

UNIVERZA V NOVI GORICI
POSLOVNO-TEHNIŠKA FAKULTETA

SENČENJE PROSTOROV

DIPLOMSKO DELO

Robert Malečkar

Mentor: doc. dr. Maja Bračič Lotrič

Nova Gorica, 2010

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Maji Bračič Lotrič za koristne nasvete in pomoč pri izdelavi diplomskega dela.

NASLOV

Senčenje prostorov

IZVLEČEK

V diplomski nalogi je prikazan pomen senčenja za energetske učinkovitost stavb. Analiziran je prispevek posameznih komponent sončnega sevanja k segrevanju prostorov. Med njimi je največji prispevek direktnega sevanja, ki ga lahko zmanjšamo z uporabo lamelnih žaluzij. Predlagan je krmilni algoritem, ki nastavlja kot žaluzij tako, da so lamele vedno pravokotne na smer žarkov direktnega sevanja. Prednost tega sistema je, da ne zastira prostora v celoti. Za ta algoritem je s preprostim matematičnim modelom, implementiranim v programskem okolju Matlab, izračunana dnevna absorbirana energija za vse dni v letu. V nalogi smo obravnavali tudi možnosti za aplikacijo algoritma z uporabo tržno dostopnih senčil, senzorjev, krmilnih sistemov, koračnih motorjev in centralnih nadzornih sistemov.

KLJUČNE BESEDE

Sončno sevanje, prevajanje toplote, senčenje, krmiljenje žaluzij, koračni motorji

TITLE

Shading rooms

ABSTRACT

The purpose of this work is to show the importance of effective shading for the energetic balance of the buildings. Components of solar radiations which contribute to energy absorption through glass windows are analyzed. A simplified mathematical model, implemented in Matlab, is used to show how much less energy enters a room if shaded using blinds which always cover the angle of the sun throughout the year. The thesis includes an analysis of possible application of window shading with automatic control blinds, using existing blinds, motors and central control systems.

KEYWORDS

Solar radiation, heat conduction, shading, steering blinds, stepping motors

KAZALO

1	UVOD.....	1
2	SONČNO SEVANJE	2
2.1	Sonce.....	2
2.2	Proces fuzije.....	2
2.3	Sevanje.....	3
2.3.1	Planckov zakon	4
2.3.2	Wienov zakon sevanja.....	4
2.3.3	Elektromagnetni spekter.....	5
2.4	Sevanje na robu atmosfere	5
2.5	Prehod sončnega sevanja skozi ozračje	7
2.6	Sevanje na ploskev na površju	10
2.6.1	Sevanje tal	12
2.6.2	Sevanje ozračja.....	12
2.6.3	Učinki tople grede	12
2.6.4	Neto sevanje	13
2.6.5	Vpadni koti sončnih žarkov	15
2.6.6	Sončni vzhod in zahod	17
2.6.7	Direktno sončno obsevanje na horizontalno površino	18
2.6.8	Poljubno orientirana ploskev.....	18

3	Mehanizmi prevajanja toplote	20
3.1	Prevod ali kondukcija	20
3.2	Prenos ali konvekcija	21
3.3	Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah	22
3.3.1	Prehod toplotnega toka skozi transparentne snovi	22
3.4	Okna in steklene površine	23
4	SEGREVANJE PROSTOROV ZARADI SONČNEGA SEVANJA	24
4.1	Model segrevanja prostora skozi okno	25
4.2	Model z upoštevanjem senčenja	30
5	SENČENJE.....	33
5.1	Bivalno ugodje	33
5.1.1	Temperatura zraka	34
5.1.2	Srednja sevalna temperatura	35
5.1.3	Vlažnost zraka	35
5.2	Senčila.....	36
5.2.1	Žaluzije.....	37
5.2.2	Koračni motorji	38
5.3	Vremenska postaja	38
5.4	Centralni nadzorni sistem (CNS).....	40
5.4.1	Osnovni principi centralnega nadzornega sistema	40
5.4.2	Obseg centralnega nadzornega sistema.....	41

5.5	Koncept krmiljenja	43
5.5.1	Algoritem upravljanja žaluzij.....	45
6	ZAKLJUČEK	47
7	LITERATURA	49

KAZALO SLIK

Slika 1. Prikaz valovne dolžine	3
Slika 2. Spektralna porazdelitev gostote toka sevanja črnega telesa s temperaturo 5800 K (črtkana krivulja) in dejansko sončno sevanje na vrhu atmosfere pri povprečni oddaljenosti od Sonca (polna krivulja)	4
Slika 3. Spekter sončnega sevanja	5
Slika 4. Sončno obsevanje na robu atmosfere čez leto	7
Slika 5. Sevanje na vrhu atmosfere in pri tleh	9
Slika 6. Prehod sončnega sevanja skozi ozračje	10
Slika 7. Dnevni potek gostot energijskega toka posameznih sevanj	14
Slika 8. Prikaz naklonskega kota ploskve β , njenega azimuta γ in vpadnega kota sončnih žarkov θ na poljubno usmerjeno ploskev	16
Slika 9. Potek vpadnega kota sončnih žarkov na vzhodno okno v zimskem in poletnem dnevu	17
Slika 10. Potek vpadnega kota sončnih žarkov na južno okno v zimskem in poletnem dnevu	17
Slika 11. Gostota energijskega toka direktnega obsevanja za različno orientirane površine brez slabljenja skozi atmosfero	19
Slika 12. Prevod toplote skozi snov	20
Slika 13. Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah	22
Slika 14. Mehanizem prenosa toplote in temperature pri dvoslojni zasteklitvi	23
Slika 15. Toplotna prestopnost različnih plinov	24
Slika 16. Komponente energije obsevanja na vertikalno površino, orientirano na južno stran, v Novi Gorici	27

Slika 17. Absorbirana energija brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 1 in 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na jug.....	28
Slika 18. Absorbirana energija brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 1 in 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na vzhod	29
Slika 19. Absorbirana energija brez upoštevanja senčenja za faktor oblačnosti 1 in 0,5 za horizontalno površino	30
Slika 20. Prikaz senčenega področja v primeru da je kot lamele enak vpadnemu kotu direktnega sevanja	31
Slika 21. Absorbirana energija z in brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na vzhod	32
Slika 22. Absorbirana energija z in brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na jug.....	32
Slika 23. Primer vrste senčil (žaluzije).....	38
Slika 24. Diagram poteka krmiljenja žaluzij.....	44

1 UVOD

Sonce je vir energije, ki je za človeka bistvenega pomena in brez katerega človeštvo ne bi obstajalo. Toplotni tok, ki doseže Zemeljsko površje, pa ni vedno enak. V določenih situacijah, predvsem v poletnih mesecih, pa se bivalni prostori zaradi prehoda sončnega sevanja skozi gradbene konstrukcije preveč segrevajo. Največ sončne energije prostor prejme skozi steklene površine. Zmanjšamo jo lahko s senčenjem. S senčili zmanjšamo prehod direktnega sončnega sevanja in akumuliranje energije v prostoru. Na ta način lahko vplivamo na znižanje previsokih temperatur v prostoru in s tem na bolj ugodne bivalne pogoje.

Na trgu je na voljo veliko različnih tipov senčil, ki se med seboj zelo razlikujejo. V delu se bomo omejili samo na zunanje žaluzije. Pri teh žaluzijah, namreč lahko nastavljamo kot lamel in s tem dosežemo manjše segrevanje prostorov, hkrati pa ne zastiramo prostora v celoti. To je pomembno tako z vidika osvetljenosti prostora kot tudi z vidika splošnega dobrega počutja v prostoru. Namen naloge je prikazati, koliko lahko zmanjšamo energijo, ki jo prostor zaradi sončnega sevanja absorbira, z nastavljanjem kota lamel. Končni cilj je, poiskati učinkovit krmilni algoritem in možnosti za njegovo implementacijo z uporabo splošno dostopnih komponent in sistemov.

V drugem poglavju so predstavljene komponente sončnega sevanja na Zemeljskem površju in njihova odvisnost od lege in orientacije površine. Podani so izračuni gostote posameznih komponent energijskega toka za površino, locirano v Novi Gorici. V tretjem poglavju so na kratko opisani mehanizmi prevajanja toplote in na njihovi osnovi zgrajen model segrevanja prostorov zaradi sončnega sevanja. Podani model segrevanja skozi stekleno površino je nadgrajen tudi za primer senčenja te površine. V četrtem in petem poglavju so opisane različne vrste senčil in centralni nadzorni sistem, s katerim avtomatsko krmilimo senčila. Na tak način dosežemo določen prihranek, ki je tudi grafično prikazan v zadnjem, petem poglavju.

2 SONČNO SEVANJE

2.1 Sonce

Sonce je po svoji velikosti glede na Darperjevo metodologijo rumena pritlikavka. Je središče Osončja, v katerem kot tretji planet kroži Zemlja. Srednja razdalja med Soncem in Zemljo je $149,6 \times 10^9$ m (največja razdalja je 152×10^9 , najmanjša pa 147×10^9 m), njegov premer je $1,392 \times 10^9$ metra. Sonce je sferično telo, ki ga sestavljajo različni plini. Največja masa, kar 40%, je v jedru Sonca. Ocenjujejo, da znaša temperatura znotraj središča Sonca med 8 in 40×10^6 K, to pa so idealni pogoji za zlivanje jeder. To je proces, pri katerem se štirje protoni vodika združijo v helij. Masa helijevega atoma je manjša od mase štirih protonov vodika – tako se del mase pretvori v energijo. 90% sončne energije se sprosti v jedru, ta energija prehaja iz notranjosti proti površini. Prenos toplote poteka s sevanjem in konvekcijo v sevalnem in konvektivnem področju. Zaradi visokih temperatur oddaja jedro rentgenske in gama žarke (Medved in Novak, 2000).

2.2 Proces fuzije

V Sončnem jedru pri temperaturah med 8 in 40 milijoni Kelvinov poteka zlivanje jeder: $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He}$. Pri zlitju vsakega kilograma vodika se sprosti $6,2 \times 10^8$ MJ. Zlivanje vodikovih in drugih zelo lahkih atomskih jeder v težja jedra imenujemo fuzija. V bistvu je nekakšno nasprotje razcepa jedra ali »jedrske fisije«, ki se uporablja v sodobnih jedrskih reaktorjih. Pri fuziji se osvobodijo nevtroni in veliko energije.

Fuzija seveda ne traja neskončno. Ko se porabi zadosten delež helijevih jeder in začne primanjkovati vodikovih se začne zvezda sesedati, tlak in temperatura pa naraščata. Takrat se začnejo pojavljati bolj kompleksne reakcije, ko se helij začne združevati v ogljikova, kisikova in dušikova jedra. Takrat je v središču zvezde temperatura od 19 milijonov K pa vse do 100 milijonov K, pri tej temperaturi pa nastajajo jedra železa. Ko masa železnega jedra preseže 1,44 mase Sonca, steče kolaps središča zvezde (Medved in Novak, 2000).

2.3 Sevanje

Sevanje je način prenosa energije med dvema lokacijama preko elektromagnetnega valovanja. Vsako telo, ki ima temperaturo nad absolutno ničlo, seva. Toplejši predmeti sevajo več energije kot hladnejši. Sevanje črnega telesa podaja Štefan - Boltzmannov zakon (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$j^* = \sigma T^4. \quad (1)$$

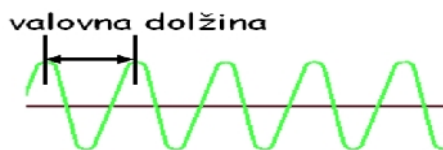
Tu so :

- j^* - gostota toka sevanja (W/m^2),
- σ - Štefan - Boltzmannova sevalna konstanta $5,67 \times 10^{-8} (\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4})$ in
- T - temperatura sevalca (K).

Štefan - Boltzmannov zakon je tudi edini naravni zakon, poimenovan po Slovencu. Sorazmernostni koeficient (σ) se imenuje Štefanova konstanta. Jožef Štefan je s pomočjo tega zakona kot prvi na svetu izračunal temperaturo Sonca, to je $5430 \text{ }^\circ\text{C}$, kar je bilo zelo blizu prave vrednosti.

Sevanje Sonca je elektromagnetno valovanje. Tega lahko opišemo z:

- valovno dolžino - λ (m), razdalja med dvema vrhovoma valovanja (slika 1) in
- frekvenco - ν (s^{-1} oziroma Hz), število valov, ki na sekundo prečka isto točko.



Slika 1. Prikaz valovne dolžine
(Vir: Biotehniška fakulteta, 2010)

Zvezo med valovno dolžino in frekvenco lahko zapišemo z naslednjo enačbo:

$$c = \lambda \nu. \quad (2)$$

Pri tem je:

- c - svetlobna hitrost ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

2.3.1 Planckov zakon

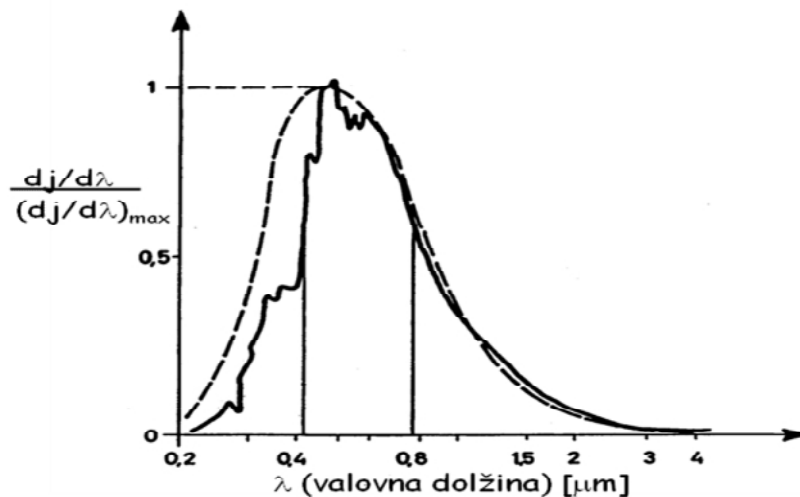
Telesa sevajo pri vseh valovnih dolžinah, vendar pri nekaterih več kot pri drugih. O tem, koliko sevajo pri posameznih valovnih dolžinah, govori Planckov zakon (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$\frac{\partial j}{\partial \lambda} = \frac{2 \cdot h \cdot c^2 \cdot \lambda^{-5}}{e^{\frac{h \cdot c}{\lambda \cdot T}} - 1} = f(\lambda, T) \quad (3)$$

Tu so:

- h - Planckova konstanta ($6,62 \times 10^{-34}$ Js) in
- k - Boltzmannova konstanta ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K).

Na sliki 2 lahko vidimo razliko med spektralno porazdelitvijo gostote toka idealnega črnega telesa ter dejanskim spektrom sončnega sevanja na vrhu Zemljine atmosfere.



