

# **Inteligentni sistem za avtomatizacijo in nadzor motoriziranih zunanjih žaluzij**

**Matic Metelko**

**Mentor:izr. prof. dr. Gregor Klančar**

**Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana  
matic.metelko@gmail.com, gregor.klancar@fe.uni-lj.si**

## ***Intelligent system for automation and remote control of an external venetian blinds***

Due to the user's improper operation of external venetian blinds, there is a loss of potential energy savings and negative impact on resident comfort. In this article the essential parts of the project are shown which purpose was to develop an automatic shading system and remote control of external venetian blinds. Presented sections include logic for automated movement of blinds, building blind model and automatic shading logic that include information like temperature, light and sun position. In the second part of an article a communication between Arduino and web browser is presented, and also a web application running in real-time due to the use of WebSocket technology is described. The server that hosts a web page and that enables the mentioned technology is implemented on the microcontroller Arduino.

The result of work is a fully automatic shading system with ability to be monitored, configured and controlled remotely.

## ***Kratek pregled prispevka***

Zaradi neustreznega upravljanja motoriziranih zunanjih žaluzij uporabnikov, se izgublja potencialni prihranek energije, ter hkratno se ustvarja neugoden vpliv na udobje stanovalcev. V prispevku so predstavljeni bistveni deli diplomskega dela, katerega namen je bil razvoj sistema za avtomatsko senčenje in daljinsko upravljanje zunanjih motoriziranih žaluzij. Predstavljeni so posamezni sklopi, ki zajemajo metodo avtomatskega pomikanja žaluzij, izgradnjo modela žaluzij in avtomatsko senčenje glede na podatke senzorjev in položaj sonca. V drugem delu je predstavljena komunikacija med Arduinom in spletnim brskalnikom, ter spletna uporabniška aplikacija delujoča v realnem času po zaslugi tehnologije WebSocket. Strežnik, ki gosti spletno stran in ki omogoča omenjeno tehnologijo je v celoti implementiran na mikrokontrolerju Arduino.

Rezultat dela je avtomatiziran sistem senčenja z nadzorom, konfiguracijo in upravljanjem na daljavo.

## 1 Uvod

Dnevna svetloba je pomemben vir energije v stavbah. Primerna količina dnevne svetlobe v stavbah izboljšuje vizualni komfort in zmanjšuje porabo energije v stavbah. Beneške žaluzije, kot vrsta pogosteje uporabljenih senčnih sistemov se na široko uporabljajo za upravljanje svetlobe in temperature v stavbah, prav tako pa vplivajo na razgled in nam nudijo željen nivo zasebnost. Učinkovito delovanje žaluzij vpliva na porabo energije z vidika umetne razsvetljave in HVAC sistemov, hkrati pa vpliva tudi ugodje stanovalcev.

Kljub vsem prednostim, ki nam jih omogočajo zunanja senčila pa obstaja velika negotovost nad tem kako stanovalci uporabljajo oziroma operirajo s senčili. Po nedavni študiji [1], stanovalci le redko spreminjajo položaj ročnih ali motoriziranih žaluzij, oz. jih navadno ne spreminjajo prej kot tedensko ali mesečno, v nekaterih primerih pa tudi nikoli. V največ primerih stanovalci spremeni položaj senčil šele takrat, ko je deležen vizualnega neugodja. Ta trenutek je običajno takrat, ko so avtomatski ogrevalni in hladilni sistemi že v območju polne obremenitve.

Na podlagi teh podatkov vidimo, da je položaj žaluzij večina časa takšen, da lamele žaluzij ne delujejo optimalno oz. lahko v določenih primerih delujejo celo povsem negativno v smislu energetske varčnosti.

