

TEMPERATURE POD SALONITNIMI KRITINAMI RAZNIH BARV

TEMPERATURES UNDER ROOF COVERS OF DIFFERENT
COLOURS

551.521.14

551.584.6

ZDRAVKO PETKOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

SUMMARY

Different coloured roof cover plates made of asbest concrete were exposed horizontally in summer Mediterranean weather conditions and the temperatures under the plates were measured with the precise mercury thermometers for two weeks. The colours of plates were: natural light grey, light red, dark red and black. With the exception of one morning the sky was cloudless but the wind and measurements conditions were different. The results are shown on four figures presenting five chosen days but corresponding measurement conditions can be seen on table 1.

The highest temperatures and temperature differences among plates were found in calm days (fig. 1) when the plates were situated on mineral wool and the bulbs of thermometers were joined to the plates by plaster. The maximum temperature under the black plate was 56°C , that is nearly 35°C higher than air temperature and 14.5°C higher than the value under the light grey plate. The smallest daily values and differences were found in a clear day with bora wind (fig. 4) when the plates were situated on wooden sticks and the bulbs were 2 mm apart from plates.

From the ballance equation and some suppositions the unknown albedo values of both red plates were calculated. Further the equation for temperature changes of the air in the room under insulated roof was developed. Under supposition that all heat inflow is used for heating room's air and by 10 cm thick insulation of mineral wool, under grey roof cover the temperature changes can reach 5°C/h . In comparisons with conditions under other coloured roofs, the temperature changes and heating intensities increased as seen on the table 2. Approximately the same factors may be used for

assessment of necessary ventilating or cooling capacity and there costs.

POVZETEK

Plošče naravne in različno pobarvane kritine azbestnega cementa (salonita) so bile položene horizontalno na različne podlage z različno možnostjo ventilacije. Iz dvotedenskih temperaturnih meritev pod ploščami so izbrani in prikazani značilni primeri za pet dni z različnimi vremenskimi in merskimi pogoji. Podan je algoritm za določitev albeda plošč ter enačba za ocenitev vpliva barve kritine na temperaturne razmere v izoliranih prostorih pod njo pri različnih barvah.

UVOD

Eden glavnih namenov stavb je, da nudijo v svojih notranjih prostorih primerne pogoje za življenje in delo ljudi. Z modernimi klimatskimi napravami je primerne pogoje mogoče ustvariti skoraj v vsakem zaprtem prostoru; toda stroški za to so lahko zelo različni in so močno odvisni od zunanjih pogojev in od karakteristik stavbe. V času, ko postaja energija vse bolj dragocena, je potrebno maksimalno izkoristiti zunanje pogoje ter materiale in sisteme tako, da bi se že brez dodatnih posegov čim bolj približali primernim notranjim razmeram.

Posebno pri nizkih zgradbah je eden najvažnejših prehodnih področij med zunanjimi in notranjimi pogoji streha; zato so njena konstrukcija, vrsta, nagib in tudi barva faktorji, ki lahko znatno prispevajo k dosegu optimalnih notranjih pogojev ob minimalnih stroških vzdrževanja ali celo brez njih. V tem delu si bomo ogledali, koliko vpliva barva zunanje strešne površine na stanje pod njo. Nekaj podobnih raziskav je bilo izvedenih /1-4/, tu pa bodo podani rezultati temperaturnih meritev pod salonitnimi kritinami raznih barv ob različnih vetrovnih in izolacijskih pogojih ter v času, ko je za doseg ugodnih pogojev potrebno toplotni tok skozi streho čim bolj zmanjšati.

Ugotovitve bodo predvsem koristne za naše primorske predele, kjer je sončno obsevanje poleti izredno izdatno. To pogosto privede do neugodno visokih temperatur, posebno v pritličnih zgradbah in v prostorih neposredno pod streho, četudi je ta izolirana. Pri tem je

posebno odločilna ugotovitev /1/, da je znižanje temperature v prostoru poleti za 1° C petkrat dražje, kot enako zvišanje pozimi. Zato je opaziti v svetu splošno težnjo po prehodu na svetlejša materiala strešnih površin.

MERITEV

Merili smo v mesecu avgustu 1973 na otoku Pagu, ko je bilo nebo vse dni skoraj popolnoma jasno. Večinoma je bilo vreme mirno s šibkimi obalnimi vetrovi, dvakrat pa je tudi pihala burja, kar nam omogoča ugotavljanje vpliva močnejšega vetra.

