

OBČUTLJIVOST FOTO CELICE IN ČLOVEŠKEGA OČESA PRI REGNAULTOVI METODI
DOLUČEVANJA ROSIŠČA

SENSIBILITY OF THE PHOTOCCELL AND THE HUMAN EYE WITH REGNAULT'S METHOD FOR
DETERMINATION OF DEW POINT

551.508.7

ERVIN PIRTOVŠEK

Katedra za meteorologijo FNT, Ljubljana

ABSTRACT:

Regnault's method for determination of dew point is very useful at low temperatures and small values of absolute humidity. Using this method in this work a comparison has been made in the determination of the dew point with photocell, diode and the human eye searching for the best sensor. Photocells - gas and vakuum ones - proved to be more sensible than the human eye. The human eye is very subjective perceiving the steam on the mirror under the best conditions only. A photocell responds to the smallest amounts of water and enables a very exact determination of the dew point. The results of measurements are presented on graphs.

UVOD

Določevanje rosišča je dandanes pri posameznih vejah znanosti, tehnike in gospodarstva zelo zahtevna naloga. Merjenje vlage pri visokih pritiskih terja čisto drugo metodo kot merjenje vlage v meteorologiji ali v biologiji v celicah raznih organizmov. Enako velja za merjenje vlage pri nizkih pritiskih in nizkih temperaturah. Tu najbolj ustreza Regnaultova metoda merjenja rosišča in posredno tudi vlage. To metodo odlikuje zelo široka meritvena sposobnost in daljinsko avtomatsko merjenje rosišča. Omogoča konstrukcijo instrumenta, s

katerim lahko temperaturo rosišča tudi napovedujemo.

Za konstrukcijo instrumenta za merjenje vlage po Regnaultovi metodi je zelo važno, da vemo, kakšno občutljivost lahko dosežemo z njim. Kako natančen bo instrument, je odvisno od občutljivosti foto celice in natančnosti merjenja temperature.

Sam princip je zelo preprost. Meriti je treba le temperaturo zrcala, ki ga ohlajamo, dokler se ne orosi. Takrat se snop žarkov, ki pada na zrcalce, razprši in foto celica da znak, da je doseglo zrcalce temperaturo rosišča. Važno je torej čimbolj natančno določiti to temperaturo; z drugimi besedami, na zrcalcu je treba zaznati že najmanjšo spremembo, ki jo povzroči vlaga. Nastane vprašanje: ali je oko občutljivejše od foto celice in ali foto celica zadovoljuje vsem potrebam? Odgovor na to vprašanje naj bi dal pričujoči sestavek.

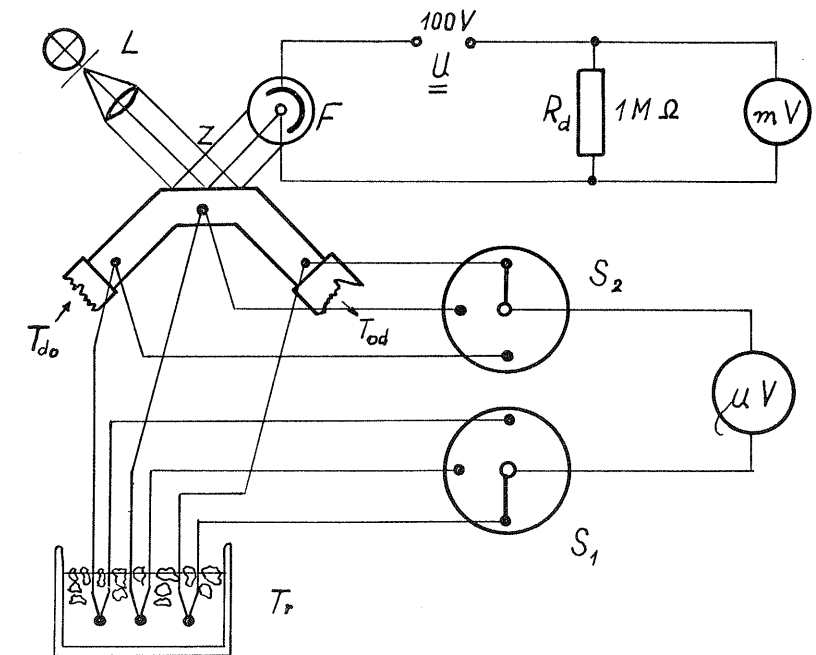
MERJENJE TEMPERATURE ZRCALCA S TERMO ČLENOM