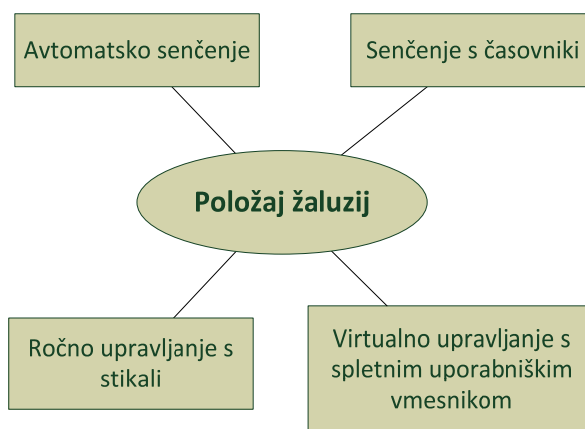
Ker ročno operiranje nad senčnimi sistemi ne daje ustreznih rezultatov in zaradi teženj po čim boljših energetskih učinkovitosti, se smernice vse bolj nagibajo k razvoju avtomatskih senčnih in z njimi tesno povezanih zatemnitvenih sistemov. Ko govorimo o trajnostnih rešitvah moramo pogledati tudi čez rob varčevanj z energijami in upoštevati dejavnike delovnih okolij, ki vključujejo bleščanje, pogled čez okno in zasebnost. Kompleksnost in stalno spreminjajoča se narava dnevne svetlobe zahteva dinamične rešitve, ki simultano optimizirajo vse omenjene faktorje.

## 2 Pregled funkcionalnosti celotnega sistema

V diplomskem delu je bila izvedena relativno enostavna implementacija sicer kompleksnega sistema avtomatskega senčenja, ter spletni dostop do sistema za konfiguracijo, upravljanje in nadzor nad senčnim sistemom. Celoten sistem bazira na preprostem mikrokrmilniku Arduino Mega 2560.

Zaradi spreminjajočih se vremenskih razmer in stalno spreminjajoče se narave dnevne svetlobe, se za ustrezno avtomatizacijo uporabijo podatki kot so položaj sonca in orientacija oken na katerih so nameščena senčila. Dodatno se z uporabo senzorjev pridobivajo podatki o zunanji temperaturi in osvetljenosti, ter notranji - sobni temperaturi.

Uporabnik ima še vedno na voljo ročno upravljanje žaluzij s stenskimi stikali nameščenimi znotraj objekta, ki začasno prekinejo avtomatsko delovanje posamezne žaluzije (v kolikor je aktivno) do naslednjega dne. V primeru, da povsem avtomatsko delovanje ni zaželeno, se lahko ta funkcionalnost popolnoma izključi za vsako žaluzijo posebej. Hkrati pa ima uporabnik na voljo delovanje žaluzij preko nastavljivih časovnikov, ki omogočajo dodatno funkcionalnost pri žaluzijah, ki so uporabljane v specifičnih situacijah.



Slika 1: Prikaz metod, ki imajo vpliv na položaj žaluzij.

Vsa konfiguracija, nadzor in upravljanje žaluzij poteka preko spletnega uporabniškega vmesnika, ki deluje v realnem času. To pomeni, da ima uporabnik možnost upravljanja žaluzij s podajanjem referenčnih položajev žaluzij in z virtualnimi tipkami delujočimi na enak način kot fizična stikala nameščena v objektu. Zaradi delovanja aplikacije v realnem času je možno upravljanje žaluzij z neposredno povratno informacijo o položaju žaluzij.

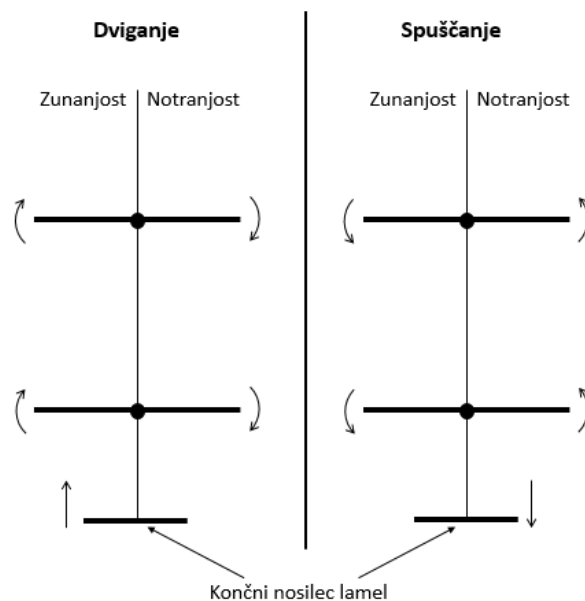
Na mikrokontrolerju Arduino je implementiran spletni strežnik, ki gosti spletno stran dostopno vsem uporabnikom znotraj lokalnega omrežja. Z ustreznimi nastavitvami je možen tudi dostop preko svetovnega spleta, vendar bi takšna uporaba zahtevala določen nivo varnosti, ki pa trenutno še ni vzpostavljen. Delovanje v realnem času nam omogoča WebSocket protokol (poglavje 7.1), ki ga omogočata Arduino kot strežnik in spletni brskalnik kot odjemalec. Več o sami komunikaciji je zapisano v poglavju 7.