Osnovni merski objekt so bile štiri raznobarvne salonitne plošče valovite kritine velikosti 25 x 20 cm. Salonit, to je azbestni cement (proizvodnje Anhovo) je bil debeline 5,5 mm, gostote 1800 kg/m³ in toplotne prevodnosti 0,2 kcal/ m st h. Valovna dolžina valov na ploščah je bila 13 cm in amplituda 27 mm. Plošče so bile položene horizontalno, 30 cm nad tlemi in orientirane tako, da so bili valovi paralelni smeri E-W. Ožja lokacija je bil peščeno-travnati plato 10 m od obale, ki poteka v smeri N-S, plato pa je tri metre nad morskim nivojem. Okolišnji objekti (hrib, stavba in drevje) so ustvarili pogoje, da je sonce lahko nemoteno obsevalo plošče med 11 in 17 uro, v preostalem dnevnem času pa je vplivala predvsem le difuzna svetloba. Plošče so bile najprej položene na redko lesenno mrežo, pozneje pa na mineralno volno debeline 8 cm zaradi ugotavljanja razlik vsled ventilacije.

Od štirih izpostavljenih plošč je bila prva naravne barve korugirane azbestnega cementa - to je svetlo siva z albedom okrog 0,6 /1,5/; druga je bila pobarvana z živo rdečim tesarol emajlom, tretja je bila temno rdeča (mešanica rdeče, bele in črne), četrta pa pobarvana s črnim tesarol emajlom, ki daje rahel lesk in je bil albedo po oceni okrog 0,05.

Temperature pod ploščami so bile merjene z dolgimi živosrebrnimi termometri s skalo od 0-100° C in z natančnostjo skale 1/10° C. Termometri so bili pritrjeni paralelno pod srednji val vsake plošče tako, da je bila podolgasta bučka 2 mm odmaknjena od plošče, pri nekaterih meritvah pa k plošči zalita z gipsno malto. Za tovrstne meritve so se izkazali živosrebrni termometri z večjo časovno konstanto boljši kot termistorski, na katere preveč vpliva mikroturbulenca zraka, ki nas tu ne zanima.

Za kontinuirane vspeoredne podatke o temperaturi in vlagi zraka so

skrbeli termohigrograf in kontrolni ter ekstremni termometri, ki so bili v primernem zaklonu ca. 8 m vstran od izpostavljenih salo-nitnih plošč. Hkrati s temperaturnimi vrednostmi posameznih termometrov so bili beleženi važni vremenski parametri: oblačnost (ki je nastopila le enkrat), veter in drugi pojavi, ki bi lahko vplivali na merjene vrednosti.

REZULTATI

Iz obdobja štirinajstdnevni meritev smo izbrali pet značilnih dni, meritve v njih pa so podane na slikah 1 - 4. Z njimi so zajete razne kombinacije vremenskih in postavljenih merskih pogojev, kot so razvidne iz tabele 1.

Tabela 1 Merski in vremenski pogoji ob posameznih prezentiranih dneh.

Table 1 Measurement- and wind-conditions in represented days. (Conditions: undernith free, bulbs free, strong wind)

Dan	Pogoj	spodaj odprto	bučke proste	močan veter	Slika
18. 8. 1973		-	-	-	1
13. 8. 1973		-	-	+	2
11. 8. 1973		-	+	-	3
9. 8. 1973		+	+	-	4
8. 8. 1973		+	+	+	4

Kot je razvidno iz tabele je kronološki red obrnjen zaradi lažje in nazornejše prezentacije rezultatov.

Slika 1 kaže torej rezultate meritev v popolnoma jasnem in mirnem vremenu, ko so bile plošče položene na mineralno volno, bučke termometrov pa z gipsno malto spojene s ploščami. Nočnih meritev ta dan ni bilo - temperatur ni bilo mogoče odčitati, ker je bil spodnji del skale s ploščo pokrit za vrednosti pod 18° C. Takoj ob svitu - že ob rahli difuzni svetlobi se je ustvarila normalna dnevna razporeditev pri čemer je imela najvišjo temperaturo črna in najnižjo siva plošča, čeprav so bile še vse vrednosti nižje od temperature zraka. Meritve v času med 8³⁰ in 10³⁰, ko je s plošč postopno in zaporedno izginjala senca stavbe, za primerjavo med ploščami niso uporabne vse dokler niso vse plošče nekaj časa nemoteno obsevane.