Slika 2. Spektralna porazdelitev gostote toka sevanja črnega telesa s temperaturo 5800 K (črtkana krivulja) in dejansko sončno sevanje na vrhu atmosfere pri povprečni oddaljenosti od Sonca (polna krivulja)
(Vir: Biotehniška fakulteta, 2010)

2.3.2 Wienov zakon sevanja

Valovna dolžina sevanja, pri kateri telo seva največ, je obratno sorazmerna s temperaturo telesa. Toplejša telesa tako sevajo več pri manjših valovnih dolžinah kot hladnejša. To opisuje Wienov zakon (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$\lambda_{\max} T = c_w \quad (4)$$

Tu so:

- c_w - Wienova konstanta ($2,898 \mu\text{K}$),

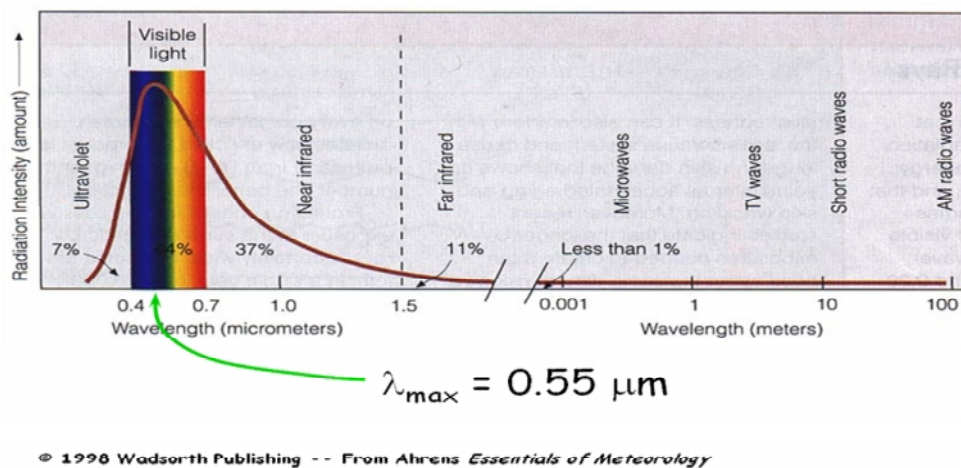
- λ_{\max} - valovna dolžina, pri kateri telo seva največ (m)in
- T - temperatura telesa (K).

2.3.3 Elektromagnetni spekter

Celoten spekter sončnega sevanja po dogovoru delimo v tri integralna področja (Kastelec in drugi, 2007):

1. ultravijolično sevanje (med 0,25 in 0,38 μm),
2. vidna svetloba (med 0,38 in 0,7 μm), ta del spektra zaznamo z očmi in
3. infrardeče sevanje (med 0,78 in 5 μm).

Na sliki 3 je prikazan sončni spekter z označenimi posameznimi deli spektra, med njimi so tudi zgoraj naštetna osnovna področja.



Slika 3. Spekter sončnega sevanja
(Vir: Biotehniška fakulteta, 2010)

2.4 Sevanje na robu atmosfere

Gostota toka sevanja slabi s kvadratom razdalje od sevalca (ob predpostavki, da ni absorpcije in sipanja) (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$j_2 = j_1 \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \quad (5)$$

Sevalni tok Sonca, ki dospe do Zemlje, tako zapišemo kot (Medved in Novak, 2000):

$$Q_s = (4 \pi R_{sz}^2) G_{sc} \quad (6)$$

Pri čemer sta:

- R_{sz} - razdalja med Zemljo in Soncem ($149,6 \times 10^9$ m) in
- G_{sc} - solarna konstanta (1367 W/m^2).

Solarna konstanta je specifični sevalni tok Sonca na enoto površine na zunanjem robu atmosfere na ploskev, ki je pravokotna na smer sončnih žarkov.

Vrednost solarne konstante je integral monovalovnih vrednosti sončnega sevanja z mejami valovnih dolžin med $0,25$ in $100 \mu\text{m}$. Danes se uporablja vrednost te solarne konstante 1367 W/m^2 (G_{sc}) ali $4,921 \text{ MJ/m}^2\text{h}$.

Gostota toka energije, ki jo oddaja Sonce, se s časom nekoliko spreminja. Meritve (v zadnjih desetletjih predvsem s satelitov) dajejo za solarno konstanto vrednosti okrog $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$ in potrjujejo približno periodične spremembe v 11-letnih ciklih sončnih peg za približno $\pm 1,5 \text{ Wm}^2$, kar je okrog $0,1 \%$. Spremembe so tudi kratkoročne in te celo presegajo 11-letne spremembe.

Ob kroženju Zemlje okrog Sonca se spreminja njuna medsebojna oddaljenost od približno $152,5 \times 10^6$ kilometrov poleti (julija) do $147,5 \times 10^6$ kilometrov pozimi (januarja) - povprečje znaša $149,6 \times 10^6$ kilometrov. Zato se spreminja tudi gostota toka sončne energije na robu atmosfere skozi leto glede na spreminjajoči se kvadrat relativne oddaljenosti Zemlje od Sonca za okrog $0,03 \%$ (Kastelec in drugi, 2007).

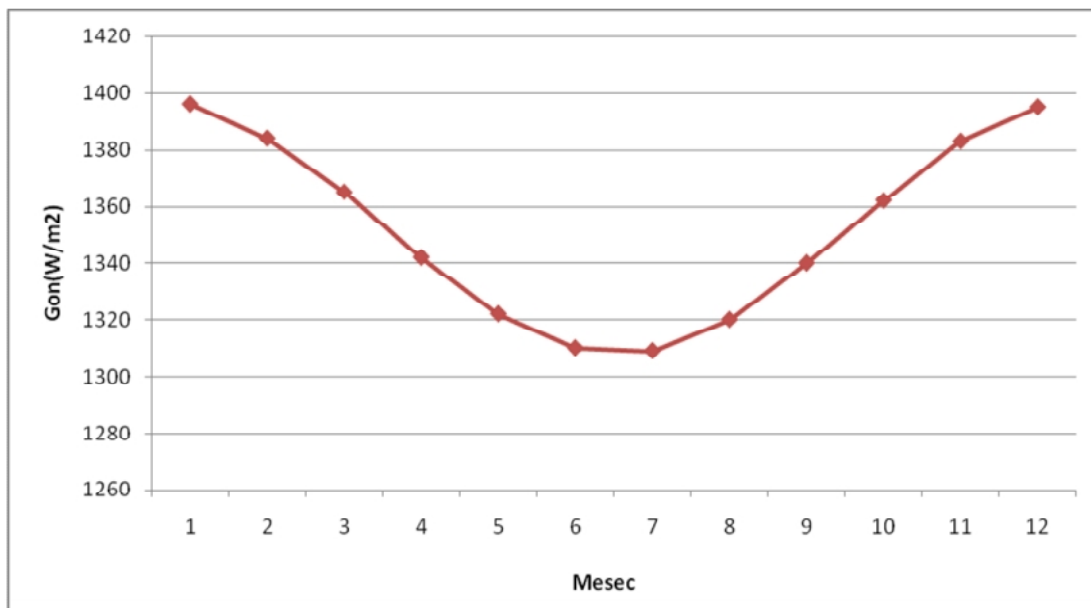
Za poljuben zaporedni dan (n) v letu lahko sončno sevanje na robu atmosfere izračunamo s korekcijskim členom (Beckman in Duffie, 2006):

$$G_{on} = G_{sc} (1 + 0,033 \cos 360n/365). \quad (7)$$

Tu je:

- G_{on} - sončno sevanje na robu atmosfere na vodoravno ploskev in
- G_{sc} - solarna konstanta (1367 W/m^2).

Na sliki 4 je prikazana vrednost sončnega obsevanja na robu atmosfere skozi celo leto.



Slika 4. Sončno obsevanje na robu atmosfere čez leto

Kljub spreminjanju pa lahko za oceno gostote energijskega toka od Sonca na vrhu ozračja vzamemo za današnjo rabo povprečno vrednost $G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$.

Srbski astronom Milutin Milankovič pa je ugotovil, da se dolgodobno (v desetisočih letih) spreminjajo parametri vrtenja Zemlje in kroženja Zemlje okrog Sonca. Sploščenost tira se s periodo okrog 98 tisoč let spreminja od skoraj popolnega kroga z ekscentričnostjo samo 0,0005 do nekoliko sploščene elipse z ekscentričnostjo 0,0607. Kot osi vrtenja Zemlje glede na normalo na ravnino ekliptike, po kateri Zemlja kroži okrog Sonca, se spreminja od $21,2^\circ$ do $24,5^\circ$ s periodo približno 40 tisoč let. Poleg tega pa Zemlja kot vrtavka tudi »opleta« s periodo od okrog 19 do okrog 23 tisoč let. Zaradi teh razlogov se je na primer osončenje na severni polobli spreminjalo v zadnjih milijon letih za več deset odstotkov (npr. po Bargerjevem modelu, 1978, je izračunano za 65° g. š. spreminjanje za $\pm 12\%$). Te ogromne spremembe so skoraj zanesljivo glavni vzrok za pojavljanje ledenih dob v geološki zgodovini Zemlje (Kastelec in drugi, 2007).

2.5 Prehod sončnega sevanja skozi ozračje

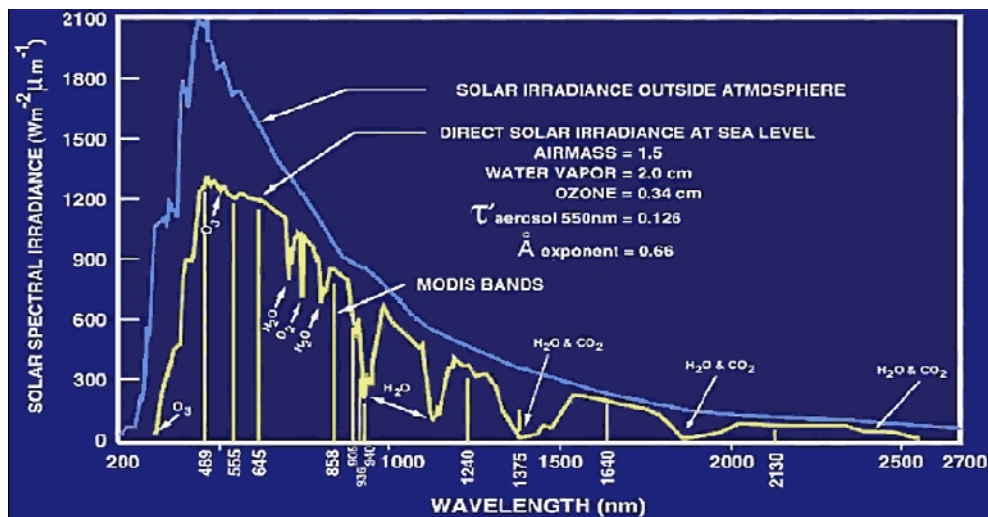
Moč sončnega sevanja zaradi sipanja (razprševanja) in absorpcije v ozračju slabi, vendar pa je slabitev odvisna od valovne dolžine. Zato spekter sončnega sevanja pri tleh ni več dosti podoben spektru sevanja črnega telesa (slika 5). V brezoblačnem,

čistem ozračju imata oba procesa energetsko primerljive učinke glede oslabitve sončnih žarkov. Najmočnejši vpliv na oslabitev direktnega sončnega obsevanja tal pa imajo seveda oblaki in megla.

Sipanje je pojav, ko fotoni za zelo kratek čas vzbudijo gradnike snovi (npr. molekulo v ozračju) v višje vzbujeno energetsko stanje, ki potem, ko se vrne nazaj v osnovno energetsko stanje, izseva energijsko enako izdaten foton - toda ne nujno v smeri upadlih fotonov, temveč v poljubno smer. Tako se s sipanjem sevanje razpršuje na vse strani. Sončno sevanje se v ozračju sipa na molekulah zraka, na gostotnih fluktuacijah in na delcih aerosola v ozračju. Sipanje je posebno močno v oblakih in večina sončnega sevanja od oblakov se odbije nazaj v vesolje. Močno je tudi sipanje na delcih motnega ozračja - na prahu, vulkanskem pepelu in na drugih aerosolih v ozračju – del teh je tudi antropogenega izvora. Sipanje torej, del energije direktnega sončnega sevanja pretvarja v t. i. difuzno sončno sevanje. Učinki sipanja precej zvezno vplivajo na različne valovne dolžine sončnega sevanja, zato so z njim vsaj delno oslabiljene vse valovne dolžine direktnega sončnega sevanja; krajše večinoma bolj. V brezoblačnem, čistem zraku (sipanje na molekulah zraka) je dosti močnejše sipanje pri krajših valovnih dolžinah, zato se od sončne svetlobe najbolj sipata vijolični in modri del, najmanj pa oranžni in rdeči, od tod tudi modrina neba. Sipanje na kapljicah oblakov ali megle bolj enakomerno vpliva na vse valovne dolžine, zato je tedaj difuzni del svetlobe »bel«.

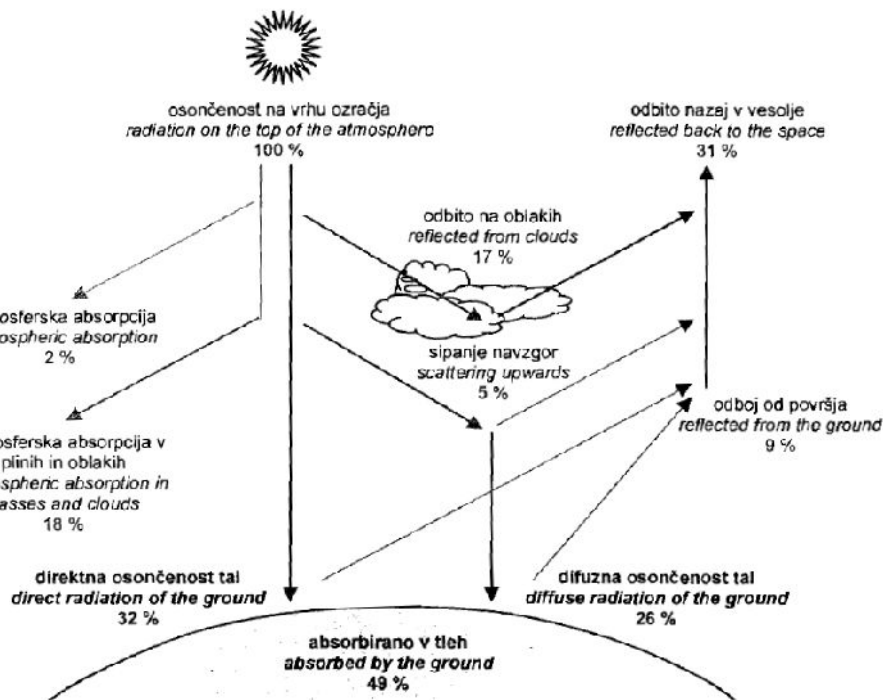
Absorpcija je pojav, pri katerem v vzbujenem stanju pride do trkov z drugimi gradniki (npr. molekulami). Z zaporednimi trki se presežna energija vzbujenosti prenese na druge molekule ter se tako postopoma poveča povprečna kinetična energija molekul ozračja. Na ta način se fotoni »porabijo« za povečevanje notranje energije plinov ozračja - pravimo, da se sevanje z absorpcijo pretvarja v toploto. Energijsko najpomembnejša absorberja sončne energije v ozračju sta vodna para in ogljikov dioksid, ki absorbirata predvsem v infrardečem in delno tudi vidnem območju, poleg teh dveh pa še dvoatomni kisik (v območju vidne svetlobe) ter ozon, ki močno absorbira ljudem, živalim in rastlinam nevarno ultravijolično sevanje. Absorpcija je izrazito močna pri določenih valovnih dolžinah oz. v pasovih okrog teh valovnih dolžin, medtem ko je pri drugih zanemarljivo šibka. Zato absorpcija v

ozračju močno spremeni spekter sončne energije: pri tleh »manjkajo« nekatere valovne dolžine: v bližnjem infrardečem območju se pri 1,4 μm , okrog 1,9 μm in med 2,4 do 2,8 μm skoraj vsa energija absorbira v ozračju (Kastelec in drugi, 2007).