### 3 Avtomatizacija pomikanja žaluzij

#### 3.1 Delovanje motoriziranih žaluzij

Pogon žaluzij se suče v dve smeri. Torej lahko ali navija ali odvijaja nosilne niti žaluzije. Hkrati pa pogon z navijanjem in odvijanjem vpliva na kot lamel preko stranskih vrvic, ki povezujejo vsako lamelo. Višina žaluzij ter kot lamel sta medsebojno odvisna.

Ob pomikanju žaluzij navzgor se lamele pomikajo proti orientaciji, kjer so lamele orientirane skrajno navznoter. Ob dosegu skrajnega položaja lamela obstane, kljub temu, da pogon žaluzijo še vedno dviguje. Šele ob spremembi smeri pogona, se prične kot lamel zopet pomikati- tokrat v obratni smeri. Postopek je ob pomikanju žaluzij navzdol obraten.

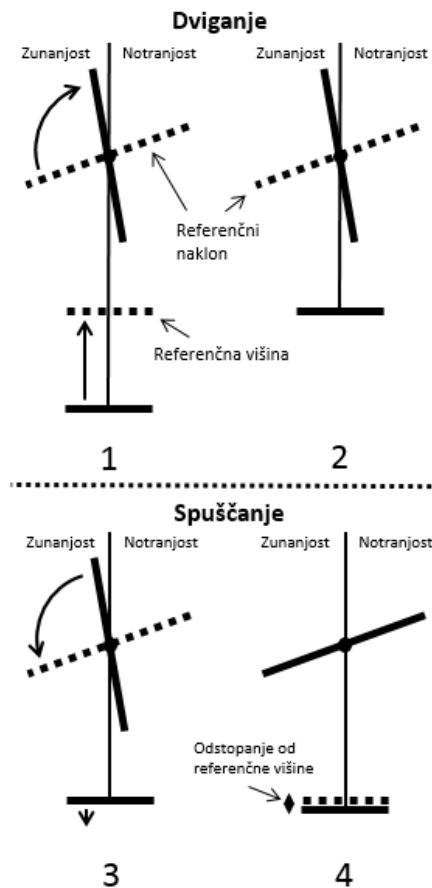


Slika 2: Obračanje lamel z dviganjem in spuščanjem žaluzij.

Iz delovanja žaluzij je razvidno, da so lamele v skrajno spodnjem položaju žaluzij vedno orientirane navzven. Žaluzija se mora pomakniti malenkost navzgor, v primeru, da bi hotela doseči vodoravni položaj. Po teoriji sodeč, bi bila orientacija lamel v povsem zgornjem položaju žaluzij skrajno navznoter. Vendar so te v realnosti postavljene v vodoravnem položaju zaradi zgoščenih lamel, ki se ob dvigovanju žaluzij zlagajo ena na drugo.

#### 3.2 Doseganje referenčnega položaja v avtomatskem delovanju

V avtomatskem delovanju žaluzija dosega nastavljen referenčni položaj sestavljen iz kota lamel in višine žaluzij. Pomembno je, da se ob novi nastavljeni referenci vedno najprej ugodi referenčni višini in šele nato referenčnemu kotu lamel. Primer doseganja referenčnega položaja je prikazan na sliki 4.3.



Slika 3: Primer doseganja referenčnega položaja.

