

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKO

Denis Zajc

Avtomatsko vodenje zunanjih senčil

DIPLOMSKO DELO

VISOKOŠOLSKI STROKOVNI ŠTUDIJSKI PROGRAM
RAČUNALNIŠTVO IN INFORMATIKA

MENTOR: izr. prof. dr. Uroš Lotrič

Ljubljana 2013



Št. naloge: 00385/2013

Datum: 02.04.2013

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko izdaja naslednjo nalogo:

Kandidat: **DENIS ZAJC**

Naslov: **AVTOMATSKO VODENJE ZUNANJIH SENČIL**
AUTOMATIC CONTROL OF EXTERNAL BLINDS

Vrsta naloge: Diplomsko delo visokošolskega strokovnega študija prve stopnje

Tematika naloge:

Zunanja senčila omogočajo delno zatemnitev prostorov in zaščito pred neposrednimi sončnimi žarki. Delež prepuščenega svetlobnega toka lahko uravnavamo s spreminjanjem naklonskega kota lamel. V delu predlagajte programsko rešitev za avtomatsko vodenje zunanjih senčil, ki z upoštevanjem lege objekta, položaja senčenih površin, poti Sonca in letnega časa optimizira bivalno udobje in energijsko učinkovitost objekta.

Mentor:


izr. prof. dr. Uroš Lotrič



Dekan:


prof. dr. Nikolaj Zimic

Rezultati diplomskega dela so intelektualna lastnina avtorja in Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. Za objavlanje ali izkoriščanje rezultatov diplomskega dela je potrebno pisno soglasje avtorja, Fakultete za računalništvo in informatiko ter mentorja.

Besedilo je oblikovano z urejevalnikom besedil \LaTeX .

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Spodaj podpisani Denis Zajc, z vpisno številko **63060389**, sem avtor diplomskega dela z naslovom:

Avtomatsko vodenje zunanjih senčil

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- sem diplomsko delo izdelal samostojno pod mentorstvom izr. prof. dr. Uroš Lotrič,
- so elektronska oblika diplomskega dela, naslov (slov., angl.), povzetek (slov., angl.) ter ključne besede (slov., angl.) identični s tiskano obliko diplomskega dela
- soglašam z javno objavo elektronske oblike diplomskega dela v zbirki "Dela FRI".

V Ljubljani, dne 12. julij 2013

Podpis avtorja:

Rad bi se zahvalil svoji družini za dolgoletno podporo pri šolanju, svojemu dekletu Martini za spodbudne besede ob koncu študija ter se iskreno zahvaljujem mentorjuizr. prof. dr. Urošu Lotriču za koristne nasvete ter pomoč pri izdelavi diplomske naloge.

Moji Martinčici.

Kazalo

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

Povzetek

Abstract

1	Uvod	1
2	Senčila	5
2.1	Zunanje žaluzije	6
3	Energijska učinkovitost in ugodje	11
4	Vpadni kot sončnih žarkov in kot sončne višine	15
4.1	Sončni vzhod in zahod	18
4.2	Zora in mrak	18
4.3	Poletni in zimski čas	20
4.4	Vpadni kot in kot sončne višine na primeru	21
5	Strojna in programska oprema	23
6	Vodenje žaluzij	25
6.1	Vodenje senčil	25
6.2	Uporabniški vmesnik	31
6.3	Simulator	32

7	Zaključek	35
A	Izpeljave uporabljenih kotov	37
A.1	Urni kot ω	37
A.2	Deklinacija δ	39
A.3	Zemljepisna širina ϕ	39
A.4	Koti višine Sonca, zenita in azimuta	40
A.5	Vpadni kot θ	46
A.6	Enačba urinega kota sončnega vzhoda in urinega kota sončnega zahoda	47

Seznam uporabljenih kratic in simbolov

SCL strukturiran tekst

LAD lestvični diagram

FB funkcijski bloki

OB organizacijski bloki

FC funkcije

DB podatkovni bloki

UDT uporabniško določeni tipi podatkov

STL seznam ukazov

PLK programibilni logični krmilniki

ϕ zemljepisna širina

δ deklinacija

β naklonski kot

γ azimut ploskve

ω urni kot

A sončni azimut

α višina Sonca

θ_z sončni zenit

ω_0 urni kot sončnega vzhoda/zahoda

KAZALO

Povzetek

V diplomski nalogi je obravnavano avtomatsko vodenje senčil na objektu. V njej je opisana metoda računanja vpadnega kota sončnih žarkov ter višine Sonca, ki sta pomembna za čim bolj optimalno vodenje senčil. Programska rešitev omogoča blokiranje ali lovljenje sončnih žarkov. Rešitev je izdelana na krmilniku Siemens serije S7-300 v programskih jezikih strukturiran tekst in lestvični diagrami. Simulirali smo delovanje senčil ter avtomatizirali njihovo vodenje. Izdelan je enostaven uporabniški vmesnik, ki prikazuje obnašanje senčil ter višino Sonca glede na objekt. V zaključku so opisane možne izboljšave in nadgradnje vodenja senčil. Dodana je priloga s podrobneje opisanimi koti, ki so potrebni za izračun vpadnega kota sončnih žarkov in višino Sonca.

Ključne besede: avtomatizacija senčil, višina Sonca, programabilni logični krmilnik.

Abstract

The thesis presents automatic control of window blinds on the facility. It describes methods for calculating the incidence angle and solar altitude, which are both important for the optimal control of blinds. The programme solution enables blocking or capturing of sun rays. The solution is developed on the Siemens series S7-300 controller with a structured control language and ladder logic. We simulated the operation of blinds and automatised their control. A basic user interface has been developed, which shows the behavior of blinds and height of the sun according to the facility. In the conclusion we describe possible improvements and upgrades of the system. The appendix of the thesis contains detailed information on the calculus of incidence angle and solar altitude.

Keywords: automation of blinds, solar altitude, programmable logic controller.

Poglavje 1

Uvod

Naš dom lahko postane »zelena zgradba«, ki nas spodbuja k bolj učinkoviti uporabi resursov, ki so nam na voljo [1]. Če uporabnik upošteva navodila za pravilno uporabo sistemov, ki so avtomatizirani, lahko to uporabniku omogoči manjšo porabo energije na primer električne, večji izkoristek naravnih virov in ponudi uporabniku lažji nadzor in uporabo doma. V nedavni študiji o avtomatizaciji doma je večina uporabnikov izrazila željo za sisteme ohranjanja energije pri vsakodnevnih aktivnostih, našli so na primer zmanjšanje toplote, ugašanje luči oziroma gospodinjskih aparatov in drugih naprav v objektu [1]. Trenutno se študije avtomatizacije osredotočajo na sisteme, kot so luči, alarmni sistemi, nadzor dostopa, ogrevanje in ohlajevanje, ne pa na male gospodinjske aparate. Predvidevamo, da bo v prihodnosti želja po povezavi vseh elektronskih naprav v stanovanjskem objektu še pomembnejša. Le te bodo povezane v skupne sisteme, ki bodo sicer zapletene procese in njihovo upravljanje, poskušale uporabniku poenostaviti. Pametne hiše je pogosto težko upravljati. Tehnološko strastni uporabniki, ki opremijo svoje domove z različnimi stopnjami nadzora, pogosto ugotovijo, da je nadzorni sistemi zapleten [1].

Avtomatizirani domači sistemi v pametnih hišah zagotavljajo dve vrsti nadzora [1]:

- nadzor uporabnikov (združevanje kontrol na nižji ravni v bolj območno specifične skupine) in
- nadzor na podlagi kontrol s temeljnimi pravili, kjer sistem sprejema odločitve (običajno temelji na časovnem urniku, na primer senčila ali programabilni termostat).

Po nedavni raziskavi [13], uporabniki v veliki večini uporabljajo sisteme, ki temeljijo na vsakodnevnih ponavljajočih se aktivnostih, kot je na primer programabilni termostat. Za uporabnika pa je termostatski vmesnik nestandarden in vselej zapleten, zato ga malo uporabnikov uspešno skonfigurira. Življenja večine ljudi so zapletena in ne predvidljiva, kar težko ovrednotimo v preprostem urniku, ki ga termostatski program zahteva [1].

Opažamo, da se vse več ljudi odloča za uporabo pametnih sistemov. Verjamemo, da je pomemben aspekt poleg enostavnosti uporabe tudi olajšanje življenja stanovalcev s poudarkom na prihranku energije, na primer električne. Zato bomo za nalogo poskušali izdelati čim bolj preprost in enostavno razumljiv ter uporabniku prijazen model upravljanja s senčili. Deloval bo s čim višjim izkoristkom sončne energije v zimskem času, v poletnem času pa bo odbijal sončno svetlobo in s tem onemogočil prekomerno segrevanje prostora. Na podlagi vse bolj pogoste rabe zunanjih senčil smo se odločili, da avtomatiziramo gibanje senčil. S sončno energijo bo mogoče dodatno ogrevati objekt oziroma izkoristiti svetlobo, za osvetljevanje prostorov v objektu in s tem privarčevati pri električni energiji.

V drugem poglavju bomo opisali senčila, osredotočili se bomo predvsem na zunanje žaluzije ter delovanje njihovih lamel. Sledi poglavje o energetske učinkovitosti in udobju, kjer smo opisali vplive sončne svetlobe za čim bolj ugodno bivanje. V poglavju 4. smo se spoznali z vpadnim kotom ter višino

Sonca, ki nam bosta koristila za čim bolj učinkovito opravljanje s senčili. Sledi opis strojne in programske opreme za izvedbo avtomatizacije in simulacije vodenja senčil. V zadnjem poglavju pa opišemo dele programske kode ter našo izvedbo za vodenje senčil. Dodana je priloga, v kateri so podrobneje opisani uporabljeni koti.

Poglavje 2

Senčila

Pomemben del steklenih površin na objektu so senčila, saj odlično zastirajo pogled v prostor, poleg tega so učinkovita zaščita pred morebitnimi nezaželenimi sončnimi žarki. Senčila lahko preprečujejo svetlobi in vročini, da bi preveč prehajali v prostor, njihova funkcija pa je tudi zmanjševanje uhajanja toplega zraka iz prostora.

Senčila lahko na kratko razdelimo na notranja senčila in zunanja senčila.

Notranja senčila omogočajo samo zaščito pred neposrednimi sončnimi žarki, ne morejo pa uporabnikov zaščititi pred vročino. Primeri notranjih senčil so: notranje žaluzije, plisne zavese, lamelne zavese, notranji roloji [3].

Zunanja senčila najpogosteje ločimo na rolete, žaluzije in fiksna senčila. Rolete omogočajo popolno kot tudi delno senčenje, poleg senčenja pa imajo tudi številne druge funkcije, kot so varnost, udobje ter zaščita. Pri roletah se izguba energije skozi steklene površine zmanjša tudi do 30 %.

