

Jan Jeník a Zdeněk Kosina:

Thermistorový teploměr pro potřeby fytoekologie

Mezi nejčastější měření, prováděná při ekologických výzkumech vegetace, patří měření teploty ovzduší a teploty půdy; tyto veličiny charakterisují zajisté důležité prvky tepelného režimu ekotopu a odrážejí zároveň i neoddělitelný podíl, který na tomto režimu mají zúčastněné rostliny. Obvyklou cestou, vedoucí k prohloubení výzkumu tepelného režimu vegetace, jsou měření mikroklimatická, při nichž se — s ohledem na strukturu fytogeocenosis — rozhojňuje síť měřišť ve směru vertikálním i horizontálním. Při použití obligátních dilatačních teploměrů registrují však i tato mikroklimatická měření teplotu vzdušného a půdního prostoru v poměrně značné vzdálenosti od rostlin a neinformují nás vůbec o teplotě kritických orgánů rostlin samotných (listů, stonku, kořenů), což je právě z hlediska ekologie nejdůležitější (cf. WALTER 1951, p. 12).

Přechod od měření mikroklimatických k měřením teploty v blízkosti rostlin (tj. měřením ekoklimatickým sensu SLAVÍK, SLAVÍKOVÁ et JENÍK 1957, p. 10) a především k měřením teploty vlastních rostlin si vyžaduje zavést do fytoekologie nové měřicí pomůcky, protože kapalinové teploměry mají velkou vodní hodnotu čidla*) a velkou chybu z přímého záření. Strmý teplotní gradient v mezní vrstvě vzduchu kolem osluněných rostlin i osobitá tepelná bilance rostlinných orgánů (různá absorpce záření, různé poměry vedení tepla, přenos tepla konvekci, spotřeba tepla při transpiraci a fotosynthesě, uvolňování tepla při dýchání atp.) si vyžaduje použít jemného měřicího čidla, které může rozlišit teplotu v malých vrstvách kolem zkoumaných rostlin a zachytit — při vlastní minimální tepelné kapacitě — povrchovou teplotu rostlinných orgánů nebo jiných předmětů, které jsou neoddělitelnou částí ekotopu.

Skutečná hodnota teploty tělesa před jejím měřením teploměrem je totiž dána výrazem

$$t = \tau + \frac{V_1}{V_2} (\tau - t_1) \quad (1)$$

[t — skutečná (tj. hledaná) teplota tělesa před měřením; τ — naměřená teplota; V_1 — vodní hodnota čidla; V_2 — vodní hodnota měřeného objektu; t_1 — teplota čidla před měřením].

Z diskuse uvedeného vztahu vyplývá, že teplotu malých objektů (incl. malých vrstev ovzduší) nelze přesně měřit normálními dilatačními teploměry. Pro tento účel byly v posledních desetiletích s úspěchem vyzkoušeny elek-

*) Čidlem rozumíme tu část teploměru, která se při aplikaci přizpůsobuje teplotě měřeného objektu (cf. teploměrné tělísko sensu STRUŽKA 1956, p. 126 nebo vysílač sensu LACINA 1955, p. 18). Vodní hodnotou rozumíme součin hmoty a jejího specifického tepla $V = m \cdot c$; její rozměr je cal/grad. Ve stejném fyzikálním významu je rovněž užíváno veličiny „tepelná kapacita“, která je někdy vyjadřována ve $\frac{W \cdot s}{grad}$.

trické teploměry thermočláňkové a odporové (incl. thermistorové), cf. MICHAELIS (1932 et 1934), FRITSCHÉ (1933), MÄDE (1939), DÖRR (1941), WARREN WILSON (1957), CASPERSON (1957) aj., které používají čidel o vodní hodnotě až o 4 řády nižší.

Nedostatečně vyřešeným problémem všech dosavadních aplikací elektrických teploměrů v ekologii je problém přenosnosti a jednoduché obsluhy při zachované přesnosti měřidla. Většina těchto teploměrů má ve vyhodnocovacím zařízení zapojený citlivý zreátkový galvanometr, který se pro terénní práci ekologa nehodí; nelze se proto divit, že většina autorů se při práci s elektrickými teploměry omezuje na pokusné rostliny v laboratoři nebo v blízkém okolí výzkumných stanic. Pravděpodobně ze stejných důvodů obsahuje naše velmi obsáhlá metodická příručka „Praktikum fytoecologie, ekologie . . .“ (KLÍKA, NOVÁK et GREGOR 1954) o elektrických teplotních měřeních jen krátký obecný popis (op. c., p. 175—177) a ani v podobných zahraničních publikacích nenajdeme konkrétní údaje o konstrukci, která by vyhovovala expeditivní ekologické práci. V knize Stružkové (STRUŽKA 1956, p. 126—143), je sice několik schemat elektrických teploměrů, určených ovšem pro účely meteorologické.