Ob 11³⁰ vidimo na sliki 1 značilno in obenem največjo izmerjeno razliko v temperaturi pod posameznimi ploščami. Razlika med črno in sivo znaša 14,5° C pri čemer temperatura pod črno ploščo presega 56° C in je skoraj za 35° C višja od temperature zraka. Ob sorazmerno majhnem nihanju, ki je predvsem posledica stalnega, čeprav komaj zaznavnega gibanja zraka, ostanejo temperature do 16 ure dokaj visoke, nakar močno padejo. Takoj po sončnem zahodu, pa se že tudi obrne predznak temperaturnih diferenc ter je temperatura pod najsvetlejšo ploščo - čeprav le neznatno - višja od temperature pod črno.

Podnevi v času med 7 in 17 uro vidimo značilno in dokaj vzporedno temperaturno razporeditev. Najvišje so temperature pod črno ploščo, ki absorbira največ globalnega sevanja in najnižje pod svetlo sivo, ki največ nanjo vpadlega sevanja odbije. Razlike so največje okrog temperaturnega maksima plošč (ne pa zraka), čeprav fluktuacije ne izostanejo in so v absolutnih vrednostih in diferencah posledica turbulence in gibanja zraka okrog plošč. Ravne črte - zveznice med posameznimi izmerjenimi vrednostmi na slikah seveda ne kažejo pravega temperaturnega poteka in so vrisane zaradi nazornosti.

Temperatura zraka ima ta dan, kot v drugih dneh z jasnim nebom značilen dnevni potek z minimom tik pred sončnim vzhodom. Maksimum je glede na "normalne" pogoje pomaknjen za dve uri - na 16 uro ali celo v čas za njo. To je verjetno posledica obalnih vetrov: šele ko morski vetrič oslabi in preneha z dovodom zraka iznad relativno hladnega morja (s temp. okrog 24° C) se vpliv ogrelih tal najmočnejše kaže v temperaturi zraka 2 m nad tlemi; čeprav temperatura tal tedaj že pada.

Glede na približno konstantno absolutno vlago, je potek relativne vlage vse dni približno zrcalna slika temperaturnega poteka in njegove vrednosti nihajo med 50 in 75% ter nimajo odločilnega vpliva na merjene temperature.

Slika 2 zajema analogne pogoje meritev (plošče na mineralni volni, bučke zagipsane), le da je v prvi polovici dneva pihala zmerna burja in je bilo nebo delno oblačno. Očitno sta oblačnost in veter preprečila znižanje temperatur plošč in zraka ponoči in močnejši dvig temperatur dopoldne. Šele ko je veter oslabil in se je zjasnilo, so se temperaturne vrednosti približale vrednostim s prejšnje slike 1 in zvečer spet močno padle.

Pogoji na sliki 3 so podobni tistim, ki veljajo za sliko 1, toda ker tu bučke termometrov niso prigipsane k ploščam, ampak od njih

2 mm odmaknjene, so pod njimi merjene temperature bolj odvisne od gibanja zraka. Ob pojavu obalnih vetrov in izdatnejši ventilaciji se temperature znižajo oziroma se ne dvignejo do ekstremnih vrednosti, čeprav so visoke. Ponoči pa so temperature pod ploščami zaradi sevanja v mirnem zraku močno nižje od zunanje temperature zraka, ki ima tudi tu svoj značilni dnevni potek.

Še močnejši je vpliv gibanja zraka pri pogojih, ko so plošče položene na leseno mrežo in torej niso spodaj zaščitene z mineralno volno - slika 4. Prvi dan (8.8.) v času močne burje se podnevi temperature pod ploščami, ki so sedaj tudi s spodnje strani dobro ventilirane, znatno manj (vendar ne zanemarljivo) dvignejo nad temperaturo zraka. Ob začasnem prenehanju burje se zvečer in deloma ponoči (med 18 in 22 uro) temperature pod ploščami spuste pod temperaturo zraka, toda se z njo izenačijo, ko se burja spet pojavi. Ob slabšem vetru naslednjega dne (9.8.) se temperature dvignejo višje, vendar zaradi proste ventilacije pod ploščami, še zdaleč ne tako visoko kot npr. pri podobnem vetru, a z izolacijo - slika 2.

Iz podanih primerov vidimo, koliko in kako se temperature pod ploščami različnih barv razlikujejo med seboj in od temperature zraka ter kako velik vpliv ima na te vrednosti veter v odvisnosti od tega, koliko mu je dana možnost delovanja tudi pod ploščami.