Primeri rolet: predokenske vidne, predokenske podmete (primer prikazan na sliki 2.1), nadokenske, rolete z učinkom žaluzije [3].



Slika 2.1: Primer predokenskih podmetnih rolet na objektu [3].

2.1 Zunanje žaluzije

Zunanje žaluzije so pogost tip senčil in se vedno bolj upravljajo samodejno, kar olajša omejitve, ki jih ima ročno upravljanje. Avtomatizirane žaluzije morajo biti vodene tako, da se poveča korist dnevne svetlobe.

Avtomatizirane žaluzije lahko v celoti izkoristijo prednosti dnevne svetlobe, glede na trenutne zunanje sončne pogoje. S pametnim vodenjem avtomatiziranih žaluzij lahko maksimiziramo počutje uporabnika. Pozimi uporabnik želi prepustiti čim več svetlobe, v vročih poletnih dneh pa ji preprečiti vpad v notranjost stavbe.

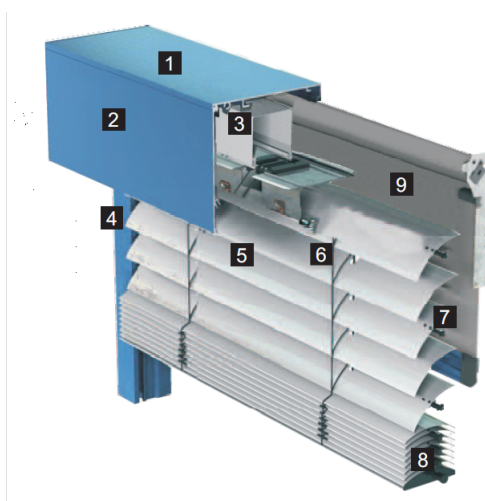
Da maksimiziramo počutje uporabnikov, mora sistem, kolikor se da, povečati pozitivne vplive svetlobe ob hkratnem zmanjšanju negativnih vplivov, kot je recimo neposredna sončna svetloba (bleščanje).

Zunanje žaluzije (primer zunanjih žaluzij prikazan na sliki 2.2) ne ponujajo enakih izolativnih sposobnosti kot rolete [7], omogočajo pa delno zatemnitev prostorov in zaščito pred neposrednimi sončnimi žarki.

S spreminjanjem naklonskega kota lamel lahko uravnavamo količino vpadne svetlobe. Kot lamel, ki jih uravnavamo izračunamo s pomočjo vpadnega kota sončnih žarkov in višine Sonca, opisanih v poglavju 4.



Slika 2.2: Primer zunanjih žaluzij na objektu [3].



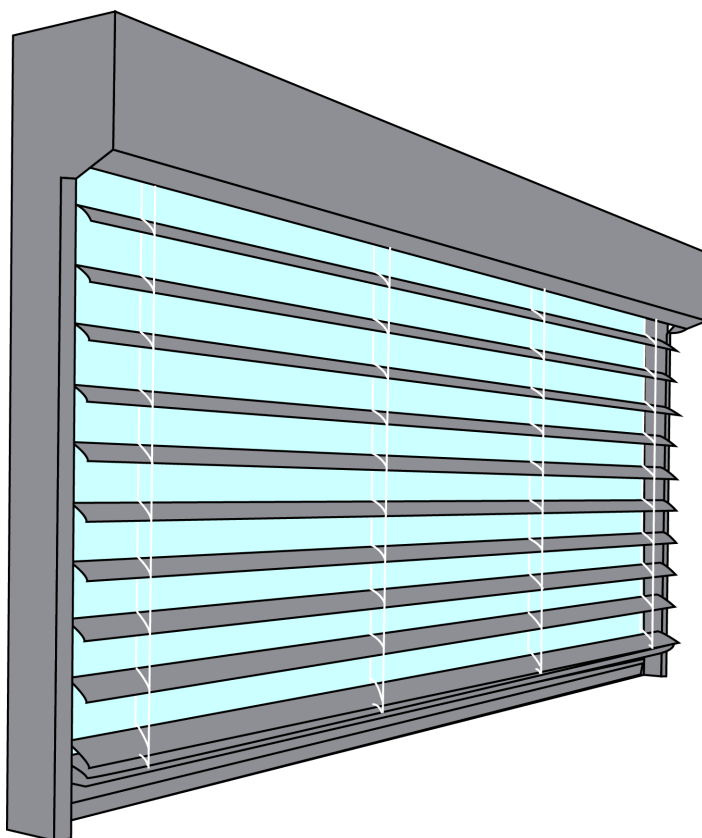
Slika 2.3: Prikaz sestave predokenske žaluzije [9].

Enega od načinov, kako so zgrajene zunanje žaluzije prikazuje slika 2.5. Prikazane so pred okenske zunanje žaluzije, z dodatkom komarnika, ki jih sestavljajo:

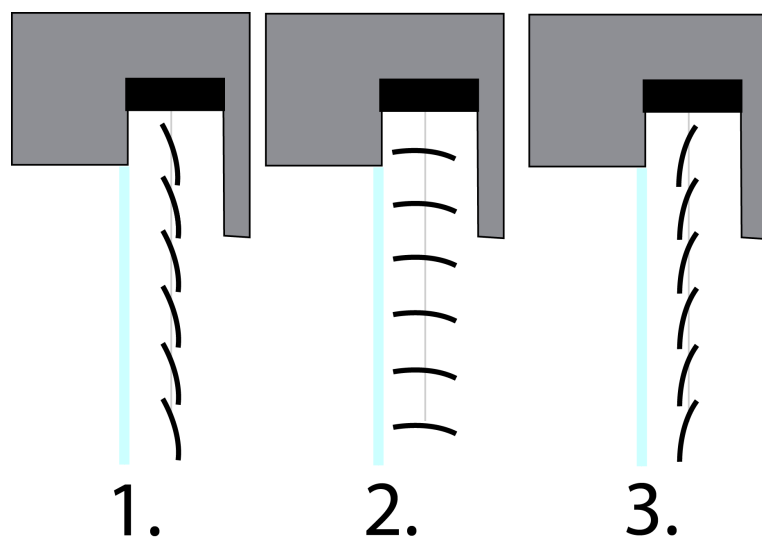
1. zgornji del omarice iz aluminija,
2. maska,
3. nosilni del žaluzije,
4. vodila iz aluminija,
5. lamele,
6. nosilne lojtrice,
7. vodnik za vodila,
8. zaključna lamela in
9. integrirani komarnik [9].

Delovanje žaluzij najlažje opišemo kar s primerom. Recimo, da so lamele v spodnjem položaju kot prikazuje slika 2.4, lamele želimo dvigniti s pritiskom na tipko za dvig. Lamela se obrne do položaja 3 prikazanega na sliki 2.5 in šele, ko se lamele zavrtijo do končnega položaja (to je kot lamel 180°) se začnejo dvigovati. Pri spuščanju lamel, se naredi ravno obratno, lamele se obrnejo do spodnjega položaja (to je kot lamel 0°), nato pa se lamele začnejo spuščati.

Ob avtomatskem načinu upravljanja žaluzij, dvigovanje in spuščanje lamel deluje enako kot pri ročnem upravljanju, le da se ob ustavitvi lamel na določeni višini, le te zavrtijo za kot, ki je določen v avtomatskem načinu.



Slika 2.4: Primer žaluzij z lamelami v spodnjem položaju z naklonom lamel.



Slika 2.5: Prikaz različnih položajev (kotov) lamel. 1. prikaz spodnjega položaja lamel (0°), 2. sredinski položaj lamel (90°) in 3. zgornji položaj lamel (180°).

Predlagani avtomatski sistem za vodenje žaluzij nastavlja samo naklon lamel, ne pa tudi njihove višine. Višino lamel lahko reguliramo ročno. V primeru, da imamo vklopljen avtomatski način vodenja, lahko s pomočjo tipk za ročno dvigovanje ali spuščanje, dvignemo ali spustimo lamele do zelene višine. Kot lamel se bo za zeleno višino nastavil avtomatično.

Poglavje 3

Energijska učinkovitost in ugodje

Dnevna svetloba ima lahko pozitivne učinke na vizualno udobje, psihološko udobje, zdravje in delovno storilnost. Uporaba dnevne svetlobe kot vira obnovljive energije, lahko zmanjša porabo električne energije za osvetljevanje in ogrevanje. Kljub temu, pa ima lahko nenadzorovana dnevna svetloba negativne vplive na okolje stavbe. Intenzivna dnevna svetloba lahko povzroča bleščanje. Senčila ponujajo priložnost, da se nastavi količina prepuščene dnevne svetlobe [7].

Omogočili smo, da ob ne opravljanju ročnega načina program samodejno po dveh urah preklopi na avtomatski način, saj nam to omogoči boljši izkoristek sončne energije. Na primer, če bi uporabnik pozabil na odprte ročno regulirane žaluzije preko dneva, bi sončna svetloba prekomerno segreva prostor. Program bi žaluzije po dveh urah avtomatsko uravnal na pravilno pozicijo, tako kot je uporabnik nastavil v prvotnih nastavitvah.

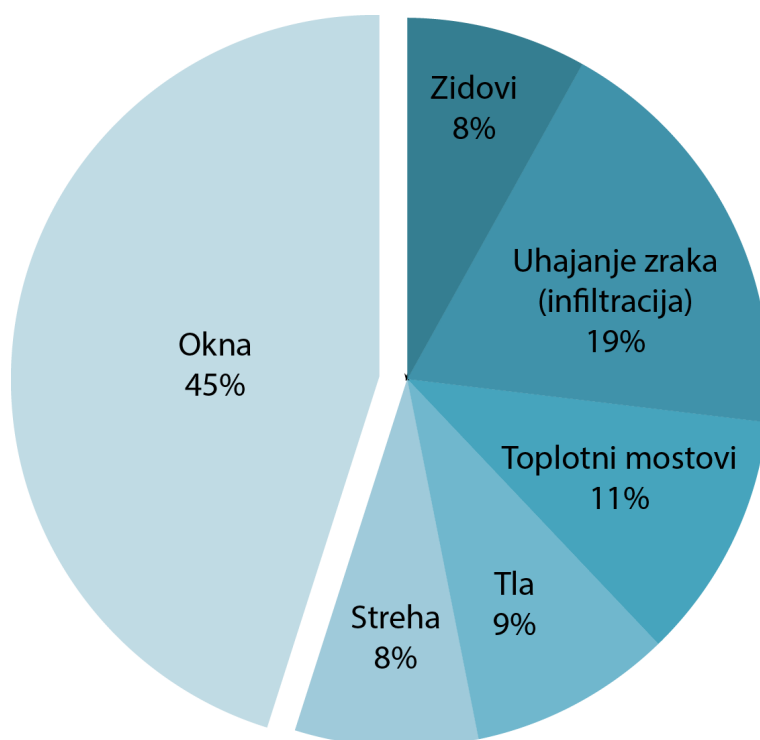
Naravna lastnost stekla je, da je selektivno. Dobro prepušča spektralni sevalni tok kratkih valovnih dolžin, torej sevalni tok, ki ga oddaja Sonce, ne prepušča pa spektralnega sevalnega toka dolgih valovnih dolžin, ki ga odda-

jajo predmeti in ljudje v stavbi. To je dobra lastnost stekla, saj stavbe lahko naravno ogrevajo in so naravno osvetljene, zmanjša pa se prehod toplote iz stavbe v okolico v času, ko stavbo ogrevamo. Sevalni tok je v merilo za skupno moč elektromagnetnega valovanja, ki je vpadlo na določeno površino [10].

