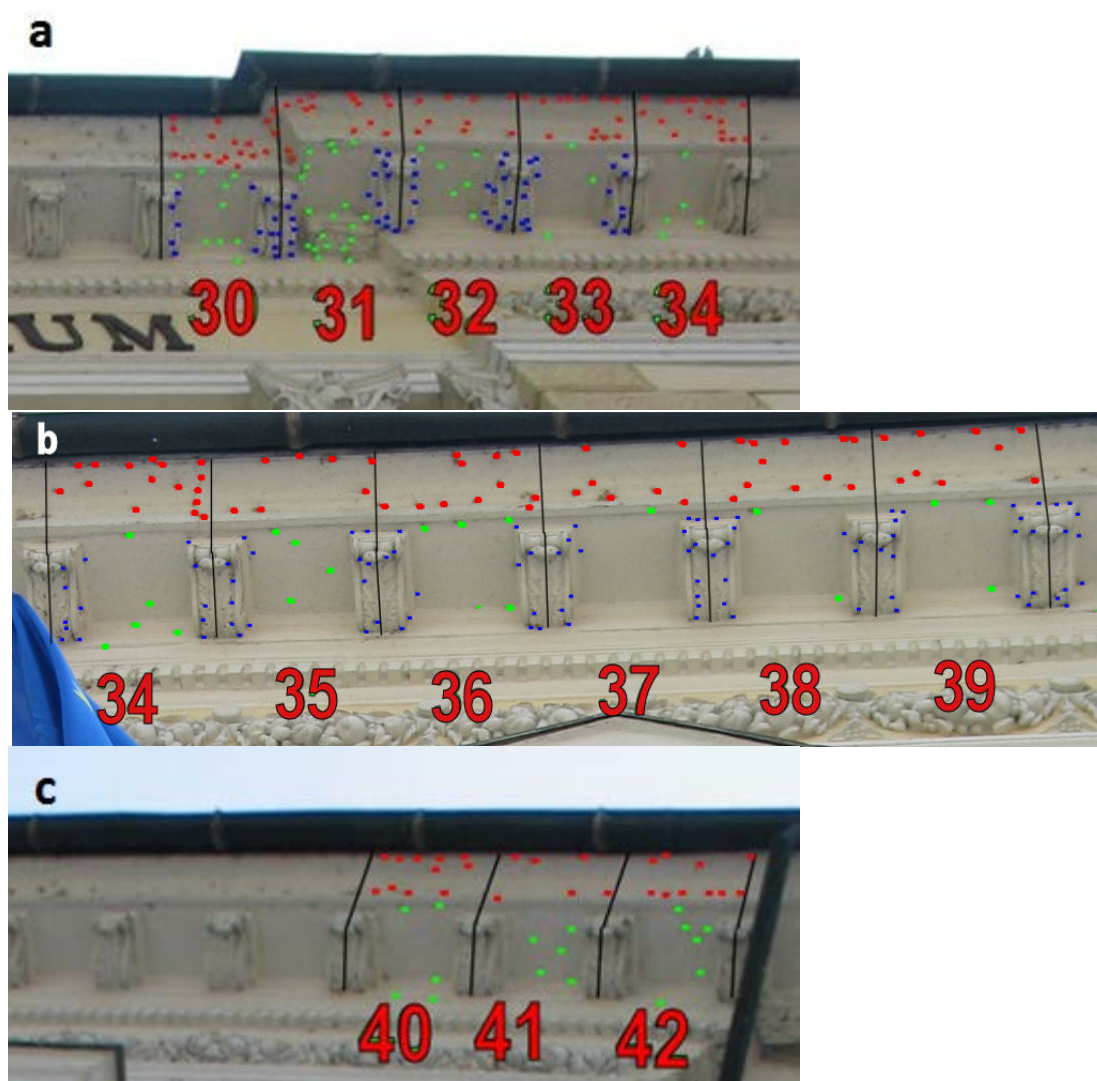
Rezultati so pokazali, da je bilo povprečno število mrež statistično značilno večje na osvetljenem delu nadstreška (BELA) $25,5 \pm 4,53$ kot na osenčenem delu nadstreška (BELA-SENCA) $14,8 \pm 2,43$; ($p < 0,001$; Slika 8, Priloga A2, Priloga B).

Po čiščenju pročelja v letu 2006 in zamenjavi osvetlitve, smo leta 2007 (368 dni po čiščenju) ponovno prešteli mreže. Število mrež je bilo relativno majhno, največje razlike v številčnosti pa so bile opazne med osvetljenimi in neosvetljenimi prekatih obeh režimov osvetlitve (Slika 9, Priloga A2).



Slika 10: Levi nadstrešek filharmonije osvetljen z natrijevo svetlobo (27.4.2007).

Prekati 1-11. Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane rdeče, v spodnjem zeleno. Modro so označene iz štetja izločene pajčevine.



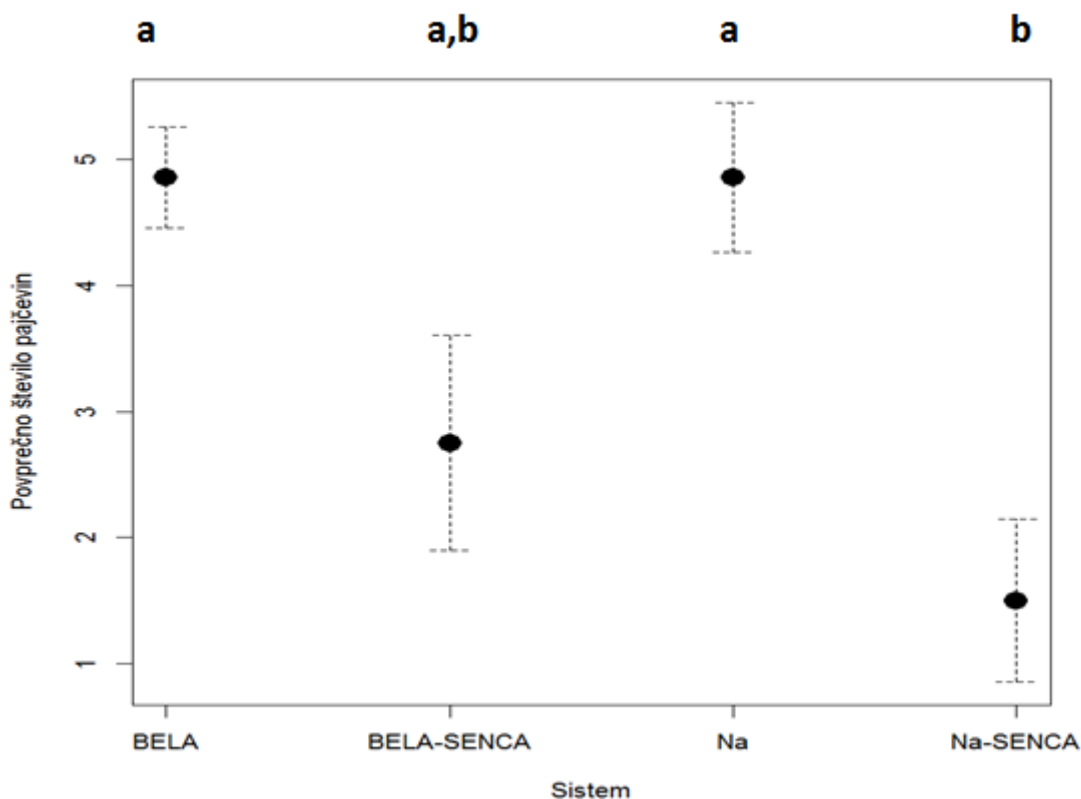
Slika 11: Desni nadstrešek a), b) in c) filharmonije osvetljen z belo svetlobo (27.4.2007).

Prekati 32-34(a) 35-39 (b) in 40-42 (c). Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane rdeče, v spodnjem zeleno. Modro označene pajčevine smo izločili.

Statistična analiza homogenosti varianc med vzorčnimi ploskvami je pokazala njihovo zadostno homogenost ($p=0,8202$) (Priloga C), zato smo v naslednjem koraku naredili primerjavo vzorčnih ploskev, analizo variance. Ta je pokazala, da so med ploskvami statistično značilne razlike ($p=0,0026$), HSD-test mnogoterih primerjav je pokazal, da sta si po dve skupini podobni ter da so razlike med osvetljenimi in neosvetljenimi deli statistično značilne (Slika 12):

1. V skupini z nizkimi vrednostmi (b) sta zasenčenost v natrijevi svetlobi (Na-SENCA) ($1,5 \pm 1,29$) in zasenčenost v beli svetlobi (BELA-SENCA) ($2,8 \pm 1,71$), med njima ni statistične razlike.

2. V skupini z višjimi vrednostmi (a) je zasenčenost v beli svetlobi (BELA-SENCA) ($2,8 \pm 1,71$), bela svetloba (BELA) ($4,9 \pm 1,07$) ter natrijeva svetloba (Na) ($4,9 \pm 1,57$), med njimi ni statistično značilnih razlik.



Slika 12: Primerjava vzorčnih ploskev spodnjega nadstreška v letu 2007 (368 dni po čiščenju pročelja).

Prikazane so povprečne vrednosti števila mrež (pajčevin). Interval poleg povprečja prikazuje standardno napako \pm (SE) na spodnjih prekatih glede na intenziteto in spektralno sestavo svetlobe.

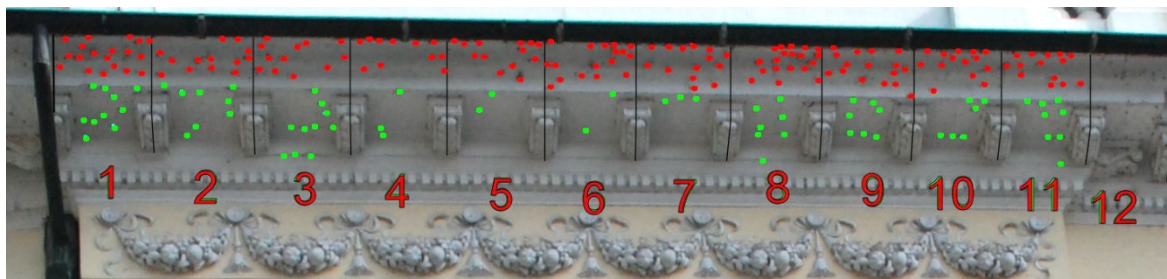
BELA= del nadstreška osvetljen z belo svetlobo

BELA-SENCA= del nadstreška osvetljen z belo svetlobo, osenčen z okrasnim elementom

Na= del nadstreška osvetljen z natrijevo svetlobo

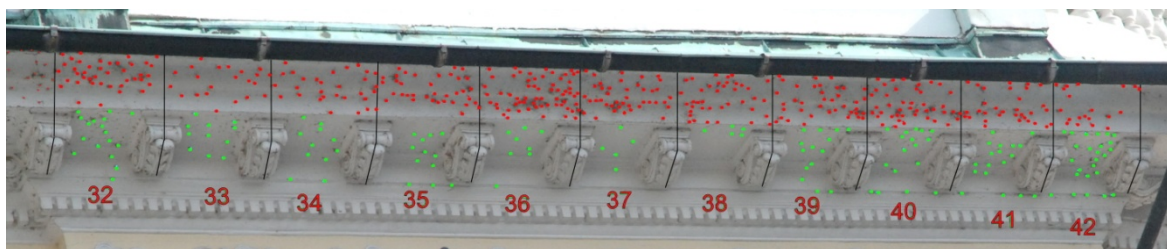
Na-SENCA= del nadstreška osvetljen z natrijevo svetlobo, osenčen z okrasnim elementom. Oznaki a in b označujeta statistično razliko ($p<0,05$).

V letu 2008 (905 dni po čiščenju) je število mrež naraslo, največ pajčevin smo našli na prekatih, ki so bili osvetljeni z belo svetlobo, sledili so prekati, osvetljeni z natrijevimi svetilkami, najmanj pajčevin je bilo na zasenčenih delih obeh osvetlitev (Priloga A2).



Slika 13: Levi nadstrešek filharmonije osvetljen z natrijevo svetlobo (15.10.2008).

Prekat 1-11. Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane rdeče, spodaj zeleno.



Slika 14: Desni nadstrešek filharmonije osvetljen z belo svetlobo (15.10.2008).