Slika 5. Sevanje na vrhu atmosfere in pri tleh
(Vir: Baugh, 2010)

Oblaki s tem, da zakrivajo sonce, preprečujejo direktnim sočnim žarkom prehod k tlu in s tem vplivajo na trajanje sončnega obsevanja. V zelo debelih oblakih je sipanje nazaj v vesolje zelo močno: oblaki lahko odbijajo tudi do 80 % sončne energije. Absorpcija pa tudi pri zelo debelih oblakih ni zelo močna: do približno 10 %.



Slika 6. Prehod sončnega sevanja skozi ozračje
(Vir: Kastelec in drugi, 2007)

Slika 6 prikazuje prehajanje sončnega sevanja skozi atmosfero. Na njej vidimo, kako sipanje »razpršuje« sončno energijo na vse strani in s tem zmanjšuje gostoto energijskega toka direktnega sončnega obsevanja in povečuje delež difuznega sončnega obsevanja. Modrina neba, belina oblakov ali gorskih vrhov, svetle površine tal (npr. polja zrelega žita) so vir difuzne sončne svetlobe. Če domnevamo, da se sipa sončno sevanje skoraj toliko »naprej« kot »nazaj«, bi se tako s sipanjem približno pol difuzne sončne energije preusmerjalo nazaj v vesolje, druga polovica pa prispeva k difuznemu sončnemu obsevanju pri tleh. Absorpcija seveda pomeni, da absorbirani del sončne energije sicer nekoliko ogreva ozračje, za obsevanost pri tleh pa je ta del »izgubljen«.

2.6 Sevanje na ploskev na površju

Gostota energijskega toka na zemeljsko površje je odvisna od kota (θ), pod katerim vpadajo sončni žarki na površje, in od trenutnih lastnosti ozračja.

Kjer oz. kadar je sonce v zenitu - v naših geografskih širinah sonce seveda nikoli ni v zenitu, se direktno sončno sevanje pri prehodu navpično navzdol skozi čisto,

brezoblačno ozračje oslabi približno za 10 % zaradi sipanja in približno za 10 % zaradi absorpcije. Del sipanega sevanja pride do tal kot difuzno sevanje. Kadar pa je sonce »nižje« na nebu - pri nas je npr. opoldne pozimi vpadni kot le $21,5^\circ$, je oslabitev zaradi daljše poti sončnih žarkov skozi ozračje lahko tudi dosti močnejša. Kadar je ozračje precej motno, umazano, je lahko ob zelo nizkem soncu oslabitev skoraj popolna: včasih ob zahodu sonce »izgine« v umazaniji, še preden zaide za obzorje (Kastelec in drugi, 2007).

Za ocenjevanje oslabitve sončnega sevanja skozi brezoblačno ozračje upoštevamo absorpcijo v vodni pari, v ogljikovem dioksidu v ozonu in v aerosolu. K slabitvi prispeva tudi sipanje na molekulah plinov ozračja in na večji ali manjši količini aerosola v ozračju - vse to seveda vzdolž daljše ali krajše poti skozi ozračje. Ob nekem zenitnem kotu sonca θ_z se pot skozi ozračje podaljša glede na sonce v zenitu približno s faktorjem $1/\cos\theta_z$ (kar dovolj zanesljivo velja le za $\theta < 80 - 85^\circ$, za večje zenitne kote θ_z je potreben drugačen izračun). Oslabljen tok izračunamo z naslednjo enačbo (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$j_{DIR} = G_{sc} \cdot \tau_\beta = j_0 \cdot \tau_z^{1/\cos(\theta_z)}. \quad (8)$$

Tu je :

- j_{dir} - gostota toka direktnega sončnega sevanja, ki prispe do zemeljskega površja (W/m^2),
- θ - vpadni kot sončnih žarkov in
- τ_z - zenitna prepustnost.

Pot sončnih žarkov je daljša do nizkih nadmorskih višin, odločilni pa so tudi oblaki in megla - to upoštevamo prek trajanja sončnega obsevanja. Če obravnavano območje ni na ravnini, temveč ima na obzorju tudi hribe (ali morda, predvsem v urbanem okolju, kake druge ovire), je treba take ovire upoštevati.

V različnih geografskih širinah se prek leta in dneva različno spreminja višina sonca na nebu. Višina sonca na nebu oz. njegova kotna razdalja od zenita θ_z vpliva seveda tudi na osončenost vodoravnih površin. Čim večji je zenitni kot sonca θ_z , na tem večjo horizontalno površino se razporeja vpadla sončna energija.

Pri obsevanju neke ploskve moramo poleg do sedaj omenjenega globalnega sončnega sevanja upoštevati tudi sevanje tal in ozračja.

2.6.1 Sevanje tal

Poleg Sonca k sevanju v atmosferi prispeva tudi sevanje Zemlje. Tla sevajo v skladu s Štefanovim zakonom za siva telesa (Biotehniška fakulteta, 2010).

$$j_{TLA} = \varepsilon_{TLA} \cdot \sigma \cdot T_{TLA}^4. \quad (9)$$

Tu je:

- ε_{TLA} - emisivnost tal,
- T_{TLA} - temperatura tal (K) in
- j_{TLA} - gostota toka sevanja, katerega oddajajo tla (W/m^2).

2.6.2 Sevanje ozračja

Ozračje seva selektivno, v skladu z absorpcijskimi črtami posameznih plinov, ki sestavljajo zrak. To sevanje je odvisno od temperature in tlaka v ozračju ter oblačnosti (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$j_{OZR} \approx \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{OZR})^4. \quad (10)$$

Tu je:

- ε - emisivnost ozračja,
- T_{2M} - temperatura ozračja (K) in
- j_{OZR} - gostota toka sevanja, iz ozračja (W/m^2).

2.6.3 Učinki tople grede

IR sevanje ozračja, ki je usmerjeno navzdol, dodatno ogreva zemeljsko površje. To imenujemo učinek tople grede. Del žarkov (približno 30 %) se od oblakov in ostalih delcev odbije nazaj v vesolje, okoli 20 % žarkov pa se absorbira v oblakih in plinih,

ki so v atmosferi. Ostalih 50 % sončnih žarkov pa doseže zemljino površino. V obliki dolgovalovnih infrardečih žarkov se odbijejo nazaj proti vesolju (približno 5 %). Ostanek (približno 45 %) se zaradi »plinskega plašča« sestavljenega iz toplogrednih plinov ustavi in na takšen način še dodatno ogreva ozračje (Kajfež Bogataj, 2008).

Okna in steklene stene omogočajo pasivni zajem sončne energije po principu tople grede. Steklo ima namreč optično lastnost, ki jo imenujemo »učinek tople grede«. Močno prepušča valovne dolžine sončnega obsevanja ($0,3 < \lambda < 3,0 \mu\text{m}$) in je nepropustno za valovne dolžine bližnjega toplotnega sevanja (IR sevanje), ki ga oddajajo telesa v prostoru. Steklo torej prepusti svetlobo, zadrži pa toploto.

2.6.4 Neto sevanje

Neto sevanje (j_{RN}) je vsota vseh komponent sevanja, ki prihajajo na neko plast (npr. zemeljsko površje) in odhajajo od nje (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$j_{RN} = j_{GO} \cdot (1 - \rho_{TLA}) + j_{OZR} - j_{TLA} \quad (11)$$

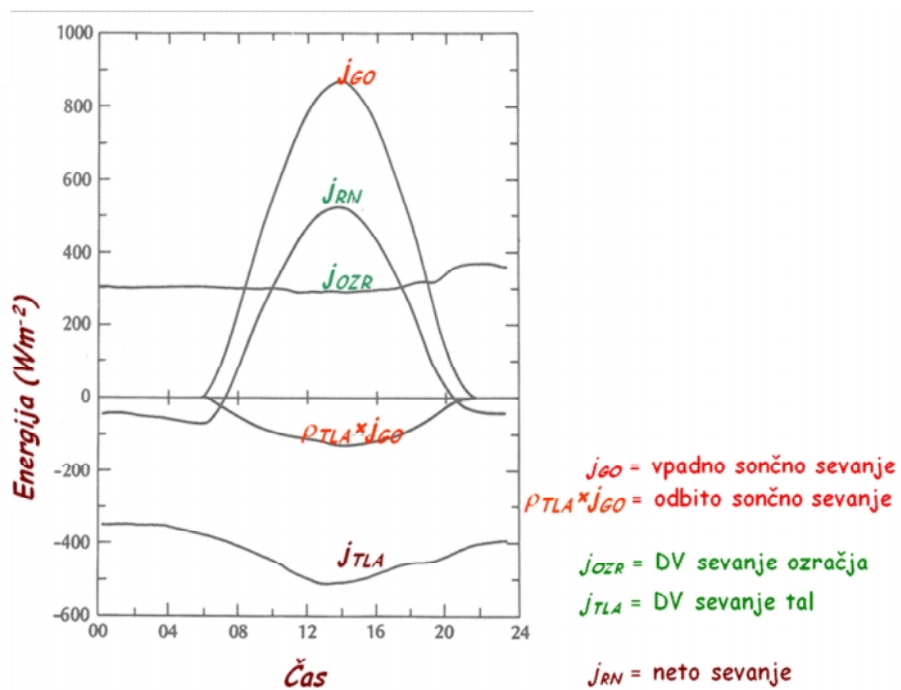
Tu je:

- j_{GO} - globalno obsevanje (direktno in difuzno gostota KV sevanja Sonca na enoto horizontalne ploskve) – $j_{GO} = j_{DIR} + j_{DIF}$,
- j_{RN} - neto sevanje in
- ρ_{TLA} - odbojnost tal za KV sevanje.

Neto sevanje je različno podnevi in ponoči. Za dnevno sevanje velja enačba 14, medtem ko za nočno lahko uporabimo naslednjo enačbo (Biotehniška fakulteta, 2010):

$$j_{RN} = j_{OZR} - j_{TLA} \quad (12)$$

Na sliki 7 so prikazane gostote posameznih omenjenih sevanj.



Slika 7. Dnevni potek gostot energijskega toka posameznih sevanj
(Vir: Biotehniška fakulteta, 2010)

2.6.5 Vpadni koti sončnih žarkov

Vpadni kot sončnih žarkov θ je kot med sončnimi žarki in normalo obsijane ploskve. Pri izračunu energijskega toka na poljubno orientirano površino moramo upoštevati več kotov (slika 8), ki so definirani v nadaljevanju (Beckman in Duffie, 2006):

- **Zemljepisna širina Φ** opisuje lego kraja na Zemlji severno ali južno od ekvatorja. Zemljepisna širina se meri v stopinjah od 0° na ekvatorju do $+90^\circ$ na Severnem tečaju oz. -90° na Južnem tečaju, in je ena od dveh sfernih koordinat v geografskem koordinatnem sistemu.
- **Zenitni kot θ_z** je kot med vertikalo in smerjo sonca.
- **Deklinacija δ** je relativni kot med ekvatorialno ravnino in sončnimi žarki. Ekvatorialna ravnina Zemlje ni vzporedna z ravnino eliptične krožnice, po kateri kroži Zemlja okoli Sonca, temveč je nagnjena:

$$\delta = 23.45^\circ \cdot \left[\frac{360^\circ}{365} \cdot (n + 284) \right]. \quad (13)$$

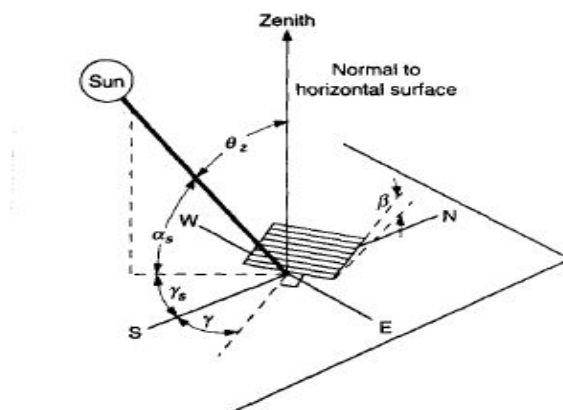
Tu je:

n zaporedni dan v letu.

- **Urni kot ω** Zemlja se zavrti okoli svoje osi v približno 24 urah ali približno 15° vsako uro. To imenujemo urni kot. Po dogovoru je **urni kot ω** negativen v jutranjih urah, nič ob sončnem poldnevu in pozitiven v popoldanskih urah.
- **Naklonski kot β** je kot med ravnino ploskve in horizontalno ravnino. Vodoravne ploskve imajo kot 0° , navpične pa kot 90° .
- **Azimet ploskve γ** je kot med normalo ploskve, projicirano na horizontalno ploskev, in nebesno smerjo juga. Po dogovoru so azimetri ploskve, ki so obrnjene proti vzhodu, negativni in azimetri ploskev, ki so obrnjene proti zahodu, pozitivni. Južno usmerjene ploskve imajo azimet $\gamma=0^\circ$.