Za transparentne gradbene konstrukcije, kakršna je na primer okenska zasteklitev, je značilno, da se sončno sevanje le delno absorbira v slojih gradbene konstrukcije. Pretežni del kratkovalovnega sevanja preide v zasteklitev, kar uporabljamo pri naravnem ogrevanju in osvetlitvi stavb. Del sončnega obsevanja pa se tudi v prosojnih snoveh absorbira in spremeni v toploto. Nekatere snovi, na primer steklo, ne prepuščajo dolgovalovnega sevanja, zato se dolgovalovno sevanje absorbira in z drugimi mehanizmi prenese med stekli v zasteklitvi [5].

Zunanja senčila omogočajo uravnavanje sončne energije. Sončna energija doseže dom preko zidov in oken v obliki sevanja in konvekcije [14].

Slika 3.1 prikazuje procentualno porazdelitev toplotnih izgub skozi različne materiale poslovne stavbe zgrajene po norveških gradbenih predpisih. Glede na primer, lahko vidimo, da okna povzročajo kar najvišjo procentualno izgubo toplote, zato je smiselno raziskovati in načrtovati boljše načine za preprečevanje toplotnih izgub skozi okna [4].



Slika 3.1: Procentualna porazdelitev toplotnih izgub.

Za zagotavljanje bivalnega ugodja v stavbah lahko izbiramo med visoko in nizko energetske vire. Med visokoenergetske vire uvrščamo fosilna goriva in električno energijo, med nizko energetske pa sončno energijo, geotermalno energijo ter toploto in hlad okolja (zraka, zemlje in podtalnice) [5].

Temperatura zraka za ugodno bivalno okolje:

- ugodna temperatura zraka v bivalnih prostorih je med 20 °C in 22 °C pozimi in med 25 °C in 26 °C poleti,
- v kopalnici, naj bo temperatura zraka med 22 °C in 24 °C,
- v prostorih, kjer osebe opravljajo lahko delo, med 20 °C in 21 °C in
- v prostorih, kjer osebe opravljajo težja fizična dela, med 16 °C in 18 °C [5].

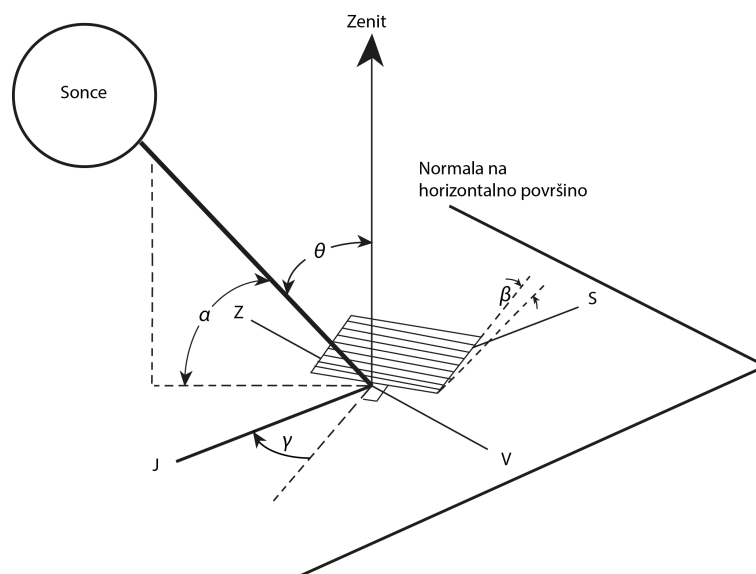
V zimskem obdobju lahko z lovljenjem sončnih žarkov s senčili ogrevamo prostor ob sončnem vremenu, medtem, ko med poletnimi dnevi odbijamo direktne sončne žarke in s tem preprečimo dodatno segrevanje prostorov. Študija kaže [14], da stavbe z veliko površino steklenih površin obrnjenih proti Soncu, lahko privarčujejo z energijo ogrevanja in hlajenja tudi do 50 % tovrstnih stroškov.

Poglavje 4

Vpadni kot sončnih žarkov in kot sončne višine

Za avtomatizacijo gibanja žaluzij potrebujemo izračun vpadnega kota sončnih žarkov na objekt ter izračun višine Sonca. Služila nam bosta za orientacijo koliko zavrtimo lamele na žaluzijah in ali Sonce še vedno sveti na določen objekt. Izračunali bomo tudi urni kot sončnega zahoda in urni kot sončnega vzhoda za določanje začetka odpiranja ter zapiranja žaluzij. Šele s pomočjo teh podatkov lahko pravilno avtomatiziramo žaluzije oziroma senčila na objektu. Geometrijska razmerja med katerokoli površino/ravnino, usmerjeno glede na zemljo ob kateremkoli času (vseeno ali je ta ravnina fiksna ali pa se premika glede na Zemljo) in prihajajočega žarka sončnega sevanja lahko opišemo s spodaj naštetimi koti, ki so prikazani na sliki 4.1. Ti koti določajo kako sončni žarki padajo na določeno površino [2].

- Zemljepisna širina ϕ : kotna lega lokacije, severno ali južno od ekvatorja. Severno od ekvatorja je kot pozitiven, južno negativen ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$).
- Deklinacija δ : kotni položaj Sonca ob sončnem poldnevu (to je takrat, ko je Sonce na lokalnem poldnevniku) glede na ravnino ekvatorja. Deklinacija je -23.45° ob začetku zime, približno 22. decembra (gledano



Slika 4.1: Prikaz kotov za računanje vpadnega kota sončnih žarkov.

za severno poloblo) ter 23.45° ob začetku poletja približno 21. junija. Deklinacija je enaka 0° ob začetku jeseni ter ob začetku pomladi (to je približno 23. september in 22. marec).

Deklinacijo izračunamo s pomočjo formule, kjer je n zaporedni dan v letu, sinus pa prejme kot v stopinjah. Če številu 284 prištejemo zaporedni dan v letu, zgoraj opisanih dni 23. september (256 zaporedni dan v letu) in 22. marec (81 zaporedni dan v letu), jo delimo z dnevi v letu (365) in pomnožimo z 360, vedno dobimo sinus kota v stopinjah enak 0. Če pa za prišteto vrednost vzamemo dan 22. december ali 22. junij pa za sinus kota v stopinjah dobimo vrednosti -1 ter 1.

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \sin\left(360 \cdot \left(\frac{284 + n}{365}\right)\right). \quad (4.1)$$

- Naklonski kot β : kot med ravnino ploskve in horizontalno ravnino ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$). Če je $\beta = 90^\circ$ so ploskve navpične.

- Azimut ploskve γ : kot med normalo ploskve, projiciran na horizontalno ploskev in nebesno smerjo juga. Dogovor je, da je azimut južno usmerjenih ploskev enak 0° (enostavnejši prikaz je na sliki 4.1), azimut ploskev obrnjenih proti vzhodu negativen, azimut ploskev obrnjenih proti zahodu pozitiven.
- Urni kot ω : kotni premik Sonca proti vzhodu ali zahodu krajevnega poldnevnika zaradi vrtenja Zemlje okoli svoje osi. Zemlja se zavrti okoli svoje osi v 24-ih urah, se pravi 15° vsako uro (zjutraj je negativen, opoldne 0° in popoldne pozitiven, po lokalnem času).
- Vpadni kot je kot med smerjo žarka in normalno na površino. Vpadni kot izračunamo s pomočjo formule (razlaga formule opisana v dodatku A),

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega , \end{aligned} \quad (4.2)$$

v primeru vertikalnih površin je kot $\beta = 90^\circ$,

$$\cos \theta = - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \sin \phi \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \gamma \sin \omega . \quad (4.3)$$

- Višina Sonca α je definirana kot kot med vodoravno ravnino opazovalca in sredinskim žarkom Sonca. Izračunamo jo s pomočjo enačbe (razlaga kota je opisana v prilogi):

$$\sin \alpha = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta . \quad (4.4)$$



Slika 4.2: Prikaz sončnega vzhoda in zore ter sončnega zahoda in mraka.

4.1 Sončni vzhod in zahod

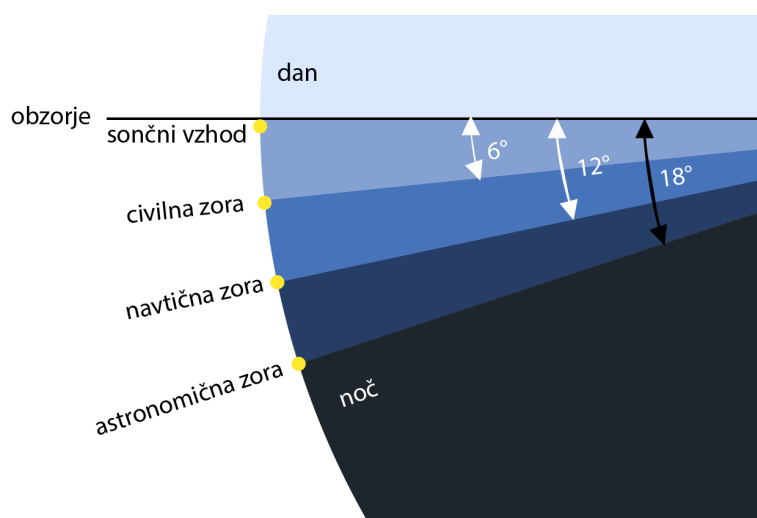
Računanje urinega kota sončnega vzhoda ter zahoda poteka preko formule (izpeljava v dodatku A),

$$\cos \omega_0 = \frac{\sin \alpha - \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} . \quad (4.5)$$

Pri računanju urinega kota sončnega vzhoda ali zahoda lahko višino Sonca zanemarimo. Za bolj natančen izračun urinega kota vzhoda ali urinega kota zahoda je $\alpha = -0.83^\circ$ pri vzhodu in zahodu.