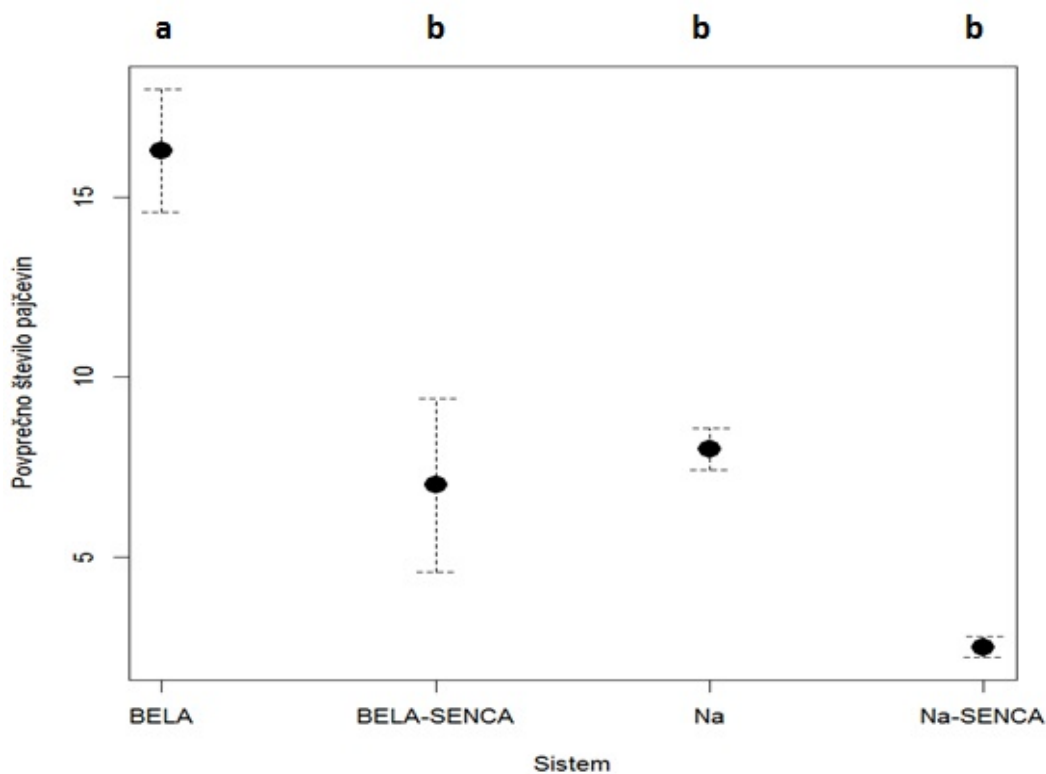
Prekat 32-42. Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane rdeče, spodaj zeleno.

V letu 2008 se je povečalo število mrež. Navkljub večji varianci je ta še vedno homogena ($p=0,2258$) (Priloga D), zato smo v naslednjem koraku naredili primerjavo vzorčnih ploskev, analizo variance. Ta je pokazala, da so med vzorčnimi ploskvami močno statistično značilne razlike v povprečnem številu mrež ($p<0,00001$), HSD-test mnogoterih primerjav pa kaže, da ploskve lahko razporedimo v dve skupini (Slika 14):

1.V skupini z nizkimi vrednostmi (b) so zasenčenost v natrijevi svetlobi (Na-SENCA) ($2,5 \pm 0,56$), svetloba Na ($8,0 \pm 1,53$) ter zasenčenost v beli svetlobi (BELA-SENCA) ($7,0 \pm 4,83$), med njimi ni statistično značilnih razlik.

2.V skupini z višjimi vrednostmi (a) je bela svetloba (BELA) $16,29 \pm 4,54$.

Bela svetloba (BELA) je statistično različna od ostalih treh načinov osvetljevanja.



Slika 15: Primerjava vzorčnih ploskev spodnjega nadstreška v letu 2008 (905 dni po čiščenju pročelja).

Prikazane so povprečne vrednosti števila mrež (pajčevin). Interval poleg povprečja prikazuje standardno napako \pm (SE) na spodnjih prekatih glede na intenziteto in spektralno sestavo svetlobe.

BELA= del nadstreška osvetljen z belo svetlobo

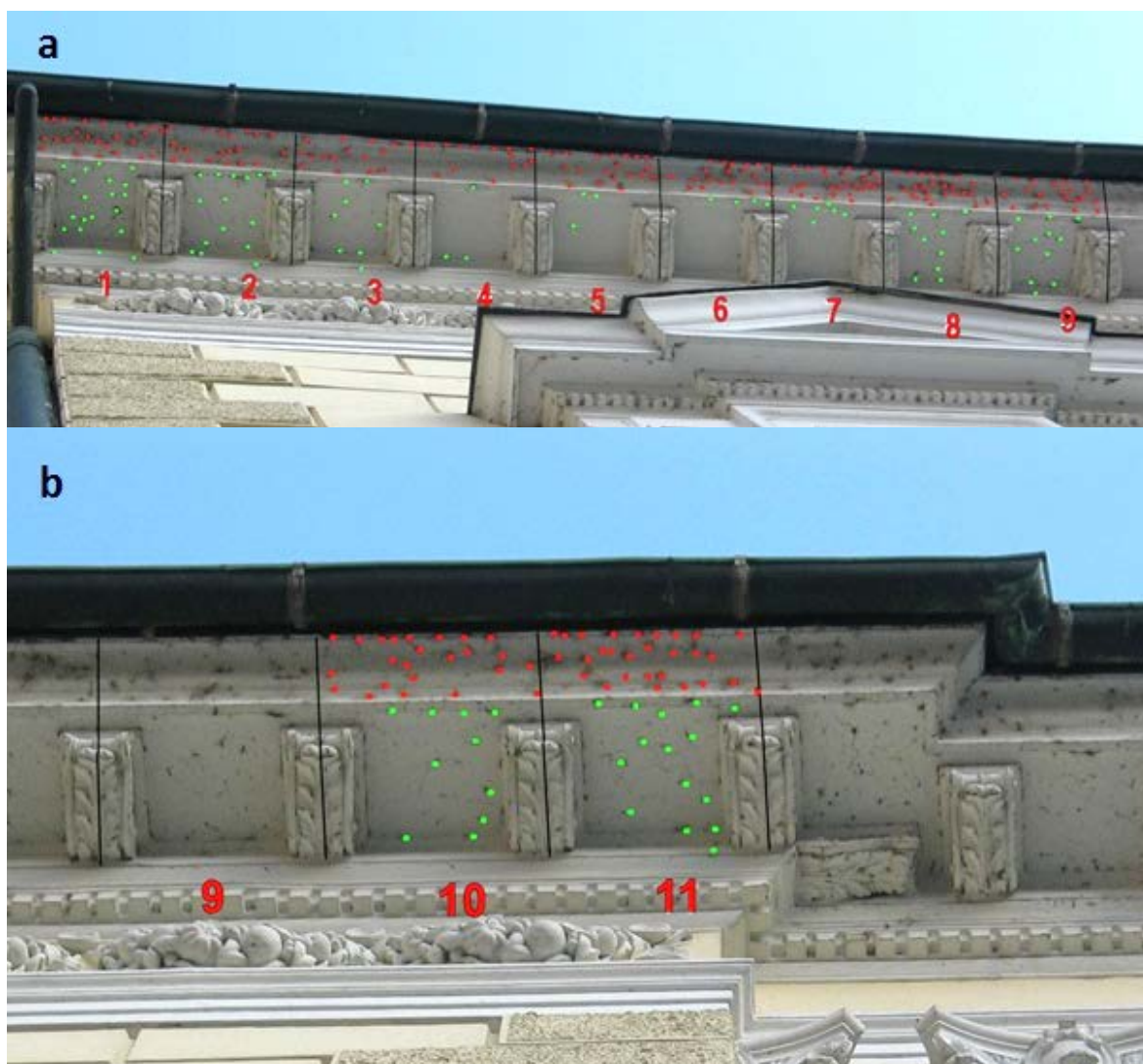
BELA-SENCA= del nadstreška osvetljen z belo svetlobo, osenčen z okrasnim elementom

Na= del nadstreška osvetljen z natrijevo svetlobo

Na-SENCA= del nadstreška osvetljen z natrijevo svetlobo, osenčen z okrasnim elementom.

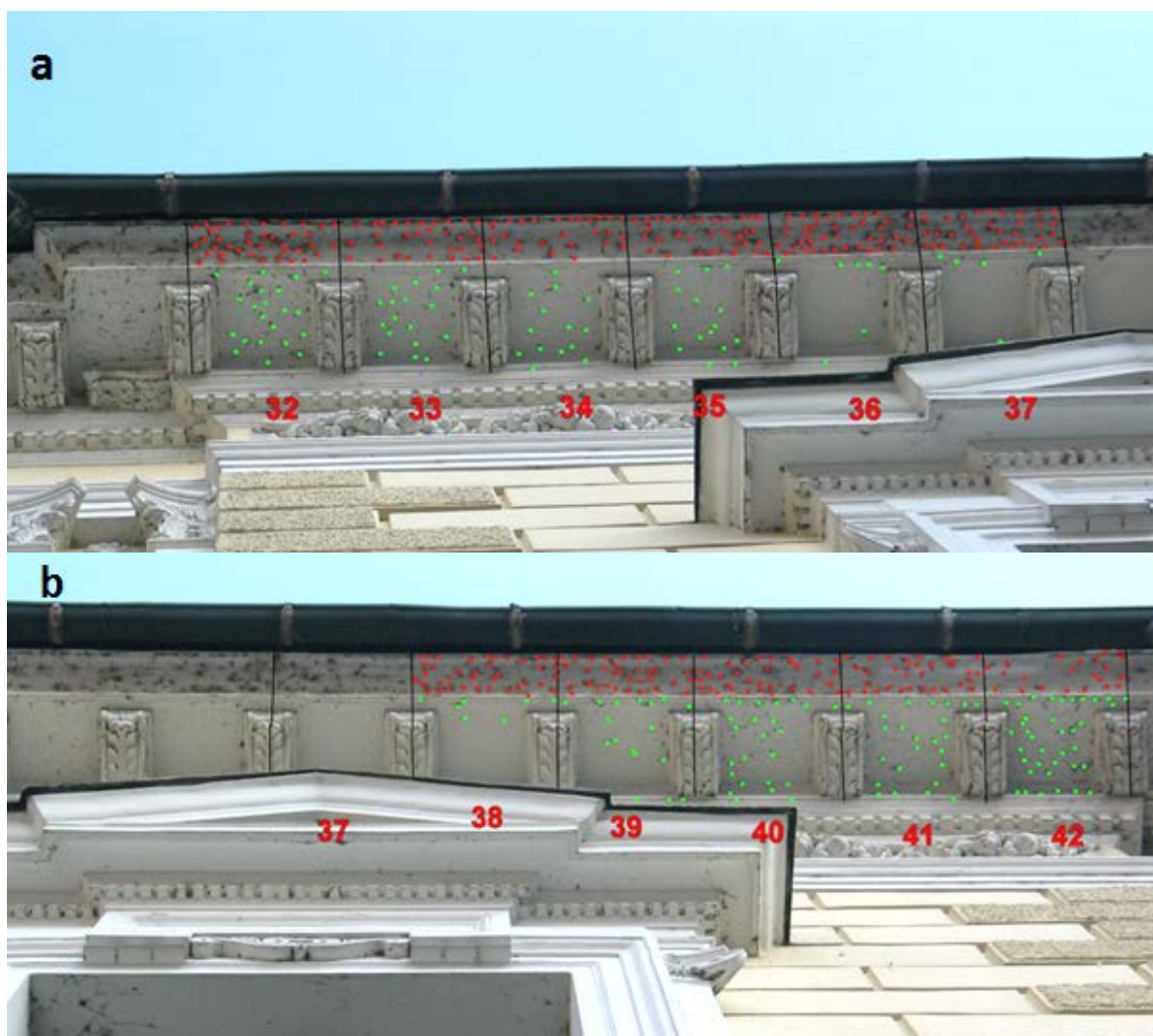
Oznaki a in b označujeta statistično razliko ($p < 0,05$).

V letu 2009 (1297 dni po čiščenju) je število mrež v nadstrešku pričakovano naraslo. Največje število pajčevin je bilo opaznih na z belo svetlobo osvetljenih prekatih 32, 33 (Slika 17a) ter 41, 42 (Slika 17b). V natrijevi svetlobi je bilo največ mrež opaznih v prekatih 1 (Slika 16a) in 11 (Slika 16b). V senci natrijeve svetlobe pa je izstopal prekat 39 z izrazito velikim številom mrež (Slika 17b).