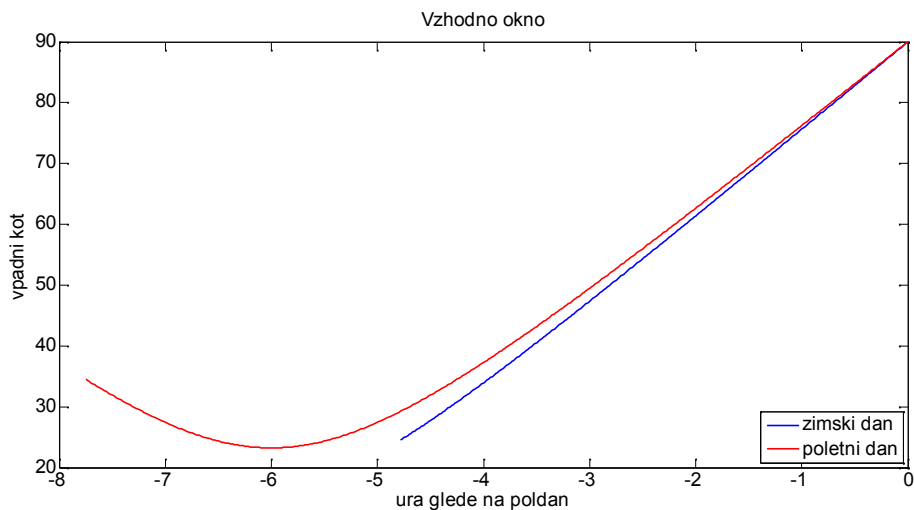
S pomočjo teh podatkov lahko izračunamo vpadni kot sončnih žarkov na poljubno orientirano površino (Beckman in Duffie, 2006).

$$\cos \theta = \sin \delta \sin \Phi \cos \beta - \sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma + \cos \delta \cos \Phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \Phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega. \quad (14)$$

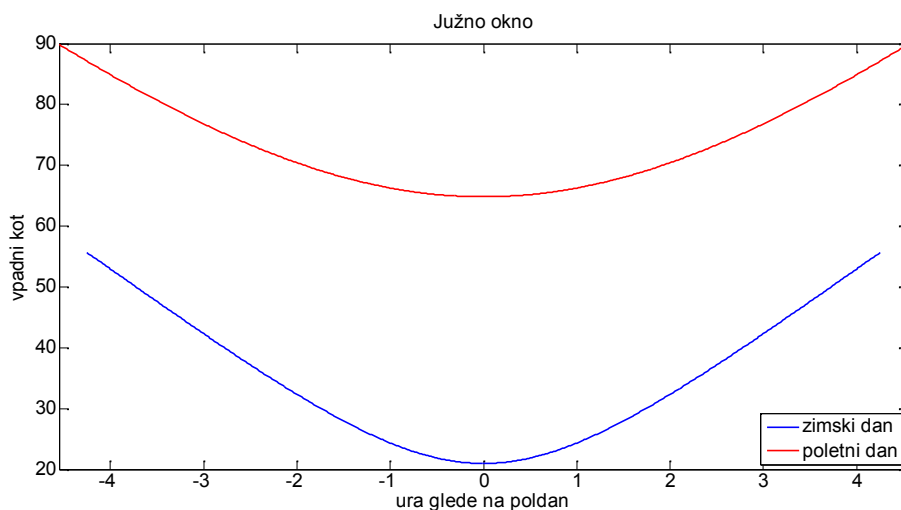


Slika 8. Prikaz naklonskega kota ploskve β , njenega azimuta γ in vpadnega kota sončnih žarkov θ na poljubno usmerjeno ploskev
(Vir: Beckman in Duffie, 2006)

Na sliki 9 in 10 je prikazano spreminjanje vpadnega kota sončnih žarkov v enem dnevu za zimski in poletni dan na vzhodno in južno okno v Novi Gorici. Če je vpadni kot večji od 90° , vrednosti ne upoštevamo. Prikazani sliki sta izrisani s pomočjo matematičnega programa MATLAB. Abscisna os izraža uro glede na poldan – številka 0 na osi predstavlja poldne (12^h).



Slika 9. Potek vpadnega kota sončnih žarkov na vzhodno okno v zimskem in poletnem dnevu



Slika 10. Potek vpadnega kota sončnih žarkov na južno okno v zimskem in poletnem dnevu

2.6.6 Sončni vzhod in zahod

Sončni zahod lahko izračunamo s pomočjo naslednje enačbe (Beckman in Duffie, 2006):

$$\cos\omega_{sz} = -\tan\Phi \tan\delta. \quad (15)$$

Kot sončnega vzhoda in zahoda sta po vrednosti enaka, a nasprotna po predznaku.

Dolžino dneva izračunamo z naslednjo enačbo, kjer je n število sončnih ur (Beckman in Duffie, 2006):

$$n = \frac{2}{15} \cos^{-1}(-\tan \Phi \cdot \tan \delta). \quad (16)$$

2.6.7 Direktno sončno obsevanje na horizontalno površino

V poljubnem času (ω) znaša na določeni geografski širini (Φ) trenutna gostota energijskega toka direktnega sončnega sevanja na horizontalno površino, če ne upoštevamo oslabitve (Beckman in Duffie, 2006):

$$j_0 = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) (\cos \Phi \cos \delta \cos \omega + \sin \Phi \sin \delta). \quad (17)$$

Z integriranjem enačbe 17 od sončnega vzhoda do zahoda dobimo skupno dnevno obsevanje na horizontalno ploskev (Beckman in Duffie, 2006):

$$H_0 = \left(\frac{24 \cdot 3600 G_{sc}}{\pi} \right) \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \left(\cos \Phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \Phi \sin \delta \right). \quad (18)$$

Pri tem je:

- ω_s urni kot sončnega zahoda v stopinjah.

Z integriranjem enačbe 17 od urnega kota ω_1 do ω_2 dobimo urno obsevanje na horizontalno ploskev (Beckman in Duffie, 2006):

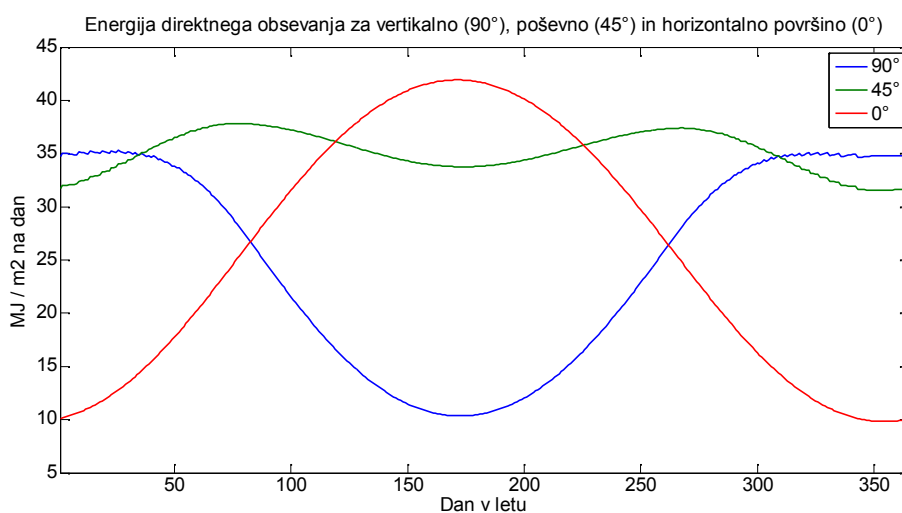
$$I_0 = \left(\frac{12 \cdot 3600}{\pi} \right) G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \right) \left[\cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (19)$$

2.6.8 Poljubno orientirana ploskev

Razmerje med sevanjem na poljubno orientirano ploskev in sevanjem na horizontalno ploskev imenujemo geometrijski faktor obsevanja. Izračunamo ga direktno iz kotov θ in θ_z (Beckman in Duffie, 2006):

$$R_b = \cos \theta / \cos \theta_z. \quad (20)$$

Na sliki 11 je prikazana gostota energijskega toka direktnega sončnega sevanja na različno orientirane površine v Novi Gorici z zemljepisno širino 45° . Pri tem se ne upošteva slabljenja skozi atmosfero. Slika prikazuje tri krivulje. Modra krivulja nam kaže gostoto energijskega toka, ki jo prejme vertikalna površina (naklon 90°), obrnjena proti jugu. Zelena krivulja prikaže gostoto energijskega toka, ki jo prejme površina z naklonom 45° in rdeča gostoto energijskega toka na horizontalno površino. Vidimo, da je za naklon 45° gostota toka najmanj odvisna od letnega časa, medtem ko ima horizontalna površina izrazit vrh v poletnih mesecih. Za vertikalno površino imamo v tem času minimum, vendar ne smemo pozabiti da gre tukaj samo za eno komponento sevanja.



Slika 11. Gostota energijskega toka direktnega obsevanja za različno orientirane površine brez slabljenja skozi atmosfero

3 MEHANIZMI PREVAJANJA TOPLOTE

Poznamo tri osnovne mehanizme prevajanja toplote:

- prevod ali kondukcija,
- prenos ali konvekcija in
- sevanje.

S sevanjem segreto telo oddaja energijo v hladno okolico ali pa jo hladno telo sprejema iz toplejše okolice. Opisano je v drugem poglavju.

3.1 Prevod ali kondukcija

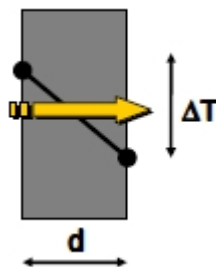
Prevod toplote je pojav, ko atomi v trdnih snoveh ali molekule v tekočinah z višjo energijo predajo energijo sosednjim z nižjo energijo. Toplotni tok, ki s prevodom prehaja skozi neko snov, opišemo s Fourierjevim zakonom (Medved, 2008):

$$Q = UA \frac{\Delta T}{d}, \quad (21)$$

kjer je:

- A - površina telesa preko katere prehaja toplotni tok (m^2),
- ΔT - sprememba temperatur (K),
- d - debelina telesa skozi katerega prehaja toplotni tok (m) in
- U - toplotna prevodnost snovi skozi katero prehaja toplotni tok (W/mK).

Slika 12 prikazuje prestop toplotnega toka.



Slika 12. Prevod toplote skozi snov
(Vir: Medved, 2008)

Fourierov zakon uvaja pomembno snovno lastnost: toplotno prevodnost U . Toplotno prevodnost merimo v W/mK . Predstavlja toplotni tok, ki se prevaja skozi 1 m debel sloj snovi pri temperaturni razliki 1 K.

Specifični toplotni tok j navajamo kot toplotni tok na m^2 površine telesa:

$$j = U \frac{\Delta T}{d}. \quad (22)$$

Toplotno prevodnost snovi določamo z eksperimenti in uporabo Fourierovega zakona, torej izmerimo specifični toplotni tok, temperature na mejah sloja izbrane snovi in izračunamo toplotno prevodnost U :

$$U = j \frac{d}{\Delta T}. \quad (23)$$

3.2 Prenos ali konvekcija

Konvekcija je prenos toplote s trdnih teles na pline (na primer zrak v prostoru ali argon v zasteklitvi) ali kapljevino in obratno. Pojavi se lahko tudi med plinom in kapljevino, če je med njima razlika v temperaturi.

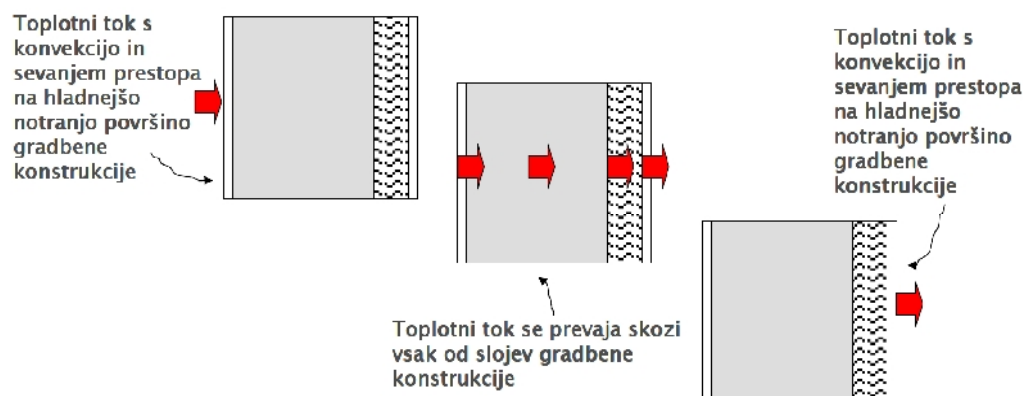
Toplotni tok, ki prestopa med telesi in snovmi, opišemo z Newtonovim zakonom hlajenja:

$$Q = \alpha A \Delta T. \quad (24)$$

Toplotni tok je proporcionalen snovni lastnosti, ki imenujemo toplotna prestopnost α . Toplotno prestopnost merimo v W/m^2K - navaja toplotni tok, ki prestopa na ali z 1 m^2 velike površine pri temperaturni razliki 1K (ΔT med površino in okolico).

3.3 Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah

Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah je posledica razlik v temperaturi med notranjostjo stavbe in okolico. Kot je razvidno iz slike 13, na prehod toplote vplivajo vsi trije mehanizmi, prestop s konvekcijo in sevanjem ter prevod toplote.

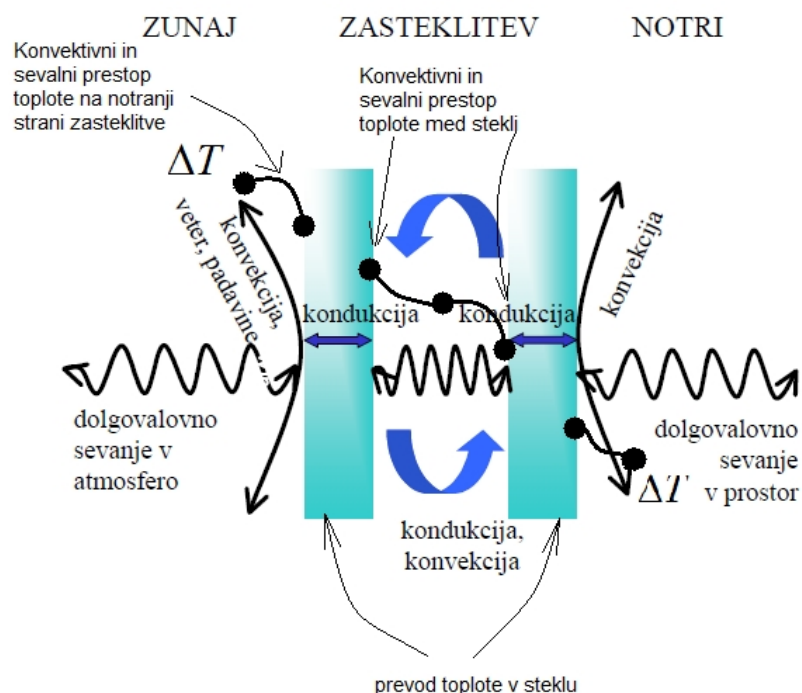


Slika 13. Prehod toplote v gradbenih konstrukcijah
(Vir: Medved, 2008)

3.3.1 Prehod toplotnega toka skozi transparentne snovi

Ko kratkovalovno sončno sevanje zadane ob površino, na primer okenskega stekla, se delno odbije, delno absorbira, delno pa preide skozi element. Absorbirani del sevanja segreje element, ki del shranjene energije odda nazaj v zunanost z dolgovalovnim sevanjem oziroma s konvekcijo neposredno ob površini, del pa se s kondukcijo preko elementa prevaja do druge površine, kjer se ponovi oddaja energije s sevanjem in konvekcijo. Slika 14 prikazuje, kako poteka mehanizem prenosa toplote in temperature pri dvoslojni zasteklitvi.

Sončno sevanje, ki preide skozi zastekljeno površino, segreje predmete v prostoru. Ti del sprejete energije z dolgovalovnim sevanjem oddajo nazaj v prostor proti površinam z nižjo temperaturo.



Slika 14. Mehanizem prenosa toplote in temperature pri dvoslojni zasteklitvi
(Vir: Tomšič in drugi, 1999)

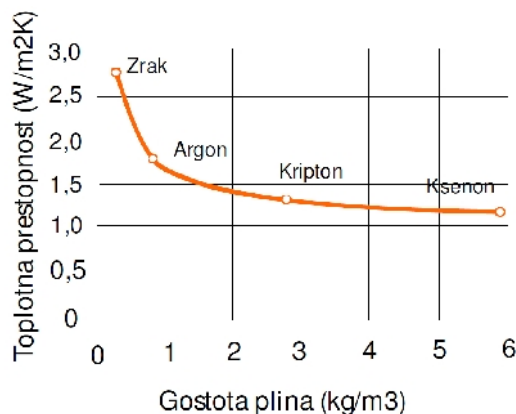
3.4 Okna in steklene površine

Okna kot element obodne površine zgradbe v prvi vrsti omogočajo osvetlitev in prezračevanje prostorov, zagotavljajo pa tudi zvočno zaščito in zaščito pred vremenskimi vplivi. Tehnologija pri izdelavi oken je naredila velik korak naprej. Škatlasta in dvokrilna okna, ki jih vidimo pri starejših zgradbah, so že preteklost. Eden glavnih motivov za hiter razvoj oken v zadnjih letih je poleg estetskih, varnostnih, tehnoloških in drugih vidikov zmanjševanje toplotnih izgub.