Ob nastavitvi referenčnega kota lamel se žaluzija izmakne iz referenčne višine, zaradi opisanih povezav v poglavju 3.1. To bi sicer lahko izničili, vendar ob zelo velikem razmerju spreminjanja kota lamel v primerjavi s spreminjanjem višine žaluzij, to ni potrebno. Odstopanje, ki nastane zaradi doseganja referenčnega kota je namreč minimalno in ne vpliva na avtomatizacijo žaluzij.

#### 4 Model žaluzij

Da avtomatskem senčenju omogočimo polno funkcionalnost potrebujemo podatke o samem položaju žaluzij. Ta podatek lahko zagotovimo z izbiro motornih pogonov žaluzij višjega cenovnega razreda, ki preko enkoderja sporoča položaj žaluzije. Prednost tako pridobljenega položaja je verodostojnost in natančnost podatkov. Alternativna izvedba, ki je bila uporabljena v diplomskem delu je metoda, ki podatke o položaju žaluzij pridobiva z uporabo

preprostega časovnega modela žaluzij. Tako lahko enostavno nadgradimo že obstoječe motorizirane žaluzije. Natančnost podatkov o položaju je pogojena z natančnostjo samega modela in njegovih parametrov.

Za ustrezno delovanje potreben natančen in hkrati enostaven oz. optimiziran model do te mere, da ga je mogoče ustrezno uporabiti na mikrokrmilniku Arduino.

Model implementiran na Arduino, je preprost časovni model, ki bazira na času trajanja aktivnih pogonov žaluzij ter na konstantah oz. parametrih, ki jih priskrbi uporabnik. Ti podatki so: čas trajanja celotnega dviganja, čas celotnega spuščanja žaluzij in čas potreben, da kot lamel orientiran skrajno navzven doseže vodoravno lego.

Ob minimalni poenostavitvi lahko privzamemo, da se žaluzije ob pomikanju navzgor in navzdol pomikajo z enakomerno hitrostjo. Zatorej je višina premosorazmerna času. Enačbe (1), (2), (3) prikazujejo izračun položaja žaluzij glede na stanje pogonov žaluzij:

- pogon žaluzij izklopljen:

$$y_i = y_{i-1} \quad (1)$$

- pogon je vklopljen v smeri pomikanja navzgor:

$$y(t) = \frac{t - t_1}{T_G} + y_1 \quad (2)$$

- pogon je vklopljen v smeri pomikanja navzdol:

$$y(t) = -\frac{t - t_1}{T_D} + y_1 \quad (3)$$

Kjer spremenljivke in parametri pomenijo:

- $y$ : delež dosežene višine
- $t$ : čas
- $t_1$ : čas ob zadnjem vklopu pogona žaluzije
- $y_1$ : delež dosežene višine ob času zadnjega vklopa pogona

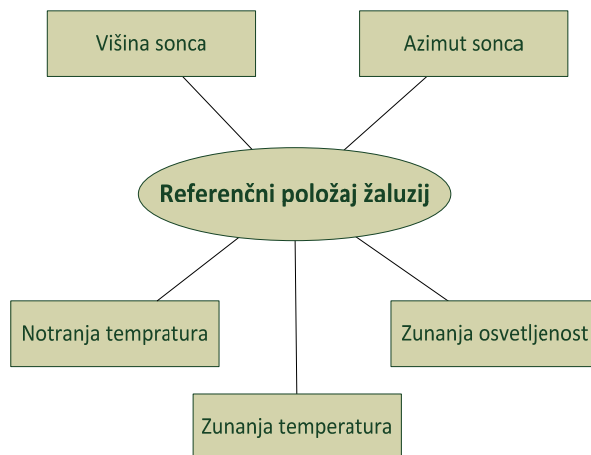
- $T_G$ : potreben čas za pomik žaluzije skrajno gor
- $T_D$ : potreben čas za pomik žaluzije skrajno dol

V primeru izklopljenega pogona žaluzij je enačba (1) zapisana v iteracijski obliki in ponazarja, da se vrednost položaja ohranja. Enačbe so sicer za implementacijo na Arduino potrebne modifikacij, kjer se zaobide računanje enačb s plavajočo vejico (angl. floating point). Te potekajo do 40-krat počasneje kot računanje s celimi (angl. integer) števili.