Uvedený nedostatek vhodného přístroje pro ekologická měření teploty rostlin a ekoklimatu byl nám podnětem ke konstrukci přístroje, který v dalším textu blíže popisujeme.

Volba čidla

V přístroji je teplota měřena prostřednictvím změn odporu polovodičového elementu — thermistoru. Tento teplotně závislý odpor se vyznačuje neobvykle vysokým teplotním koeficientem odporu, který je asi o řád vyšší než u kovů. To umožnilo konstruovat elektrický teploměr s daleko méně nákladným vyhodnocovacím zařízením, než u běžných odporových teploměrů, užívajících jako závislého odporu platinového meandru (cf. MÄDE 1939), nebo u thermočláňkových teploměrů, kde navíc přistupuje nutnost udržovat konstantní teplotu druhého spoje thermočláňku.

Vodní hodnota čidla, tvořeného v našem případě thermistorem, je v současné době minimem, kterého lze u kontaktní metody dosáhnout.

Závislost odporu thermistoru je sice značně nelineární*), dá se však vcelku dobře aproximovat prvními dvěma členy jejího Teylorova rozvoje

$$R_T = g(t) \doteq R_0(1 + \alpha t + \beta t^2) \quad (2)$$

(R_T — odpor thermistoru při teplotě $t^\circ\text{C}$; R_0 — odpor thermistoru při teplotě 0°C ; α , β — koeficienty).

Volba zapojení

Požadavkům, kladeným na expeditivní zařízení, kterým je možno s dostatečnou přesností a přitom v libovolném rozsahu (i dodatečně zvoleném) měřit odpor thermistoru a jeho prostřednictvím teplotu, nejlépe vyhovuje zapojení thermistoru jako větve čtvercového (křížového) pasivního čtyřpólu, známého pod názvem Wheatstoneův můstek (fig. 1).

*) Theoreticky je dána vztahem $R = R_0 \cdot e^{\frac{B}{T} - \frac{B}{T_0}}$, kde $B = \frac{Ae}{2K}$, Ae aktivační energie a K Boltzmanova konstanta (POSILT 1956).

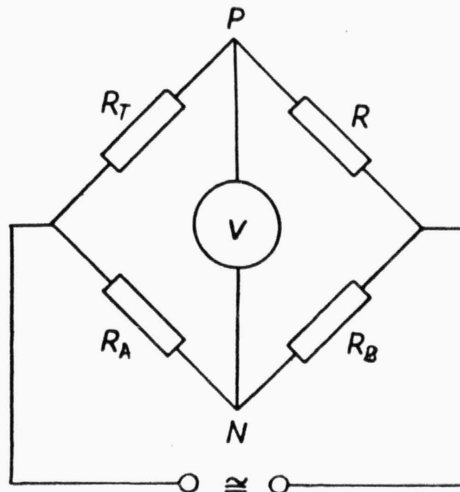


Fig. 1. Schéma Wheatstoneova můstku. — Schema der Wheatstone'schen Brücke.

Vyhovují-li velikostí odporů R_A , R_B , R , a R_T rovnici

$$R_A \cdot R_T = R_B \cdot R \quad (3)$$

mají body N a P vůči sobě nulový potenciál a indikátorem V neprotéká proud. Změní-li se odpor některé větve můstku, např. R_T o ΔR_T , přechází můstek do nerovnovážného stavu a indikátorem V protéká proud J , který je funkcí této změny:

$$J = f(\Delta R_T) \quad (4)$$

Analytický tvar funkce f je tento:

$$J = \frac{U(R_A \cdot R - R_B \cdot R_T^{(1)})}{R_m(R_A + R_B)(R + R_T^{(1)}) + R_T^{(1)} \cdot R(R_A + R_B) + R_A \cdot R_B(R + R_T^{(1)})} \quad (5)$$

$$R_T^{(1)} = R_T + \Delta R \quad (5a)$$

(R_m vnitřní odpor měřidla; U pracovní napětí můstku).