Slika 16: Levi nadstrešek filharmonije a) in b) osvetljen z natrijevo svetlobo (11.11.2009).

Prekati 1-9(a) in 10-11 (b). Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane rdeče, v spodnjem zeleno.



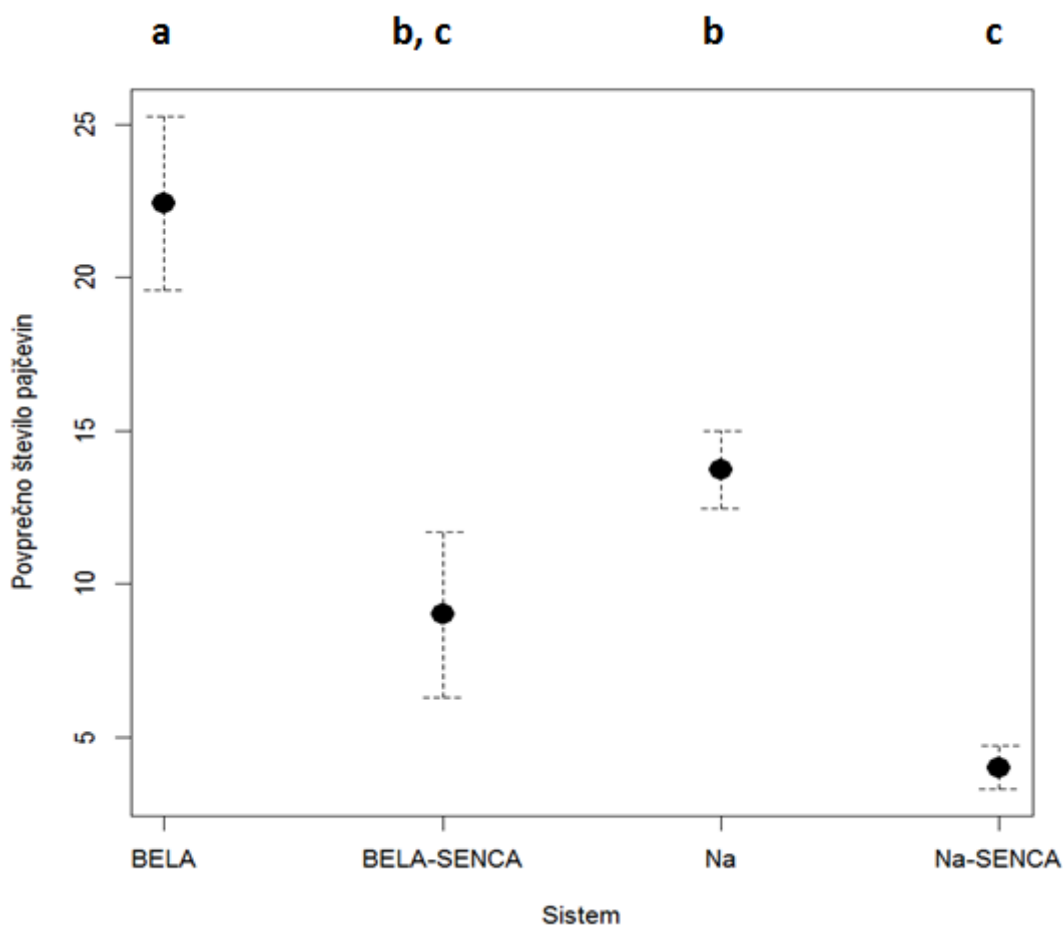
Slika 17: Desni nadstrešek Filharmonije a) in b) osvetljen z belo svetlobo, (11.11.2009).

Prekati 32-37(a) in 38-42 (b). Preštete pajčevine v zgornjem nadstrešku so obarvane rdeče, v spodnjem zeleno.

Kljub močno povečanemu razkoraku v številu opaženih mrež med posameznimi prekati v letu 2009, je statistična analiza homogenosti varianc med vzorčnimi ploskvami še vedno pokazala njihovo zadostno homogenost ($p=0,2956$) (Priloga E), zato smo v naslednjem koraku naredili primerjavo vzorčnih ploskev z analizo variance. Ta je pokazala, da so med vzorčnimi ploskvami močno statistično značilne razlike v povprečnem številu pajkov ($p=0,0002$), HSD-test mnogoterih primerjav, pa je pokazal statistično razliko med skupinami a, b in c (Slika 18):

1. V skupini z nizkimi vrednostmi (c) sta zasenčenost v natrijevi svetlobi Na-SENCA ($4,0 \pm 1,41$) ter zasenčenost v beli svetlobi BELA-SENCA ($9,0 \pm 5,42$).
2. V skupini s srednjimi vrednostmi (b) sta zasenčenost v beli svetlobi BELA-SENCA ($9,0 \pm 5,42$) ter natrijevi svetlobi Na ($13,7 \pm 3,35$);
3. V skupini z najvišjimi vrednostmi (a) je osvetljenost v beli svetlobi BELA ($22,4 \pm 7,50$).

Bela svetloba (BELA) je statistično značilno različna od ostalih treh načinov osvetljevanja.



Slika 18: Primerjava vzorčnih ploskev spodnjega nadstreška v letu 2009 (1297 dni po čiščenju pročelja).

Prikazane so povprečne vrednosti števila mrež (pajčevin). Interval poleg povprečja prikazuje standardno napako \pm (SE) na spodnjih prekatih glede na intenziteto in spektralno sestavo svetlobe.

BELA= del nadstreška osvetljen z belo svetlobo

BELA-SENCA= del nadstreška osvetljen z belo svetlobo, osenčen z okrasnim elementom

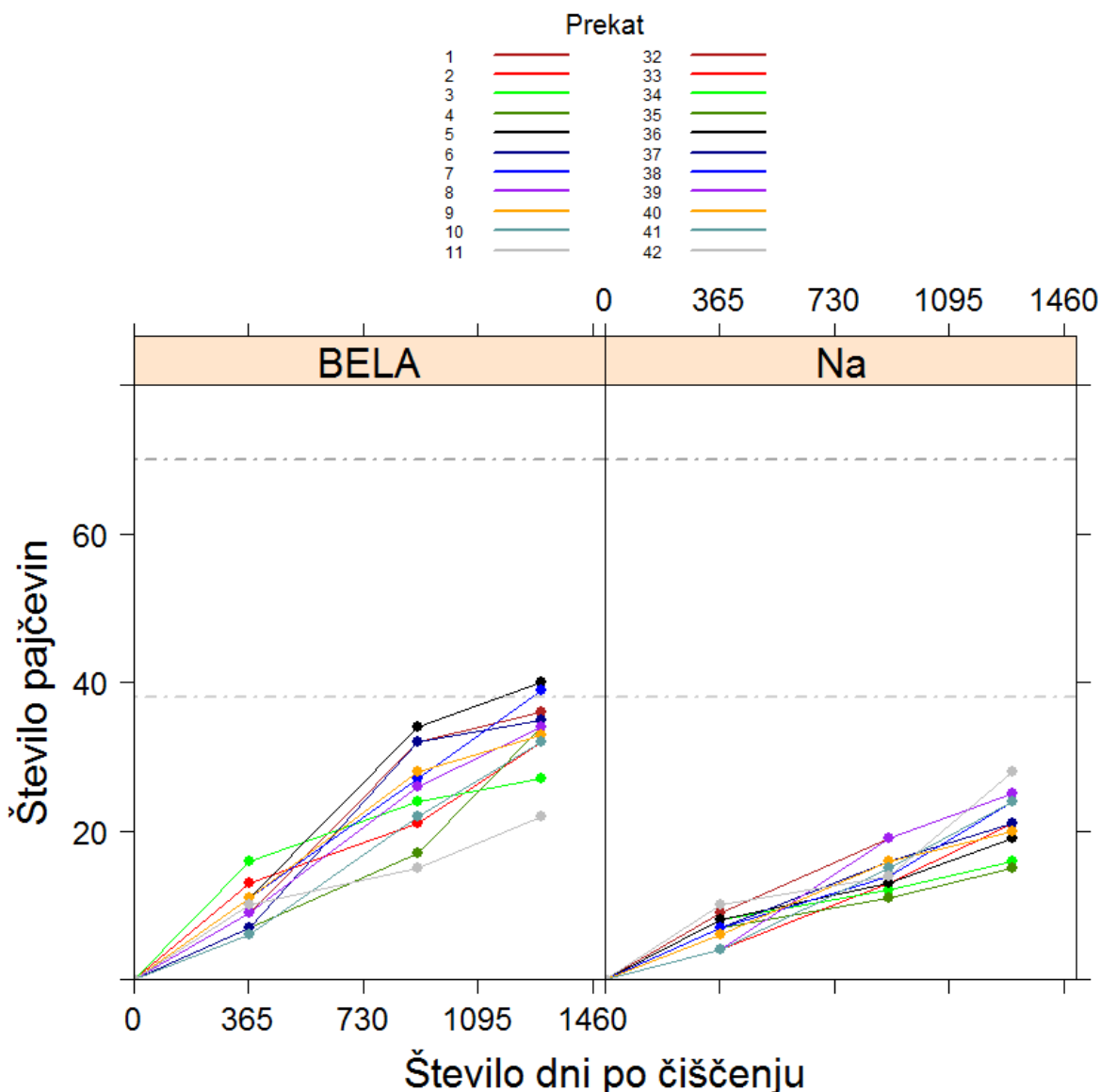
Na= del nadstreška osvetljen z natrijevo svetlobo

Na-SENCA= del nadstreška osvetljen z natrijevo svetlobo, osenčen z okrasnim elementom.

Oznake a, b in c označujeta statistično razliko ($p < 0,05$).

4.1.2 Analiza mrež zgornjega nadstreška

Zaradi strukture pročelja v zgornjem nadstrešku ni senčnih območij. V obdobju pred začetkom poskusa 2006 (pred čiščenjem) je bilo celotno pročelje še enakomerno osvetljeno z belo svetlobo, zato razlik v številu pajčevin vzdolž zgornjega nadstreška pročelja ni bilo (Slika 2, Priloga A1). Zgornji nadstrešek je bil nasičen z mrežami. Povprečno število mrež na prekat je bilo $54,3 \pm 10,58$ ($p < 0,00001$) (priloga F) (Slika 19).



Slika 19: Število mrež (pajčevin) v zgornjem nadstrešku v časovnem razmiku treh let (2007, 2008, 2009) po čiščenju pročelja v letu 2006

Obarvane črte povezujejo vrednosti znotraj prekatov. Prekati 1-11 so bili osvetljeni z natrijevo svetlobo (Na), prekati 32-42 pa z belo svetlobo (BELA). Zgornja vodoravna prekinjena črta označuje maksimalno število mrež na prekatih z belo svetlobo pred čiščenjem, spodnja pa minimalno število pajčevin pred čiščenjem.

Število mrež zgornjega nadstreška je bilo v vseh obdobjih vzorčenja znatno večje v primerjavi s številom prešteti mrež v spodnjem nadstrešku (Slika 8, Slika 10, Slika 11, Slika 13, Slika 14, Slika 16, Slika 17).

Po čiščenju se je število pajčevin v prekatih najhitreje povečevalo v delu pročelja, osvetljenega z belo svetlobo. V letu 2007 (368 dni po čiščenju) je bilo povprečno število mrež na prekatih v beli svetlobi $10,0 \pm 2,89$ večje kot v natrijevi svetlobi $6,7 \pm$

2,00;(p=0,006) (priloga G). Prav tako je bilo v letu 2008 (905 dni po čiščenju), ko je bilo povprečno število mrež v beli svetlobi $25,3 \pm 6,18$ in v natrijevi $14,7 \pm 2,61$; (p<0,00001), (priloga H). Enak trend je bil opazen tudi v letu 2009 (1297 dni po čiščenju), ko je bilo povprečno število mrež v zgornjem delu prekatov v beli svetlobi $33,1 \pm 5,09$ in pri natrijevi $21,6 \pm 4,00$;(p<0,00001), (priloga I).