Kljub napredku pri izdelavi oken so okna in steklene zasteklitve elementi z največ toplotne izgube. Toplotne prehodnosti oken ($U_1 = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) so mnogo večje kot npr. dobro izolirana stena ($U_1 = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$). Hkrati pa to pomeni, da se prostori skozi okna segrevajo. Če tega presežka ne uspemo shraniti, ali če ta presežek ni primerno razporejen, pride v prostoru do pregrevanja. To odvečno energijo je potrebno odvajati, tako s hlajenjem kot z ustreznimi prezračevalnimi sistemi (Grobvšek, 2010).

Če hočemo toplotno prestopnost zmanjšati, moramo zrak med dvema slojema zasteklitve zamenjati z žlahtnimi plini (argon, kripton), za katere je značilna nižja

toplotna prestopnost pri naravni konvekciji. Slika 15 prikazuje vrednost toplotne prestopnosti različnih plinov, iz katere je razvidno, da ima zrak najslabšo toplotno prestopnost. Zmanjšanje prevodnosti lahko dosežemo tudi z povečanjem števil stekel med notranjostjo prostora in zunanostjo (2→3→4) ali pa z nizko emisijskimi nanosi na steklu.



Slika 15. Toplotna prestopnost različnih plinov
(Vir: Medved, 2008)

4 SEGREVANJE PROSTOROV ZARADI SONČNEGA SEVANJA

Sončno sevanje nosi s seboj energijo, ki jo lahko koristno uporabimo. Tehnologije za uporabo te energije delimo v grobem na:

- aktivne in
- pasivne.

Aktivna solarna tehnologija se uporablja za pretvarjanje sončne energije s pomočjo sončnih celic v uporabno svetlobo in toploto. Energijo lahko izkoristimo tudi za prezračevanje, hlajenje, ogrevanje vode ali shranjevanje toplote za prihodnjo uporabo. Aktivna tehnologija uporablja električno ali mehansko opremo, kot so črpalke in ventilatorji, za povečanje učinkovitosti solarnega sistema. Sončne sisteme, ki ne uporabljajo zunanje energije, uvrščamo med pasivne solarne tehnologije (Active solar, 2010).

Pasivna solarna tehnologija uporablja sončno svetlobo za proizvodnjo energije brez uporabe aktivnih mehanskih sistemov (v primerjavi z aktivno solarno tehnologijo). Elementi za pretvarjanje sončnega obsevanja so nameščeni okoli stavbe in jih imenujemo tudi elementi za naravno ogrevanje stavb z soncem. Stavbo

pripravimo tako, da sama sprejema sončno energijo, da je obenem hranilnik toplote in ogrevalni sistem. Za učinkovito delovanje sistemov za naravno ogrevanje je pomembno, da je sprejem sončnega obsevanja čim manj okrnjen zaradi drugih objektov in naravnih ovir. Za shranjevanje toplote v gradbenih elementih najpogosteje uporabimo kar maso gradbene konstrukcije. Velike steklene površine v zimskem času omogočajo naravno ogrevanje stavb, v poletnem času pa so lahko vzrok za pregrevanje prostorov. Toploto, ki jo preko dneva sprejmejo gradbene konstrukcije, moramo odvesti z dobrim urejenim prezračevanjem. (Passive solar, 2010; Boyle, 2004).

4.1 Model segrevanja prostora skozi okno

Za grobo oceno energije, ki jo lahko zajamemo skozi okno, bomo zgradili preprost model. Osredotočili se bomo na prehajanje sončnega sevanja skozi steklene površine in segrevanje prostora in upoštevali samo dva faktorja:

- energijski tok sončnega sevanja, ki vstopa skozi okno in
- energijski tok zaradi kondukcije, ki je posledica razlik med notranjo in zunanjo temperaturo.

Upoštevali bomo samo kondukcijo skozi steklo in zanemarili izgube skozi zunanje stene, segrevanje notranjih sten in morebitne dodatne energijske vire (kot so na primer grelci).

Kot smo spoznali v drugem poglavju, je energijski tok sevanja sestavljen iz treh komponent:

- direktno sončno sevanje,
- difuzno sevanje ali sevanje ozračja in
- sevanje tal ali odbito sevanje.

Vse tri komponente prispevajo k segrevanju prostora.

Direktno sevanje na zemeljskem površju za horizontalno površino je podano z enačbo 8, za splošno orientirano površino pa moramo upoštevati še kosinus vpadnega kota. Za oceno faktorjev slabljenja v ozračju smo uporabili naslednji model (Beckman in Duffie, 2006):

$$\tau_b = a_0 + a_1 \exp(-k/\cos \theta_z). \quad (25)$$

Tu je:

- θ_z zenitni kot.

Konstante a_0 , a_1 in k pa imajo naslednjo obliko:

$$a_0 = 0,4237 - 0,00821 (6 - A),^2 \quad (26)$$

$$a_1 = 0,5055 + 0,00595 (6,5 - A),^2 \quad (27)$$

$$k = 0,2711 + 0,01858 (2,5 - A),^2 \quad (28)$$

Faktor A je nadmorska višina v kilometrih. V našem primeru privzamemo, da je $A = 0,06$ km, nadmorska višina Nove Gorice.

Direktno sevanje v primeru jasnega vremena je tako:

$$j_{DIR} = G_{on} \tau_b \cos \theta. \quad (29)$$

Difuzno sevanje oz. sevanje ozračja je povezano z direktnim sevanjem na horizontalno površino:

$$j_{DIF} = G_{on} \tau_d \cos \theta_z, \quad (30)$$

pri čemer lahko kot uporaben približek faktorja τ_d uporabimo eksperimentalno dobljeno zvezo (Beckman in Duffie, 2006):

$$\tau_d = 0.271 - 0.294\tau_b. \quad (31)$$

Difuzno obsevanje je odvisno tudi od oblačnosti. Oblačnost upoštevamo s faktorjem k_t , ki ga načeloma ne poznamo. Zato so prikazani izračuni za faktor 1 (nebo brez oblakov) in 0.5 (50% oblačnost). Uporabili smo model, ki na osnovi opazovanj povezuje vpadno sevanje (I) in difuzno sevanje (I_d) (Beckman in Duffie, 2006):

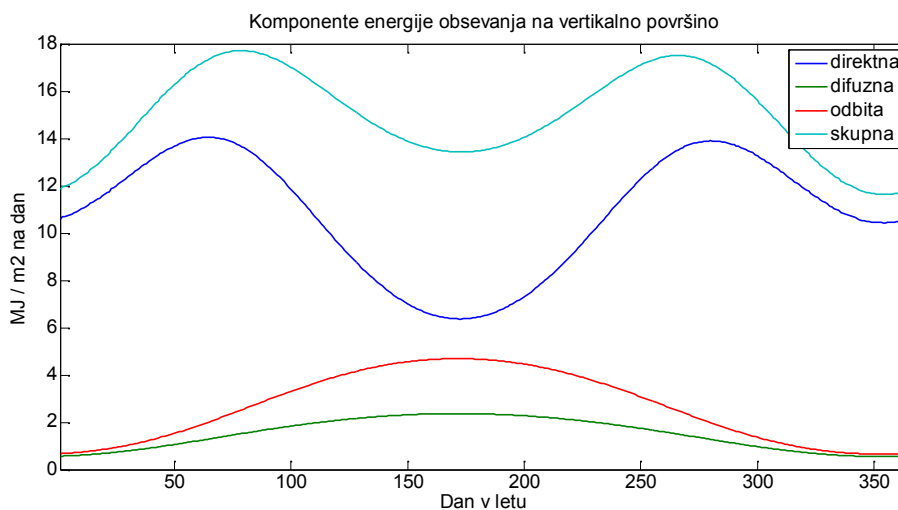
$$\frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1,0 - 0,249Kt & \text{za } Kt < 0 \\ 1,557 - 1,84Kt & \text{za } 0,35 < Kt < 0,75 \\ 0,177 & \text{za } Kt > 0,75 \end{cases} . \quad (32)$$

Sevanje površja ali odbito sevanje je tako kot difuzno odvisno od direktnega sevanja na horizontalno površino

$$j_{TLA} = G_{on} \rho \cos\theta_z (1 + \cos\beta)/2, \quad (33)$$

pri čemer je:

- odbojnost tal.



Slika 16. Komponente energije obsevanja na vertikalno površino, orientirano na južno stran, v Novi Gorici

Slika 16 prikazuje tri komponente dnevnega obsevanja na vertikalno površino: direktno, difuzno in odbito, ter njihovo vsoto. Vsota teh treh prispevkov je skupni energijski tok sevanja. Da dobimo absorbirano energijo, moramo upoštevati velikost ploskve, skozi katero prehaja, in pa delež, ki se absorbira:

$$Q_{in} = A_r \alpha (j_{DIR} + j_{DIFF} + j_{TLA}). \quad (34)$$

Tu sta:

- A_r - površina okna, v našem primeru 4 m² in
- α - efektivna absorpcija sobe, ki jo izračunamo po naslednji formuli:

$$\alpha = \alpha_i / \alpha_i + (1 - \alpha_i) \tau_d (A_r / A_i). \quad (35)$$

Tu je :

- Faktor α_i - reflektanca prostora. Uporabljen je podatek 0,46 (Beckman in Duffie, 2006) in

- A_i - površina sobe, ki znaša 30 m^2 .

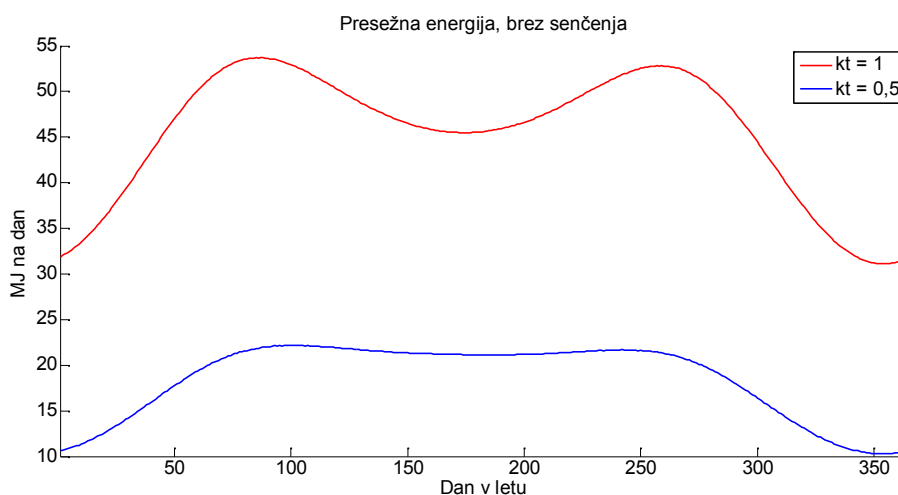
Če upoštevamo še kondukcijo zaradi razlike temperatur, je skupna absorbirana energija enaka:

$$Q = A_r \alpha (j_{\text{DIR}} + j_{\text{DIFF}} + j_{\text{TILA}}) - A_r U_1 F_1 (T_r - T_a), \quad (36)$$

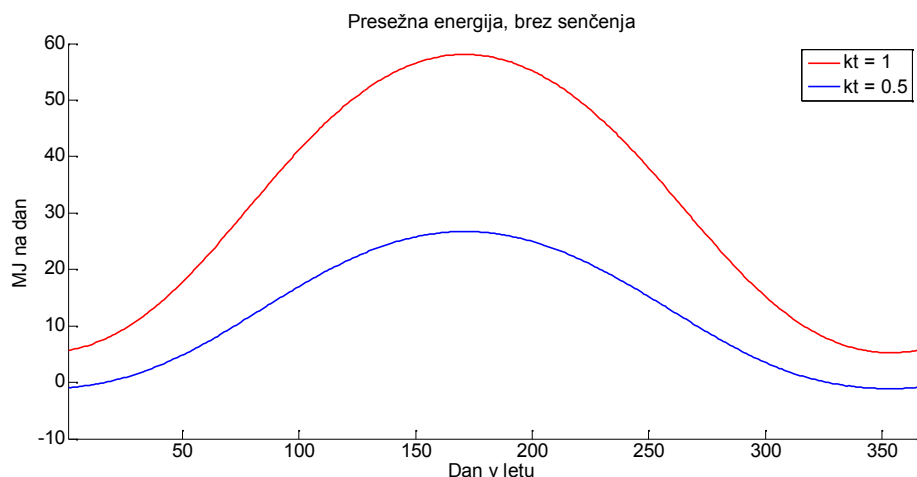
pri čemer je:

- U_1 toplotna prevodnost stekla ($3,2 \text{ W/m}^2$),
- F_1 parameter z vrednostjo 1, ker ima tako tudi F_c ,
- T_r je temperatura sobe in
- T_a zunanja temperatura.

Privzeli smo konstantno temperaturo sobe (20°C), saj je za bivalno ugodje to cilj, ki ga želimo doseči. Zunanjo temperaturo smo izračunali po naslednjem postopku. Iz podatkov za povprečno mesečno temperaturo smo izračunali zvezen potek povprečne dnevne temperature preko celega leta s funkcijo sinus. Dnevni hod temperature smo tudi opisali s funkcijo sinus z amplitudo $\pm 5^\circ\text{C}$ glede na povprečno dnevno temperaturo.



Slika 17. Absorbirana energija brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 1 in 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na jug

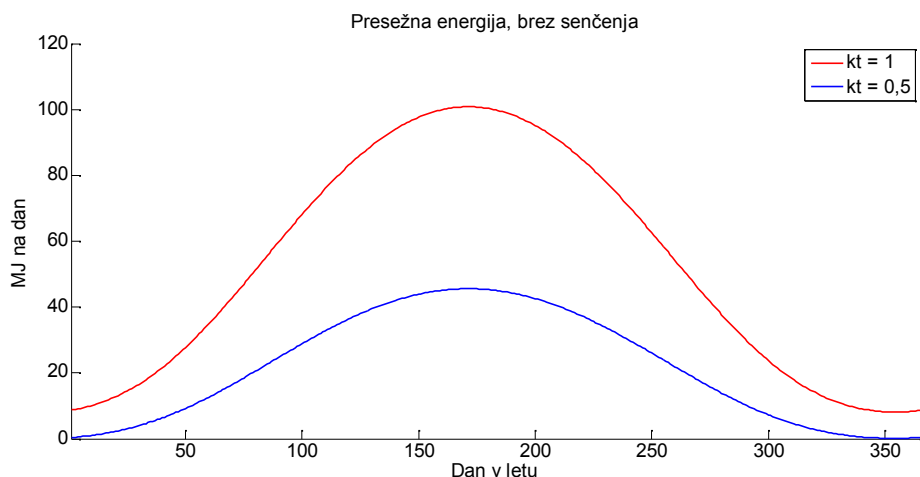


Slika 18. Absorbirana energija brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 1 in 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na vzhod

Na sliki 17 in 18 je prikazana absorbirana energija za južno in vzhodno nesenčeno okno pri dveh različnih vrednostih parametra K_t (faktor jasnosti), ki opisuje delež jasnega neba. Prikazana je samo absorbirana energija, ne pa upoštevamo ohlajanja prostorov v času, ko ni sončnega sevanja (ponoči).