IZVAJANJA IN SKLEP

Izmerjene vrednosti nam lahko služijo za oceno temperaturnih razmer, ki bi vladale v prostorih pod strehami različnih barv. Razlike pod ploščami znašajo podnevi skoraj 15° , vse vrednosti pa so precej višje od temperatur zraka, ki so že same precej nad vrednostmi, ki so za ljudi ugodne. Zato je vsako dodatno ogrevanje posebno v prostorih, kjer je močnejša ventilacija zaradi prepaha neugodna, nezaželeno in ga je treba preprečiti. S primerno izolacijo pod kritino, s primerno konstrukcijo strehe in s primernim sistemom prezračevanja je mogoče vplivati na znižanje temperature notranje stropne površine - to je tiste, ki končno neposredno ogreva zrak in neposredno seva (v dolgovalovnem spektru) in bistveno odloča o temperaturah in počutju ljudi v prostoru. Izračunali bomo, kakšni so ti vplivi, toda prej še določimo približna albeda rdečih dveh plošč.

Energijska bilanca je tu v približku vsota vpadle svetlobe Q , čiste izgube zaradi sevanja R in s turbulenco odvedene ali dovedene toplote ϕ . Ker je ob temperaturnem maksimumu toplotna bilanca plošč

enaka nič $/2/$, lahko z dopolnitvijo zapišemo:

$$0 = Q(1-A) - (R(T) + \phi(T)) \quad (1)$$

Pri čemer je A albedo, R rezultanta sevanja in protisevanja atmosfere in T temperatura. Postavimo v približku, da je vpliv protisevanja preprosto zajet s faktorjem 0,4 in je po Stefanovem zakonu:

$$R = 0,4 \sigma T^4 \quad (2)$$

Pri tem odvod toplote navzdol skozi izolacijo zanemarimo.

Ob postavki $Q = 1 \text{ ly/min}$ je ob znanih albedih za sivo in črno ploščo, mogoče dobiti $\phi(T)$ neposredno iz gornje enačbe. Upoštevajoč še to, da je:

$$\phi(T) = 0 \quad \text{za} \quad T = T_{\text{zraka}} \quad (3)$$

imamo tri vrednosti, iz katerih je preprosto grafično mogoče dobiti približno razporeditev $\phi = \phi(T)$ in iz nje ϕ za obe rdeči plošči z nepoznanim albedom, a znano temperaturo. Iz enačbe (1) sledi:

$$A = 1 - \frac{1}{Q} (R(T) + \phi(T)) \quad (4)$$

kar nam za naše izmerjene vrednosti temperature ob maksimumu da vrednosti albeda, ki sta 0,5 za svetlo rdečo in 0,3 za temno rdečo ploščo.

Na osnovi znanih temperatur neposredno pod kritino, lahko izračunamo tok toplote skozi strešno izolacijo navzdol in njegove posledice. Jakost toplotnega toka je dana z enačbo:

$$\frac{dQ}{dt} = S \lambda \frac{\delta T}{\delta r} \quad (5)$$

kjer je S površina, λ toplotna prevodnost izolacije, δr njena debelina in δT temperaturna razlika na zgornji in spodnji strani izolacije. Zgornje temperature so izmerjene, spodnje pa vzamemo nekoliko višje, kot je poprečna zunanja temperatura zraka (npr. 27°C).

Nekaj toplote odvzamejo tla in stene, toda vzemimo zaradi preprostosti v prvem približku, da se skozi strop dovedena toplota porabi za ogrevanje zraka v prostoru ter velja:

$$\frac{dQ}{dt} = m c_p \frac{dT}{dt} \quad (6)$$

pri čemer je m masa in c_p specifična toplota zraka pri konstantnem pritisku. Ker je masa:

$$m = S \varrho h \quad (7)$$

pri čemer je ϱ gostota zraka in h višina prostora, nam da izenačitev enačb (5) in (6) jakost ogrevanja zraka v prostoru:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\lambda}{h c_p} \frac{\sigma T}{\sigma r} \quad (8)$$