4.2 SEZNAM VRST NA PROČELJU ZGRADBE

S pročelja so bile iz nabranega vzorca ob čiščenju 24.4.2006 določene 3 vrste pajkov, skupno 3 različni rodovi, iz 3 različnih družin:

- 1.Dictinidae (*Brigittea civica*) * 2♂, 5♀, 33 juv. (23♀, 10♂)
- 2.Theridiidae (*Theridion sp.*) 1 juv.♂
- 3.Araneidae (*Larinoidea sclopetarius*) 1♀, 10 juv.(5♀, 5♂)

**Brigittea civica* velja za novo najdbo vrste v Sloveniji, najdena je bila prvič prav na tem nahajališču in je v vzorcu tudi prevladujoča (Kostanjšek in Celestina, 2008).

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

5.1 VPLIV SPEKTRALNE SESTAVE IN INTENZITETE SVETLOBE NA ŠTEVILČNOST PAJKOV

Zaradi razgibanosti pročelja zgradbe Slovenske filharmonije, smo se v naši raziskavi omejili na nadstrešek kot edini večji, relativno homogen in neposredno osvetljen segment pročelja. Poleg tega so zaradi oblikovanosti pročelja in usmerjenega načina osvetljevanja nekateri deli nadstreška filharmonije v senci (oz. relativni temi), kar omogoča neposredno primerjavo vpliva svetlobe na prisotnost pajkov oziroma njihovih mrež. Nadstrešek pa nudi tudi potrebno zavetje, ki ga pajki praviloma izkoriščajo za naselitev (Antošova, 2011; Prinz, 2013). Pred čiščenjem pročelja v letu 2006 smo namreč na spodnjih prekatih zasenčenih delov opazili manjše število mrež v primerjavi z osvetljenimi prekati, kjer je bila gostota mrež praktično nasičena in kar je nakazovalo izrazit vpliv svetlobe na prisotnost mrež. Ob že dokazanih vplivih svetlobe na prisotnost pajkov je bil to tudi osrednji povod za izvedbo tovrstne raziskave.

Vpliv svetlobe na prisotnost pajčevin pred čiščenjem pročelja v letu 2006 je nakazovala največja številčnost mrež v prekatih na meji med stranskima in osrednjim delom pročelja (prekati 10, 11, 32 in 33). Te prekate namreč zaradi zamika omenjenih delov pročelja svetloba doseže pod več različnimi koti kot prekate nad ostalimi deli pročelja, kar ima za posledico boljše osvetljenost in z njo povečano prisotnost plena (Longcore in Rich, 2004). Predvidevamo, da gre pri povečani prisotnosti pajkov v prekatih na meji osrednjega dela pročelja za seštevek učinka istega abiotskega dejavnika (svetlobe), lahko pa so za povečanje številčnosti pajkov v teh prekatih odgovorni drugi dejavniki, kot so npr. večja vrstna pestrost pajkov, različna starostna in strukturna sestava populacije pajkov, ki se zaradi kompeticije umaknejo na rob habitata, kar je podobno robnemu učinku med različnimi habitati (Horvath in sod., 2002).

Izrazit vpliv intenzitete svetlobe na prisotnost mrež po čiščenju pročelja se je pokazal že v prvem letu 2007. Najvišje število mrež dosežejo prekati na zunanjih robovih zgradbe v obeh sistemih osvetlitve, kar najverjetneje nakazuje na robni učinek zaradi drugih abiotskih dejavnikov (Slika 10, Slika 11) (Horvath in sod., 2002). Najmanjša poselitev pajkov je opazna v sencah obeh režimov osvetlitve, medtem ko je statistično značilno več pajkov na osvetljenih delih pročelja (Slika 13), kar kaže, da ima za *B. civica* v nezasedenem habitatu prisotnost (oz. odsotnost) svetlobe večji vpliv od njenih spektralnih lastnosti. Kljub temu pa je pozitiven učinek natrijeve svetlobe na zmanjšano poselitev pročelja opazen že v prvi sezoni poseljevanja pročelja, saj je poseljenost v režimu svetlobe natrijevih sijalk primerljiva s senčnimi deli v režimu bele svetlobe. Manjšo poselitev pročelja s pajki v režimu natrijevih sijalk lahko najverjetneje pripišemo manjšemu številu s svetlobo privabljenih žuželk kot glavnega plena *B. civica*. Posledica povečanja količine plena je namreč neposredno povezana s stopnjo preživetja, rodnosti in poselitve habitata plenilca (Wise, 1979). Privabljanje nočnih žuželk z umetno osvetlitvijo je neposredno povezana s sposobnostjo zaznave svetlobe. Vid večine žuželk pa je najbolj občutljiv na vidno svetlobo kratkih valovnih dolžin ter UV svetlobo (Šporar, 2015). UV svetlobe za razliko od bolj ali manj

zveznega spektra belih kovinsko halogenidnih sijalk, natrijeve sijalke ne sevajo (Eisenbeis, 2006; Verovnik in sod., 2015) (Slika 2).

V letu 2008 je bilo število pajkov na pročelju zgradbe v največjem porastu. Izmed prešteti mrež v senčnih prekatih z belo svetlobo osvetljenega spodnjega nadstreška z relativno visokim številom mrež izstopa prekat 39. Natančnejši pregled je razkril, da je izrazito malo mrež v levem delu omenjenega prekata in da so mreže številčnejše v desnem delu (Slika 17b), kar ob pregledu nočnih posnetkov lahko pripišemo njegovi polovični zasenčenosti (Slika 6). V večji številčnosti mrež močno izstopa tudi prekat 42, zunanji robni prekat osvetljen z belo svetlobo. Najverjetneje gre na tem delu za vpliv dodatnega vira svetlobe sosednje zgradbe. Po številu mrež izrazito prednjačijo prekati, osvetljeni z belo svetlobo, sledita povsem primerljivi testni polji natrijeve svetlobe in senčnega dela bele svetlobe, najmanj mrež pa je bilo opaznih v senčnih delih natrijeve svetlobe. Glede na lastnosti prekata 39, le-tega po osvetljenosti in številčnosti mrež lahko uvrstimo med prekate, osvetljene z belo svetlobo.. Rezultat ponovno kaže na močan posreden vpliv spektralne sestave bele svetlobe na številčnost pajkov, najmanjši vpliv na številčnost pajkov pa še vedno kaže majhna intenziteta (senca) svetlobe in odsotnost kratkovalovnega spektra, opazna v senci natrijeve sijalke; torej stanje, ki je najbližje popolni temi. Podobno nizko število mrež v območju natrijeve svetlobe in senci bele svetlobe (Slika 15) potrjuje rezultate predhodnih študij na drugih organizmih (Mohar in sod., 2014; Verovnik in sod., 2015) in opravičuje uporabo svetil z omejenim delom kratkovalovnega spektra kot ustrezen kompromis pri osvetljevanju objektov tudi v primeru pajkov na pročeljih zgradb.

Leta 2009 je zopet opazen in zelo izrazit učinek robnega vpliva v spodnjem nadstrešku, v prekatih, ki mejijo na osrednji in zunanji del pročelja v beli svetlobi, medtem ko v zgornjem nadstrešku tega vpliva ni bilo zaznati. V robnem prekату 42 je število mrež celo preseгло maksimalno število mrež pred čiščenjem (Slika 9). To lahko pripišemo biotskim ali abiotskim spremembam na robu habitata, kot npr. ob obilici hrane, ko njena količina presega potrebe za preživetje in reprodukcijo, pajki zaradi energetskega prihranka izdelajo manjše mreže, poveča pa se tudi njihova toleranca do pajkov v okolici, kar privede do povečane gostote mrež v tovrstnih okoljih (Riechert, 1981).

Ob koncu poskusa, v letu 2009 oz. tri leta od čiščenja pročelja, je število mrež na spodnjem nadstrešku osvetljenem z belo svetlobo v večini prekatov že dosegla številčnost mrež pred čiščenjem leta 2006 (Slika 9). Ker je bila številčnost mrež v enem izmed prekatov tudi presežena, kaže na to, da je ob obilju hrane in ugodnih abiotskih dejavnikih možnost, da se populacija pajkov še bolj in hitreje poveča, vendar predvidevamo, da se zaradi znotrajvrstne kompeticije (Foelix, 2011) ob nadaljevanju poskusa njihovo število v teh prekatih ne bi več bistveno povečevalo. Zaradi izrazito počasnejšega povečevanja števila mrež v spodnjih prekatih, osvetljenih z natrijevo sijalko, pa bi nasičenje tam lahko pričakovali šele v šestih letih po čiščenju. V praksi, kot jo izvajajo v nekaterih Evropskih mestih (München, Graz), kjer pajčevine *B. civica* s pročelij osvetljenih kulturnih spomenikov redno mehansko odstranjujejo, to pomeni dva krat daljši čas med čiščenji in torej razpolovljene znatne stroške najema dvigal in čiščenja (Komposch, osebni vir).

V primerjavi z rezultati spodnjih nadstreškov je bilo število mrež zgornjega nadstreška v vseh obdobjih vzorčenja znatno večje. Na videz presenetljivo višje število pajčevin v manj

razgibanem in bolj izpostavljenem zgornjem nadstrešku je posledica zajema podatkov poskusa, v katerem smo iz štetja izvzeli vse mreže spodnjega nadstreška v vogalih ob in na stebričkih spodnjega prekata. Svetlobne razmere v zgornjem nadstrešku, v katerem smo testirali le spektralno sestavo svetlobe, so drugačne kot v spodnjem nadstrešku, število mrež je večje, robni prekati pa po številčnosti ne izstopajo, kar kaže na vpliv homogene osvetlitve po celotnem zgornjem nadstrešku. Četudi je osvetlitev drugačna, pa je vpliv svetlobe v tem alternativnem poskusu skladen z razmerjem števila mrež med vzorčnimi enotami v beli svetlobi in vzorčnimi enotami v natrijevi svetlobi spodnjega nadstreška (Slika 19) in opravičuje uporabo natrijevih sijalk pred belimi kovinsko halogenidnimi sijalkami.

Ob dejstvu, da v urbanih okoljih ni mogoče zagotoviti naravnemu enakega nočnega režima osvetlitve (torej teme), lahko na podlagi rezultatov zaključimo, da pročelja najdlje ostanejo brez estetsko motečih pajčevin, kadar so neosvetljena. V primerih umetnega osvetljevanja je učinek natrijevih sijalk podoben, kot da bi bilo pročelje le šibko osvetljeno z belo kovinsko-halogenidno svetlobo (neosvetljeni deli pročelja). Neposrednemu osvetljevanju z belo svetlobo pa se je, v skladu z rezultati predhodnih raziskav na drugih organizmih (Eisenbeis, 2006; Frank, 2006; Mohar in sod., 2014; Verovnik in sod., 2015), najbolje izogniti. S tem smo potrdili našo hipotezo, da osvetljevanje pročelja zgradb s svetlobo z omejenimi spektralnimi lastnostmi zmanjša oziroma upočasni kolonizacijo pročelja s pajki in glede na rezultate te naloge priporočamo uporabo natrijevih svetilk. Navkljub dobrim rezultatom osvetljevanja z natrijevimi svetilkami pa je treba poudariti, da je akumulacija pajčevin na površinah v urbanih okoljih neizbežna.

Potencialne aplikacije in rešitve zmanjšanja prisotnosti mrež na pročeljih zgradb, ki kvarijo njihov izgled, so torej v načrtovanju osvetljevanja, pa tudi v prilagoditvi ali spremembi nekaterih okoljskih dejavnikov. Pri načrtovanju osvetlitve se je potrebno izogniti učinkom bleščanja, ki ga povzročajo nezasenčena svetila ali od osvetljenih površin odbita svetloba. Pomembna je uporaba ravne leče in zasenčene svetilke in temna mat barva drogov svetilk. Gradbeni materiali v bližini svetil bi morali imeti gladko, vendar mat površino, takrat pa ko te možnosti ni, bi se bilo potrebno izogibati črnim, temno sivim barvam, kakršne so lahko marmornate površine (Horvat in sod., 2009). Učinkovita rešitev so tudi maske s prilagojeno slihueto posameznega objekta, ki se jih namesti na okvir sijalke, da zasenčijo del stavbe, ki ga zaradi različnih okoljevarstvenih razlogov želimo zavarovati pred vplivom svetlobe, ter zmanjšajo svetlobni snop, ki bi sicer šel v nebo (Mohar in sod., 2014). Kadar se mreže pajkov pojavljajo izključno pod napuščem streh, bi bilo smiselno z masko omejiti le te dele. Glede na izrazit vpliv bele svetlobe na številčnost pajkov je potrebno pri načrtovanju osvetlitve upoštevati tudi spektralne lastnosti sijalk. Te morajo nuditi dovolj dobro osvetlitev za aktivnost, kateri so namenjene, hkrati pa ne smejo imeti škodljivega vpliva na organizme in okolje (Eisenbeis, 2006; Verovnik in sod., 2015). Obetajoča osvetlitev je z LED svetili, ki so energetske učinkovite, s točkovno usmerjeno svetlobo in možnostjo regulacije intenzitete in spektralne sestave svetlobe ter vertikalno osvetlitvijo pročelij (Light for facades..., 2010).