Največja razlika med absorbirano energijo, na katero vpliva faktor jasnosti $k_t = 1$ in $k_t = 0,5$, pri južnem oknu znaša približno 32 MJ na dan. Najmanjša razlika je pa na začetku in koncu leta (7 MJ na dan). Za vzhodno okno bi pa lahko trdili, da je ta razlika največja v poletnih dneh 33 MJ na dan. V zimskem času je ta razlika bistveno manjša (6 MJ na dan).

Pri prvem primeru (slika 17) je razvidno, da nikoli ne pride do negativne energije, ker jo računamo samo med sončnim vzhodom in zahodom, brez upoštevanja nočnih ur. Pri oknu, obrnjenem na vzhod (slika 18) pa pride do negativne energije na začetku in koncu leta zaradi nizkih jutranjih temperatur, ki so značilne za tisti letni čas. Poleti preide skozi obe okni več energije kot pozimi, maksimuma pa se pojavita ob enakonočju zaradi poteka vpadnega kota.



Slika 19. Absorbirana energija brez upoštevanja senčenja za faktor oblačnosti 1 in 0,5 za horizontalno površino

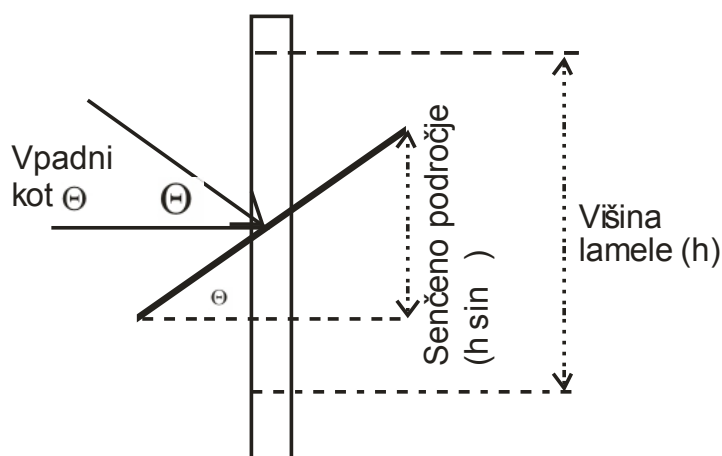
Na sliki 19 je prikazana absorbirana energija za horizontalno stekleno površino. V tem primeru, prejme površina približno dvakrat več energije kot okni obrnjeni na vzhod in jug. Največja razlika med absorbirano energijo, na katero vpliva faktor jasnosti $k_t = 1$ in $k_t = 0,5$, znaša 58 MJ na dan v sredini leta, najmanj pa na začetku in koncu leta.

4.2 Model z upoštevanjem senčenja

Energijo, ki jo prostor prejme skozi stekleno površino, je mogoče zmanjšati z uporabo senčil. Za računski model privzemimo, da imamo senčilo, ki mu lahko nastavljamo kot, tako da lahko pokriva večji ali manjši delež steklene površine. Od tega kota je potem odvisno, kolikšen delež sevanja bo prehajal skozi površino.

Na Sliki 16 smo videli, da je največji prispevek direktnega sevanja. To je za razliko od difuznega in sevanja tal usmerjeno in pada na površino pod kotom θ , ki ga lahko določimo po enačbi 14. Če torej postavimo senčilo pod takim kotom, da bo direktno sevanje padalo pravokotno na senčilo, bomo v največji možni meri zmanjšali prispevek tega sevanja. Zmanjšanje ni odvisno od kota, pač pa le od deleža direktne svetlobe, ki za lamele prepustijo, tega bomo označili z F_{zas} .

Vpliv na difuzno sevanje in sevanje tal pa je odvisen od tega, kolikšen del površine je pokrit. Ker je to sevanje neusmerjeno, je delež neposredno prepuščenega sevanja sorazmeren z deležem površine, ki ga lamele ne pokrijejo (slika 20), to pa je $1 - \sin\theta$. Nekaj ga prehaja tudi skozi lamele, delež tega je $F_{\text{sen}}\sin\theta$, pri čemer je F_{sen} faktor, ki opisuje kakšen delež sevanja preide skozi lamelo.



Slika 20. Prikaz senčenega področja v primeru da je kot lamele enak vpadnemu kotu direktnega sevanja

Senčila vplivajo tudi na toplotne izgube, saj je toplotna prevodnost stekla in senčila manjša kot prevodnost stekla samega. Ta delež je spet odvisen od kota. Če vzamemo, da je toplotna prevodnost zaradi žaluzij $F_{\text{pre}} U_l$, pri čemer je $F_{\text{pre}} < 1$, saj lamele nudijo dodatno izolacijo, potem se drugi člen v enačbi 36 relativno zmanjša za $(1 - F_{\text{pre}})\sin\theta$.

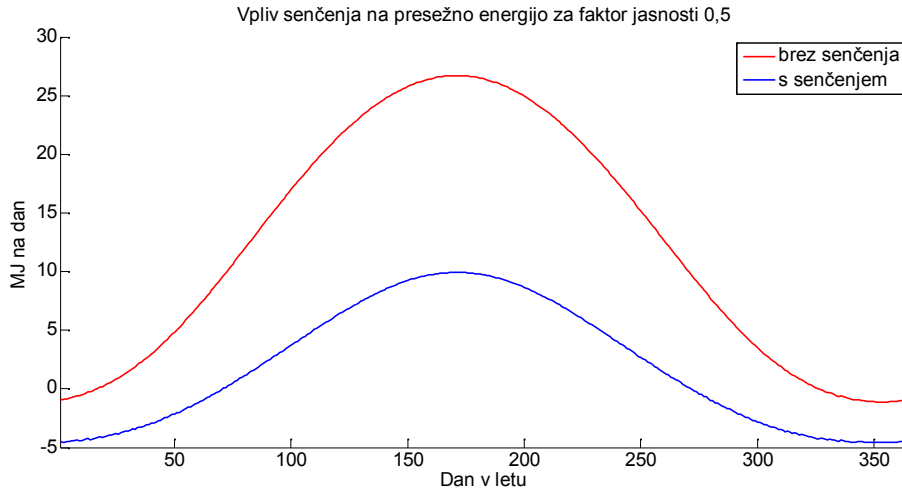
Enačbo za prejeto energijo lahko dopolnimo s faktorji:

$$Q = A_r \alpha (j_{\text{DIR}} F_{\text{zas}} + (j_{\text{DIFF}} + j_{\text{TLA}}) (1 - (1 - F_{\text{sen}})\sin\theta)) - A_r U_l F_1 (T_r - T_a) (1 - (1 - F_{\text{pre}})\sin\theta), \quad (37)$$

kjer so:

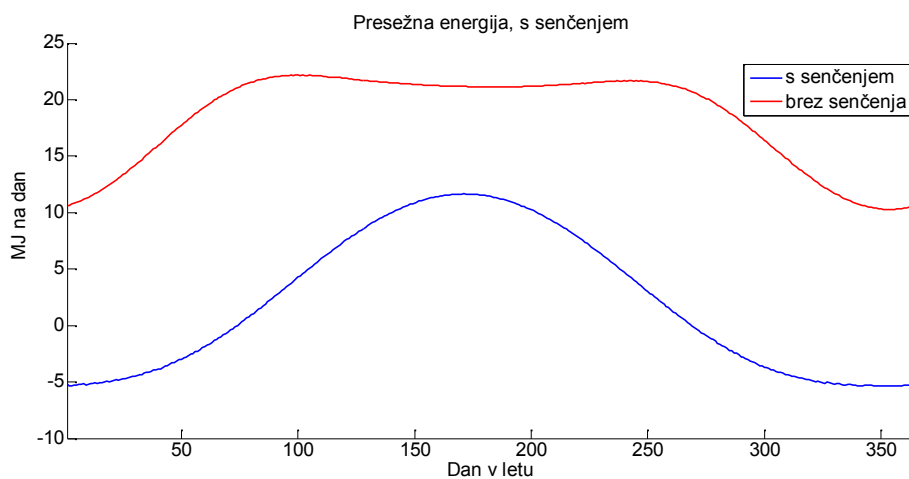
- F_{zas} je faktor zastrtosti direktnega sevanja in opisuje kolikšen delež direktnega sevanja pride skozi senčilo ($F_{\text{zas}} < 1$),
- F_{sen} je faktor, ki opisuje kolikšen delež sevanja pride skozi senčilo. Ker ni senčena celotna površina, je ta del odvisen od kota ($F_{\text{sen}} < 1$) in

- F_{pre} je faktor, ki opisuje spremembo toplotne prevodnosti zaradi senčila ($F_{pre} < 1$).



Slika 21. Absorbirana energija z in brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na vzhod

Slika 21 prikazuje vpliv senčenja na vertikalno okno v Novi Gorici obrnjeno na vzhod (za zahodno okno je situacija simetrična). Razlika absorbirane energije med senčenim in nesenčenim oknom v poletnih mesecih znaša približno 16 MJ na dan. V začetku in koncu leta je ta razlika bistveno manjša (4 MJ na dan). V tem času je nesmiselno senčiti, ker na ta način pride do večji energijskih izgub.



Slika 22. Absorbirana energija z in brez upoštevanja senčenja za faktor jasnosti 0,5 za vertikalno okno, obrnjeno na jug

Iz slike 22, ki prikazuje razliko dnevnih absorbiranih energij za južno okno, razberemo, da je največja razlika med absorbirano energijo z in brez senčenja na začetku in koncu leta. Ta razlika znaša 16 MJ na dan. Najmanjša razlika 10 MJ na dan je v poletnih mesecih. Vidimo, da v poletnih mesecih več dosežemo s senčenjem vzhodnih kot južnih oken. Potrebno pa je poudariti, da model upošteva enako zunanjo temperaturo na vzhodni in južni strani stavbe.

5 SENČENJE

V prejšnjem poglavju smo videli, da je smiselno senčiti tako, da senčila sledijo kotu sončnih žarkov. V tem poglavju si bomo ogledali sisteme, ki omogočajo avtomatsko krmiljenje žaluzij. Za izvedbo sistema potrebujemo:

- žaluzije, ki jih lahko premikamo s koračnim motorjem,
- centralni nadzorni sistem, ki služi za krmiljenje motorjev in
- vremensko postajo, ki daje vhodne podatke v krmilni algoritem.

Z avtomatskim nastavljanjem kota lahko dosežemo manjši vnos energije v prostor in s tem izboljšamo bivalne pogoje.

5.1 Bivalno ugodje

Na bivalno ugodje v prostoru vpliva več faktorjev. Te faktorje delimo na fizične, psihične ter vmesne pogoje.

Fizični pogoji se dodatno klasificirajo kot primarni in dominantni faktorji ter kot sekundarni in imaginarni faktorji. Med primarne faktorje uvrščamo temperaturo zraka, relativno vlažnost, sevalno temperaturo in kroženje zraka. Med tem, ko pa zračni tlak, sestavine in električnost zraka ter akustičnost in dnevno svetlobo pripisujemo sekundarnim oziroma imaginarnim faktorjem. **Psihični pogoji** se dodatno klasificirajo samo v dodatne faktorje. Ti faktorji so: telesna zgradba, spol, etična pripadnost, starost in prehrabne navade. **Vmesni pogoji** se klasificirajo v primarne in dominantne faktorje (stil oblačenja, rekreativne navade), dodatne faktorje (sposobnost prilagajanja spremembam in številom oseb v prostoru), ter sekundarne faktorje (letni čas/ura dneva, drugi psihološki faktorji) (Tiwari, 2002).

V naslednjem poglavju je opisan eden izmed primarnih faktorjev, ki vpliva na bivalno ugodje in ga imenujemo **temperatura zraka**.

5.1.1 Temperatura zraka

Temperaturo zraka merimo v prostoru s termometrom, ki je zaščiten pred sevanjem, 1,8 m od tal in 0,6 m od stene ali okna. Optimalna temperatura zraka v prostoru je odvisna od različnih dejavnikov kot so letni čas, dejavnosti, čas zadrževanja, spol in starosti ljudi, ki so v prostoru. V Evropi se za ljudi v sedečem položaju brez fizičnih aktivnosti predpostavlja naslednja najugodnejša temperatura zraka v prostoru:

- pozimi 20°C – 21°C,
- poleti pa 21°C – 22°C.

Višja temperatura je pogojena s tem, da je človek doma običajno oblečen v lahko obleko in zato potrebuje pri isti temperaturi telesne površine višjo temperaturo okoliškega zraka, da bi bila oddana količina toplote enaka.

Na primer optimalna temperatura za:

- težko fizično delo livarne, kovačnice 10°C – 12°C,
- srednje težko fizično delo montažne hale 12°C – 15°C in
- lahko fizično delo kovinsko predelovalne delavnice 15°C – 18°C.

V poletnem času bo takšna temperatura primerna samo, če se človek v zaprtih prostorih zadržuje ves dan, sicer pa je ta temperatura prenizka. V posebno vročih dneh se priporoča za kratkotrajno bivanje v hlajenih prostorih temperatura zraka, ki bo približno enaka polovici razlike med temperaturo zunanjega zraka in 20°C. Najvišja temperatura zraka v prostoru ne bi smela nikoli presegati 26°C.

Na ugodno počutje bistveno vpliva tudi sprememba temperature po prostoru, tako v horizontalni, kakor tudi v vertikalni smeri. Ta je odvisna od vrste ogrevanja, lege, velikosti in temperature grelnikov, gradbene konstrukcije, tesnosti oken ter zunanje temperature. Pri prezračevanih prostorih sprememba temperature po višini prostora ne bi smela biti večja od 2°C, pri klimatiziranih prostorih pa ne od 1,5°C (Saje, 2010).

5.1.2 Srednja sevalna temperatura

Srednja sevalna temperatura predstavlja povprečno temperaturo površin, ki omejujejo bivalni prostor. Računa se po enačbi:

$$T_{ms} = \frac{\sum A_i \cdot T_i}{\sum A_i} \quad (38)$$

Tu sta:

- A_i - Posamezna površina prostora (m^2) in
- T_i - Temperatura posameznega prostora (K).

Ta temperatura neposredno vpliva na izmenjavo sevalne toplote med površino človeškega telesa in površino prostora ter ima velik vpliv na ugodno počutje. Odvisna je od gradbene konstrukcije in zunanje temperature, velik vpliv na ugodno počutje pa ima tudi lega grelnikov in položaj človeka v prostoru (Tiwari, 2002).