V praxi existují dvě metody, jak zjistit velikost ΔR_T :

1. Výpočtem z rovnice (5); tento způsob charakterisuje tzv. můstky nevyvážené (diferenciální).

2. Změnou některé jiné větve, kterou je můstek uveden znovu do rovnováhy a z rovnice (2) vypočítána nová hodnota R_T .

Popisovaný přístroj je konstruován s ohledem na použití prvního způsobu, a to z toho důvodu, že toto řešení je účelným kompromisem, spojujícím do jisté míry přesnost můstkové metody s výhodami přístroje přímo ukazujícího, což dovoluje plynulé sledování změny, případně extrémů v časovém intervalu; a to jsou právě žádané okolnosti při aplikaci teploměru ve fytoekologii.

Proud jako funkci teploty obdržíme substitucí z (2) do (4) s přihlédnutím k (5a).

$$J = f[g(t)] \quad (6)$$

Obě zúčastněné funkce f i g představují samy o sobě závislosti značně nelineární. Hlubší diskusí složené funkce (6) se však ukazuje, že obě nelinearity se

při vhodné volbě součástí natolik „vykompensují“ (cf. POSLT 1956, p. 31), že vztah (5) se dá velmi dobře aproximovat lineárním vztahem

$$J = Uk\Delta t \quad (7)$$

(Δt — odchylka měřené teploty od základní teploty; k — je funkcí základní teploty a sign (Δt)).

Derivujeme-li funkci (7) podle Δt , obdržíme výraz pro citlivost η

$$\eta = \frac{\partial J}{\partial \Delta t} = kU \quad (7a)$$

Jelikož číselná hodnota konstanty k je pro různé rozsahy různá, musíme — chceme-li použít pro všechny rozsahy stejné stupnice měřidla V — nastavit různá pracovní napětí můstku, a to tak, aby η zůstávalo konstantní.

Popis použitého zapojení

Schéma zapojení teploměru je na obrázku (fig. 2).

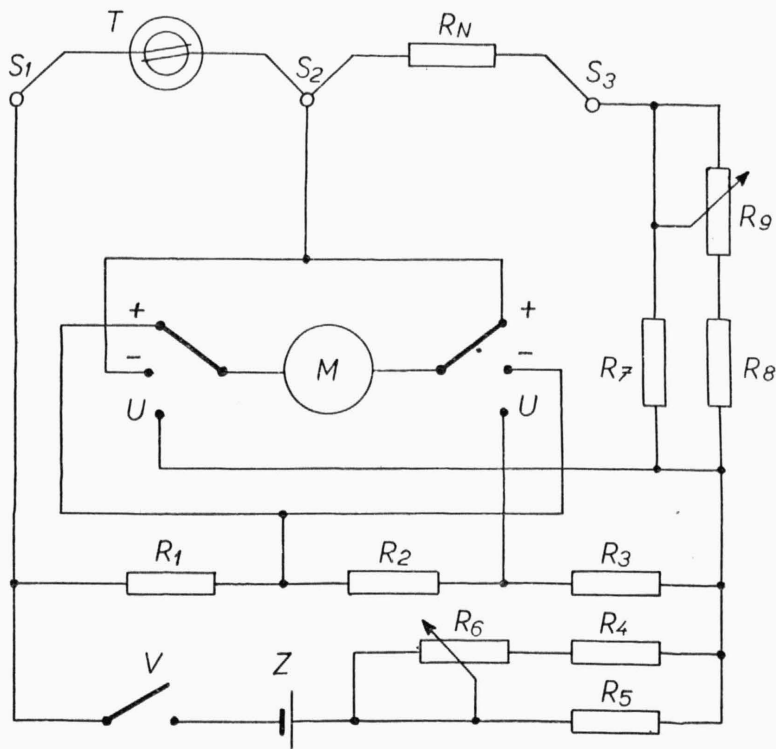


Fig. 2. Schéma zapojení přístroje; T — thermistor, M — mikroampérmetr, P — přepínač, V — vypínač, Z — baterie, $S_1 S_2 S_3$ — svorky, $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 43 \Omega$, $R_3 = 7 \Omega$, $R_4 = 20 \Omega$, $R_5 = 120 \Omega$, $R_6 = 100 \Omega$, $R_7 = 110 \Omega$, $R_8 = 260 \Omega$, R_n — výměnný odpor.