4.2 Zora in mrak

Zora in mrak sta osvetlitvi, ki ju proizvaja razpršitev sončne svetlobe v višjih plasteh atmosfere. Osvetljuje spodnje plasti atmosfere, ko je Sonce še pod horizontom, tako da površina Zemlje ni niti povsem svetla, niti povsem temna. Besedi zora in mrak se uporabljata za označevanje obdobjaj, ko se pojavi osvetlitev, kot je prikazano na sliki 4.2 [11]. Zora je definirana glede na višino Sonca, ko je geometrična sredina Sonca relativna na horizont. Zoro delimo na najsvetlejšo civilno zoro, navtično zoro ter najtemnejšo astronomsko zoro. Na sliki 4.3 je prikaz zor, skupaj z višino Sonca.



Slika 4.3: Prikaz vseh zor pred sončnim zahodom.

- Civilna zora se začne, ko je geometrična sredina Sonca 6° pod horizontom ter se konča ob sončnem vzhodu. Ob tem času je dovolj svetlobe Sonca, da ne potrebujemo več umetne svetlobe za opravljanje zunanjih aktivnosti. Določen čas (najpogosteje 30 minut po sončnem zahodu ali pred sončnim vzhodom) se pogosto uporablja zaradi lažje predstave, raje kot koliko stopinj je Sonce pod horizontom. Civilno zoro lahko opišemo tudi kot mejo, na kateri osvetlitev zadostuje (pod jasnimi vremenskimi razmerami), da se objekti/predmeti jasno razločujejo.
- Navtična zora je čas, ko je središče Sonca med 6° in 12° pod obzorjem.
- Astronomska zora pa je čas, ko je središče Sonca med 12° in 18° pod obzorjem [6].

4.3 Poletni in zimski čas

Poletni in zimski čas je sprememba časa, ki se prevzame za določeno obdobje leta. Poletni čas je vpeljan z namenom boljšega izkoriščanja dnevne svetlobe. Opisali bomo prehode za evropske države, ki veljajo za države v Evropi razen Islandije, Belorusije ter Rusije [15].

Prehod na poletni čas se opravi zadnjo nedeljo v marcu, ko uro premaknemo z 2:00 na 3:00. Enačbo za izračun točnega dne lahko enostavno opišemo z enačbo 4.5, kjer je l leto, d pa dan v mesecu. Kot rezultat dobimo dan v marcu, ki označuje začetek poletnega časa [15]:

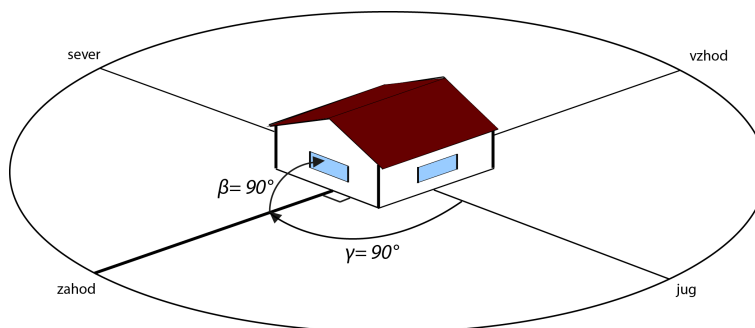
$$d = (31 - (((5 \cdot l)/4) + 4) \pmod{7}) , \quad (4.6)$$

Končanje poletnega časa in prehod na zimski čas opravimo zadnjo nedeljo v oktobru, ko premaknemo kazalce z 3:00 na 2:00. To pa opišemo z enačbo 4.6, kjer je l leto, d pa dan v mesecu. Kot rezultat dobimo dan v oktobru, ki označuje začetek zimskega časa [15]:

$$d = (31 - (((5 \cdot l)/4) + 1) \pmod{7}) . \quad (4.7)$$

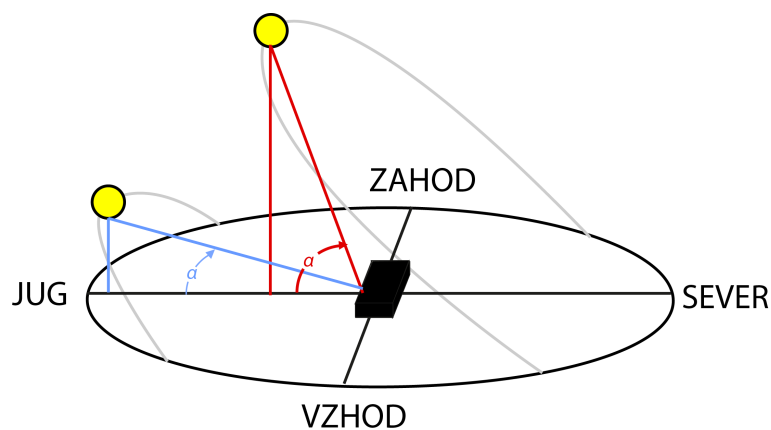
4.4 Vpadni kot in kot sončne višine na primeru

Kot smo omenili v začetku poglavja, na vpadni kot sončnih žarkov vplivata zemljepisna širina in azimut ploskve kot tudi urni kot ter deklinacija. Enostavnejši prikaz azimuta ploskve ter naklonskega kota je prikazan na sliki 4.4.

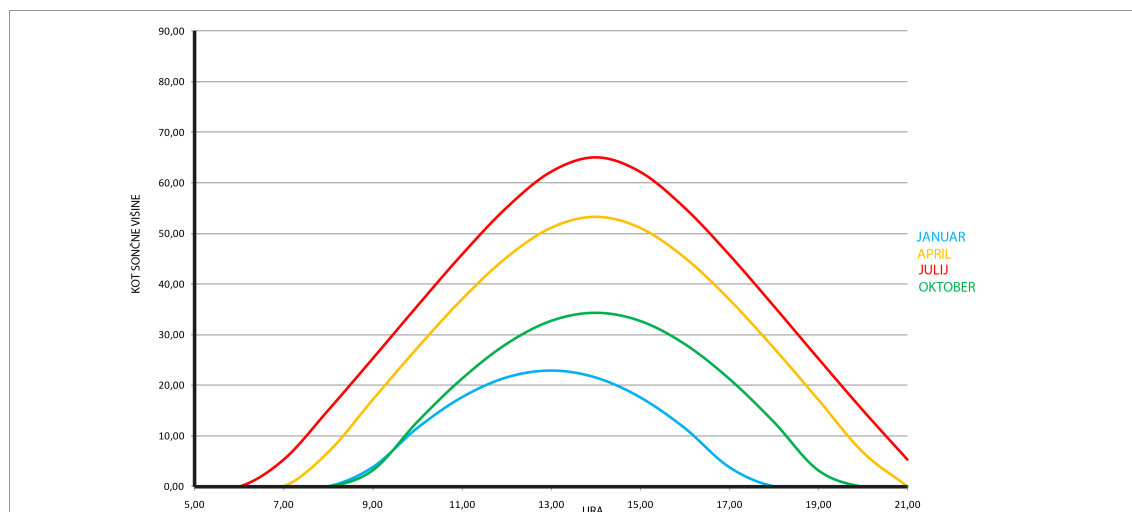


Slika 4.4: Enostavnejši prikaz azimuta ploskve γ ter naklonskega kota β .

Višino Sonca α si lahko razložimo na enostavnejši način kot pot Sonca od vzhoda proti zahodu. Sonce potuje kot je nakazano na sliki 4.5. Prikaz spreminjanja višine Sonca skozi dan pa ponazarja slika 4.6. Prikazano je spreminjanje višine Sonca za posamezno obdobje v letu (pomlad, poletje, jesen in zima).



Slika 4.5: Enostavnejši prikaz višine Sonca α za poletni ter zimski dan v letu.



Slika 4.6: Spreminjanje višine Sonca α glede na letni čas. Upoštevan je tudi prehod med zimsko in poletno uro.

Poglavje 5

Strojna in programska oprema

Programsko okolje Step 7 je standardni paket programske opreme, ki se uporablja za nastavitve in programiranje programabilnih logičnih krmilnikov Siemens Simatic serije S7-300. Omogoča pisanje programov s pomočjo sedmih programskih jezikov na primer lestvičnih diagramov, strukturiranega teksta ter funkcijskih blokov. Vsi jeziki sledijo standardu DIN EN-61131-3 (IEC 1131-3) za programske jezike programabilnih logičnih krmilnikov.

Strukturirani tekst je visoko nivojski programski jezik, podoben jeziku Pascal. Strukturiran tekst poleg visoko nivojskih gradnikov vsebuje tudi elemente značilne za programabilne logične krmilnike, kot so vhodi, izhodi, časovnik, bitni spomin, ... Z drugimi besedami, jezik SCL dopolnjuje ostale programske jezike.

Za jezik SCL, obstaja močno razvojno okolje. To razvojno okolje je sestavljeno iz naslednjih komponent:

- urejevalnik za pisanje programov, ki so sestavljeni iz funkcij (FC), funkcijskih blokov (FB), organizacijskih blokov (OB), podatkovnih blokov (DB) in uporabniško definiranih podatkovnih tipov (UDT),
- prevajalnik za prevajanje programa napisanega z urejevalnikom,

- razhroščevalnik omogoča programerju preverjanje napak,
- orodje za konfiguracijo strojne opreme in komunikacij,
- diagnostika krmilnika [8].

Jezik SCL ima tako kot drugi programski jeziki v Step 7 na voljo več vrst gradnikov.

- Organizacijski bloki (OB), predstavljajo vmesnik med operacijskim sistemom krmilnika in programom uporabnika. Organizacijski bloki določajo zaporedje, v katerem se bodo bloki uporabniškega programa izvajali.
- Funkcijski bloki (FB), so logični bloki s statičnimi podatki. Ker ima funkcijski blok spomin, je mogoče dostopati do parametrov znotraj bloka (na primer izhodi), kadarkoli v uporabniškem programu.
- Funkcije (FC), so logični bloki, ki nimajo spomina. Ker nimajo spomina, se morajo izhodne vrednosti obdelati takoj, ko pokličemo funkcijo.
- Podatkovni bloki (DB), so področja, na katerih so shranjeni uporabniški podatki. Obstajajo skupni podatkovni bloki, katerih dostop je mogoč preko vseh logičnih blokov in obstajajo instance podatkovnih blokov, ki jih dodelimo določenem funkcijskem bloku.
- Uporabniško določeni tipi podatkov (UDT) so strukturirani tipi podatkov, ki jih ustvari uporabnik, po potrebi in jih nato uporablja kakor pogosto želi. UDT se obravnavajo, kot da so bloki.

Pri pisanju v programskem jeziku SCL je na začetku programa potrebno definirati blok ali funkcijo, ki jo bomo uporabili, sledi deklaracija vhodov/izhodov ter spremenljivk in nato glavni del programske kode, ki se zaključí z definiranjem konca bloka ali funkcije.