Nemajhen problem je merjenje temperature zrcalca in registriranje vsakršnih najmanjših sprememb na njem, če hočemo točno izmeriti rosišče. Izkaže se, da vse metode, razen električnih, odpadejo, ker bodisi ne merijo dovolj natančno, bodisi ne sledijo dovolj hitro vsem spremembam zaradi prevelike lastne toplotne kapacitete. Termo člen ustreza vsem tem zahtevam. Težava nastopi le pri merjenju zelo majhnih napetosti, ki se pojavijo zaradi temperaturnih sprememb med obema stičnima točkama. Napetost U_e je premosorazmerna temperaturni razliki ΔT :

$$U_e = a \Delta T$$

Za termo člen, sestavljen iz konstantana in bakra, je termoelektrični koeficient, ki je za vsako kovino značilen, enak $a = 4,3 \cdot 10^{-3}$ V/st. To je sorazmeroma majhna vrednost, zato pa je treba ustvariti čim večjo temperaturno razliko ali pa najti instrument z veliko občutljivostjo in sposobnostjo, da

meri napetosti reda velikosti 10^{-6} V. Instrument, ki zadošča naštetim potrebam, je enosmerni voltampermeter "Boonton Electronic Corporation Model 95 ADC". Z njim lahko merimo napetosti $\pm 1,0$ u V do ± 1000 V z natančnostjo $\pm 3\%$ pri polnem odklonu kazalca in tokove od $\pm 0,1$ u A do $\pm 1,0$ A s $\pm 4\%$ napako pri polnem odklonu kazalca. Instrument je elektronski, kombinacija voltmetra, ampermetra in ojačevalca in je prirejen za merjenje enosmernih tokov. Notranja upornost voltmetra je $10 \text{ M} \Omega$, kar je popolnoma zadoščalo vsem meritvam. Iz podatkov je razvidno, da lahko brez težav merimo napetosti pri eni zanki termo člena, da torej ni treba zaporedno vezati več členov. To prednost izkoristimo pri zrcalu, ki je narejeno na posebej ukrivljeni medeninasti cevi; nanjo trdo pri-
spajkamo tri termo člene, da lahko ugotovimo morebitne temperaturne gradiente vzdolž same cevi in tako čim natančneje merimo temperaturo zrcala. Natančno lego in vezavo termo členov na cevi kaže slika 1, 2.



Slika 1,2 Shema naprave za merjenje rosišča

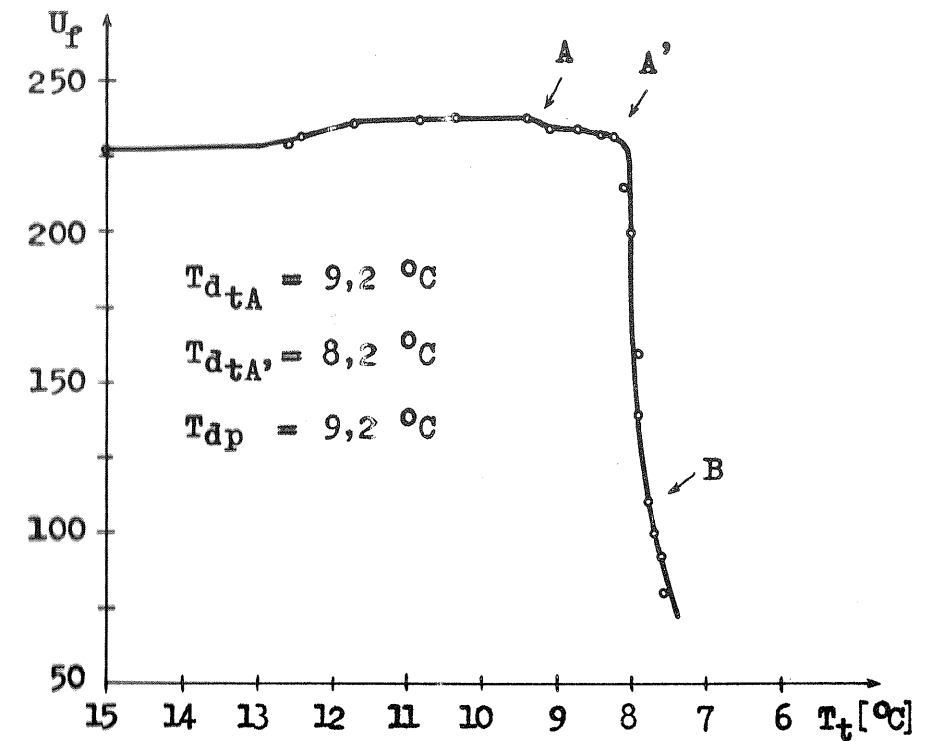
Fig. 1,2 Scheme of the device for measurement of the dew point