Kot pomembno priporočilo in hkrati predpis se je izkazal 3. odstavek 11. člena Uredbe o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja (2007), ki pravi, da morajo biti kulturni spomeniki s svetlobnimi snopi svetilk usmerjeni tako, da je zunanji rob osvetljenega spomenika najmanj 1 m pod strešnim napuščem. Ravno v tem razponu je kopičenje pajčevin največkrat največje (Samu, 2002), kar se je izkazalo tudi na pročelju Slovenske filharmonije.

V Sloveniji je dolgo prevladovalo mnenje »čim več svetlobe tem bolje«, morali pa bi upoštevati selektivni pristop in nameščati okolju in dejavnosti primerno razsvetljavo (Bevk in sod., 2001).

5.2 V NALOGI NAJDENE SINANTROPNE VRSTE

Naloga je bila del širše raziskave, ki je obsegala vzorčenje pajkov na dobro dostopnih mestih mostov čez reko Ljubljanico (Tromostovje, Čevljarški most, Ribja brv) in spremljanje pojavljanja pajčevin na pročelju Slovenske filharmonije. V okviru vzorčenja na različno grajenih in osvetljenih objektih v mestnem središču Ljubljane smo v nočnem času ujeli 4 vrste, ki do naše študije v Sloveniji še niso bile najdene. Te so:

Brigittea civica (Lucas 1850) - Dytinidae
Philodromus praedatus Cambridge 1871 - Philodromidae
Cheiracanthium mildei Koch 1864 - Miturgidae
Clubiona similis Koch 1867 - Clubionidae
(Kostanjšek in Celestina, 2008)

B. civica je nova vrsta za slovensko araneofavno na pročelju Slovenske filharmonije in, kot se je kasneje izkazalo, tudi velike večine ostalih pročelij v mestnih okoljih (Kostanjšek, 2012; Prinz 2013), ki po svoji številčnosti izstopa. Ta kljub svoji številčnosti in splošni prisotnosti v Sloveniji pred našo študijo ni bila najdena, kar kaže na pomanjkljivo raziskanost favne pajkov Slovenije ter upravičenost in veliko potrebo favnističnih študij pajkov na območju naše države. Rezultati že objavljenega dela (Kostanjšek in Celestina, 2008) kažejo, da je vrstna pestrost pajkov na zunanjih površinah urbanega okolja zastopana z nekaterimi številčnejšimi sinantropnimi vrstami, kot so *B. civica*, *Larinooides sclopetarius* in *Nuctenea umbratica* (Kostanjšek, 2012), ter mnogimi redkimi, tudi doslej spregledanimi vrstami. Kljub izredni raznolikosti pajkov, pa se lahko v primeru ohranjanja izgleda pročelij omejimo na zidnega pajka *B. civica* in pajka mostov *L. sclopetarius*, ki sta daleč najpogostejši vrsti v urbanih okoljih.

5.3 SKLEPI

Na pročelju Slovenske filharmonije smo prvič v Sloveniji našli in določili sinantropno vrsto kribelatnega pajka *Brigittea civica* (Dytinidae). Ta je glavni povzročitelj prekomernega mreženja na pročeljih, s čimer zmanjšuje estetiko zunanje podobe stavb in zato velja za škodljivo.

Pri začetnem naseljevanju pajkov na očiščeno pročelje je najpomembnejši dejavnik prisotnost (oz. odsotnost) svetlobe, ne glede na vrsto osvetlitve, ki na kolonizacijo pročelja močno vpliva v kasnejših letih.

Spektralne lastnosti sijalk močno vplivajo na prisotnost pajčevin na osvetljenih pročeljih.

Vpliv je posreden, saj svetloba privablja plen pajkov – nočne žuželke. Te bistveno bolje zaznavajo svetlobo kratkih valovnih dolžin, ki je v natrijevih sijalkah ni, zato je njihov učinek v primerjavi z belo svetlobo na žuželke in posledično pajke bistveno manjši.

Vpliv svetlobe natrijeve sijalke na kolonizacijo osvetljenih površin s pajki je primerljiv zasenčenim delom pročelja osvetljenega z belo svetlobo, število pajčevin v natrijevi svetlobi pa se povečuje dvakrat počasneje v primerjavi z belo svetlobo.

Najmanj mrež je prisotnih v zatemnjenih delih pročelja, osvetljenega z natrijevo sijalko, kjer so intenziteta in spektralne lastnosti svetlobe najbolj omejeni. V urbanem okolju popolne odsotnosti umetnega osvetljevanja ne moremo zagotoviti, uporaba natrijevih sijalk pa močno zmanjša svetlobno onesnaževanje, negativni vpliv svetlobe na nočne živali, ob zmanjšanem številu pajkov na pročeljih pa tudi negativni vpliv na estetski izgled osvetljenih objektov.

S poskusom smo potrdili hipotezo, da osvetljevanje pročelja zgradb s svetlobo z omejenimi spektralnimi lastnostmi zmanjša in upočasni kolonizacijo pročelja s pajki.

Pri preprečevanju naseljevanja pajkov *B. civica* na pročelja bi priporočili naslednje smernice in ukrepe:

- Ustrezna vrsta sijalke z omejenim svetlobnim spektrom, ki ne vsebuje UV svetlobe in vidne svetlobe kratkih valovnih dolžin. Kot primerna se je izkazala nizkotlačna natrijeva sijalka, sledi ji visokotlačna natrijeva sijalka, živosrebrove, fluorescentne in kovinsko-halogenidne sijalke pa niso primerne. LED svetila imajo zaradi prilagodljivih spektralnih lastnosti in regulacije intenzitete svetlobe ter možnosti točkovnega in vertikalnega osvetljevanja velik potencial za zmanjševanje svetlobnega onesnaževanja.
- Uporaba UV filtra, kadar je to možno.
- Izbira ustreznih zasenčenih luči z ravno lečo brez loma, ter temne, mat površine v okolici luči.
- Omejitev osvetljevanja pod napušči streh.
- Izbira mat površine pročelij, ki ne odbijajo UV in nizkih valovnih dolžin svetlobnega spektra, na delih, kjer je možnost poselitve pajkov največja.
- Senčenje objekta z masko, ki zmanjša in omeji svetlobni snop.

6 POVZETEK

Na pročelju Slovenske filharmonije, v ožjem mestnem jedru Ljubljane, smo v februarju 2006 zasledili številčne pajčje mreže na nadstrešku. Na njih so nas opozorili tehnični sodelavci podjetja JUB, ki so nam predstavili problematiko kopičenja pajčjih mrež in z njimi povezanih stroškov. Osredotočili smo se na osvetljava in predvideli, da na pojavnost pajkov in posledično njihovih mrež vpliva svetloba.

Pročelje je bilo simetrično in osvetljeno z belo svetlobo, zato smo se odločili, da na delu pročelja ohranimo prvotno osvetljenost s kovinsko halogenidno sijalko, na drugem delu pa osvetlitev zamenjamo z bistveno drugačnim spektrom. Odločili smo se za nizkotlačno natrijevo sijalko, ki se od kovinsko halogenidne (bele) razlikuje v odsotnosti svetlobe v vseh drugih spektrih razen rumene pri 580 nm. Aprila 2006 smo pročelje očistili pajčevin, vzorčili pajke in na levem delu pročelja zamenjali tri bele sijalke s tremi natrijevimi sijalkami, v sredinskem delu ugasnili dve beli sijalki in na desnem delu pročelja pustili prvotno osvetlitev. Predvidevali smo, da osvetlitev pročelja s svetlobo z omejenimi spektralnimi lastnostmi zmanjša ali upočasni kolonizacijo pročelja s pajki. Namen diplomskega dela je bil ugotoviti vpliv spektralne sestave in intenzitete svetlobe na pojavnost pajkov, ugotoviti njihovo vrstno pestrost in opredeliti potencialne rešitve za zmanjšanje pojavnosti pajkov in estetsko motečih pajčevin na pročeljih.

Z namenom štetja pajčevin in analize njihovega kopičenja, smo v obdobju med februarjem 2006 in novembrom 2009 enkrat letno fotografirali pročelje. Fotografije smo obdelali s programom Coral Paint Shop Pro Photo X2. Vzorčne ploskve v različnih osvetlitvah smo razdelili na prekate zgornjega in spodnjega nadstreška, ki so jih omejevali stebrički. V nadstrešku vsakega dela pročelja smo opazovali 11 prekatov z dvema vzorčnima enotama – spodnji in zgornji prekat. V prekatih smo prešteli število vidnih mrež. Kot mrežo smo šteli vsako razpoznavno sivo liso in jo na sliki označili z barvno piko. Pajčevin na stebričkih in v kotu stebričkov nismo upoštevali. Podatke smo statistično obdelali.

Brigittea civica je na pročelju Slovenske filharmonije najštevilčnejša vrsta, na tej lokaciji tudi prvič najdena v Sloveniji. Poleg nje smo ob čiščenju pročelja zasledili tudi vrsto *Larinioides sclopetarius* ter predstavnika rodu *Theridion*.

V letu 2006 je populacija pajkov dosegla končno stopnjo nasičenosti, saj so se mreže na nekaterih delih stikale, kar je v mejah znoraj vrstne tolerance in teritorialnosti. Bela svetloba privlači žuželke v bližino osvetljenega pročelja. Posledično z obiljem plena pa se povečajo stopnja preživetja, rodnost in poselitev habitata plenilca, v našem primeru pajka *B. civica*.

Vpliv osvetlitve na poseljevanje očiščene površine pročelja se je pokazal že v letu 2007, prvo leto po čiščenju pročelja. Na poseljevanje izpraznjenega habitata (pročelja) močno vpliva osvetljevanje. To je v primeru spodnjih prekatov najintenzivnejše ob prisotnosti bele svetlobe. Natrijevo nizkotlačno sijalko žuželke slabo zaznavajo in zato vpliva na zmanjšano kolonizacijo osvetljenih površin, saj je kolonizacija na natrijevi svetlobi primerljiva tisti v senci bele svetlobe. Trend poseljevanja je bil najbolj izrazit v letu 2008, drugo leto po čiščenju pročelja. Po treh letih se je izkazalo, da je naseljevanje pajkov v senci bele svetlobe podobno kot naseljevanje na površinah osvetljenih z natrijevo svetlobo.

Število mrež na prekatih zgornjega nadstreška je bilo znatno večje v primerjavi s spodnjimi, saj stebričkov, kjer je bilo največ primernih mest za mreženje, nismo upoštevali. Tudi v zgornjem nadstrešku razlike v številčnosti med belo in natrijevo osvetlitvijo potrjujejo našo hipotezo, da osvetljevanje pročelja zgradb s svetlobo z omejenimi spektralnimi lastnostmi zmanjša kolonizacijo pročelja s pajki in da je zamenjava tipa svetil pri osvetljevanju zunanjih površin objektov smiselna.

Z raziskavo smo ugotovili, da ima intenziteta svetlobe največji vpliv na poselitev pajkov na pročelju; zaradi vpliva spektralne sestave bele svetlobe pa najhitreje narašča njihovo število mrež – v primerjavi z vplivom natrijeve svetlobe, dvakrat hitreje. Ker je mreže na pročelju potrebno odstranjevati, se z neosvetljenostjo ali izbiro svetila z omejenimi spektralnimi lastnostmi (natrijeva svetloba) izognemo čiščenju pročelja in vsaj za polovico zmanjšamo stroške čiščenja. Hkrati se močno zmanjša svetlobno onesnaževanje ter negativni vpliv svetlobe na nočne živali. Pri preprečevanju naseljevanja pajkov *B. Civica* bi priporočili omejevanje osvetljevanja pročelja pod napuščem streh, uporabo ustrezne osvetlitve z odsotnostjo UV svetlobe in spremembo ugodnih okoljskih pogojev za naseljevanje.