Poglavje 6

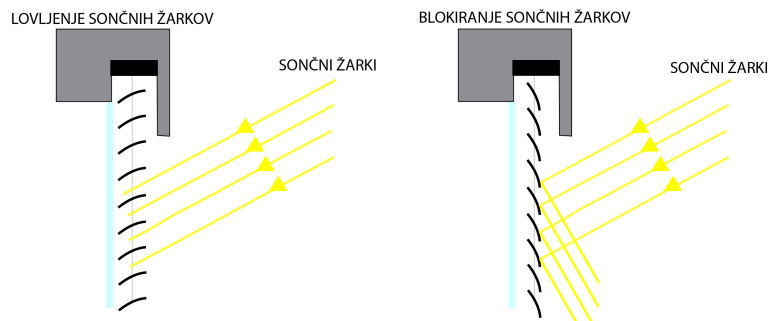
Vodenje žaluzij

Avtomatizacije gibanja žaluzij smo se lotili na podlagi izračunov vpadnega kota sončnih žarkov ter višine Sonca, ki so definirani v 4. poglavju, za določeno stran objekta (stanovanjske hiše) in glede na mesec ter uro. Izračunali smo urni kot sončnega vzhoda in urni kot zahoda za posamezen mesec v letu. Sprogramirali avtomatizacijo in simulacijo gibanja žaluzij v programskem orodju Step 7 s programskima jezikoma SCL in lestvičnimi diagrami. S programskim orodjem WinCC pa smo izdelali enostaven uporabniški vmesnik.

6.1 Vodenje senčil

Za upravljanje z žaluzijami imamo na voljo dve možnosti, ročno ali avtomatsko upravljanje z žaluzijami.

Glavni del programa sta funkcijski blok za odpiranje (FB6) in funkcijski blok za zapiranje (FB7) lamel, kamor pripeljemo kot vhod vpadni kot in višino Sonca iz funkcijskega bloka za računanje kotov ter možnost izbire blokiranja ali lovljenja sončnih žarkov. Prikaz načina delovanja blokiranja ali lovljenja sončnih žarkov prikazuje slika 6.1. Pri funkcijskem bloku za odpiranje kot izhod dobimo vrednost zelenega kota lamel medtem, ko pri funkcijskem bloku

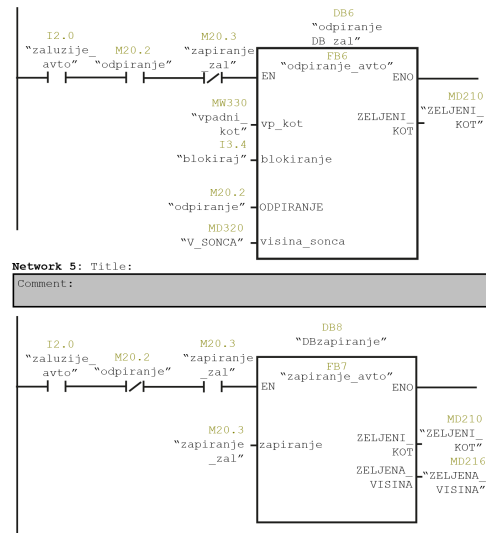


Slika 6.1: Prikaz lamel v načinu lovljenja ter blokiranja sončnih žarkov.

za zapiranje dobimo tudi vrednost zelene višine lamel. Pri zapiranju želimo, da je zelena višina in kot lamel enaka 0, kar pomeni, da so lamele v spodnjem položaju.

Funkcijski blok za odpiranje deluje v avtomatskem načinu vodenja s preverjanjem izbire blokiranja ali lovljenja sončnih žarkov kot prikazuje slika 6.2. Pri lovljenju sončnih žarkov moramo upoštevati, da višini Sonca prištejemo še kot 90° , saj moramo upoštevati, da je višina Sonca enak 0° na horizontu, medtem, ko je kot lamel enak 90° ob vodoravni postavitvi. Funkcija za odpiranje nam pove, za kakšen kot želimo premakniti lamele ob avtomatskem vodenju žaluzij.

Če v avtomatskem načinu funkcijski blok FB2 kot izhod nastavi odpiranje na 0 in zapiranje na 1, funkcija za zapiranje lamel prejme to kot vhodni parameter kot prikazuje slika 6.2, ter nastavi zeleni kot na 0° ter zeleno višino na 0 cm.



```

FUNCTION_BLOCK FB6
title = 'odpiranje/do-polovice lamele'
. . .
BLOKIRAJ_kot := 90.0;
. . .
IF (blokiranje = true) AND (vp_kot) <= 90 AND ODPIRANJE = TRUE THEN
    ZELJENI_KOT:= visina_sonca+90.00 - BLOKIRAJ_kot;
ELSIF (blokiranje = false) AND (vp_kot <= 90) AND ODPIRANJE = TRUE THEN
    ZELJENI_KOT:=visina_sonca+90.00;
ELSIF vp_kot > 90 AND ODPIRANJE = TRUE THEN
    ZELJENI_KOT:=90.0;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK

```

Slika 6.2: Primer funkcije za odpiranje lamel, zgoraj prikaz povezav v jeziku LAD, spodaj, del kode za odpiranje lamel.

Pri programiranju vodenja senčil je bila ena izmed prvih ovir s katero smo se srečali, kako napisati funkcijski blok, ki nam bo pretvoril trenutni čas in datum v format, ki ga bomo lahko uporabili pri nadaljnjem programiranju.

Funkcijski blok za pretvarjanja časa deluje tako, da prebere čas, datum in ostale podatke v strukturo in sicer v določenem vrstnem redu. Dobljene vrednosti nato pretvorimo v celoštevilске vrednosti, ki jih uporabimo v kasnejši fazi za računanje višine Sonca ter vpadnega kota sončnih žarkov. Vrednosti, ki jih dobimo in uporabimo so mesec, ura in minuta.

Dobljene vrednosti vpeljemo kot vhod v funkcijski blok za računanje vpadnega kota sončnih žarkov ter višino Sonca (FB2). V njem se izvajajo večinoma vse matematične operacije za izračun datumov in kotov ter časov odpiranja in zapiranja lamel. V funkcijski blok (FB2) pripeljemo še vrednosti zemljepisne širine ter azimut ploskve. Te vrednosti uporabnik vpiše v uporabniški vmesnik, kjer lahko tudi izbira med različnimi možnostmi odpiranja in zapiranja lamel. Uporabnik lahko izbira med tremi opcijami za odpiranje kot tudi za zapiranje. Opcije za odpiranje so, začetek odpiranja ob času zore, vzhoda ter možnost izbire ure začetka odpiranja. Opcije zapiranja so zapiranje ob sončnem zahodu, mraku, ter možnost izbire ure za zapiranje.

V funkcijskem bloku za računanje kotov, smo izračunali vrednost deklinacije za posamezen dan. Izdelali smo tudi podatkovne bloke z vrednostmi časov sončnih vzhodov, zahodov ter vrednosti urinega kota za posamezno obdobje v letu (zimski, poletni čas). Del programske kode tega funkcijskega bloka je prikazan na sliki 6.3, kjer je predstavljeno računanje urinega kota, sončnega vzhoda ter zore in na koncu računanje vpadnega kota sončnih žarkov ter višine Sonca. Pri računanju s koti smo morali biti previdni, saj zna jezik SCL operirati le z radiani, ne pa s koti v stopinjah. Tako smo pred računanjem morali pretvoriti stopinje v radiane, za izhod vpadnega kota pa je bila potrebna ponovna pretvorba iz radianov v stopinje. Upoštevali smo tudi spremembo časa (zimski ali poletni čas) tako, s pomočjo enačbe za prehod v poletni in zimski čas opisane v 4. poglavju izračunamo določen dan v letu, kjer se prehod zgodi. Preko tega določimo pravilni urni kot, kar nam določi tudi točni vpadni kot sončnih žarkov ter višino Sonca.

```

FUNCTION_BLOCK FB2
title= 'main'
. . .
IF odpiranje_z_uro = false THEN
  IF vzhod = false THEN
    start:= WORD_TO_INT(WORD_TO_BLOCK_DB(23).dw[(imesec]));
  ELSIF vzhod = true THEN
    start:= WORD_TO_INT(WORD_TO_BLOCK_DB(24).dw[(imesec]));
  END_IF;

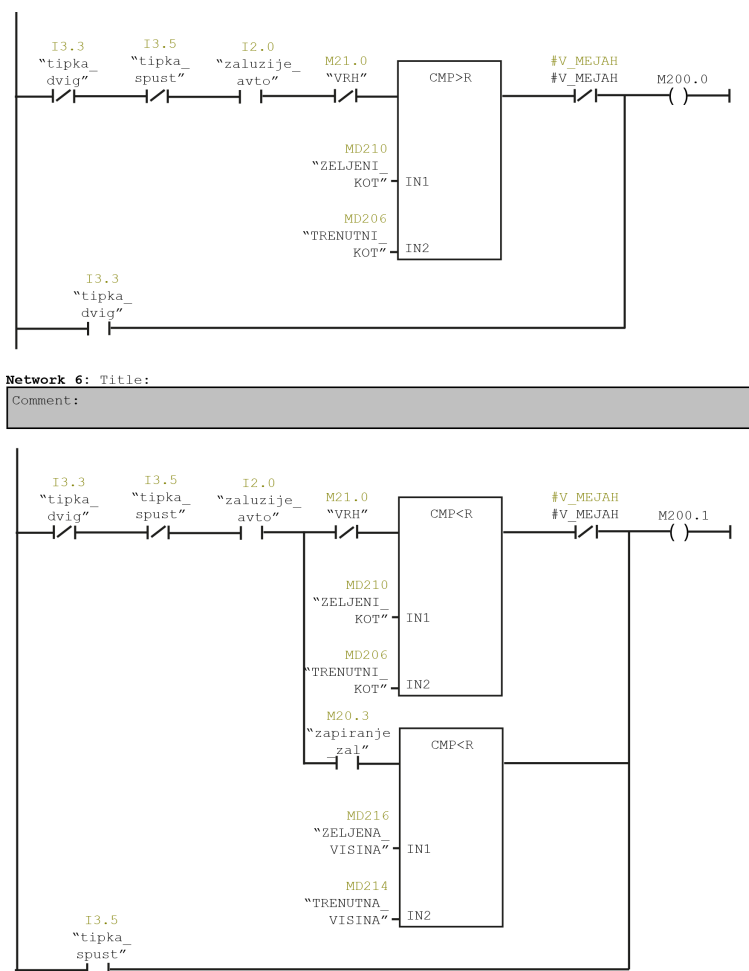
ELSIF odpiranje_z_uro = true THEN
  start:= ura_odpiranja *60;
END_IF;
. . .
IF ura<=23 AND ura >=0 THEN
  IF zimski_cas = true then
    urin_kot:= WORD_TO_INT(WORD_TO_BLOCK_DB(21).dw[ura*2]);
    urin_kot:= (urin_kot* PI) / 180;
  ELSIF poletni_cas = true THEN
    urin_kot:= WORD_TO_INT(WORD_TO_BLOCK_DB(22).dw[ura*2]);
    urin_kot:= (urin_kot* PI) / 180;
  END_IF;
END_IF;
. . .
//izracun deklinacije
IF mesec <=12 AND mesec >=1 THEN
  deklinacija:=deklinacije[mesec];
  deklinacija:= (deklinacija* PI) / 180;
END_IF;
. . .
lat := (latitude* PI) / 180;
AZ := (azimut_ploskve* PI) / 180;
. . .
IF odpiranje=true then
temp_kot:=(-SIN(deklinacija)*COS(lat)*COS(AZ))+
(COS(deklinacija)*SIN(lat)*COS(AZ)*COS(urin_kot))+
(COS(deklinacija)*SIN(AZ)*SIN(urin_kot));
. . .
vpadni_kot:=ACOS(temp_kot);
vpadni_kot:=(vpadni_kot*180)/PI;
VP_KOT:=REAL_TO_INT(vpadni_kot);
visina_sonca:=ASIN(COS(lat)*COS(deklinacija)*COS(omega)+
SIN(lat)*SIN(deklinacija));
V_SONCA:=ASIN(visina_sonca);
V_SONCA:=(V_SONCA*180)/PI;
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK

```

Slika 6.3: Krajši del glavnega programa napisanega v jeziku SCL.