Ker so za neki prostor λ , ϱ , h in σr konstantne vrednosti, velja:

$$\frac{dT}{dt} = k \sigma T \quad (9)$$

Iz tega izhaja, da je jakost ogrevanja v prostoru sorazmerna temperaturni razliki σT in je torej odvisna predvsem od temperature pod kritino. Vzemimo za primer vrednosti pod sivo kritino, pri čemer je ob ekstremu razlika temperatur na obeh straneh izolacije 15° . Naj bo izolacija 10 cm debela mineralna volna s toplotno prevodnostjo $\lambda = 0,035 \text{ kcal/m st h } /6/$ in prostor naj bo visok 3 m. Po enačbi (8) sledi, da bi bila jakost ogrevanja zraka v prostoru $5^\circ/\text{h}$, kar bi torej kljub sorazmerno dobri izolaciji že privedlo do neznosno visokih temperatur zraka v prostoru, če ne bi bilo stalnega prezračevanja. Pri kritinah drugih barv bi bilo ogrevanje še močnejše in prav te razlike v ogrevanju nas zanimajo. Izmerjene temperaturne razlike in po enačbi (9) iz njih izračunana razmerja jakosti ogrevanja so podana v tabeli 2.

Tabela 2 Temperaturne razlike na mejah izolacije pod raznobarvnimi kritinami in razmerja glede na razmere pod sivo kritino.

Table 2 Temperature differences on insulation borders under plates of different colours and ratios regarding light grey plate.

Barva kritine	siva	svetlo rdeča	temno rdeča	črna
T ($^\circ\text{C}$)	15	20	25	30
razmerje	1	1,3	1,7	2,0

Iz tabele je razvidno, da se zrak pod črno kritino celo dvakrat močnejše ogreva kot pod sivo. Teh razmerij niti vrsta, niti debelina izolacije ali višina prostora ne spremenijo. Črnih streh v teh klimatskih razmerah verjetno ne bo nihče delal. Iz etnografskih ali lepotnih razlogov pa se ponekod pojavljajo zahteve po rdečih strehah. Toda iz gornje tabele je videti, da je to nespametno. Če imamo namesto sive kritine rdečo, moramo za ustrezeni faktor (večji od 1,0) povečati sistem ohlajevanja ali izmenjavo zraka ali pa prenašati previsoke temperature, in to seveda tem bolj čim nižji je strop in čim slabšo izolacijo smo uporabili v stropni konstrukciji.

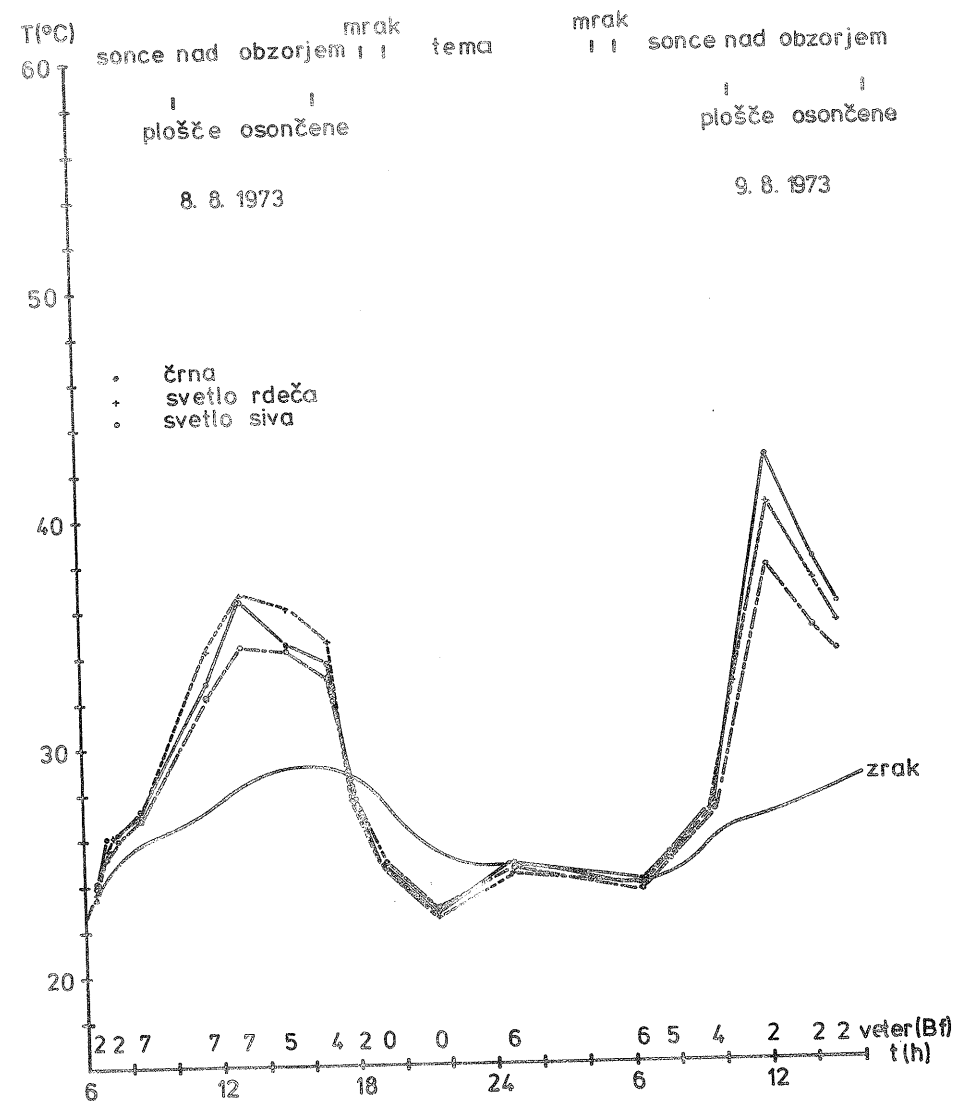
Vidimo torej, koliko barva oziroma albedo strešne površine odloča o ekonomiki in počutju stanovalcev, kar je pri odločitvah vsekakor vredno upoštevati.