7 VIRI

7.1 CITIRANI VIRI

- Adams M.R. 2000. Choosing hunting sites: Web site preferences of the orb weaver spider, *Neoscona crucifera*, relative to light cues. *Journal of Insect Behavior*, 13, 3: 299-305
- Agnarsson I., Coddington J.A., Kuntner M. 2013. Systematics-progress in the study of spider diversity and evolution. V: *Spider research in the 21 st century*. Penney D. (ed.). Manchester, Siri scientific press, 2: 58-111
http://entomology.si.edu/StaffPages/Coddington/2013_Agnarsson-Al_SpiderSystematics.pdf (17. jun. 2016)
- Antošova N. 2011. Analysis of biocorrosion of etics - causes and suggestions for solutions. *Nehnutel'nosti a Byvanie*: 89-104
https://www.stuba.sk/new/docs/stu/ustavy/ustav_manazmentu/NAB2011-1/paper10.pdf (17. jun. 2016)
- Bevk S., Mikuž H., Prezelj J. 2001. Svetlobno onesnaženje: javna predstavitev mnenj. Ljubljana, Državni zbor republike Slovenije: 224 str.
- Billaudelle H. 1954. Zur Biologie der Mauerspinne *Dictyna civica* (H.Luc.) (Dictynidae, Araneida). *Zeitschrift fur Angewandte Entomologie*, 41: 475-512
- Blick T., Haenggi A., Wittenberg R. 2005. Spiders and Allies-Arachnida. V: *An inventory of alien species and their threat to biodiversity and economy in Switzerland*. Wittenberg R. (ed.). Bern, Federal office for the Environment, 5: 101-109
- Bowden J. 1982. An analysis of factors affecting catches of insects in light-traps. *Bulletin of entomological Research*, 72: 535-556
- Bruce-White C., Shardlow M. 2011. A review of the impact of artificial light on invertebrates. *Buglife, The invertebrate conservation trust*: 32 str.
https://www.buglife.org.uk/sites/default/files/A%20Review%20of%20the%20Impact%20of%20Artificial%20Light%20on%20Invertebrates%20docx_0.pdf (17. jun. 2016)
- Cizej Rak M., Šporar K., Štefančič M., Štefančič M., Belušič G. 2014. Preizkus LED svetlobne vabe pri spremljanju pojava koruzne vešče (*Ostrinia nubilalis* Hubner). *Hmeljarski bilten*, 21: 17-28
- Eisenbeis G. 2006. Artificial night lighting and insects: Attraction of insects to streetlamps in a rural setting in Germany .V: *Ecological consequences of Artificial Night Lighting*. Rich C., Longcore T. (eds.). Washington, Island Press, 12: 281-304
- Enders F. 1973. Selection of habitat by the spider *Argiope aurantia* Lucas (Araneidae). *American Midland Naturalist*, 90: 47-55

- Faeth S.H., Warren P.S., Shochat E., Marussich W.A. 2005. Trophic dynamics in urban communities. *BioScience*, 55: 399-407
- Faeth S.H., Bang C., Saari S. 2011. Urban biodiversity: patterns and mechanisms. *Annals of the New York, Academy of Science*, 1223, 1: 69-81
- Falchi F., Cinzano P., Duriscoe D., Kyba C.C.M., Elvidge C.D, Baugh K., Portnov B.A., Rybnikova N.A., Furgoni R. 2016. The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science advances*, 2, 6: 1- 26
<http://advances.sciencemag.org/content/2/6/e1600377> (10. jun. 2016)
- Foelix R.F. 2011. *Biology of spiders*. 3rd edition. New York, Oxford University Press: 432 str.
- Francis R.A. 2011. Wall ecology: A frontier for urban biodiversity and ecological engineering, *Progress in physical geography*, 35, 1: 43-63
- Frank K.D. 1988. Impact of outdoor lighting on moths: An assessment. *Journal of the Lepidopterists' Society*, 42, 2: 63-93
- Frank K.D. 2006. Effects on artificial night lighting on moth. V: Ecological consequences of artificial night lighting. Rich C., Longcore T. (eds.). Washington, Island Press, 5: 305-344
- Frank K.D. 2009. Exploitation of artificial light at night by a diurnal jumping spider. *Peckhamia*, 78, 1: 1-3
<http://peckhamia.com/peckhamia/PECKHAMIA%2078.1.pdf> (17. jun. 2016)
- Gaston K.J., Gaston S., Bennie J., Hopkins J. 2015. Benefits and costs of artificial night time lighting of the environment. *Environmental Reviews*, 23, 1: 14-23
<http://www.nrcresearchpress.com/doi/pdf/10.1139/er-2014-0041> (7. jul. 2013)
- Geiter O., Homma S., Kinzelbach R. 2002. Bestandsaufnahme und Bewertung von Neozoen in Deutschland. Berlin, Umweltbundesamt, 290 str.
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2141.pdf> (7. jul.2016)
- Gillespie, R.G. 1987. The mechanism of habitat selection in the long-jawed orb-weaving spider *Tetragnatha elongata* (Araneae, Tetragnathidae). *Journal of Arachnology*, 15: 81-90
- Gliwicz Z.M. 1999. Predictability of seasonal and diel events in tropical and temperate lakes and reservoirs. V: Theoretical reservoir ecology and its applications. Tundisi J. G., Straskraba M.(eds.). Leiden, Backhuys: 99-124

- Grimm N.B., Faeth S. H., Golubiewski N. E., Redman C. L., Wu J., Bai X., Briggs J.M. 2008. Global change in the ecology of cities. *Science*, 319: 756-760
- Gromicko N., Tarasenko K. 2011. Ultrasonic pest repellents: Solution or scam?. *International Association of certified home inspectors* (20. jun. 2011)
<https://www.nachi.org/ultrasonic-pest-repellents.htm?loadbetadesign=0> (10. jul. 2016)
- Harris W., Freudenrich C. 2000. How light works.
<http://science.howstuffworks.com/light.htm> (29. jul. 2016)
- Heilling A.M. 1999. Why do nocturnal orb-web spiders (Araneidae) search for light?. *Behavioral ecology and sociobiology*, 46: 43-49
- Heilling A.M., Herberstein M.E. 1999. The importance of being larger: Intraspecific competition for prime web sites in orb-web spiders (Aranea, Araneidae). *Behaviour*, 136: 669-677
- Held M., Hölker F. 2013. Ökologie der Zeit und Künstliche Beleuchtung in der nacht. V: Schutz der Nacht-Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlanschaft. Held M., Hölker F., Jessel B. (Red.). Bonn, Bundesamt für Naturschutz: 23-26
http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript_336.pdf (24. jul. 2016)
- Hooker J.D. 2016. Museum of Electric Lamp Technology.
<http://www.lamptech.co.uk/> (16. jul. 2016)
- Horvath G., Magura T., Peter G., Tothmeresz B. 2002. Edge effect on weevils and spiders. *Web ecology*, 3: 43-47
- Horvath G., Kriska G., Malik P., Robertson B. 2009. Polarized light pollution: a new kind of ecological photopollution. *Frontiers of Ecology Environment*, 7: 317-325
- Janetos A. 1986. Web site selection: Are we asking the right questions? V: Spiders-Webs, behavior, and evolution. Shear W.A. (ed.). Stanford, Stanford University press: 9-22
- Jones T.C., Akoury T.S, Hauser C.K., Moore D. 2011. Evidence of circadian rhythm in antipredator behaviour in the orb-weaving spider *Larinioides cornutus*. *Animal behaviour*, 82: 549-555
- Komposch C. 2010. »Čiščenje pročelij v Grazu«. (osebni vir, jun. 2010)
- Kostanjšek R. 2012. Tujerodne vrste pajkov (Aranea) V: Neobiota Slovenije, končno poročilo. Jogan N., Bačič M., Strgulc Krajšek S.(ur.). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, 10.2: 192-193
<http://www.biportal.si/neobiota/CRP-Neobiota%20Slovenije%20Zbornik%2010-2%20pajki.pdf> (17. jun. 2016)
- Kostanjšek R., Celestina A. 2008. New records on synanthropic spider species (Arachnida: Aranea) in Slovenia. *Natura Sloveniae*, 10, 1: 51-55

- Lewy A.J. 1983. Effects of light on human melatonin production and the human circadian system. *Progress in Neuropsychopharmacology and Biological Psychiatry*, 7: 551-556
- Light for facades and architecture. 2010. Zumtobel: 50 str.
https://www.zumtobel.com/PDB/Teaser/es/AWB_Fassade_und_Architektur.pdf
(29. jul. 2016)
- Lindner W. 2005. Surface coatings. V: Directory of microbicides for the protection of materials. Paulus W.(ed.). Dordrecht, Springer Netherlands: 347-375
http://link.springer.com/sci-hub.cc/referenceworkentry/10.1007/1-4020-2818-0_20 (14. jun. 2016)
- Liu Z. He C., Zhou Y., Wu J. 2014. How much of the worlds land has been urbanized, really? A hierarhical framework for avoiding confusion. *Landscape Ecology*, 29: 763-771
- Long C.V., Flint J.A. & Lepper P.A. 2011. Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? *European Journal of Wildlife Researchs*, 57: 323-331
<http://link.springer.com/sci-hub.cc/article/10.1007%2Fs10344-010-0432-7>
(20. jun. 2016)
- Longcore T., Rich C. 2004. Ecological light pollution. *Front Ecological Environment*, 2, 4: 191-198
- Miyashita T. 2005. Contrasting patch residence strategy in two species of sit-and wait foragers under the same environment: a constraint by life history? *Ethology*, 111: 159-167
- Mohar A. 2005. Svetlobno onesnaženje, bleščanje in primerjalne meritve. V: Razsvetljava 2005. 14. Mednarodno posvetovanje, Postojna, 13-14 okt. 2005. Orgulan A.(ur.). Maribor, Založniško tiskarska dejavnost Univerze v Mariboru: 67-84
<http://www.sdr.si/arhiv/pdf/zbornik-2005-web.pdf> (25. jul. 2016)
- Mohar A., Zagmajster M., Verovnik R., Bolta Skaberne B. 2014. Naravi prijaznejša razsvetljava objektov kulturne dediščine (cerkva) - Priporočila. Ljubljana, Društvo temno nebo: 28.str.
- Nakata K., Ushimaru A. 2004. Difference in web construction behavior at newly occupied web sites between two *Cyclosa* species. *Ethology*, 110, 5: 341- 428
- Nedved O., Pekar S., Bezdečka P., Liznarova E., Rezač M., Schmitt., Sentenska L. 2011. Ecology of Arachnida alien to Europe. *Bio Control*, 56, 4: 539-550
- Negrao A.M.L. 2013. The impact of artificial light in architectural spaces. *Tecnico Lisboa*
https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395145552805/EXTENDED%20ABSTR ACT_Ana%20Negr%C3%A3o_2013.pdf (12. jun. 2016)

- Prinz S. 2013. Mauerspinnen in Graz. Welche Mauertypen werden bevorzugt?. Saarbrücken, AV Akademikerverlag GmbH&Co. KG: 43 str.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. Wiena, R Foundation for Statistical Computing
<https://www.R-project.org/> (11. jun. 2016)
- Rich C., Longcore T. 2006. Ecological consequences of Artificial Night Lighting. Washington, Island Press: 458 str.
- Riechert S.E. 1981. The consequences of being territorial: Spiders, a case study. American naturalist, 117: 871-892
- Roberts M.J. 1995. Collins Field Guide: Spiders of Britain & Northern Europe. 2nd ed. London, Harper Collins Publishers: 383 str.
- Samu F., Josza Z., Csanyi E. 2002. Spider web contamination of house facades: habitat selection of spiders on urban wall surfaces. European Arachnology 2002: 351-356.
<http://www.european-arachnology.org/proceedings/20th/Samu.pdf> (22. feb. 2011)
- Schmitt M. 2004. *Larinioides sclopetarius*, eine parasoziale Spinne Mitteleuropas?. Arachnologische Mitteilungen, 27, 28: 55-67
http://www.arages.de/aramit/pdf/Heft_27_28/AM2728_055_067.pdf (17. jun. 2016)
- Schreuder D.A. 2002. Vsiljena svetloba, Svetlobna tehnika, 2002, 14, 1: 6-22
- Setälä H. 2009. Urban Ecology - Why Is It an Increasingly Important Topic? V: Biodiverziteteta – raznolikost živih sistemov. Mednarodni posvet biološka znanost in družba, Ljubljana 1-2 okt. 2009 [video posnetek: predavanje v okviru mednarodnega posveta Biološka znanost in družba, ZRSS, 2009]. Strgulc Krajšek S., Vičar M., Vilhar B. (ur.). Ljubljana, Zavod RS za šolstvo: 81-82
http://videlectures.net/bzid09_setala_ueko/?q=urban%20ecology (22. jun. 2016)
- Shashua-Bar L., Pearkmutter D., Erell E. 2011. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. International journal of climatology, 31: 1498-1506
- Šporar K. 2015. Barvni vid koruzne vešče (*Ostrinia nubilalis*). Magistrsko delo. Fakulteta v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo: 65 str.
- Tarman K. 1992. Osnove ekologije in ekologija živali. Ljubljana, Državna založba Slovenije: 547 str.
- Tornič A., Orehek J., Sušnik D. 2016. »Pajki- izsledki in opažanja pri sanaciji fasad«, Dol pri Ljubljani, skupina JUB (osebni vir, jun. 2016)