V programu smo zaradi olajšanja uporabe žaluzij vključili tako imenovani zakasnitveni program, ki uporabniku omogoča, da se ob neuporabi žaluzij v ročnem načinu po dveh urah stanje žaluzij vrne na avtomatski način. Med vklopljenim avtomatskim načinom upravljanja z žaluzijami lahko kljub temu dvigujemo in spuščamo lamele z ročnim načinom. Ker se med avtomatskim

načinom upravlja le kot lamel, ne pa tudi višina, lahko z ročnim načinom dvignemo ali spuščamo lamele, kjer pa se bo kot lamel nastavil na položaj, ki je nastavljen v avtomatskem načinu. Izjema je le pri zapiranju lamel, kjer se lamele spustijo v spodnji položaj. Če lamele dvignemo do vrha, obračanje lamel ni potrebno. Prikaz opravljanja z žaluzijami z ročnim in avtomatskim načinom pri dvigovanju in spuščanju prikazuje slika 6.4. Izhodi so primerjave med zelenim kotom in zeleno višino (v primeru zapiranja). Te izhode pripeljemo v simulacijo, in nam povedo koliko časa mora biti signal odpiranja ali zapiranja aktiven.



Slika 6.4: Avtomatski in ročni način upravljanja z žaluzijami.

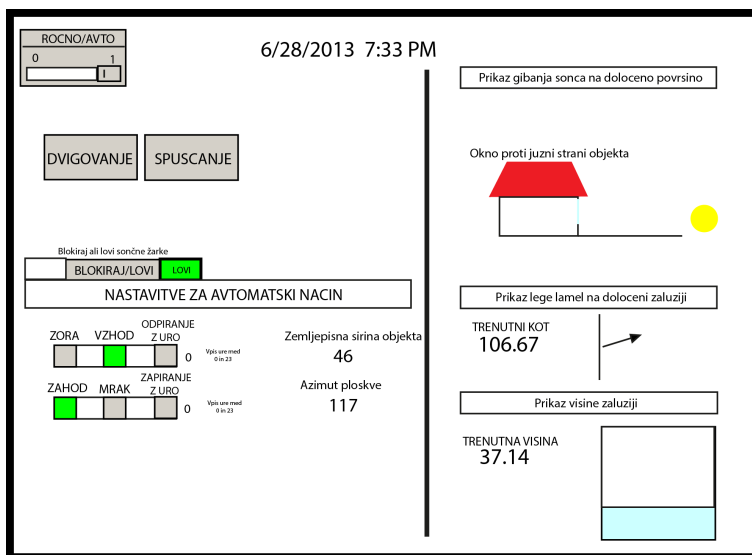
6.2 Uporabniški vmesnik

Izdelan je bil preprost uporabniški vmesnik s programskim orodjem WinCC flexible, ki prikazuje višino Sonca, kot lamel ter višino lamel, uporabniku pa omogoča možnost in nastavitve za upravljanje z žaluzijami kot prikazuje slika 6.5.

Nastavitve, ki jih vključuje uporabniški vmesnik so izbiranje časa odpiranja zora, vzhod in odpiranje z uro. Odpiranje z uro ima možnost vpisa določene ure za začetek odpiranja lamel. Enako kot za odpiranje lahko uporabnik izbira med različnimi možnostmi za zapiranje.

Ker smo izdelali simulacijo za eno smer objekta uporabnik lahko vpiše azimut ploskve, s katerim določi smer objekta ter zemljepisno širino.

V samem uporabniškem vmesniku lahko tudi spuščamo ali dvigujemo lamele ročno ter določimo upravljanje žaluzij (ročno, avtomatsko).



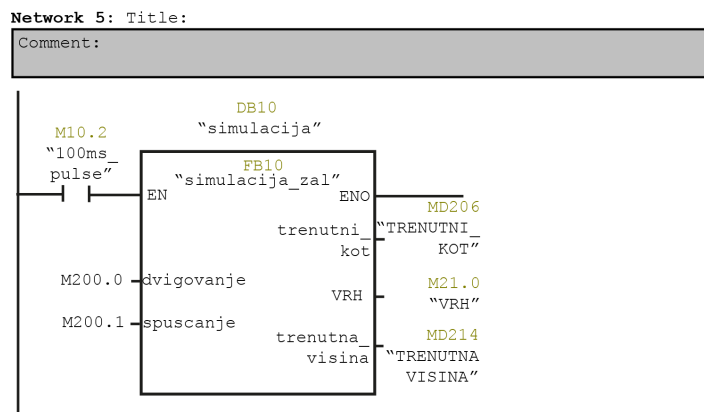
Slika 6.5: Primer uporabniškega vmesnika.

6.3 Simulator

Ker nisem imel možnosti za dejansko izvedbo projekta, sem se lotil še simulacije žaluzij. Simulacijo sem izvedel tako, da sem izdelal prekinitveni cikel, ki pošlje signal na 100 ms. Preko tega signala sem izdelal števec s katerim lahko določimo, za koliko se simulirani motor zavrti pri spuščanju ter dviganju žaluzij, tako pri avtomatizacijskem kot ročnem načinu upravljanja. Simulator smo nastavili tako, da odraža stanje položaja sistema (obrat in višina lamel).

Žaluzije nimajo sistema za merjenje položaja. Iz testov smo ugotovili, da je čas obračanja lamel enak 2,7 sekund, čas dvigovanja pa je 47 sekund za višino okna 2,15 metra. Pri obratu lamel za 180° se števec, vezan na prekinittev, poveča za 27, oziroma $6,6^\circ$ na korak. Pri dviganju lamel pa na celotni poti za 470 kar ustreza 4,6 mm na korak.

Slika 6.6 prikazuje del funkcijskega bloka za simuliranje žaluzij v jeziku lestvični diagrami oziroma LAD in v jeziku SCL. V to funkcijo kot vhoda, pripeljemo vrednosti, ki sta kot izhoda prikazani na sliki 6.4 (M200.0 signal za dvigovanje in M200.1 signal za spuščanje). V programu preverjamo zgoraj opisane vrednosti števca ter preko tega dobimo vrednosti trenutnega premika, izračunamo vrednosti trenutnega kota, trenutne višine in signal, če so žaluzije dvignjene do vrha. Simulator je enostavni prikaz delovanja žaluzij.



```

FUNCTION_BLOCK FB10
title = 'simulacija HOPE'
VAR_INPUT
    dvigovanje:BOOL;
    spuscanje:BOOL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    trenutni_kot:REAL;
    VRH:BOOL;
    trenutna_visina:REAL;
END_VAR
. . .
IF dvigovanje = true THEN
    IF stanje <= zgornja_vrednost THEN
        stanje := stanje + vrednost;
    ELSIF stanje > zgornja_vrednost THEN
        stanje := DINT#27;
    END_IF;
END_IF;
. . .
IF stanje_visine >= zgoraj THEN
    VRH := true;
ELSE
    VRH := false;
END_IF;
. . .
temp_visina := DINT_TO_REAL(stanje_visine);
trenutna_visina := temp_visina * delec_visine;
. . .

```

Slika 6.6: Prikaz izdelave simulatorja žaluzij, v katero vpeljemo le dve spremenljivki (dvigovanje in spuščanje). Spodaj izsek dela programa za simuliranje delovanja žaluzij.

Poglavje 7

Zaključek

Problem vodenja senčil smo si izbrali zaradi vse bolj dostopnih cen električno vodenih zunanjih senčil in posledično večjega zanimanja za te izdelke, ki omogočajo prihranek in boljše bivalno ugodje glede na zunanje vremenske pogoje.

Vodenje senčil, ki je bilo razvito v naši diplomski nalogi omogoča enostavno in uporabniku prijazno vodenje senčil. Opisani in razloženi so ključni koti za vodenje senčil, med drugimi vpadni kot sončnih žarkov ter višina Sonca, ki pa se lahko uporabljajo tudi za avtomatizacijo drugih naprav na objektu, na primer sončnih kolektorjev.

Izkazalo se je, da je bila izdelava vodenja precej bolj kompleksna kot se je zdelo na začetku. Saj se je bilo potrebno spoznati s potjo Sonca in kako Sonce vpliva na določen objekt na Zemlji, ob določenem letnem času. Ker nismo imeli možnosti za izdelavo realnega projekta je bilo potrebno izdelati tudi simulacijo senčil in preučiti delovanje odpiranja, zapiranja, dvigovanja in spuščanja lamel. Zagotovo bi bilo zanimivo preizkusiti delovanje programa za vodenje na realnem objektu ter po željah uporabnikov.

V morebitne nadaljnje izboljšave bi lahko vključili na primer senzor za mer-

jenje svetlobe, ki bi v primeru oblačnega vremena obrnil lamele v vodoravni položaj ter s tem povečali osvetljenost prostora. Ena od možnosti bi bila tudi ta, da bi lamele dvignili ob opozorilu spletnega vmesnika v primeru predvidene toče, saj bi s tem preprečili, da bi se lamele poškodovale.