Če se navaja kot najbolj ugodna temperatura zraka 20°C do 22°C , se pri tem razume, da je vsaj približno takšna tudi temperatura sten. Če imajo stene bistveno nižjo temperaturo, kar se pojavi pozimi med segrevanjem prostora, potem bo temperatura zraka 20°C prenizka za ugodno počutje v prostoru. Prav tako je potrebno pozimi pri zgradbah z velikimi steklenimi površinami ali pri slabo izoliranih zgradbah za ugodno počutje segreti zrak na višjo temperaturo, poleti pa je temperatura teh površin zaradi sončnega sevanja prav tako lahko zelo visoka. Povprečna vrednost temperature zraka v prostoru in srednje sevalne temperature se imenuje občutena temperatura.

5.1.3 Vlažnost zraka

Na ugodno počutje vpliva tudi količina vodne pare, ki se nahaja v zraku, saj človek oddaja del toplote tudi z izparevanjem. Količina vlage, ki izpareva in s tem količina toplote, ki se odvaja na tak način, je odvisna od nasičenosti zraka z vodno paro. Po drugi strani pa na ugodno počutje vpliva tudi ustrezna vlažnost sluznice dihalnih poti. Pri 20°C in če telo ne opravlja fizičnih aktivnosti, je izločanje potu in izparevanje minimalno, zato se v tem primeru človek ugodno počuti v širokem področju relativne vlažnosti od 35% do 70%. Če je relativna vlažnost zraka prenizka (<35%), kar se

pogosto pojavlja pozimi v ogrevanih prostorih, pride do pojava prahu zaradi sušenja obleke, talnih oblog, opreme ipd. S segrevanjem prahu na ogrevalnih površinah se pojavljajo amoniak in drugi plini, ki dražijo dihalne organe. K neugodnemu počutju zelo pripomore tudi sušenje sluznice na dihalnih poteh. Zato je priporočljivo, da se posebno pri občutljivih ljudeh zrak v prostorih dodatno vlaži najmanj do 35% relativne vlažnosti. Če je relativna vlažnost zraka previsoka, vodna para iz zraka na hladnih površinah kondenzira, zaradi česar se pojavlja plesen, ki povzroča neugodne vonjave, ki so prav tako moteče. Pri povečani temperaturi zraka ali pri povečani telesni aktivnosti igra relativna vlažnost dominantno vlogo, saj se v tem primeru poveča oddajanje toplote z znojenjem. Tako se npr. pri 60% relativni vlažnosti zraka začne znojenje pri 25°C, pri 50% relativni vlažnosti zraka pa pri 28°C (Saje, 2010).

5.2 Senčila

Senčilo lahko pripomore k boljšim bivalnim razmeram. Osnovno načelo zaščite pred vročino je, da preprečimo segrevanje stekla, kar pomeni, da je senčilo montirano na zunanji strani stekla. Včasih je to sicer oteženo predvsem kadar bi radi zasenčili nepravokotne ali polkrožne odprtine.

Večina arhitektov rada pozabi na ta zelo pomemben detajl pri projektiranju sodobnih objektov, kar na koncu prinese tako investitorjem kot tudi izvajalcem zaključnih del precej preglavic. Zato je dobro pred samo gradnjo ali vsaj med gradnjo pridobiti kakšen dober nasvet uveljavljenega proizvajalca senčil, predvsem pri posebnih nepravokotnih oblikah oken, ko je še čas, da se lahko, recimo, v zid vgradi nadokenska roletna omarica, ali pa vgradi okno z različnimi razširitvenimi profili ali samo pomakne nekoliko navznoter.

Ko gre za izbiro najustrežnejšega senčila, je treba vedeti, kaj nam tržišče sploh nudi, kakšne so prednosti posameznih senčil in kaj pravzaprav želimo. S pravilno izbiro senčila lahko polepšamo poslovni objekt ali stanovanjsko hišo in ustvarimo svoj individualni slog bivalne kulture. Zelo pomembna je pravilna izbira tipa senčila, barva, namembnost in prilagojenost arhitekturni zasnovi objekta. Pri tem ni nujno, da celoten objekt opremimo z enakimi senčili – npr. vzhodno in južno stran z zunanjimi senčili, ostalo z notranjimi; ali spodnjo etažo s protivlomnimi aluminijastimi, zgornjo etažo pa s plastičnimi roletami. Možnosti je veliko, le vedeti je treba, kaj hočemo.

Osnovna senčila, ki so pri nas najpogostejša: žaluzije, rolete, tende, pliseji in tekstilni roloji, polkna, folije.

5.2.1 Žaluzije

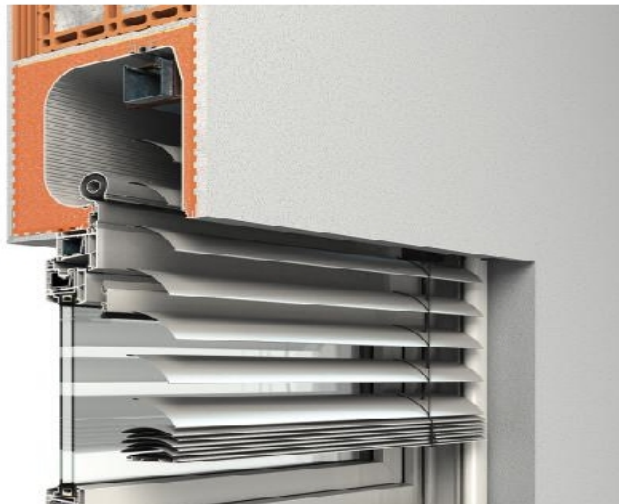
Žaluzije so iz aluminijastih barvnih trakov različnih širin in debelin. Montirajo se lahko na notranjo ali zunanjo stran ali pa med stekla. Žaluzije v termopanskem steklu običajno upravljamo s pomočjo elektromotorja ali magneta. Prednosti notranjih ali medstekelnih žaluzij so v zasenčenju ali zastiranju pred pogledi ter v dekorativnem učinku prostora in fasade. Uporaba ustreznih senčil poleg hlajenja prostorov poleti pomeni tudi bistven prihranek pri stroških ogrevanja pozimi. Zanimive so žaluzije s termo stop obdelavo. Lamelle so na zunanji strani metalizirane tako, da odbijajo tudi sončne žarke in v zimskem času zadržujejo toploto. V zimskem času namreč obrnemo lamelle tako, da je zaščita termo stop na notranji strani, kar zmanjša uhajanje toplote na prosto. Poleg tega je prednost žaluzij, da zaradi vrtenja lamel omogočajo nadzor nad količino in smerjo svetlobe. Zadnje čase prodirajo k nam na tržišče poleg aluminijastih tudi lesene žaluzije. Zunanje aluminijaste žaluzije so odlična zaščita pred vročino za vse manjše ali večje pravokotne okenske odprtine ali balkone s stranskimi fiksnimi aluminijastimi vodili, ročnimi ali električnimi pogoni, katere je možno voditi s pomočjo centralnega nadzornega sistema (Roltek, 2010).

Najnovejše žaluzije, ki jih lahko najdemo na trgu se imenujejo Krpan žaluzije z zelo dobro izolativno vrednost do sedaj ($U=0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$). Žaluzije prostor zasenčijo, a prostora ne zatemnijo popolnoma. Za popolno zatemnitev in dodatno izolacijo pa so na voljo rolete. S številnimi možnostmi upravljanja, ki nudijo udobje, obvarujejo pred vročino, saj se nahajajo na zunanji strani okna in tako preprečujejo nastanek efekta tople grede (Roltek, 2010).

Lastnosti žaluzij Krpan (slika 23):

- visokokakovostni aluminijasti deli,
- možnost vgradnje integriranega komarnika ali screen senčila,
- odlična izolativna vrednost omarice,
- možnost barvanja vodil v poljubni barvi z RAL lestvice,

- možna izbira različnih oblik in dimenzij lamel iz aluminija iz bogate barvne kolekcije,
- številne možnosti za upravljanje (ročno in avtomatsko),
- preprosto servisiranje.



Slika 23. Primer vrste senčil (žaluzije)
(Vir: Roltek, 2010)

5.2.2 Koračni motorji

Koračne motorje imenujemo koračni, ker deluje po korakih. Običajni motorji se vrtijo takoj, ko vključimo stikalo in mu dovedemo napetost. Vrtijo se, dokler ne izključimo stikala. Koračni motor deluje malo drugače. Ko mu dovedemo napetost, se obrne samo za en korak, npr. za 1,8 stopinje. Za en cel vrtljaj potrebuje 200 korakov. Uporabljamo jih, ker so precizni. Na primer vzemimo, da želimo os motorja zavrteti za 180 stopinj. Iz podatka, da se motor v enem koraku obrne za 1,8 stopinje lahko izračunamo, da za 180 stopinj potrebujemo 100 korakov. S takimi motorji bi lahko zelo natančno upravljali žaluzije (Stepping motors, 2010).

5.3 Vremenska postaja

Vremenska postaja nam služi za pridobivanje informacij zunanjih vremenskih pogojev (zunanja temperatura, oblačnost, hitrost vetra) in vpadni kot sončnih žarkov. Na podlagi teh podatkov krmilimo žaluzije glede na osebne želje. Na tujih in

slovenskih trgov se z leti povečuje ponudba in s tem povpraševanje po vremenskih postajah za domačo uporabo. Sodobne vremenske postaje za domačo uporabo so sestavljene iz programske in strojne opreme, ki se nadgrajujejo z navzočnostjo v svetovnem spletu. Novi sistemi vremenskih postaj delujejo bidirektno. To pomeni, omogočanje komunikacije v živo med prikazovalno napravo in senzorjem. Poleg tega, nam omogočajo istočasen prikaz dveh temperaturnih vrednosti in vlažnosti zraka. Vremenska postaja za domačo uporabo nam prikazuje lunine mene, sončni vzhod/zahod, vlažnost zraka, razvoj zračnega tlaka, zračni tlak količina dežja, hitrost in smer vetra in trajanje sončne svetlobe.

Notranji shranjevalnik omogoča dolgotrajno opazovanje vremena, saj lahko shrani skupno 3.000 zapisov. Sprejete podatke lahko prek USB-vhoda prenesemo na računalnik. Senzorji za zračni tlak, notranjo temperaturo in vlažnost notranjega zraka se nahajajo že v bazni enoti, zato ločeni senzor ni potreben. Ostali vremenski podatki, kot so hitrost in smer vetra, količina padavin, temperatura, vlažnost zraka in trajanje sončne svetlobe, se prek priloženega kombiniranega senzorja (KS 888) radijsko prenesejo na vremensko postajo.

Vremenska postaja deluje na principu tehnologije BidCoS (Bidirectional Communication Standard): BidCoS predstavlja novi radijski standard, ki je bil razvit posebej za brezžično krmiljenje senzorjev in akterjev hišne avtomatike. BidCoS omogoča sestavo celotnega krmiljenja hiše: preklapljanje/zatamnitev luči in drugih električnih porabnikov, klimatskih naprav (ogrevanje, hlajenje, zračenje), merilne tehnike vremena, upravljanje z energijo, kontrola dostopa, protivlomna zaščita, zaščita pred nesrečami (dim, plin, voda ...). Hitra bidirektna komunikacija (sprejemnik potrdi radijsko poslani signale) povečuje varnost uporabe in ustvarja osnovo za številne možnosti daljinskega upravljanja in nadziranja takšnih sistemov. Za avtomatsko vodenje senčil ne potrebujem vseh možnih opcij vremenske postaje, ampak le, trajanje sočne svetlobe, vzhod/zahod, hitrost vetra, ter zunanjo temperaturo (Conrad electronic, 2010).

5.4 Centralni nadzorni sistem (CNS)

Tudi glede pogonov posameznih vrst senčil je izbira zelo pestra. Senčila so skoraj povsem avtomatizirana, od pogonov, skupinsko za več senčil skupaj ali posamično ter razno avtomatiko za dež, veter ter ostale varovalne naprave.

Vse zgoraj naštetih sisteme, katere poganja električni motor, je možno upravljati s pomočjo daljinskega sistema. Ta sistem imenujemo centralni nadzorni sistem.

Centralni nadzorni sistem (CNS) je sistem, s katerim vodimo »pametno hišo«. Centralni nadzorni sistem omogoča popolni vpogled in poseg v inštalacijo preko uporabniku prijaznega vmesnika. Lahko je realiziran na navadnem računalniku, ali pa na zaslonu na dotik z vgrajenim računalnikom. S pomočjo tega vmesnika lahko nadziramo prižiganje in ugašanje luči, segrevanje prostora, hlajenje prostora, upravljanje žaluzij ter ostalih naprav in obveščanje uporabnika o stanju sistema.

5.4.1 Osnovni principi centralnega nadzornega sistema

V skladu s sodobnimi pristopi je potrebno upoštevati rešitve, ki:

- povečujejo komfort ljudi,
- zmanjšujejo porabo energije,
- povečujejo zanesljivost lokalnega delovanja posameznega sklopa,
- zmanjšujejo količino kablov-ožičenje na večjih razdaljah omogočajo hitro in preprosto ugotavljanje nepravilnosti v delovanju postrojenj/naprav in s tem olajšano vzdrževanje.

Ena od lastnosti, ki postaja vedno bolj pomembna, je povezljivost sistemov zgradbe tudi navzven z oddaljenimi kontrolnimi mesti. Za dobro podatkovno povezljivost je potrebno čim bolj poenotiti komunikacijska vodila. Glede na različne sisteme, ki bodo vgrajeni v stavbo, je za to najbolj primeren Ethernet v povezavi nadzornega računalnika s sistemi. Znotraj posameznih sistemov pa so lahko drugačna vodila. Zaradi večje zanesljivosti delovanja (ob izpadu lokalnih napajanj oz. pojav lokalnih napak) naj ima vsak posamezni sistem (npr. klimat) svojo krmilno omaro in svoj krmilnik.

5.4.2 Obseg centralnega nadzornega sistema

Centralni nadzorni sistem omogoča:

- nadzor in prikaz stanja katerekoli enote, naprave oz. sistema v zgradbi iz kontrolne točke v zgradbi (nadzornega računalnika) ali tudi iz oddaljenih mest;
- upravljanje in parametrisiranje enot z lokalnih mest,
- povezovanje, usklajevanje in optimiranje delovanja vseh sistemov, ki jih avtomatizacija zajema v stavbi. Sistemi, s katerimi je CNS povezan so:
 - sobni sistemi, ki zajemajo: konvektor ali hladilno gredo z regulatorjem, kontrolo zaprtosti oken, kontrolo prisotnosti in kontrolo zaprtosti vrat;
 - elektroenergetski sistem;
 - ostali energetske sistemi: toplotna (plin) in hladilna (kompresorska) postaja;
 - prezračevanje in klimatizacija (klimati, konvektorji, hladilne grede);
 - razsvetljava in regulacija svetlobe v skupnih prostorih;
 - zasenčevanje (žaluzije);
 - kontrola zaprtosti vseh ostalih vrat (razen sobnih);
 - sistem požarne varnosti (stanja in pozicije senzorjev).

Vse naprave, ki so komunikacijsko povezljive, spremljamo preko centralnega računalnika.