Zrcalce je bilo izdelano na sami cevi iz medenine. Zrcalna ploskev je bila zbrušena in spolirana do popolnega sijaja, nato pa je bila nanjo nparjena tanka plast srebra, tako da je bila odbojnost čim boljša, s tem pa pridobljena maksimalna možna občutljivost na spremembe na sami zrcalni površini.

Stikalo S_1 je povezovalo voltmeter z bakreno žico, ki je bila trdo prisajkana s konstantanom, ta stik pa potopljen v ledenomrzlo vodo; rabil je kot "hladna točka" T_p . Pri natančnih meritvah temperature je merodajna ravno stabilnost "hladne točke", kajti le tako izmerimo natančno temperaturo v "topli točki". Natančnost izmerjene temperature je torej odvisna od tega, kako smo uspeli držati in meriti rezistenčno temperaturo "hladne točke". V ta namen uporabimo ledišče destilirane vode. V litrski termovki je bila dvakrat destilirana voda z ledom prav tako iz destilirane vode. V razmikih po pet minut ali še pogosteje pomešamo led v termovki, da je temperatura po vsej zmesi enaka. Tako nam uspe držati vodo pri temperaturi od $0,2$ do $0,3^{\circ}\text{C}$, kar zadošča meritvam temperature. Rezistenčno temperaturo merimo s posebej umerjenim živosrebrnim termometrom, pri katerem je mogoče oceniti stotinke stopinje.

Stikalo S_2 je povezovalo bakreno žico termo členov (katerih konci so bili na medeninasti cevi) z mikrovoltmetrom. Takšno vezje je omogočilo meriti trenutno temperaturo na dveh mestih cevi skoraj istočasno, tako da je bila temperatura zrcalca kolikor le mogoče natančno izmerjena. Meritve so pokazale, da ni bilo opaznega temperaturnega gradienta vzdolž medeninaste cevi in da bi zadostovala že samo ena zanka termo člena. Zaradi poenostavljenega merjenja uporabimo na stikalu S_2 le skrajna kontakta, prvega in zadnjega, t.j. termo člen na začetku cevi in na koncu. Izkazalo se je, da vmesni stik ne da prav nobenih novih ali drugačnih podatkov.

Najprej je bilo treba mikrovoltmeter umeriti in narediti umeritveno krivuljo, s katero je mogoče odčitati poznejše meritve s foto celico. V ta namen uporabimo tekočo vodo iz vodovoda, ki teče skozi cev z zrcalcem in rabi kot



Slika 4 Rezultati merjenja z valjasto vakuumsko fotocelico VSCP 351, ki je lovila od zrcalca odbiti žarek

A Kaže pojav higroskopskih pik, A' Celo površino zrcalca je prekrila rahla meglica, ki se je vedno bolj gostila in debelila
B Kapljice na zrcalu so se začele zlivati

Fig. 4 Measurements obtained by a cylinder vakum photocell VSCP 351 which caught the beam reflected from the mirror