Dodatek A

Izpeljave uporabljenih kotov

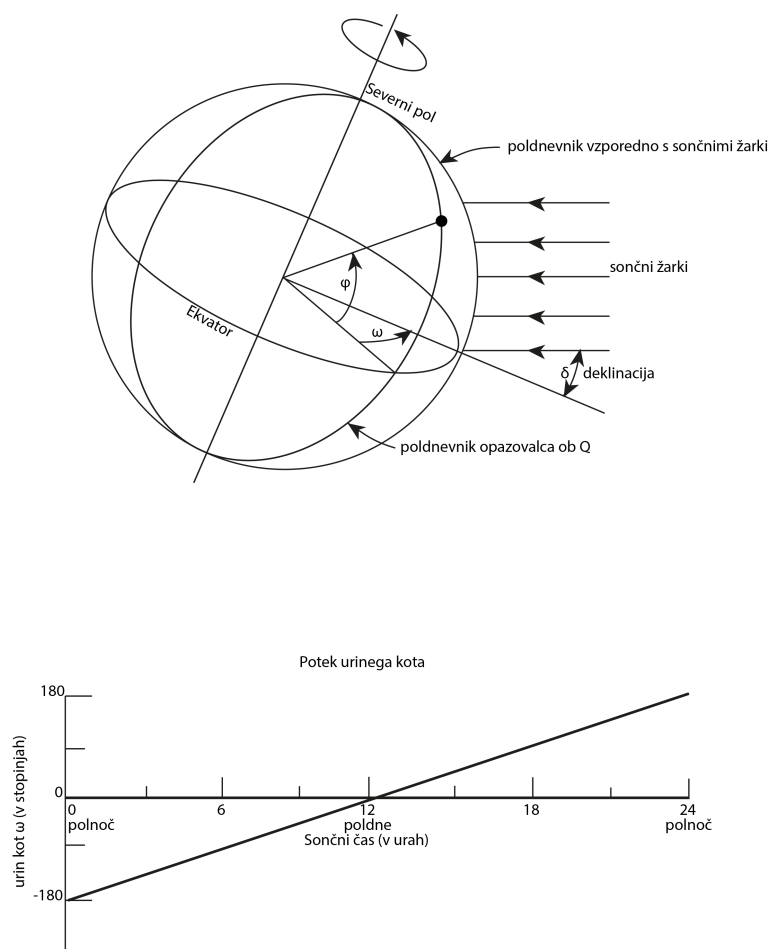
V tem poglavju opišemo uporabljene kote, ki smo jih izpeljali na podlagi navedene literature [12]. Besedilo je prevedeno, slike so sicer povzete vendar so lastni izrisi.

A.1 Urni kot ω

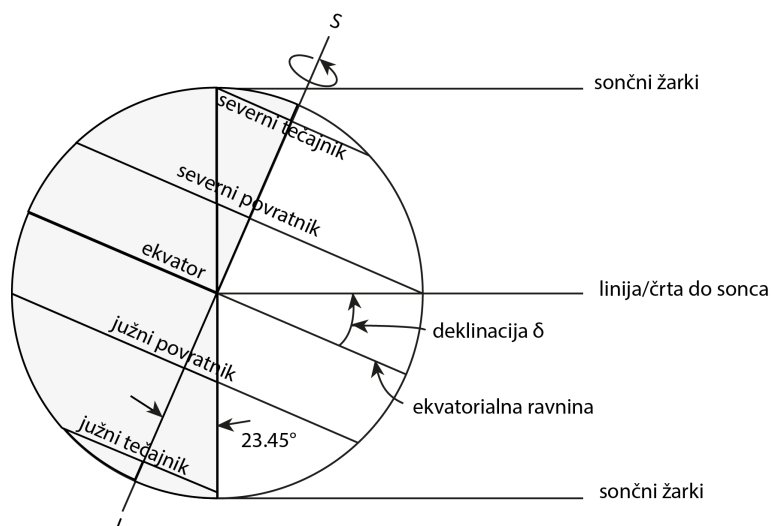
Da opišemo vrtenje Zemlje okrog svoje polarne osi, bomo uporabili koncept urinega kota. Kot je prikazano na sliki A.1, je urni kot kotna razdalja med poldnevnikom opazovalca in poldnevnikom, katerega ravnina vključuje Sonce. Urni kot je enak nič opoldne (ko Sonce doseže najvišjo točko na nebu). Urni kot se poveča za 15° stopinj vsako uro, saj se Zemlja zavrti za 360° v 24-ih urah.

Formula za izračun urinega kota, kjer je t_1 sončni čas v urah (sončni čas temelji na 24-urni uri),

$$\omega_0 = 15^\circ(t_1 - 12h) . \tag{A.1}$$



Slika A.1: Urni kot ω je kot opredeljen kot kot med poldnevnikom, katerega ravnina vključuje Sonce, in poldnevnikom opazovalca.



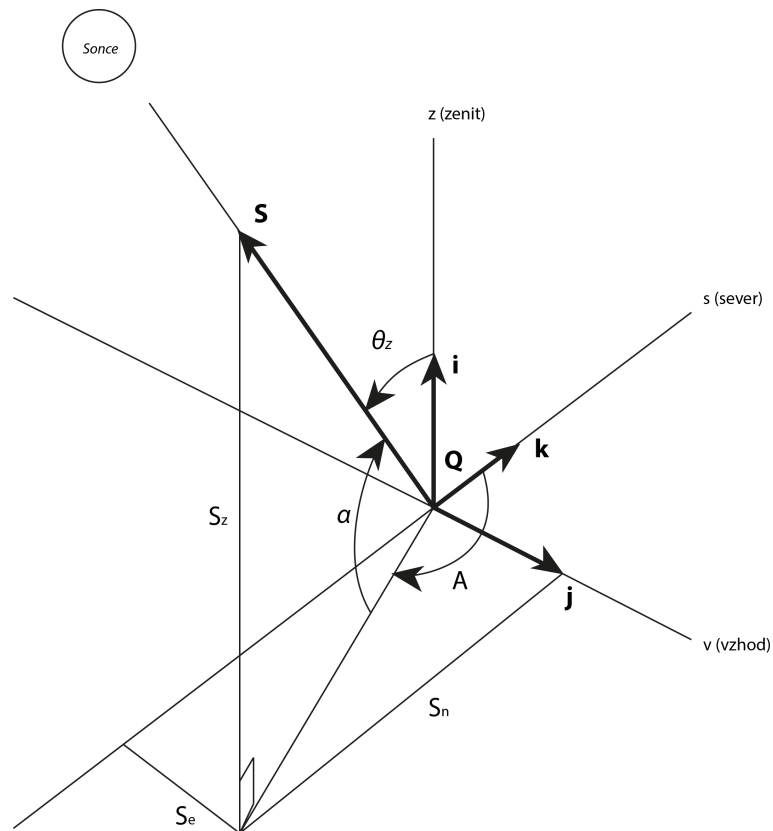
Slika A.2: Deklinacija δ , Zemlja je prikazana v položaju poletje, ko je $\delta = +23.45^\circ$.

A.2 Deklinacija δ

Ravnina, ki vključuje zemljin ekvator se imenuje ekvatorialna ravnina. Če narišemo daljico med središčem Zemlje in Soncem, imenujemo kot med to daljico in ekvatorialno ravnino deklinacija (δ), kot je prikazano na sliki A.2.

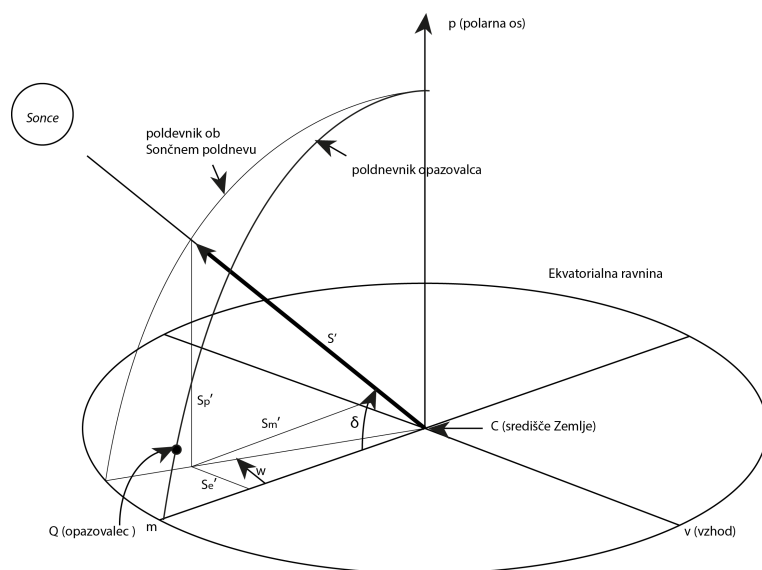
A.3 Zemljepisna širina ϕ

Kot zemljepisne širine (ϕ) je kot, med daljico, ki jo rišemo od neke točke na zemeljski površini do točke v središču zemlje, ter ekvatorialno ravnino.



Slika A.4: Koordinatni sistem zemeljske površine za opazovalca Q prikazuje kot sončnega azimuta A , kot sončne višine α ter kot sončnega zenita θ_z za sredinski sončni žarek vzdolž smeri vektorja \mathbf{S} .

Izredno pomembno pri načrtovanju sončne energije sistemov, bi bilo, da bi lahko izračunali višino Sonca in azimuta v vsakem trenutku za katero koli lokacijo na Zemlji. To je mogoče storiti z uporabo treh kotov, opredeljenih zgoraj: zemljepisne širine (ϕ), urinega kota (ω) in deklinacije (δ).



Slika A.5: Koordinatni sistem sredine Zemlje za smer sočnih žarkov vektorja \mathbf{S} , ki je opredeljen v smislu urinega kota ter deklinacije.