Centralni nadzorni sistem (CNS) obsega in povezuje:

- nadzorni računalnik z licenčno programsko opremo Scada;
- prosto programabilne krmilnike s komunikacijskim modulom (TCP/IP Modbus, BidCos - radijski standard, ki je bil razvit posebej za brezžično krmiljenje senzorjev in akterjev hišne avtomatike), ki so namenjeni za:
 - izvajanje, krmiljenje in regulacijo klimatov;
 - krmiljenje toplotne in hladilne postaje;
 - nadzor elektro-energetskega sistema in meritve porab;
 - detekcijo stanja elementov požarne varnosti (lopute...);

- za povezavo z nekaterimi ostalimi sistemi, ki jih CNS ne krmili, pač pa iz njih dobiva podatke o stanju, meritve ...
- regulatorske krmilnike povezane na spodnjem nivoju v TCP/IP mrežo, ki krmilijo oz. zbirajo signale, in sicer za naslednje sisteme:
 - konvektorje ali hladilne grede;
 - razsvetljava v skupnih prostorih;
 - drugo.

Nadzorni sistem je skupaj z ostalimi napravami/sistemi (krmilniki-PLCji, LON regulatorskimi krmilniki, hotelski poslovni sistem, ...) povezan preko ETHERNET mreže.

Nadzorni računalnik omogoča:

- upravljanje, poseganje operaterja v delovanje naprav z enega mesta;
- enostavno nadzorovanje stanja naprav na objektu z zbiranjem in prikazovanjem vseh podatkov o elementih posameznih sistemov;
- grafično prikazovanje sistemov na objektu in prostorskih delov objekta v obliki slikovnih ikon;
- grafično prikazovanje statusov elementov - naprav (temperatur, klimatov, ventilatorjev, toplotno-hladilne postaje, luči, ventilov, grelcev...) za posamezne sisteme na objektu v obliki simbolnih ikon;
- številčno prikazovanje merjenih vrednosti;
- vpisovanje vrednosti parametrov, ki določajo delovanje posameznih sistemov;
- javljanje napak na sistemih oz. na napravah (alarmi);
- hranjenje podatkov o napakah;
- grafično prikazovanje vrednosti na izbrani interval merjenih veličin v željenih časovnih obdobjih (trendi);
- izpisovanje alarmov, ekranskih slik na tiskalnik;
- nadzor, prikaz procesa, alarmiranje, hranjenje in obdelava raznih podatkov, ki so vezani na zgoraj omenjene sisteme, vodenje/usklajevanje urnikov, hranjenje zgodovine raznih dogodkov ter oblikovanje poročil;

- povezavo z glavnim informacijskim sistemom hotela zaradi uskladitve delovanja omenjenih sistemov z urniki in ostalimi aktivnostmi zgradbe.

5.5 Koncept krmiljenja

Koncept krmiljenja temelji na naslednjih informacijah:

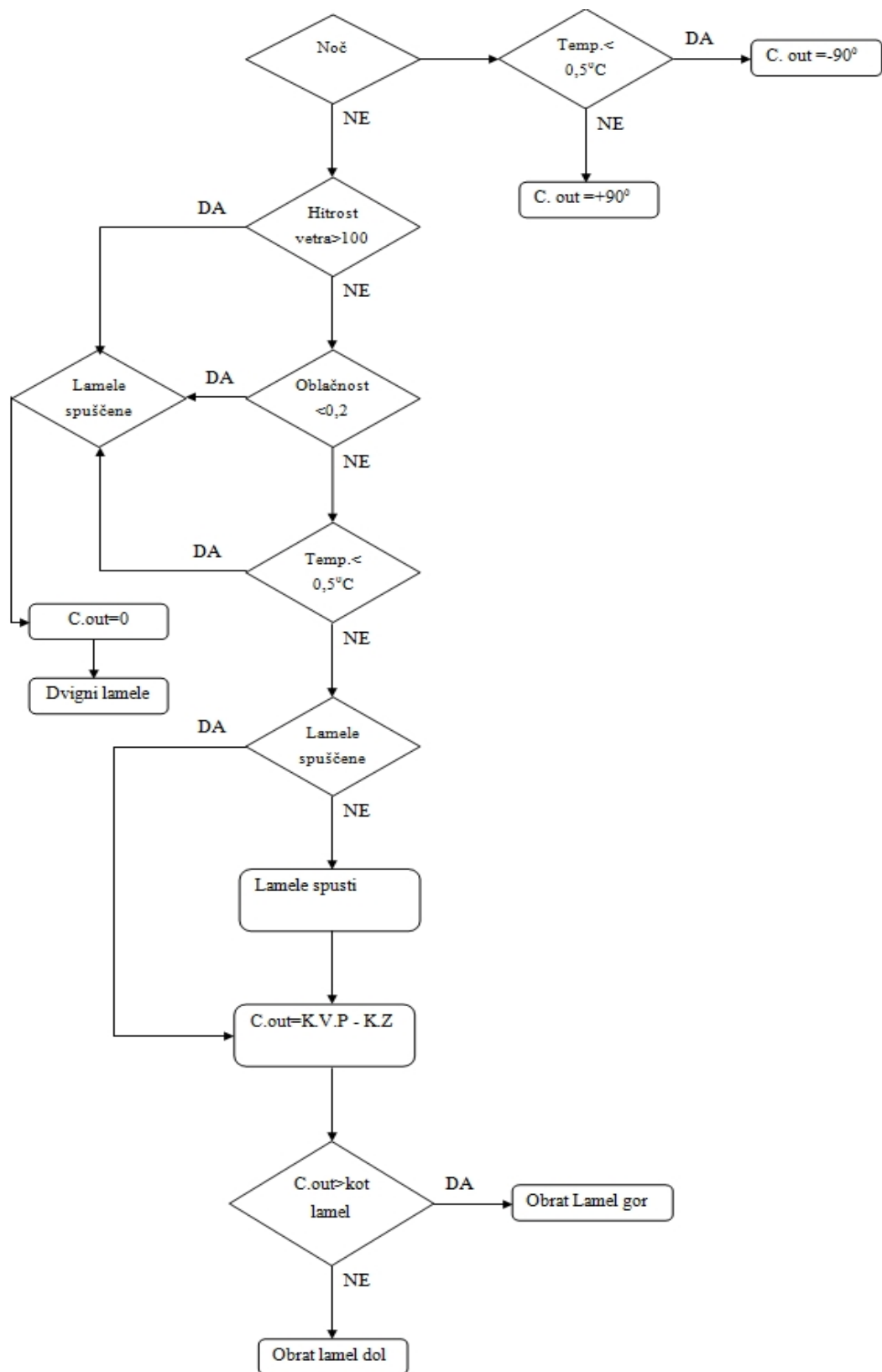
- dnevni / nočni čas,
- zunanja temperatura
- hitrost vetra
- vpadni kot sončnih žarkov
- oblačnost

Diagram poteka je prikazan na sliki 24. Preverjanje stanja se sproža ciklično in algoritem na podlagi vhodnih podatkov sproži:

- dvig žaluzij
- spust žaluzij
- obrat žaluzij na kot C.out

V nočnem času naj bi bile žaluzije spuščene, glede na zunanjo temperaturo pa se nastavlja ko žaluzij C.out na $+90^0$ ali -90^0 . V primeru nizkih temperatur se lamele žaluzij obrnejo tako, da je zaščitna termo stop na notranji strani, kar zmanjša toplotne izgube. V primeru, da je temperatura nad izbrano vrednostjo, se lamele žaluzij obrnejo obratno.

V dnevnem času je potrebno preveriti hitrost vetra, oblačnost in temperaturo. V primeru visoke hitrosti vetra, oblačnega vremena ali nizkih temperatur se lamele žaluzij dvignejo. V nasprotnem primeru naj bi bile spuščene in če niso jih je najprej potrebno spustiti. Ko pa so žaluzije v spuščnem stanju sledijo vpadnemu kotu. Kot žaluzij C. out nastavimo s pomočjo izračuna vpadnega kota sončnih žarkov na osnovi časa in podatkov o legi okna ali pa ta kot dobimo iz vremenske postaje (če postaja to omogoča). C. out je potrebno prilagoditi trenutnemu stanju žaluzij. To storimo tako, da kot ki ga dobimo iz vremenske postaje(K.V.P.) ali izračunan kot odštejemo od trenutnega kota žaluzij (K.Ž).



Slika 24. Diagram poteka krmiljenja žaluzij

5.5.1 Algoritem upravljanja žaluzij

```
Var controlOut(C.out) ; //spremenljivka ki kaže na napravo ki
upravlja el. Motor (izhod)
Var vpadniKotIn; //vsebuje podatke o vpadnem kotu iz zunanje naprave
Var nocIn; //vsebuje podatek o tem ali je zunaj noc
Var TemperaturaIn; //vsebuje podatke o temperaturi iz zunanje
naprave
Var HitrostVetraIn; //vsebuje podatke o hitrosti vetra iz zunanje
naprave
var lameleSpusceneIn; //vsebuje podatek o tem ali so lamele spuscene
Var OblacnostIn; //vsebuje podatke o stopnji oblačnosti iz zunanje
naprave

if(nocIn=1) {
if(TemperaturaIn<0,5) {
controlOut=-90;
} else {
controlOut=90;
}
} else {
If(HitrostVetraIn>100) { //če se ta pogoj izpolne se lamele
dvignejo
if(lameleSpusceneIn) {
Controlout=0;
}
} else {
If(Oblacnostin<0.2) { //če se ta pogoj izpolne se
lamele dvignejo
if(lameleSpusceneIn) {
Controlout=0;
}
} else{
If (TemperaturaIn<0,5) { //če se ta pogoj izpolne
se lamele dvignejo
if(lameleSpusceneIn) {
Controlout=0;
}
} else{
```

```
ControlOut=vpadniKotIn //kot lamel se poravna
z vpadnim kotom.
}
}
}
}
```

6 ZAKLJUČEK

Težko si predstavljamo bivalni prostor, pa naj si bo to hiša, stanovanje ali poslovni prostor, brez oken. Steklene površine omogočajo dostop naravne svetlobe v prostor, a imajo večjo toplotno prevodnost kot stene. Današnja tehnologija je sicer zelo napredovala pri izdelavi okenskega stekla, vendar so okna vir toplotnih izgub pri nizkih temperaturah in vzrok za pregrevanje prostorov poleti.

Senčenje je enostaven in energijsko nezahteven način, s katerim lahko zmanjšamo segrevanje prostorov zaradi sončnega sevanja. Med mnogimi možnostmi za senčenje smo se omejili na lamelne žaluzije. Te so primerna izbira za senčenje, ker omogočajo delni prehod svetlobe. Poleg tega v zimskih dneh zmanjšujejo izgubo energije, saj so tudi dodatni izolator. Na trgu je mogoče dobiti lamelne žaluzije z motornim pogonom, kar je osnovni pogoj avtomatizacijo delovanja senčil.

V diplomskem delu je predstavljen model segrevanja prostorov skozi steklene površine in algoritem za avtomatsko nastavljanje kota žaluzij. Žaluzije vodimo s pomočjo senzorjev vremenske postaje, centralnega nadzornega sistema in koračnih motorjev. Poleg vpadnega kota sončnih žarkov upoštevamo tudi zunanjo temperaturo, hitrost vetra in oblačnost. Primerjava dnevno absorbirane energije sončnega sevanja v primeru brez senčenja in z avtomatskim senčenjem je pokazala, da z obračanjem lamel glede na vpadni kot sončnih žarkov prostor absorbira do 20% manj energije.

Nastavljanje žaluzij pravokotno na vpadne sončne žarke tudi zmanjša osvetljenost zaradi direktnega sevanja, ki je v poletnih mesecih lahko neprijetna. Naložba v avtomatsko vodena senčila nam tako poveča kvaliteto bivanja ter prihrani del stroškov za ogrevanje in hlajenje.

Pri nadaljnjem razvoju krmiljenja žaluzij bi lahko upoštevali še notranjo osvetljenost prostora. Ko žaluzije »sledijo« sončnim žarkom, postaja v prostoru vedno bolj temno. S pomočjo senzorja osvetljenosti pa bi lahko pridobili podatek o svetlosti v prostoru ter tako regulirali notranjo razsvetljavo s pomočjo centralnega nadzornega sistema. Sistem bi po potrebi avtomatično povečeval ali zmanjševal osvetljenost prostora. Za poslovne prostore bi izven delovnega časa lahko prešli v režim, ko

žaluzije popolnoma odpremo in omogočimo pasivno ogrevanje po principu tople grede ali popolnoma zapremo in s tem povečamo toplotno izolacijo prostora.

7 LITERATURA

Active solar. Pridobljeno 04.11.2010 s svetovnega spleta:
http://en.wikipedia.org/wiki/Active_solar

Baugh, J. About global warming. Pridobljeno 11.10.2010 s svetovnega spleta:
<http://physics.jamesbaugh.com/co2saturation.html>

Beckman, W.A., Duffie, J.A. (2006). Solar engineering of thermal processes. New York: John Willey & Sons

Biotehniška fakulteta. (2010). Meteorologija in klimatologija. 5.vaja: Sevanje. Pridobljeno 3.09.2010 s svetovnega spleta: web.bf.uni-lj.si/agromet/sevanje.ppt

Boyle, G. (2004). Renewable Energy. Power for a sustainable future. 2.izdaja. Walton Hall: Oxford

Conrad Electronic. Pridobljeno 09.10.2010 s svetovnega spleta www.conrad.si

Eicker, U. (2001). Solar technologies for buildings. Stuttgart: Wiley

Grobovšek, B. (2010). Pasivna hiša – toplotne, gradbene in zvočne lastnosti zastekljenih površin. Pridobljeno 24.09.2010 s svetovnega spleta:
<http://www.arhem.si/pdfs/pasivna%20hisa%20-%20zasteklitev%20-%20ARHEM%20doo.pdf>

Kajfež Bogataj, L. (2008). Kaj nam prinašajo podnebne spremembe. Ljubljana: Pedagoški inštitut

Kastelec, D., Rakovec, J., Zakšek, K. (2007). Sončna energija v Sloveniji. Ljubljana: ZRC

Medved, S. (2008). Gradbena fizika. Pridobljeno 11.10.2010 s svetovnega spleta:
http://www.student-info.net/sis-mapa/skupina_doc/fa/objava_datoteke1259535375_vse1.pdf

Medved, S., Novak, P. (2000). Varstvo okolja in obnovljivi viri. Univerza v Ljubljani: Fakulteta za strojništvo

Passive solar. Pridobljeno 04.11.2010 s svetovnega spleta:
http://en.wikipedia.org/wiki/Passive_solar

Roltek. Pridobljeno 16.04.2010 s svetovnega spleta: <http://www.roltek.si/>

Saje, F. (2010). Energetika. Ogrevanje, hlajenje in klimatizacija. Pridobljeno 03.09.2010 s svetovnega spleta: http://www.sc-nm.com/scnm/_visja/Documents/EN3%20Gretje.pdf

Stepping motors. Pridobljeno 12.10.2010 s svetovnega spleta
<http://www.vaptehnika.si/koracni-sanyodenki.pdf>

Tiwari, G.N. (2002). Solar Energy. Fundamentals, design, modelling and application. New Delhi: Alpha science

Tomšič, M., Zavrl, M.Š. (1999). Energetsko učinkovita zasteklitev in okna. Pridobljeno 08.06.2010 s svetovnega spleta: <http://www.aure.gov.si/eknjiznica/V8-zasteklitev.pdf>