LITERATURA

- /1/ Conclin G.: The Weather Conditioned House, Reihold Publ. Corp., New York 1958.
- /2/ Koch H.: Industriemeteorologie, Karl Marx Universität, Leipzig 1969.
- /3/ Deventer E.N.: Design Weather Data for Buildings in Warm Climates. Teaching the Teachers on Building Clim. Vol of Prepr. 1/10, Stockholm 1973.
- /4/ Mandorff S.: Prediction of Indoor Thermal Environment During the Summer Months, Ibid 3/49.
- /5/ Robinson N.: Solar Radiation, Elsevier Publishing Comp., Amsterdam 1966.
- /6/ Glas L.O., Höglund I.: The Influence of Roof Constructions on the Cost of Climate Equipment. Teaching the Teach. on Build. Clim. Vol. of Preprints 1/20, Stockholm 1973.

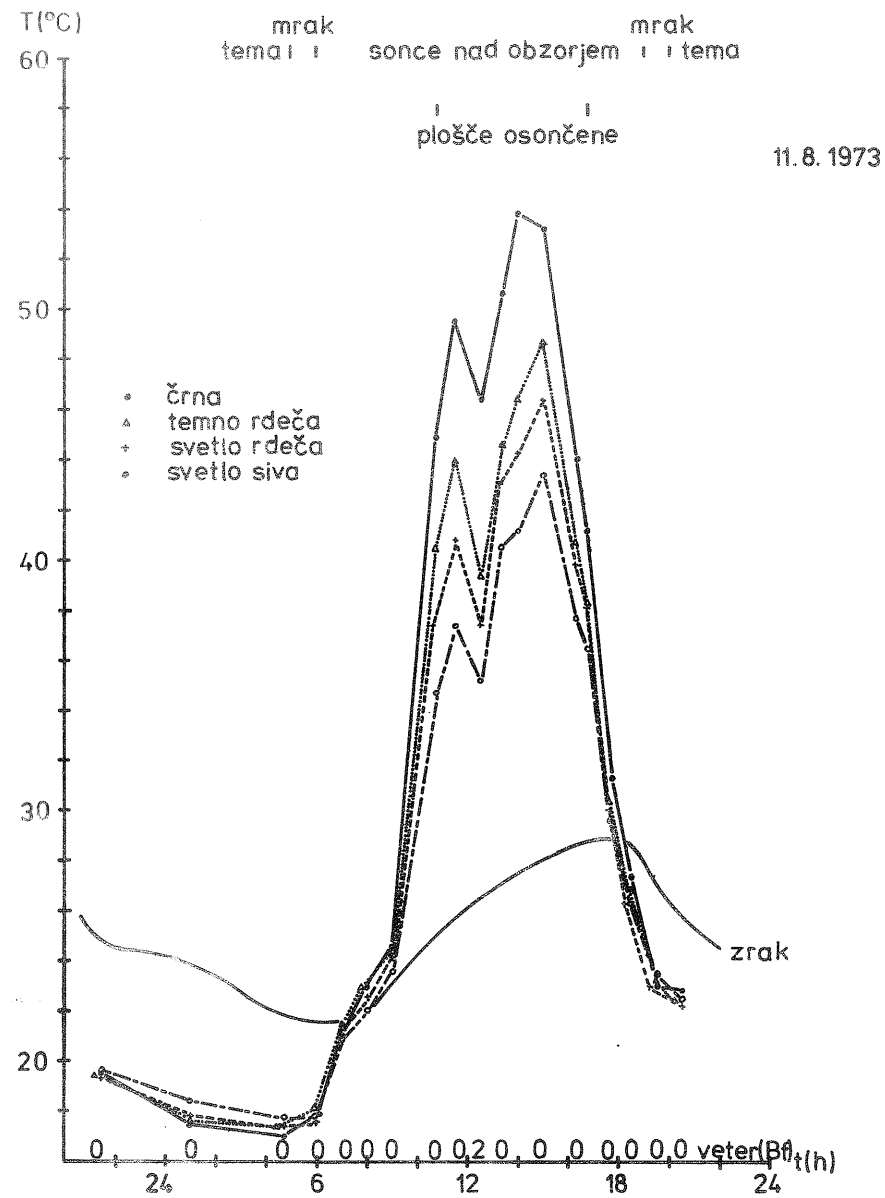
Slike 1-4 Temperature zraka in temperature pod kritinami raznih barv ob različnih pogojih, ki so razvidni s tabele 1 in samih slik.