Za to izpeljavo bomo opredelili vektor, ki je obrnjen proti Soncu na površini Zemlje in ga matematično prevedli v središče Zemlje z drugačnim koordinatnim sistemom. Kot vodilo uporabimo Sliko A.4 za opredelitev enotnega vektorja \mathbf{S} obrnjenega proti Soncu, z lokacije opazovalca Q ,

$$\mathbf{S} = S_z \mathbf{i} + S_v \mathbf{j} + S_s \mathbf{k} , \quad (\text{A.3})$$

kjer so \mathbf{i} , \mathbf{j} in \mathbf{k} vektorji vzdolž zenita, vzhoda in severa osi v tem vrstnem redu. Smer kosinusa \mathbf{S} relativno do osi zenita, vzhoda in severa so S_z , S_v in S_s v tem vrstnem redu. To je lahko napisano v obliki višine Sonca in sončnega azimuta,

$$\mathbf{S} = \begin{pmatrix} S_z \\ S_v \\ S_s \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \alpha \\ \cos \alpha \sin A \\ \cos \alpha \cos A \end{pmatrix} . \quad (\text{A.4})$$

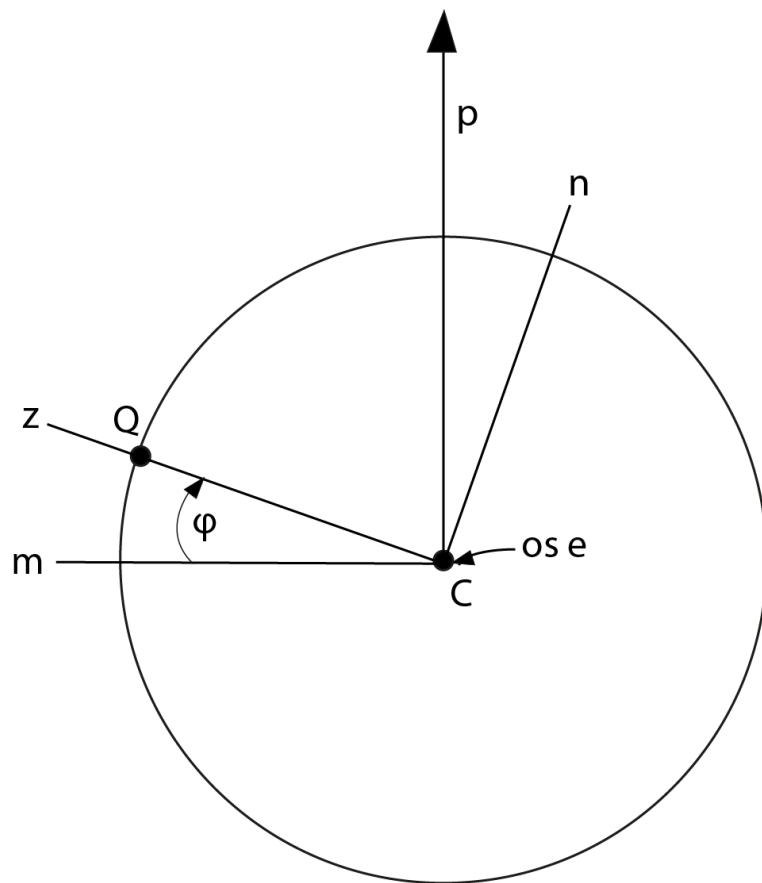
Podobno lahko smer vektorjev, ki kažejo proti Soncu, opišemo v središču Zemlje, kot je prikazano na sliki A.5.

Če je izvor novega niza koordinat opredeljen na središču Zemlje, poteka os m od izvora, ki seka ekvator na točki, kjer ga prečka poldnevnik opazovalca. Os v je pravokotna na os m in je prav tako v ekvatorialni ravnini. Tretjo pravokotno os p lahko nato poravnamo z zemeljsko osjo vrtenja. Smer enotnega vektorja \mathbf{S}' , ki kaže proti Soncu, lahko opišemo,

$$\mathbf{S}' = \begin{pmatrix} S'_m \\ S'_e \\ S'_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \delta \cos \omega \\ \cos \delta \sin \omega \\ \sin \delta \end{pmatrix}. \quad (\text{A.5})$$

Koordinatna sistema sta med seboj povezana preko rotacije okrog osi e za, preko zemljepisno širino ter s premikom vzdolž zemeljskega polmera. Zane-marili bomo premik vzdolž zemeljskega polmera, saj znaša premik približno $1/23,525$, glede na oddaljenost Zemlje do Sonca. Kot vidimo na sliki A.3 lahko z vrtenjem okoli osi e koordinatni sistem opazovalca poravnamo s koordinatnim sistemom Zemlje. Pri tem upoštevamo, da je to vrtenje okoli osi e v pozitivnem smislu in temelji na desno ročnem pravilu vrtenja. V obliki matričnega zapisa,

$$\begin{bmatrix} S_z \\ S_v \\ S_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \phi & 0 & \sin \phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \phi & 0 & \cos \phi \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} S'_m \\ S'_e \\ S'_p \end{bmatrix}, \quad (\text{A.6})$$



Slika A.6: Koordinate Zemeljske površine po premiku iz opazovalca Q do središča Zemlje C.

ali,

$$\begin{aligned}
 S_z &= S'_m \cos \phi + S'_p \sin \phi , \\
 S_v &= S'_e , \\
 S_s &= S'_p \cos \phi - S'_m \sin \phi .
 \end{aligned}
 \tag{A.7}$$

Nadomestimo enačbe (A.1), (A.4) in (A.5). Dobimo naše tri pomembne rezultate,

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi , \quad (\text{A.8})$$

$$\cos \alpha \sin A = - \cos \delta \sin \omega , \quad (\text{A.9})$$

$$\cos \alpha \cos A = \sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \cos \phi . \quad (\text{A.10})$$

A.5 Vpadni kot θ

Vpadni kot je kot med smerjo žarka in normalo na površino. Izraz je razvit tako, da vzamemo skalarni produkt vektorja \mathbf{S} , ki kaže od opazovalca proti Soncu in vektor \mathbf{N} , ki je normala na ploskev v koordinatnem sistemu opazovalca. Vektor \mathbf{S} je določen z enačbo (A.3), v smislu smeri kosinusa danega v enačbi (A.4). Če želimo določiti \mathbf{N} z uporabo enakih osi, bomo opredelili naklonski kot (β) in azimut ploskve (γ) kot vidimo na sliki A.7.

Normalo na ploskev v koordinatnem sistemu opazovalca, lahko zapišemo kot,

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} N_z \\ N_e \\ N_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \beta \\ \sin \beta \sin \gamma \\ \sin \beta \cos \gamma \end{pmatrix}. \quad (\text{A.11})$$

Kosinus kota med sončnimi žarki in normalo površine je skalarni produkt ustreznih enotskih vektorjev,

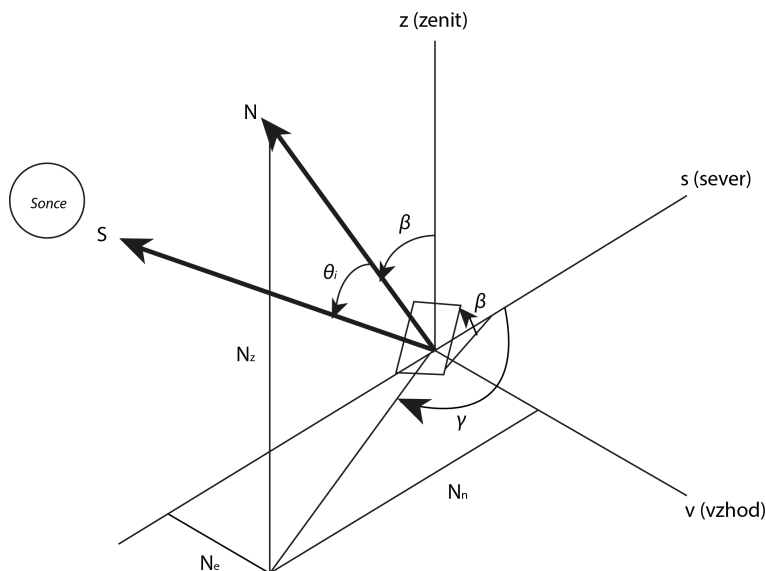
$$\cos \theta_i = \mathbf{S} \cdot \mathbf{N}. \quad (\text{A.12})$$

Uporabimo enačbe (A.4) in (A.11), za njih velja,

$$\begin{aligned} \cos \theta_i &= \sin \alpha \cos \beta \\ &+ \cos \alpha \sin A \sin \beta \sin \gamma \\ &+ \cos \alpha \cos A \sin \beta \cos \gamma. \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

Za nas je bilo koristno, da smo napisali enačbo (A.13), v smislu zemljepisne širine, deklinacije in urinega kota namesto višine Sonca in azimuta. Enačbe (A.8), (A.9) in (A.10) vstavimo v enačbo (A.13), pri čemer je rezultat enačba za izračun vpadnega kota sončnih žarkov,

$$\begin{aligned} \cos \theta_i &= \cos \beta \sin \alpha \\ &- \cos \delta \sin \omega \sin \beta \sin \gamma \\ &+ \sin \beta \cos \gamma (\sin \delta \cos \phi - \cos \delta \cos \omega \sin \phi). \end{aligned} \quad (\text{A.14})$$



Slika A.7: Fiksna površina s svojo usmeritvijo, ki jo določata naklonski kot β in azimut ploskve γ .

A.6 Enačba urinega kota sončnega vzhoda in urinega kota sončnega zahoda

Enačba (A.8) je izraz za kot sončne višine z vidika opazovalčeve zemljepisne širine (lokacije), urinega kota (čas) in deklinacije (datum). Višino Sonca določimo po enačbi,

$$\alpha = \arcsin(\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) . \quad (\text{A.15})$$

Za nalogo smo predvideli čas in kraj sončnega vzhoda in zahoda ter dolžino dneva. Urni kot za sončni zahod in vzhod smo dobili iz enačbe (A.15), pri čemer zamenjamo pogoj, da je višina Sonca ob sončnem zahodu, enaka kotu na horizontu. Če je horizont raven, je višina Sonca enaka nič ob sončnem zahodu in urni kot sončnega zahoda postane,

$$\omega_0 = \arccos(-\tan \delta \tan \phi) . \quad (\text{A.16})$$

Literatura

- [1] S. Makonin in ostali, "A Smarter Smart Home: Case Studies of Ambient Intelligence", *IEEE CS*, 2013.
- [2] J. A. Duffie, W. A. Beckman. "Solar Engineering of Thermal Processes, third edition", Solar energy laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2006.
- [3] Spletna stran podjetja Roltek. Dostopno na:
<http://www.roltek.si>, [julij 2013].
- [4] S. Grynning, A. Gustavsen in ostali. "Windows in the buildings of tomorrow: energy losers or energy gainers?", *Energy and Buildings*, št. 61, str. 185-192, 2013.
- [5] S. Medved, "Gradbena fizika", Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, 2010.
- [6] Sunrise equation, spletna stran wikipedija. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Sunrise_equation, [julij 2013].
- [7] S. Y. Koo, M. S. Yeo in ostali, "Automated blind control to maximize benefits of daylight in buildings", *Building and Environment*, št. 45, str. 1508-1520, 2010.
- [8] Simatic, "Structured Control Language (SCL) for S7-300/s7-400 Programming", Siemens, 1998.
- [9] Roltek, "Tehnični priročnik Roltek", Roltek, 2009/10.

- [10] Sevalni tok, spletna stran wikipedija. Dostopno na:
http://sl.wikipedia.org/wiki/Sevalni_tok, [julij 2013].
- [11] Twilight, spletna stran wikipedija. Dostopno na:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Twilight>, [julij 2013].
- [12] Power From The Sun - Collecting Solar Energy (), spletna stran power-fromthesun. Dostopno na:
<http://www.powerfromthesun.net/Book>, [julij 2013].
- [13] A. Brush in ostali, "Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities", *ACM CHI*, str. 2115-2124, 2011.
- [14] ABC Sun control - Why shade from the exterior rather than the interior, spletna stran ABC Sun control. Dostopno na:
<http://www.abcsuncontrol.com>, [julij 2013].
- [15] Summer Time in Europe, spletna stran wikipedija. Dostopno na:
http://en.wikipedia.org/wiki/Summer_Time_in_Europe, [julij 2013].