Enačbe za izračun kota lamel izhajajo iz samega deleža dosežene višine –  $y$  izračunanega v enačbah (1), (2), (3). V osnovi enačbe glede na smer gibanja žaluzij odštevajo oz. prištevajo spremembo deleža dosežene višine, dokler vrednost ne doseže svoje maksimalne oz. minimalne vrednosti. Ta vrednost je definirana glede na potreben čas lamele, da doseže vodoraven položaj iz začetne orientacije skrajno navzven.

## 5 Avtomatsko senčenje

Pri avtomatskem senčenju je potrebno upoštevati več faktorjev. Potrebno je težiti k čim boljšem energetskemu izkoristku in hkrati zagotavljati čim boljši vizualni vpliv na stanovalce. Boljši rezultati v energetskem smislu pomenijo, da je prostor potrebno senčiti ob previsoki temperaturi. S tem zmanjšujemo potencialno energetsko porabo HVAC sistemov. Ob tem je potrebno biti pazljiv, da se prostora ne zatemni preveč kot je potrebno. V temnem prostoru se namreč poveča poraba energije za razsvetljavo. V energetskem smislu je prav tako potrebno izkoristiti dnevno svetlobo kot vir toplotne energije v zimskih mesecih. Zopet pa je potrebno imeti v mislih še druge faktorje, kot so npr. vizualni vplivi (bleščanje).



Slika 4: Dejavniki vpliva na položaj žaluzij v načinu avtomatskega senčenja.

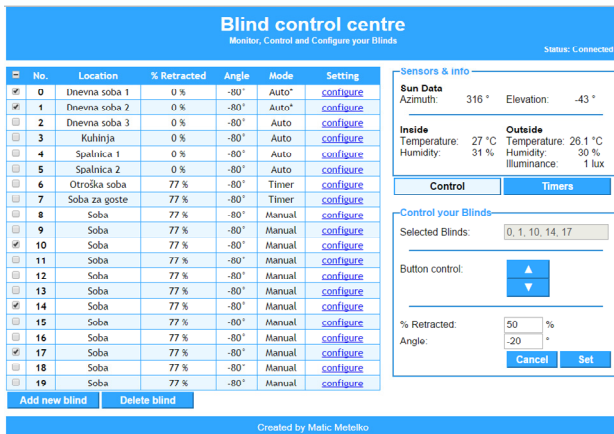
Sam vpliv na izračun referenčnega položaja je v grobem razdeljen na dva dela. Prvi del izhaja iz smotrne uporabe energije in se izračuna glede na faktor senčenja, ki upošteva, temperaturo zunaj, znotraj objekta, ter osvetljenost zunaj objekta.

Drugi del, ki vpliva na položaj lamel je vizualni vpliv na osebje, ki izhaja iz samega položaja sonca. Hkrati je upoštevan tudi zamik sonca glede na orientacijo okna. Tako npr. ob jutranjem soncu na vzhodu ni razloga za senčenje oken na zahodni strani hiše.

## 6 Uporabniški vmesnik

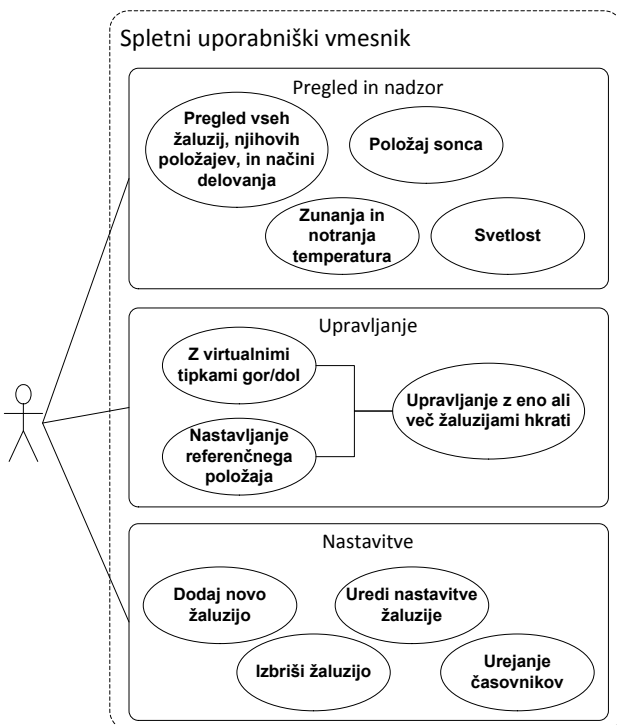
Vsa konfiguracija, nadzor in tudi upravljanje žaluzij poteka preko spletne aplikacije, ki deluje v realnem času. Na mikrokontrolerju Arduino je namreč dostopen spletni strežnik, ki gosti spletno stran dostopno vsem uporabnikom znotraj lokalnega omrežja. Z ustreznimi omrežnimi nastavitvami je možen tudi dostop preko svetovnega spleta. Takšna uporaba zahteva določen nivo varnosti, ki pa trenutno še ni dostopna.