Figure 1-4 Air temperatures and temperatures under roof covers of different colours at various conditions.



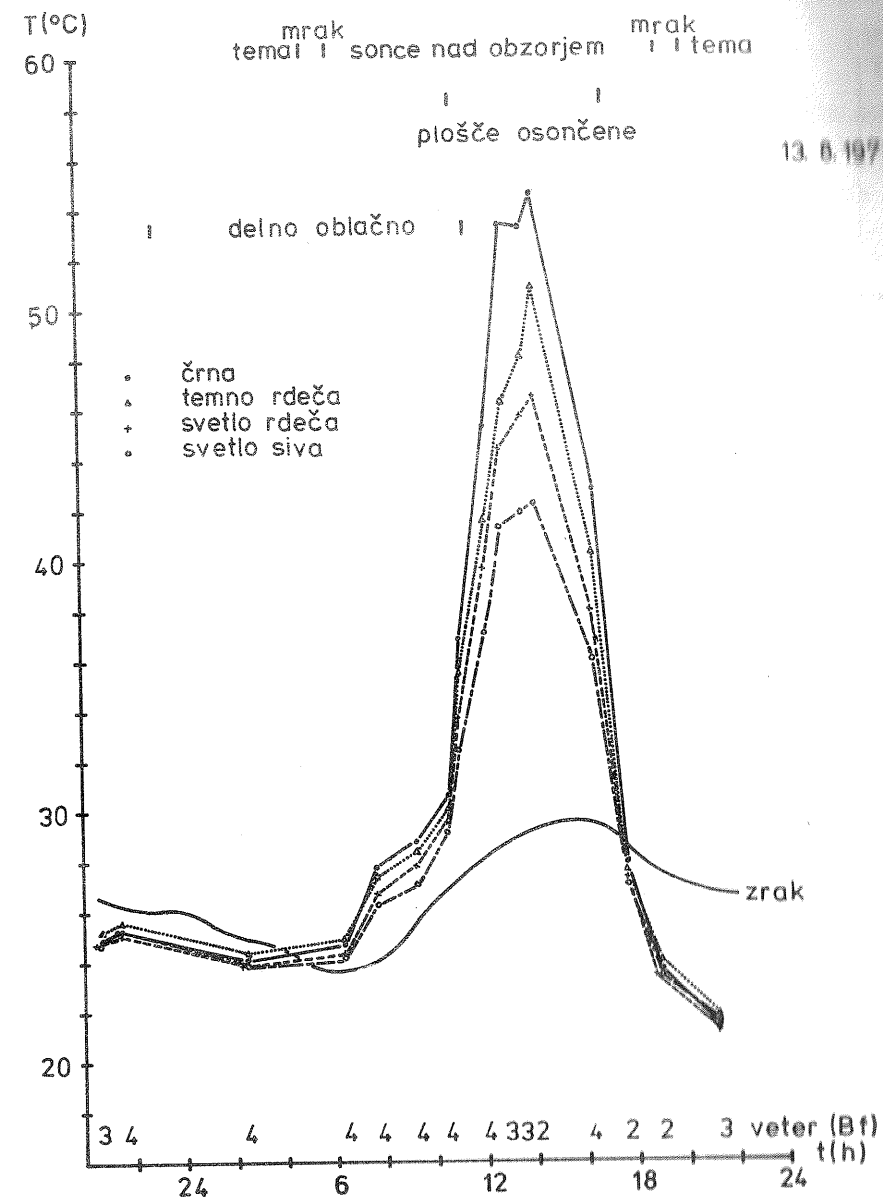