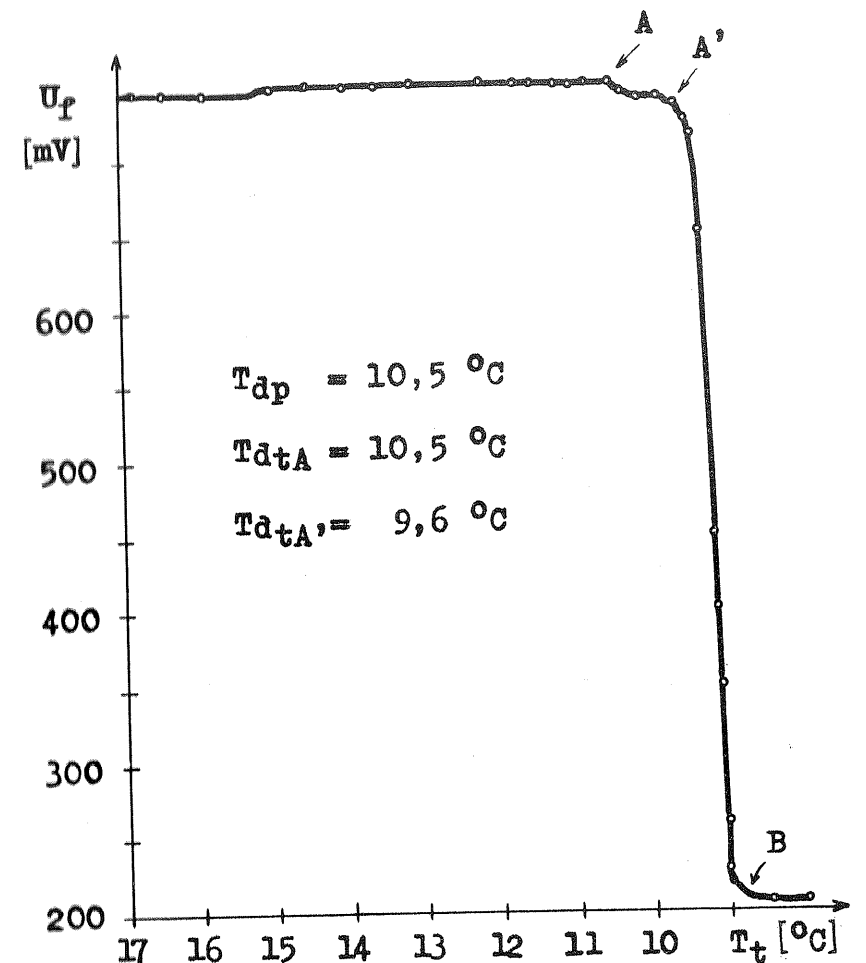
A The phenomena of hygroscopic spots is shown, A' The whole mirror got covered with increasingly condensing steam
B The drops on the mirror started to coalesce

Segreto zrcalce nemoteno odbija žarke, toda ko ga ohladimo do temperature rosišča, se na njem pojavi rosa, ki oslabi odbiti žarek. Na površini zrcalca,