Slika 5 prikazuje osnovni pogled uporabniškega vmesnika z odprtim obrazcem za upravljanje žaluzij.



Slika 5: Spletni uporabniški vmesnik.

Na sliki 6 je prikazan diagram uporabe, ki ga omogoča spletna aplikacija.



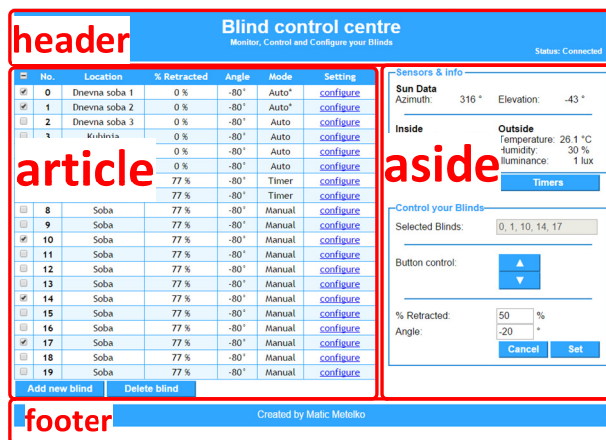
Slika 6: Diagram uporabe spletnega uporabniškega vmesnika.

## 6.1 Izdelava spletnega uporabniškega vmesnika

Spletna stran uporabljena kot uporabniški vmesnik za nadzor, upravljanje in konfiguracijo celotnega sistema se hrani na SD kartici, nameščeni na omrežnem modulu sistema Arduino.

Osnovna postavitev spletne strani uporablja strukturo definirano z novim standardom

označevalnega jezika HTML5, pri čemer zaradi svoje enostavnosti ne vsebuje elementa <nav> in <section> (slika 8.8).



Slika 7: Postavitev HTML5 elementov v spletni aplikaciji.

## 7 Komunikacija med strežnikom in odjemalcem

### 7.1 WebSocket

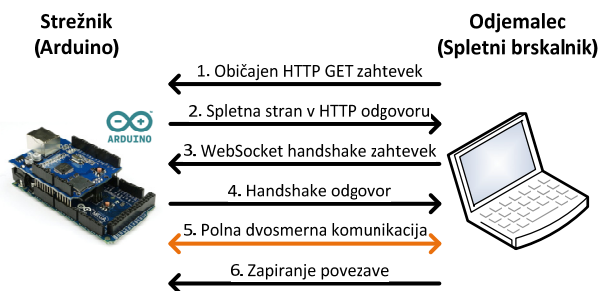
WebSocket protokol omogoča polno dvosmerno povezavo (angl. full-duplex) med odjemalcem in strežnikom po eni TCP povezavi. Protokol je bil standardiziran leta 2011. Tehnologija uporablja HTTP protokol le za vzpostavitev povezave, ki je natančneje nadgraditev protokola HTTP v protokol WebSocket. Postopek nadgraditve se imenuje rokovanje (angl. Handshake) [6].

WebSocket protokol predstavlja novo tehnologijo na področju spletnih aplikacij, ki delujejo v realnem času. V preteklosti so se za simulacijo delovanja v realnem času, uporabljale metode, ki so uporabljale različne trike na osnovi izmenično enosmerne HTTP protokola. To so znane metode kot so: povpraševanje (angl. polling), dolgo povpraševanje (angl. long-polling) ter pretok (angl. streaming). Vse metode vključujejo glave (angl. headers) HTTP zahtevkov in odgovorov, ki vključujejo veliko dodatnih, nepotrebnih informacij in rezultirajo v latentnost komunikacije.