Slika 1

Fig. 1



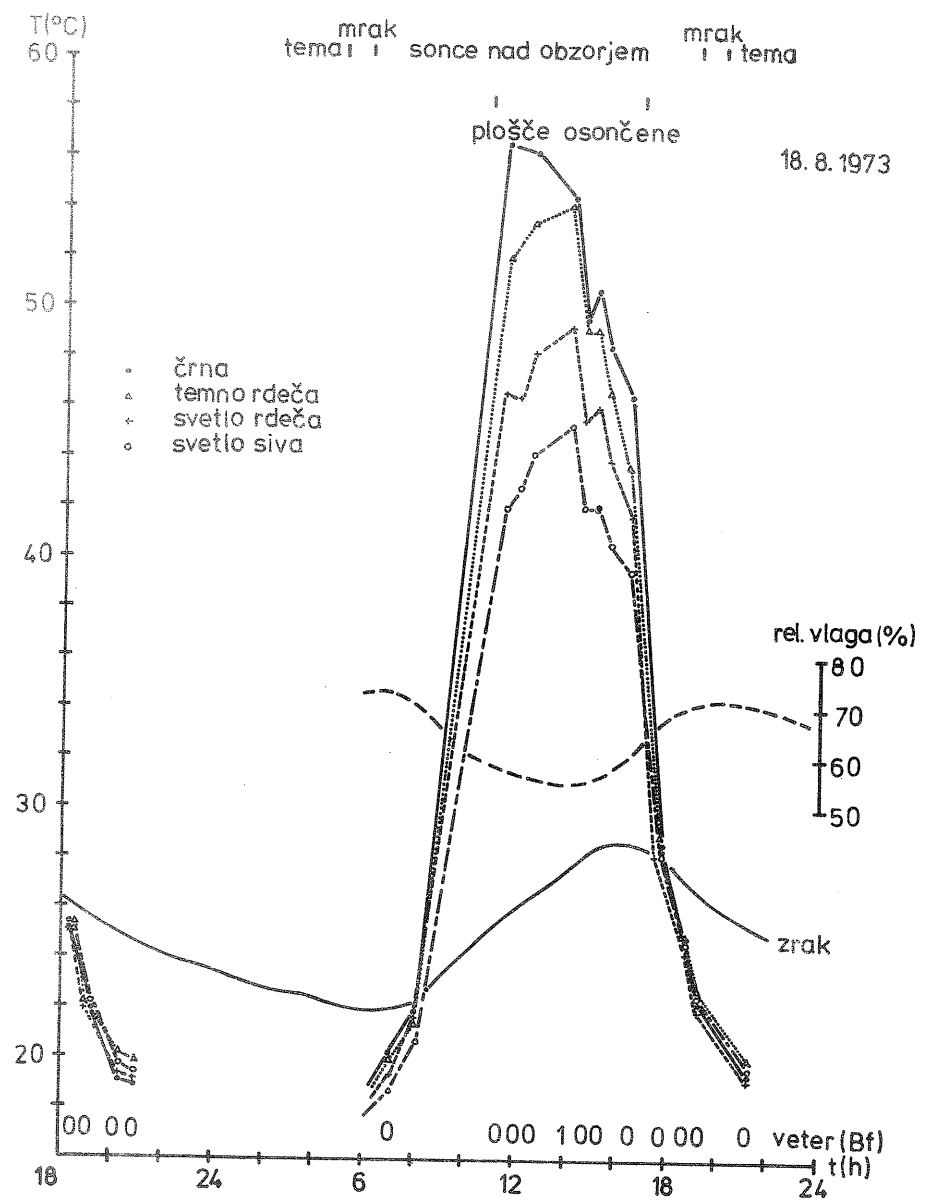
Slika 2

Fig. 2



Slika 3

Fig. 3



Slika 4
Fig. 4