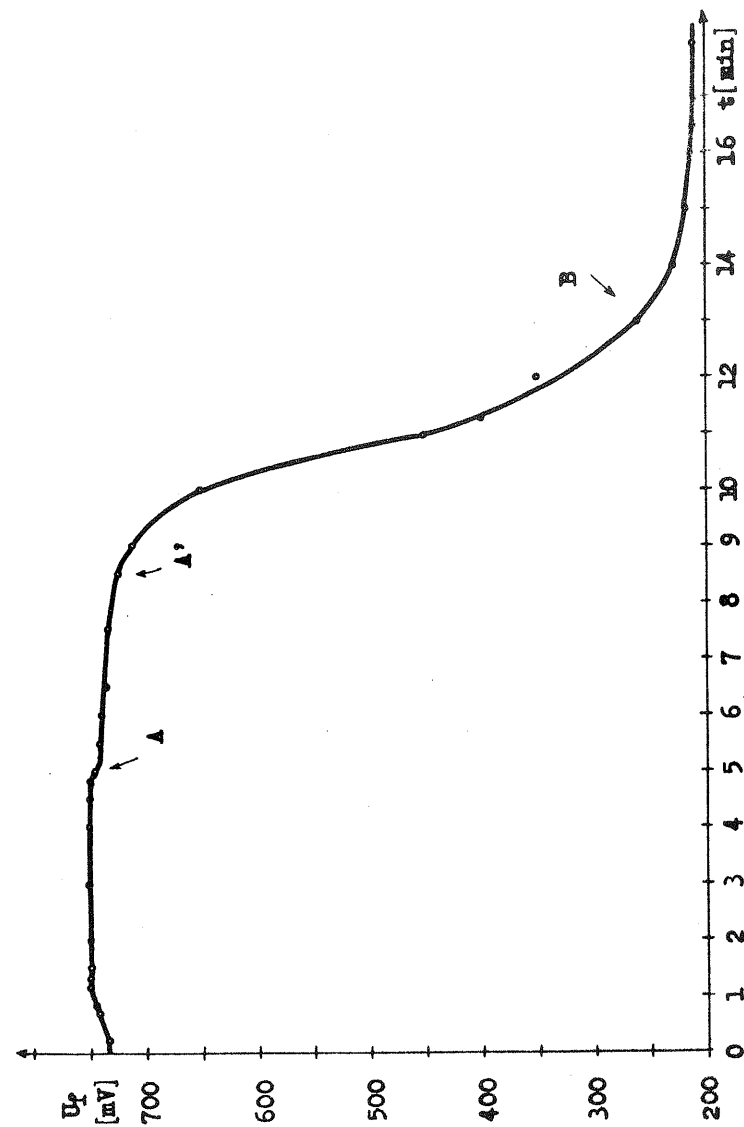
ki rabi kot kondenzacijska jedra, se tvorijo mikroskopske kapljice velikostnega reda 1μ , ki so očesu vidne kot rahla meglica. Svetlobni žarek se na teh kapljicah zaradi njihove ukrivljene površine siplje. Sprva so kapljice redke, tako da se žarki med njimi na zrcalu vseeno odbijajo po Lambertovem zakonu. Gostota kapljic in njihova velikost vedno bolj naraščata, čeprav se temperatura zrcalca ne spreminja in ostaja na rosišču. Če se temperatura zrcalca znižuje, se kondenzacija pospeši zaradi konvekcije in ohlajevanja zraka nad zrcalcem. Čim bolj se kapljice gostijo in večajo, tem več svetlobe se na njih siplje, dokler ne dobimo skoraj popolnega sipanja. Foto celica prejme le del sipane svetlobe. Če je foto celica nameščena pravokotno na smer odbitega žarka, ta ob pojavu meglice oslabi, če pa je nameščena pravokotno nad zrcalcem, se ji svetlobni tok poveča. V prvem primeru, ko foto celica lovi odbiti žarek, se je električni tok zmanjšal, s tem pa se zmanjša napetost na delovnem uporu, ali pa povečal, če je foto celica nameščena pravokotno nad zrcalcem. Sčasoma se kapljice tako povečajo, da se začno med seboj zlivati. Izkraj se padanje svetlobnega toka v foto celici ustavi /točka B na sliki 5/, s tem pa postane tudi napetost na delovnem uporu konstantna, čeprav še nadalje znižuje temperaturo zrcalca. Iz sheme na sliki 2. je razvidna celotna vezava in princip merjenja za primer, da foto celica lovi odbiti žarek.

Sliki 5 in 6 kažeta odvisnost napetosti na delovnem uporu R_d od hlajenja zrcalca, oziroma od intenzitete odbitega žarka.

Kmalu so se pokazale razlike med takšnimi poskusi in meritvami rosišča z Assmanovim psihrometrom, ki ga uporabimo kot umeritveni instrument. Po nekaj poskusih se je pojavila občutna razlika, ki je znašala tudi do 1°C . Na zrcalcu se je rosa, ki je občutno oslabila žarek, pojavila veliko pozneje, šele takrat, ko se je zrcalce ohladilo za pol ali celo stopinjo pod rosišče - točka A na slikah. Pri ohlajevanju so se najprej pojavile na zrcalcu drobne pike, ki so se potem rahlo povečale. Opazne so bile že pri toplem zrcalcu. Nasta-



Slika 5 Rezultati merjenja rosišča z vakuumsko fotocelico VSCP 2141
Fig. 5 Measurements of the dew point obtained with a vacuum photocell VSCP 2141