Uetz G. W., Hieber C. S., Jakob E. M., Wilcox S., Kroeger D., McCrate A., Mostrom A.M. 1994. Behavior of colonial orb-weaving spiders during a solar eclipse. *Ethology*, 96: 24-32

Uredba o mejnih vrednostih svetlobnega onesnaževanja okolja. Ur.l. RS št. 81/07
http://www.uradni-list.si/_pdf/2007/Ur/u2007081.pdf#!/u2007081-pdf (29. maj 2016)

Verovnik R., Fišer Ž., Zakšek V. 2015. How to reduce the impact of artificial lighting on moths: A case study on cultural heritage sites in Slovenia. *Journal for Nature Conservation*, 28, 2015: 105-111

Vollrath F. 2000. Strength and structure of spiders silks. *Reviews in molecular biotechnology*, 74: 67-83

Vollrath F. 2013. Consequences of electrical conductivity in an orb spider's capture web. *Naturwissenschaften*, 100: 1163–1169

Voss S. C., Main B.Y., Dadour I.R. 2007. Habitat preferences of the urban wall spider *Oecobius navus* (Araneae, Oecobiidae). *Australian journal of entomology*, 46: 261-268

Wise D.H. 1979. Effect of an experimental increase in prey abundance upon the reproductive rates of two orb-weaving spider species (Araneae: Araneidae). *Oecologia*, 41: 289-300

World spider catalog. 2016. Version 17.0. Natural history Museum Bern
<http://wsc.nmbe.ch> (30. jun. 2016)

7.2 DRUGI VIRI

Majoros A. 2011. Artificial lighting. Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Architecture, Department of Building Energetics and Services
www.egt.bme.hu

Molek I., Golob L. 2010. Barve, barvna metrika in barvno upravljanje. Kranj, Elektronska knjiga, Konzorcij šolskih centrov
http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/podrocje/Strukturni_skladi/Gradiva/MUNUS2/MUNUS2_60Barvebmetrika.pdf (30. jul. 2016)

ZAHVALA

Zahvaljujem se svojemu mentorju prof. dr. Roku Kostanjšku, ki je v daljšem časovnem obdobju potrpežljivo čakal na izdelek, za vzpodbudo, strokovno pomoč, navdih in zagnanost. Hvala prof. dr. Katarini Košmelj za vso skrb in pomoč pri statistiki, doc.dr. Cenetu Fišerju za hitro in tehtno recenzijo ter prof. dr. Rudiju Verovniku za končne popravke in pripombe.

Hvaležna sem družini Skoberne in Celestina za vso pomoč in podporo pri študiju ter možu Tomažu za ljubezen in potrpežljivost - tukaj je dokaz, da se je študij res zaključil. Hvala sestri Katarini za moralno in tehnično podporo, atu Tinku in babici Anici za pošiljanje dobre energije in stricu Janu za vse informacije in naveze.

Prijateljice Anita Mašek, Mateja Potisek in Vera Zgonik bile ste mi v pomoč, konstruktivno kritiko in oporo. Stanči Škarja, hvala za vejice in najdbo skoraj vseh napač v nalogi.

Zahvaljujem se Albinu Torniču, Dušanu Sušniku, Janezu Orehku, Bernardu Francu in Branku Petroviču iz skupine JUB ter Robertu Rukavini, Karin Košak, Julijanu Bevcu, Marku Bizjaku, Andreju Podrepšku za strokovno in tehnično pomoč.

PRILOGE

Priloga A1

Tabela podatkov za statistično analizo-zgornji nadstrešek

Prekat	Sistem	Datum	Dan_opazovanja	Pajki_zgoraj
1	BELA	13.4.2006	-11	38
1	Na	24.4.2006	0	0
1	Na	27.4.2007	368	9
1	Na	15.10.2008	905	19
1	Na	11.11.2009	1297	25
2	BELA	13.4.2006	-11	51
2	Na	24.4.2006	0	0
2	Na	27.4.2007	368	4
2	Na	15.10.2008	905	13
2	Na	11.11.2009	1297	21
3	BELA	13.4.2006	-11	45
3	Na	24.4.2006	0	0
3	Na	27.4.2007	368	8
3	Na	15.10.2008	905	12
3	Na	11.11.2009	1297	16
4	BELA	13.4.2006	-11	49
4	Na	24.4.2006	0	0
4	Na	27.4.2007	368	7
4	Na	15.10.2008	905	11
4	Na	11.11.2009	1297	15
5	BELA	13.4.2006	-11	42
5	Na	24.4.2006	0	0
5	Na	27.4.2007	368	8
5	Na	15.10.2008	905	13
5	Na	11.11.2009	1297	19
6	BELA	13.4.2006	-11	46
6	Na	24.4.2006	0	0
6	Na	27.4.2007	368	7
6	Na	15.10.2008	905	16
6	Na	11.11.2009	1297	21
7	BELA	13.4.2006	-11	45
7	Na	24.4.2006	0	0
7	Na	27.4.2007	368	7
7	Na	15.10.2008	905	14

se nadaljuje

nadaljevanje

Prekat	Sistem	Datum	Dan_opazovanja	Pajki_zgoraj
7	Na	11.11.2009	1297	24
8	BELA	13.4.2006	-11	44
8	Na	24.4.2006	0	0
8	Na	27.4.2007	368	4
8	Na	15.10.2008	905	19
8	Na	11.11.2009	1297	25
9	BELA	13.4.2006	-11	69
9	Na	24.4.2006	0	0
9	Na	27.4.2007	368	6
9	Na	15.10.2008	905	16
9	Na	11.11.2009	1297	20
10	BELA	13.4.2006	-11	64
10	Na	24.4.2006	0	0
10	Na	27.4.2007	368	4
10	Na	15.10.2008	905	15
10	Na	11.11.2009	1297	24
11	BELA	13.4.2006	-11	63
11	Na	24.4.2006	0	0
11	Na	27.4.2007	368	10
11	Na	15.10.2008	905	14
11	Na	11.11.2009	1297	28
32	BELA	13.4.2006	-11	65
32	BELA	24.4.2006	0	0
32	BELA	27.4.2007	368	9
32	BELA	15.10.2008	905	32
32	BELA	11.11.2009	1297	36
33	BELA	13.4.2006	-11	49
33	BELA	24.4.2006	0	0
33	BELA	27.4.2007	368	13
33	BELA	15.10.2008	905	21
33	BELA	11.11.2009	1297	32
34	BELA	13.4.2006	-11	70
34	BELA	24.4.2006	0	0
34	BELA	27.4.2007	368	16
34	BELA	15.10.2008	905	24
34	BELA	11.11.2009	1297	27
35	BELA	13.4.2006	-11	69
35	BELA	24.4.2006	0	0

se nadaljuje

nadaljevanje

Prekat	Sistem	Datum	Dan_opazovanja	Pajki_zgoraj
35	BELA	27.4.2007	368	7
35	BELA	15.10.2008	905	17
35	BELA	11.11.2009	1297	34
36	BELA	13.4.2006	-11	68
36	BELA	24.4.2006	0	0
36	BELA	27.4.2007	368	11
36	BELA	15.10.2008	905	34
36	BELA	11.11.2009	1297	40
37	BELA	13.4.2006	-11	53
37	BELA	24.4.2006	0	0
37	BELA	27.4.2007	368	7
37	BELA	15.10.2008	905	32
37	BELA	11.11.2009	1297	35
38	BELA	13.4.2006	-11	54
38	BELA	24.4.2006	0	0
38	BELA	27.4.2007	368	11
38	BELA	15.10.2008	905	27
38	BELA	11.11.2009	1297	39
39	BELA	13.4.2006	-11	57
39	BELA	24.4.2006	0	0
39	BELA	27.4.2007	368	9
39	BELA	15.10.2008	905	26
39	BELA	11.11.2009	1297	34
40	BELA	13.4.2006	-11	65
40	BELA	24.4.2006	0	0
40	BELA	27.4.2007	368	11
40	BELA	15.10.2008	905	28
40	BELA	11.11.2009	1297	33
41	BELA	13.4.2006	-11	48
41	BELA	24.4.2006	0	0
41	BELA	27.4.2007	368	6
41	BELA	15.10.2008	905	22
41	BELA	11.11.2009	1297	32
42	BELA	13.4.2006	-11	40
42	BELA	24.4.2006	0	0
42	BELA	27.4.2007	368	10
42	BELA	15.10.2008	905	15
42	BELA	11.11.2009	1297	22

Priloga A2

Tabela podatkov za statistično analizo- spodnji nadstrešek

Prekat	Sistem	Datum	Dan_opazovanja	Pajki_spodaj
1	BELA	13.4.2006	-11	24
1	Na	24.4.2006	0	0
1	Na	27.4.2007	368	7
1	Na	15.10.2008	905	10
1	Na	11.11.2009	1297	20
2	BELA	13.4.2006	-11	21
2	Na	24.4.2006	0	0
2	Na	27.4.2007	368	5
2	Na	15.10.2008	905	8
2	Na	11.11.2009	1297	15
3	BELA	13.4.2006	-11	20
3	Na	24.4.2006	0	0
3	Na	27.4.2007	368	5
3	Na	15.10.2008	905	10
3	Na	11.11.2009	1297	13
4	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	10
4	Na-SENCA	24.4.2006	0	0
4	Na-SENCA	27.4.2007	368	1
4	Na-SENCA	15.10.2008	905	3
4	Na-SENCA	11.11.2009	1297	3
5	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	14
5	Na-SENCA	24.4.2006	0	0
5	Na-SENCA	27.4.2007	368	2
5	Na-SENCA	15.10.2008	905	2
5	Na-SENCA	11.11.2009	1297	3
6	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	14
6	Na-SENCA	24.4.2006	0	0
6	Na-SENCA	27.4.2007	368	0
6	Na-SENCA	15.10.2008	905	2
6	Na-SENCA	11.11.2009	1297	4
7	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	14
7	Na-SENCA	24.4.2006	0	0
7	Na-SENCA	27.4.2007	368	3
7	Na-SENCA	15.10.2008	905	3
7	Na-SENCA	11.11.2009	1297	6

se nadaljuje

nadaljevanje

Prekat	Sistem	Datum	Dan_opazovanja	Pajki_spodaj
8	BELA	13.4.2006	-11	25
8	Na	24.4.2006	0	0
8	Na	27.4.2007	368	2
8	Na	15.10.2008	905	7
8	Na	11.11.2009	1297	10
9	BELA	13.4.2006	-11	27
9	Na	24.4.2006	0	0
9	Na	27.4.2007	368	4
9	Na	15.10.2008	905	7
9	Na	11.11.2009	1297	12
10	BELA	13.4.2006	-11	32
10	Na	24.4.2006	0	0
10	Na	27.4.2007	368	5
10	Na	15.10.2008	905	6
10	Na	11.11.2009	1297	11
11	BELA	13.4.2006	-11	30
11	Na	24.4.2006	0	0
11	Na	27.4.2007	368	6
11	Na	15.10.2008	905	8
11	Na	11.11.2009	1297	15
32	BELA	13.4.2006	-11	32
32	BELA	24.4.2006	0	0
32	BELA	27.4.2007	368	6
32	BELA	15.10.2008	905	17
32	BELA	11.11.2009	1297	22
33	BELA	13.4.2006	-11	31
33	BELA	24.4.2006	0	0
33	BELA	27.4.2007	368	3
33	BELA	15.10.2008	905	13
33	BELA	11.11.2009	1297	18
34	BELA	13.4.2006	-11	22
34	BELA	24.4.2006	0	0
34	BELA	27.4.2007	368	5
34	BELA	15.10.2008	905	11
34	BELA	11.11.2009	1297	15
35	BELA	13.4.2006	-11	27
35	BELA	24.4.2006	0	0