Schema der Apparatschaltung: T — Thermistor, M — Mikroamperemeter, P — Umschalter, V — Schalter, Z — Batterie, $S_1 S_2 S_3$ — Klemmen, $R_1 \dots R_8$ — Widerstand, R_n — Umtauschwiderstand.

Ze čtyř větví Wheatstoneova můstku jsou v přístroji pevně zapojeny jen dvě

$$R_A = R_1 \quad (8a)$$

$$R_B = R_2 + R_3 \quad (8b)$$

Tyto dvě větve jsou zároveň jednou částí děliče napětí zdroje Z . Druhou část děliče tvoří odpory R_4 , R_5 a proměnný odpor R_6 , kterým je možno v malých mezích měnit poměr odporů tohoto děliče a tím velikost pracovního napětí můstku U .

$$U = \frac{R_A + R_B}{R_A + R_B + \frac{R_5(R_4 + R_6)}{R_4 + R_5 + R_6}} U_z \quad (9)$$

Současně je tak možno kompenzovat případnou změnu napětí zdroje.

Ze zbývajících dvou větví obsahuje přístroj jen část větve R , tvořenou odpory R_7 , R_8 a R_9 . Odpor této soustavy je $77 \div 83 \Omega$ a lze jím vykompenzovat případnou změnu hodnot součástí můstku vlivem stárnutí apod. Odpor R_n je odnímatelný a tvoří příslušenství sondy; díky tomuto uspořádání je možno k vyhodnocovacímu zařízení připojovat sondy s rozličnými thermistory a volit i různou základní teplotu.

Velikost odporu R_n se řídí velikostí odporu thermistoru R_{TZ} při základní teplotě zvoleného rozsahu.

$$R_n = \frac{R_B}{R_A} \cdot R_{TZ} - \frac{R_7(R_8 + R_9)}{R_7 + R_8 + R_9} \quad (10)$$

Aby bylo možno sledovat odchylky od teploty základní v obou směrech, je měřidlo M doplněno přepínačem polarity P ; výsledný efekt je tentýž, jako by bylo použito měřidla s nulou uprostřed a dvojnásobnou délkou stupnice. V třetí poloze přepínače P je měřidlo připojeno i a odpor R_3 , na němž vzniká úbytek úměrný pracovnímu napětí můstku, které nastavujeme při přechodu na jiný rozsah odporem R_9 [viz diskuse rovnice (7a)].

Pro potlačení chyby, vzniklé ohřevem thermistoru protékajícím proudem, je použito velmi malého pracovního napětí, takže thermistor je ohříván výkonem jen asi $4 \cdot 10^{-4} \text{ W}$. Výpočtem bylo zjištěno a později experimentálně ověřeno, že takto vzniklou chybu lze při měření zanedbat.

Použité součástky

Jako měřidla bylo použito mikroampérmetru $50 \mu\text{A}$ o vnitřním odporu $2 \text{ k}\Omega$ (třída přesnosti 1,5 %). Stupnice je dělena na 25 dílků a je 6,5 cm dlouhá.

Zdroj proudu tvoří suchý článek 1,5 V, který je při měření zatěžován 3 % jmenovitého proudu. Proměnné odpory jsou drátové (vinuté konstantanem) v miniaturním provedení. Fixní odpory jsou zhotoveny z konstantanu 0,1 mm a impregnovány celuloidem.

Typ thermistoru byl volen s ohledem na měření povrchové teploty orgánů rostlin (příp. půdy a skalních výchozů) a je tvořen perličkou polovodiče, upevněnou na měděné folii průměru 4 mm a tloušťky 0,05 mm; odpor thermistoru je při teplotě 20°C cca 600Ω .

Mechanické provedení přístroje a sondy

Při konstrukci bylo dbáno těchto základních požadavků:

1. stabilita všech součástí i za ztížených podmínek v terénu,

2. co největší mechanická pevnost a odolnost proti otřesu,
3. minimální možná váha a rozměry,
4. pohotovost přístroje k měření a
5. jednoduchost obsluhy.

Celkový vzhled teploměru je na obrázku (fig. 3).

Rozměry skřínky, ve které je vyhodnocovací zařízení včetně zdroje umístěno, jsou $150 \times 110 \times 75$ mm; váha přístroje 1245 g; váha samotné sondy 17 g.