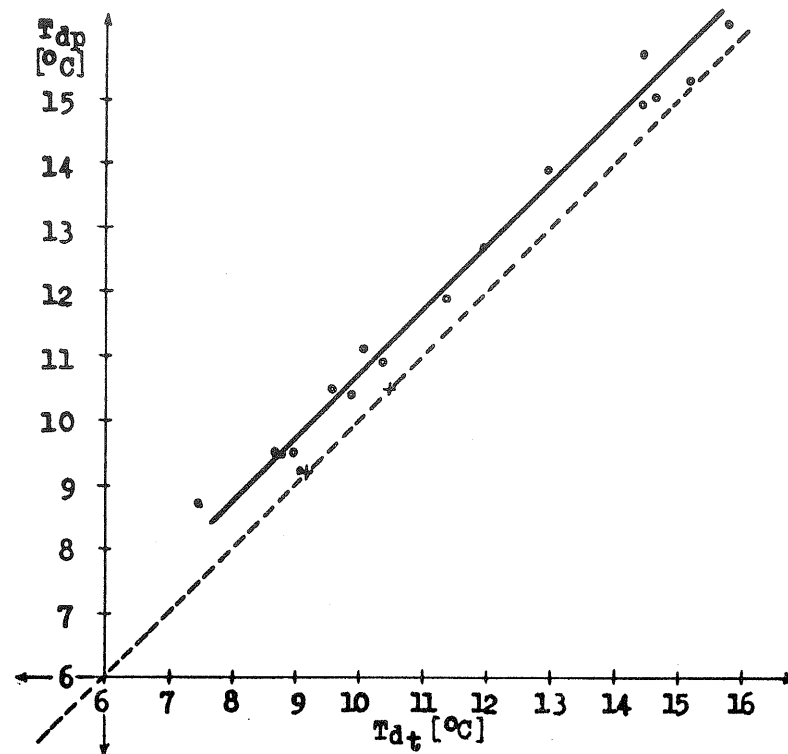


Slika 6 Časovni potek zarositve zrcalca

Fig. 6 Time distribution of steaming of the mirror

le so po izhlapevanju alkohola, s katerim čistimo zrcalca in so pozneje postala nekakšna kondenzacijska jedra. Pri temperaturi rosišča so se kapljice sprva okrepile, potem pa povečale in razširile. Voltmeter, ki je meril napetost na delovnem uporu v toku fotocelice, se je ob pojavu pik le za malenkost premaknil, potem pa na tem mestu nekaj časa vztrajal. Šele ko je temperatura zrcalca padla na pol ali celo stopinjo, je celotno zrcalce prekrila rahla koprena, ki se je pozneje vedno bolj gostila, dokler se niso pojavile očesu vidne kapljice. Pri nadaljnjem ohlajevanju so se začele te zlivati in združevati, kar je zelo dobro vidno na sliki 5 /točka B/. Na omenjenih pikah je ves proces kondenzacije potekal hitreje kot na ostalem delu zrcalca. Ob njih se je meglica takoj zgostila in kmalu so se začele drobne kapljice združevati, medtem ko se je drugod po zrcalu meglica šele gostila. Ta pojav da slutiti, da se je ob higroskopskih jedrih kondenzirala najprej vlaga s tanke plasti zraka nad zrcalcem, dokler se ni izločila večina vlage. Plast je nekaj časa učinkovala kot izolator pred dotokom drugega vlažnega zraka in preprečevala še nadaljnjo zarositve. Ko se je zrcalce še bolj ohladilo, je prišlo do izmenjave plasti, s tem pa tudi do večje orositve. Na diagramih je zelo lepo vidna stagnacija zarositve zrcala ob pojavu pik /območje A - A'/, posebno na časovnem diagramu slike 6.

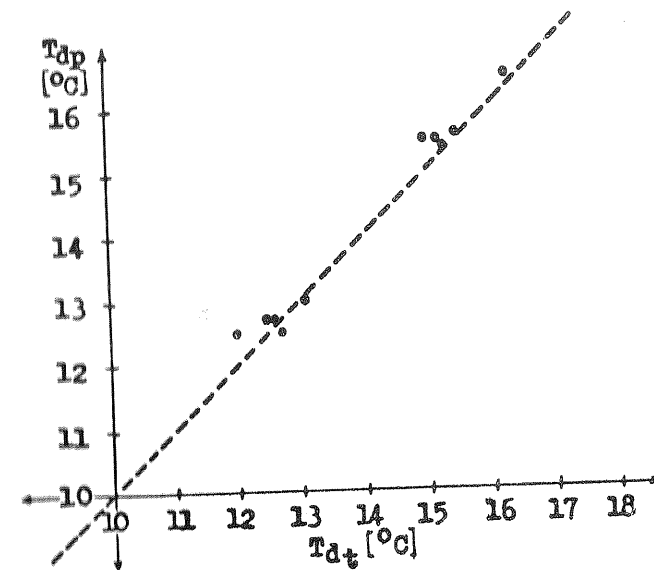
Čo primerjamo temperaturo rosišča, izmerjeno prvič s psihrometrom, drugič pa s termo členi in foto celico, vidimo, da odstopata od črte popolnega ujemanja /črtkasta premica na sliki 7/. Na njej je opaziti tudi nekaj točk, ki padejo na idealizirano premico. Te so posledica odklona na milivoltmetru pri pojavu kondenzacijskih pik in njihovem povečanju.