Slaba lastnost novega protokola je nekompatibilnost za nazaj, kar pomeni, da protokol ni podprt na starejših različicah spletnih brskalnikov.

## 7.2 Izvedba komunikacije

V diplomskem delu lahko celoten potek komunikacije med strežnikom in odjemalcem opišemo s sliko 8.



Slika 8: Komunikacija med Arduino in spletnim brskalnikom

Bolj natančen pomen posameznih korakov:

1. Odjemalec (spletni brskalnik) pošlje strežniku (Arduinu) standardni HTTP zahtevek za spletno stran.

2. Arduino razpozna tip prejetega zahtevka in pošlje spletno shranjeno na SD kartici v HTTP odgovoru.

3. Brskalnik izvede JavaScript kodo zapisano v prejeti spletni strani in pošlje WebSocket handshake zahtevek Arduinu.

4. Arduino razpozna WebSocket handshake zahtevek in pošlje handshake odgovor

5. Komunikacija z WebSocket protokolom in namensko definiranimi sporočili JSON strukture.

6. Tako strežnik, kot tudi odjemalec imata možnost prekinitve povezave, toda ob trenutnih zahtevah ni razloga, da se povezave prekine prej kot v primeru zaprtja okna spletnega brskalnika.

## 8 Zaključek

Tekom diplomskega dela smo torej pokazali, kako je mogoče relativno kompleksen sistem

avtomatskega senčenja in upravljanje sistema na daljavo na enostaven način izvesti na osnovi mikrokrmilnika Arduino Mega 2560.

Trenutna izvedba avtomatskega senčenja postavlja dobro osnovo, ki pa bi bila potrebna optimizacije parametrov avtomatskega senčenja. Sedanji parametri so namreč zasnovani po lastni presoji in ne na podlagi meritev ali simulacij.

Sistem, zaradi preobsežnega dela prav tako še ni bil deležen preizkusa na realnih žaluzijah. Možna omejitev, ki bi lahko vplivala na delovanje sistema je časovni model žaluzij, ki bi potencialno lahko preveč odstopal od realnih žaluzij.

Kot izboljšava povsem zmožne realizacije, je dostop do uporabniškega vmesnika preko svetovnega spleta, kar trenutno preprečuje še ne vzpostavljen nivo varnosti.

## 9 Literatura

- [1] W. O'Brien, K. Kapsis, A. K. Athienitis, Manually-Operated Windows Shade Patterns in Office Buildings: A Critical Review. *Building and Environment*, vol. 60, str. 319-338, 2013.
- [2] G.R. Newsham, S. Mancini, The potential for demand-responsive lighting in non-daylit offices. *Leukos*, vol.3, no. 2, str. 105-120, 2006.
- [3] J. Hu, S. Olbina, Illuminance-based slat angle selection model for automated control of split blinds. *Building and Environment*, vol. 46, no. 3, str. 786-796, 2011.
- [4] M. Kanellis, *Multi-criteria control for roller shades: A simulation-based assessment*, MSc Thesis, Eindhoven University of Technology, 2013. Dosegljivo na: [http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/team/past/master/Kanellis\\_2013.pdf](http://www.bwk.tue.nl/bps/hensen/team/past/master/Kanellis_2013.pdf). [Dostopano: 6.3.2015]
- [5] N. Pantano, *Real-Time Operating System on Arduino*, 2012. Dosegljivo na: <http://pdf.tutorial6.com/r/real-time-operating-system-on-arduino-w1174.html>. [Dostopano: 6.3.2015]
- [6] M. Ubl, E. Kitamura, *Introducing WebSockets: Bringing Sockets to the Web. HTML5 Rocks*. Dosegljivo na: <http://www.html5rocks.com/en/tutorials/websockets/basics>. [Dostopano: 6.3.2015]
- [7] Z. Kessin, *Programming HTML5 Applications*, O'Reilly Media, 2011.