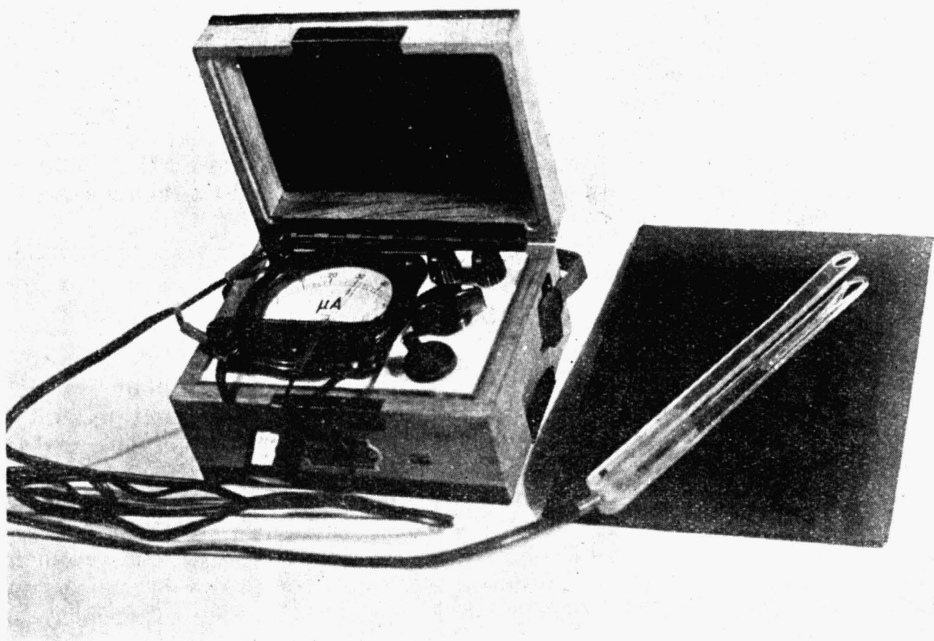


Fig. 3. Celkový pohled na přístroj se sondou.

Gesamtansicht des Apparates mit Sonde.

Jako konstrukčního materiálu bylo použito plexiskla a vrstevného novoduru.

Provedení sondy je na dalším obrázku (fig. 4). K její výrobě bylo použito výhradně plexiskla, jehož mechanické i jiné fyzikální vlastnosti (průhlednost, malá elektrická i tepelná vodivost apod.) nejlépe vyhovují požadavkům kladeným na ekologický teploměr.

Sonda je upravena do tvaru jednoduchých kleští, jejichž čelisti mají na konci kruhovitý rámeček, mezi který se při aplikaci upíná zkoumaný orgán rostliny (list, stonek, kořen apod.). Přibližně ve středu horního rámečku trčí thermistor, který při stisku kleští dosedne konstantním tlakem na sevřený orgán; nezávisí tedy tlak thermistoru na síle, kterou jsou stisknuty čelisti sondy. Při stisknutí kleští „naprázdno“ prochází ještě odpérovaný thermistor pod úroveň spodního rámečku, takže tutéž sondu lze aplikovat i pro měření povrchu velkých orgánů rostliny (periderm a borka kmenů) nebo povrchu půdy (příp. skalních výchozů).

Spojení sondy s přístrojem je provedeno dvojpramennou šňůrou se silonovou izolací.

Cejchování

Při cejchování přístroje stačí, zjistíme-li kromě známé nulové výchylky měřidla při základní teplotě, ještě výchylku při jiné teplotě t_1 . Zbytek stupnice je pak možno rozdělit lineárně [viz (7)]. V případě, že by platila rovnice (7) přesně, nezáleželo by vcelku na volbě t_1 . Protože však (7) je vůči (6) jen přibližnou aproximací, je vzhledem k přesnosti měření výhodné, volíme-li teplotu t_1 tak, aby odpovídající výchylka měřidla byla ve $\frac{1}{5}$ stupnice. Při této volbě je chyba, daná rozdílem funkcí (6) a (7), v celém rozsahu minimální a zanedbatelná. Důkaz tohoto tvrzení je značně nepřehledný a byl proveden hledáním extrémů rozdílu funkcí (6) a (7) po substituci ze vztahů (2), (5), (5a), (8a), (8b), (9) a (10).