se nadaljuje

nadaljevanje

Prekat	Sistem	Datum	Dan_opazovanja	Pajki_spodaj
35	BELA	27.4.2007	368	4
35	BELA	15.10.2008	905	14
35	BELA	11.11.2009	1297	16
36	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	16
36	BELA-SENCA	24.4.2006	0	0
36	BELA-SENCA	27.4.2007	368	5
36	BELA-SENCA	15.10.2008	905	6
36	BELA-SENCA	11.11.2009	1297	7
37	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	15
37	BELA-SENCA	24.4.2006	0	0
37	BELA-SENCA	27.4.2007	368	1
37	BELA-SENCA	15.10.2008	905	3
37	BELA-SENCA	11.11.2009	1297	5
38	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	18
38	BELA-SENCA	24.4.2006	0	0
38	BELA-SENCA	27.4.2007	368	2
38	BELA-SENCA	15.10.2008	905	5
38	BELA-SENCA	11.11.2009	1297	7
39	BELA-SENCA	13.4.2006	-11	17
39	BELA-SENCA	24.4.2006	0	0
39	BELA-SENCA	27.4.2007	368	3
39	BELA-SENCA	15.10.2008	905	14
39	BELA-SENCA	11.11.2009	1297	17
40	BELA	13.4.2006	-11	21
40	BELA	24.4.2006	0	0
40	BELA	27.4.2007	368	5
40	BELA	15.10.2008	905	16
40	BELA	11.11.2009	1297	24
41	BELA	13.4.2006	-11	19
41	BELA	24.4.2006	0	0
41	BELA	27.4.2007	368	5
41	BELA	15.10.2008	905	18
41	BELA	11.11.2009	1297	25
42	BELA	13.4.2006	-11	26
42	BELA	24.4.2006	0	0
42	BELA	27.4.2007	368	6
42	BELA	15.10.2008	905	25
42	BELA	11.11.2009	1297	37

Priloga B

Rezultati statističnih testov: Mreže pred čiščenjem 2006 na spodnjem nadstrešku

```
> pajki.pred<-subset(pajki, subset=Dan_opazovanja<0)

> numSummary(pajki.pred[, "Pajki_spodaj"], groups=pajki.pred$Pred_ciscenje
m,
+           statistics=c("mean", "sd", "quantiles"), quantiles=c(0,1))
      mean      sd 0% 100% data:n
BELA      25.50 4.536179 19   32    14
BELA-SENCA 14.75 2.434866 10   18     8

> t.test(Pajki_spodaj~ Pred_ciscenjem, alternative='two.sided',
+        conf.level=.95,
+        var.equal=TRUE, data=pajki.pred)

      Two Sample t-test

data:  Pajki_spodaj by Pred_ciscenjem
t = 6.1708, df = 20, p-value = 4.988e-06
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 7.116098 14.383902
sample estimates:
 mean in group BELA mean in group BELA-SENCA
           25.50           14.75
```

Priloga C

Rezultati statističnih testov: Mreže 368 dni po čiščenju (2007) na spodnjem nadstrešku

```
> pajki368<-subset(pajki, subset=Dan_opazovanja==368)

> leveneTest(Pajki_spodaj ~ Po_ciscenju, data=pajki368, center="median")
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = "median")
      Df F value Pr(>F)
group  3  0.3067 0.8202
      18

> AnovaModel.1 <- aov(Pajki_spodaj ~ Po_ciscenju, data=pajki368)

> summary(AnovaModel.1)
              Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
Po_ciscenju  3  41.13   13.71   6.958 0.00263 **
Residuals   18  35.46    1.97
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> HSD.test(AnovaModel.1, "Po_ciscenju", console=TRUE,
+          main="Dan=368" )

Study: Dan=368

HSD Test for Pajki_spodaj

Mean Square Error:  1.970238

Po_ciscenju, means

      Pajki_spodaj      std r Min Max
BELA      4.857143  1.069045  7   3   6
BELA-SENCA 2.750000  1.707825  4   1   5
Na         4.857143  1.573592  7   2   7
Na-SENCA   1.500000  1.290994  4   0   3

alpha: 0.05 ; Df Error: 18
Critical Value of Studentized Range: 3.996978

Harmonic Mean of Cell Sizes  5.090909
Honestly Significant Difference: 2.486528

Means with the same letter are not significantly different.

Groups, Treatments and means
a      BELA      4.857
a      Na       4.857
ab     BELA-SENCA 2.75
b      Na-SENCA  1.5
```


Priloga D

Rezultati statističnih testov: Mreže 905 dni po čiščenju (2008) na spodnjem nadstrešku

```
> pajki905<-subset(pajki, subset=Dan_opazovanja==905)

> leveneTest(Pajki_spodaj ~ Po_ciscenju, data=pajki905, center="median")
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = "median")
      Df F value Pr(>F)
group  3  1.5939 0.2258
      18

> AnovaModel.2 <- aov(Pajki_spodaj ~ Po_ciscenju, data=pajki905)

> summary(AnovaModel.2)
              Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Po_ciscenju   3  559.0  186.34   16.09 2.46e-05 ***
Residuals    18  208.4   11.58
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> HSD.test(AnovaModel.2, "Po_ciscenju", console=TRUE,
+          main="Dan=905" )

Study: Dan=905

HSD Test for Pajki_spodaj

Mean Square Error:  11.57937

Po_ciscenju,  means

      Pajki_spodaj      std r Min Max
BELA          16.28571  4.5355737 7  11  25
BELA-SENCA     7.00000  4.8304589 4   3  14
Na              8.00000  1.5275252 7   6  10
Na-SENCA        2.50000  0.5773503 4   2   3

alpha: 0.05 ; Df Error: 18
Critical Value of Studentized Range: 3.996978

Harmonic Mean of Cell Sizes  5.090909
Honestly Significant Difference: 6.028044

Means with the same letter are not significantly different.

Groups, Treatments and means
a      BELA          16.29
b      Na            8
b      BELA-SENCA    7
b      Na-SENCA      2.5
```

Priloga E

Rezultati statističnih testov: Mreže 1297 dni po čiščenju (2009) na spodnjem nadstrešku

```
> pajki1297<-subset(pajki, subset=Dan_opazovanja==1297)

> leveneTest(Pajki_spodaj ~ Po_ciscenju, data=pajki1297, center="median")
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = "median")
      Df F value Pr(>F)
group  3  1.3303 0.2956
      18

> AnovaModel.3 <- aov(Pajki_spodaj ~ Po_ciscenju, data=pajki1297)

> summary(AnovaModel.3)
              Df Sum Sq Mean Sq F value  Pr(>F)
Po_ciscenju   3  997.4   332.5   11.99 0.00015 ***
Residuals    18  499.1    27.7
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> HSD.test(AnovaModel.3, "Po_ciscenju", console=TRUE,
+          main="Dan=1297" )

Study: Dan=1297

HSD Test for Pajki_spodaj

Mean Square Error: 27.73016

Po_ciscenju, means

      Pajki_spodaj      std r Min Max
BELA          22.42857 7.502381 7  15  37
BELA-SENCA     9.00000 5.416026 4   5  17
Na             13.71429 3.352327 7  10  20
Na-SENCA       4.00000 1.414214 4   3   6

alpha: 0.05 ; Df Error: 18
Critical Value of Studentized Range: 3.996978

Harmonic Mean of Cell Sizes 5.090909
Honestly Significant Difference: 9.328466

Means with the same letter are not significantly different.

Groups, Treatments and means
a      BELA          22.43
b      Na           13.71
bc     BELA-SENCA    9
c      Na-SENCA     4
```

Priloga F

Rezultati statističnih testov: Mreže pred čiščenjem 2006 na zgornjem nadstrešku

```
> pajkizg.pred<-subset(pajkizg, subset=Dan_opazovanja<0)

> summary(pajkizg.pred)
  Prekat      Sistem      Datum      Dan_opazovanja      Pajki_zgoraj
Min.   : 1.00   BELA:22   11.11.2009: 0   Min.   : -11   Min.   :38.00
1st Qu.: 6.25   Na  : 0     13.4.2006 :22   1st Qu.: -11   1st Qu.:45.25
Median :21.50                15.10.2008: 0   Median : -11   Median :52.00
Mean   :21.50                24.4.2006 : 0   Mean   : -11   Mean   :54.27
3rd Qu.:36.75                27.4.2007 : 0   3rd Qu.: -11   3rd Qu.:64.75
Max.   :42.00                                Max.   : -11   Max.   :70.00

> numSummary(pajkizg.pred[, "Pajki_zgoraj"], groups=pajkizg.pred$Sistem,
+            statistics=c("mean", "sd", "quantiles"), quantiles=c(0,1))
  mean      sd 0% 100%  n
54.27273 10.57932 38   70 22

> with(pajkizg.pred, (t.test(Pajki_zgoraj, alternative='two.sided', mu=0.
0,
+                            conf.level=.95)))

      One Sample t-test

data:  Pajki_zgoraj
t = 24.062, df = 21, p-value < 2.2e-16
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 49.58212 58.96334
sample estimates:
mean of x
 54.27273
```

Priloga G

Rezultati statističnih testov: Mreže 368 dni po čiščenju (2007) na zgornjem nadstrešku

```
> pajkizg368<-subset(pajkizg, subset=Dan_opazovanja==368)

> numSummary(pajkizg368[, "Pajki_zgoraj"], groups=pajkizg368$Sistem,
+           statistics=c("mean", "sd", "quantiles"), quantiles=c(0,1))
      mean      sd 0% 100% data:n
BELA 10.000000 2.898275  6   16    11
Na    6.727273 2.053821  4   10    11

> t.test(Pajki_zgoraj~ Sistem, alternative='two.sided',
+        conf.level=.95,
+        var.equal=TRUE, data=pajkizg368)

Two Sample t-test

data:  Pajki_zgoraj by Sistem
t = 3.0557, df = 20, p-value = 0.006241
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 1.038596 5.506859
sample estimates:
mean in group BELA    mean in group Na
      10.000000         6.727273
```

Priloga H

Rezultati statističnih testov: Mreže 905 dan po čiščenju (2008) na zgornjem nadstrešku

```
> pajkizg905<-subset(pajkizg, subset=Dan_opazovanja==905)

> numSummary(pajkizg905[, "Pajki_zgoraj"], groups=pajkizg905$Sistem,
+           statistics=c("mean", "sd", "quantiles"), quantiles=c(0,1))
      mean      sd 0% 100% data:n
BELA 25.27273 6.182086 15   34    11
Na   14.72727 2.611165 11   19    11

> t.test(Pajki_zgoraj~ Sistem, alternative='two.sided',
+        conf.level=.95,
+        var.equal=TRUE, data=pajkizg905)

      Two Sample t-test

data:  Pajki_zgoraj by Sistem
t = 5.2117, df = 20, p-value = 4.233e-05
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 6.324681 14.766228
sample estimates:
mean in group BELA    mean in group Na
      25.27273           14.72727
```

Priloga I

Rezultati statističnih testov: Mreže 1297 dan po čiščenju (2009) na zgornjem nadstrešku

```
> pajkizg1297<-subset(pajkizg, subset=Dan_opazovanja==1297)

> numSummary(pajkizg1297[, "Pajki_zgoraj"], groups=pajkizg1297$Sistem,
+           statistics=c("mean", "sd", "quantiles"), quantiles=c(0,1))
      mean      sd 0% 100% data:n
BELA 33.09091 5.088311 22  40    11
Na    21.63636 4.006812 15  28    11

> t.test(Pajki_zgoraj~ Sistem, alternative='two.sided',
+        conf.level=.95,
+        var.equal=TRUE, data=pajkizg1297)

Two Sample t-test

data:  Pajki_zgoraj by Sistem
t = 5.8659, df = 20, p-value = 9.734e-06
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 7.381185 15.527906
sample estimates:
mean in group BELA    mean in group Na
      33.09091          21.63636
```