Slika 7 Razlika med meritvami rosišča merjenim s psihrometrom (T_{dp}) in foto-celico (T_{dt})

Fig. 7 Difference between the dew point values obtained by psychrometer (T_{dp}) and by photocell (T_{dt}).

Da bi potrdili to domnevo, usmerimo proti zrcalu ventilator, ki naj bi mešal zrak nad njim. Več poskusov je potrdilo pravilnost domneve, saj je maksimalno odstopanje znašalo sedaj največ za $0,5^{\circ}$ C. Tipično meritev z ventilatorjem kaže slika 4. Intenzitete zarositve je seveda odvisna predvsem od hitrosti ohlajevanja, to je od pretoka vode skozi cev. Izkazalo se je, da pretok vode ne vpliva bistveno na intenziteto orosenja, čeprav tudi ni čisto brez vpliva.



Slika 8 Razlika med meritvami rosišča merjenim s psihrometrom (T_{dp}) in foto-celico (T_{dt}) ob aspiriranju zrcalca.

Fig. 8 Difference between the dew point values obtained by psychrometer (T_{dp}) and by photocell (T_{dt}) while aspirating the mirror.

Primerjava med temperaturama rosišča, merjenima z Assmanovim psihrometrom in zrcalcem s foto celico ob aspiriranju, kaže na večje približevanje k idealizirani premici; odstopanja so, kot vidimo na sliki 8 manjša. Večja natančnost instrumentov in naprav pri poskusih bi dala verjetno tudi še večje ujemanje. Dejansko kaže slika 8 meritve le pri dveh vlažnostih, ker ni bilo mogoče poljubno spreminjati vlažnosti prostora; primerne komore, kjer bi se dali delati poskusi, pa tudi ni bilo. Zadovoljiti se je bilo treba le s spreminjanjem temperature sobe, s tem pa dobimo tudi različne relativne vlage prostora, torej tudi rosišče. Odstopanja zaradi tega sicer niso velika, vendar so.

Meritve z vakuumsko foto celico, nameščeno pravokotno nad zrcalcem, brez aspiriranja niso dale posebno zadovoljivih rezultatov. Poskusi so pokazali, da

lahko taka postavitev foto celice zmanjša natančnost registriranja. Tokovi, ki nastanejo zaradi sipanja svetlobe na zrcalu ob pojavu pik, so tako majhni, da nanje vpliva že nihanje instrumenta. Morda bi pri aspiriranju zrcalca bili boljši rezultati, s tega zaradi preurejanja laboratorija ni bilo mogoče preiskati.

Fotodioda se obnaša podobno kot foto celica, le da ima to prednost, da je ni treba posebej napajati z delovno napetostjo, saj deluje kot izvor napetosti. Pri fotodiodi merimo napetost v direktnem stiku brez delovnega upora, kar je prednost pred foto celico. Poskusi so bili opravljeni samo pri ohlajevanju zrcalca brez aspiriranja pri pravokotni namestitvi fotodiode v smeri žarka in pri pravokotni legi nad zrcalcem. Kažejo, da fotodioda v prvem primeru verjetno ni ločila odboja žarkov na higroskopskih pikah, ker ni registrirala njihovega pojava. To je deloma razumljivo, saj je površina fotosenzibilne snovi fotodiode več kot desetkrat manjša od zrcalca in prav nič težko ni zadeti mesta, kjer ni bilo higroskopskih pik. Ta slabost je bila še posebej opazna pri pravokotni legi fotodiode nad zrcalom. Napetost fotodiode je bila tako majhna, da jo je nihanje instrumenta popolnoma izmaličilo.