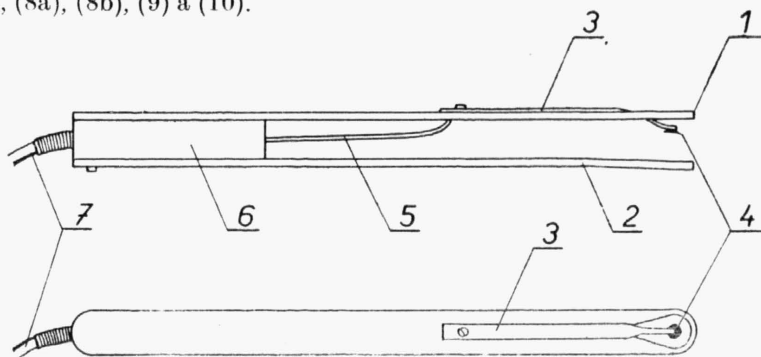


Fig. 4. Náčrso sondy; 1 — horní čelist, 2 — spodní čelist, 3 — pružina termistoru se zalitými přívody, 4 — termistor, 5 — přívody, 6 — jádro rukojeti s otvorem pro přívody, 7 — přívodní šňůra.

Zeichnung der Sonde; 1 — obere Backe, 2 — untere Backe, 3 — die Thermistorfeder mit eingegossenen Zuleitungen, 4 — Thermistor, 5 — Zuleitungen, 6 — Kern des Griffes mit Öffnung für Zuleitungen, 7 — Zuleitungsslitze.

Cejchování teploměru bylo provedeno v kapalinové lázni, udržované na zvolených teplotách v širokohrdlé Dewarově nádobě za neustálého míchání elektrickou míchačkou; po vyrovnání teplot byla nastavena a zapsána citlivost přístroje pro daný rozsah [viz diskuse rovnice (7)]. S ohledem na aplikaci v kontaktním měření bylo provedeno srovnávací cejchování při laboratorní teplotě 21°C tak, že do kapalinové lázně byl částečně ponořen hliníkový plech, který tvořil na vyčnívající straně objímku baňky rtuťového teploměru, jíž se dotýkal rovněž termistor; díky speciální konstrukci čidla (termistoru) byl rozdíl hodnot naměřených při obou cejchováních v rámci uváděné chyby přístroje.

Za základní teploty byly zvoleny teploty -5°C , 15°C , 35°C a 55°C . Na měřidle lze odečítat odchylky $12,5^{\circ}\text{C}$ na obě strany od těchto základních teplot. V oboru $2,5 \div 7,5^{\circ}\text{C}$, $22,5 \div 27,5^{\circ}\text{C}$ a $42,5 \div 47,5^{\circ}\text{C}$ se dva sousední rozsahy překrývají; tento poměrně dlouhý interval překrývání považujeme pro fytoekologická měření za zvláště účelný. Celkový měřicí rozsah teploměru je tedy $-17,5^{\circ}\text{C} \div 67,5^{\circ}\text{C}$; je však možno jej podle potřeby na obě strany rozšířit zapojením jiného R_n [viz (10)].

Postup při měření

Obsluhu teploměru obstarává jediný pozorovatel.

Při použití popsaného typu sondy se měřená část rostliny (např. listová čepele) sevře pravou rukou mezi čelisti plexisklových kleští, takže thermistorové čidlo dosedne stejnoměrným tlakem na povrch; v levé ruce přidržuje pozorovatel měřidlo, volně zavěšené na krku; ručička mikroampérmetru se ustaluje — při běžném teplotním rozdílu mezi vzduchem a povrchem — již během několika vteřin. Tato jednoduchá obsluha a rychlé měření dovoluje provést v krátkém časovém intervalu celou serii teplotních měření, což je v ekologii rostlin žádaná okolnost. Zvolené zapojení a použitý typ mikroampérmetru dovolují odečítat během jedné serie měření rozdíly teploty i ve ztížených terénních podmínkách s přesností $0,1^{\circ}\text{C}$.*) Pro měření méně přístupných objektů v různých částech koruny stromů) je možno prodloužit spojovací kabel mezi sondou a měřidlem na libovolnou délku, protože změnu odporu, vzniklou prodlením spojovacího kabelu lze kompenzovat odporem R_0 (viz fig. 2); u měřidla pak zůstane jeden pozorovatel a druhý obstarává sondu.