V tej legi, t.j. pravokotno nad zrcalcem, se je posebno odlikovala plinska foto celica, pri kateri je sipanje svetlobe na pikah dalo dovolj močan signal, da sproži vžig foto celice. Ujemanje s psihrometrom je bilo presenetljivo dobro, pa čeprav pri poskusih nisem uporabljal ventilatorja. Slabše se je obnašala pri legi, ko je ločila odbiti žarek /sl. 2/. Higroskopske pike niso dosti vplivale na delovanje foto celice in na napetost delovnega upora. Prav tukaj bi bil potreben ventilator, ki bi verjetno pokazal prednost plinske foto celice pred vakuumsko, saj da plinska foto celica skoraj desetkrat jačji signal kot vakuumsko.

Vse meritve, posebno še meritve z vakuumsko foto celico, so pokazale, da je foto celica enako ali pa še bolj občutljiva od očesa. Oko je resda opazilo

že najmanjšo senco in piko na zrcalcu, toda le pri posebnih pogojih in pod primernim kotom. Za zrcalcem je treba imeti teman zaslon, tako da se vsaka sprememba na zrcalni površini s temnim ozadjem zablešči v svetlobnem žarku, ki pada nanjo iz svetila. Pri pravokotnem pogledu na zrcalce teh pik ni bilo videti; opazna je bila šele meglica. Vakuumska foto celica je zabeležila tudi higroskopske pike in meglice. Pri poskusih sem si na tabelah zaznamoval temperaturo, pri kateri naj bi bilo rosišče, ko sem opazoval zrcalce z očmi. Poznejše načrtovanje diagramov me je močno presenetilo, saj so meritve s foto celico nemalokrat pokazale boljše rezultate, kot sem jih predvideval. Pri poskusih z aspiratorjem bi se gotovo izkazalo, da so tudi ostali fotoelementi, kot so plinska foto celica, fotodioda in fototranzistor, občutljivejši od očesa, saj jih ne moti pri določevanju rosišča lega - niso odvisni od kota, pod katerim lovijo odbite žarke. Seveda pa je za vsak fotoelement potrebna posebna konstrukcija zrcalca in dodatki, ker se po velikosti in funkcionalnosti med seboj precej razlikujejo. Vsak izmed naštetih elementov ima svojevrstne prednosti in odlike. Namen, kje in kako naj bo uporabljena naprava, določa izbiro elementa. Če ni na voljo dovolj električne energije, je boljši fototranzistor ali fotodioda, če pa je potreben močan signal, ki naj vključi večje releje, je boljša plinska fotocelica. Možnost konstrukcij ter njihove uporabe je zelo velika; ona izmed teh bi bila tudi merjenje in določevanje ter celo napovedovanje rose in posledice na letaliških stezah ali na cestah. Za hladilni sistem bi izrabili Peltierov efekt, ki omogoča, da z dovajanjem električnega toka grejemo ali hladimo stično mesto, kar je odvisno od smeri toka. Namesto kovin kot pri termo členih vzamemo polvodnike, ki toploto slabše prevajajo in s tem omogočijo na krajšo razdaljo ustvariti večjo temperaturno razliko. Zrcalce konstruiramo kar na eni izmed stičnih točk, kamor priopajkamo še termo upor, da izmerimo temperaturo, pri kateri nastopi rosišče. Za indikator rose na zrcalni površini si izberemo fototranzistor ali fotodio-

do, za izvor svetlobe pa majhno baterijsko žarnico, saj ni potreben močan snop svetlobe. Vse skupaj mora biti zaprto v temnem ohišju, da zunanja svetloba ne moti meritve, možen pa mora biti dotok svežega zraka od tal, kjer merimo roso ali poledico. Kadar se ujemata temperatura letališke steze, ki jo tudi merimo s termo uporom, in rosišče, pride do pojava rose, če pa so te temperature negativne, pomeni, da je možna poledica. Merjenje poteka avtomatično, podatke in rezultate pa lahko prenašamo na daljavo, kar daje zopet prednost tej metodi pred klasično metodo s psihrometri. Iz tendenc in drugih faktorjev lahko pojav rose ali poledice zelo dobro napovedujemo, to pa so za letalski in cestni promet zelo važni podatki, saj omogočajo večjo varnost.

LITERATURA

- Gregory H. S.: Hygrometry, London 1959
- Parrott J., Penn A.: Applications of the Peltier Effect, AEI Engineering 4/62
- Gardner J.: Electric Power from Nuclear Heat Direct, The English Electric Journal 12/61