Délka čelistí sondy dovoluje měřit povrch listů až ve vzdálenosti 10 cm od okraje čepele, což — s ohledem na autochtonní rostliny — plně dostačuje. Při aplikaci teploměru na středovou část rozměrnějších listů (např. *Petasites* sp. div., *Nymphaea* sp. div., příp. *Musa* sp. div. etc.) pak není již potřebná opora rámečku spodní čelisti a vystačíme s kontaktem, vytvořeným přiložením sevřené čelisti na zkoumaný povrch.

Při sevření kleští je palec a ukazováček ruky vzdálen asi 10 cm od čidla, čímž je snížen vliv tělesné teploty uživatele; minimální tepelná vodivost plexiskla zabraňuje taktéž převedení tepla z držátka sondy, sevřeného v dlaní, do rámečku na konci čelistí. Při měření je výhodnější zachovávat větší odstup těla od měřeného objektu (natažená paže se sondou), aby tak nedošlo ke změně ve zvrstvení vzduchu kolem měřeného objektu.

Důležitým ekologickým ukazatelem, potřebným pro hodnocení naměřených povrchových teplot rostlin, jsou ekoklimatická měření teploty vzduchu. Kontrolní měření teploty vzduchu s obvyklým mikroklimatickým uspořádáním staničky je možno provádět na zkoumaném stanovišti běžnými staničními teploměry; sevřením rtuťové baňky do čelistí thermistorové sondy, v prostředí chráněném proti vlivům přímého záření, se pak můžeme přesvědčit o správném údaji thermistorového teploměru. Pak můžeme pomocí thermistoru měřit teplotu vzduchu v nejbližším okolí orgánu zkoumaných rostlin. Při přímém oslunění a při klidném ovzduší je teplotní gradient nad povrchem velmi strmý a proto je vhodné volit polohu jednoho z těchto ekoklimatických měření v nejbližší vzdálenosti od zkoumaného povrchu. Za tím účelem je poloha thermistorového elementu v sondě upravena tak, že v nesevřených čelistích při lehkém položení spodní čelisti na povrch je čidlo právě 1 cm nad zkoumaným objektem; tuto vzdálenost považujeme za vhodnější nežli vzdálenost 5 cm, kterou volil např. CASPERSON (1957) u thermočláňkového teploměru.

*) Udávaná přesnost se ovšem nevztahuje na měření absolutní velikosti teploty, při němž je předpokládána chyba několik desetin $^{\circ}\text{C}$; přesnost v tomto smyslu je nepříznivě ovlivněna použitím robustnějšího a menšího měřidla, stárnutím thermistoru a v neposlední řadě chybami, vzniklými při cejchování, které může být pro účel kontaktního ekologického měření vždy jen relativní; první z uvedených nedosttků by bylo možno omezit použitím většího měřidla Metra typ DM se zrcadlovou stupnicí, jak navrhl autorům recensent doc. dr. E. KLIER.

Pokusně jsme stanovili, že při ozáření v intensitě do $0,2 \div 0,3 \text{ cal cm}^{-2} \text{ min}^{-1}$ se neuplatňuje podstatně chyba ze záření; při silnějším ozáření nutno počítat s korekcí, kterou pro thermistory navrhl např. BOWDEN (1958). Podstatně může snížit tuto chybu bílé natření thermistoru, avšak za jednu ze schůdných cest považujeme nadále jednoduché zastínění čidla lesklou hliníkovou fólií nalepenou na plexiskle. Je samozřejmé, že ačkoliv popisovaný přístroj má mnohé výhody ve srovnání s jinými používanými teploměry, neřeší četné problémy, spojené s vlastním kontaktním měřením teploty povrchů a vzdušných mikroprostorů.

Z á v ě r

V článku je popsána konstrukce teploměru, určeného pro fytoekologická měření (teplota povrchu rostlin, půdy, skal a mezních vrstev ovzduší, příp. půdy v okolí rostliny).

V přístroji je teplota měřena prostřednictvím změn odporu polovodičového (thermistorového) čidla. Vysoký teplotní koeficient odporu thermistoru dovolil konstruovat jednodušší vyhodnocovací zařízení oproti elektrickým teploměrům, dosud používaným v ekologii. Toto zařízení je koncipováno s ohledem na dostatečnou přesnost, pohotovost k měření a snadnou obsluhu v terénních podmínkách jako nevyvážený Wheatstoneův můstek. Vhodnou volbou použitých součástí bylo dosaženo toho, že závislost výchylky měřidla na teplotě je lineární, takže není potřeba používat převodní tabulky.

Rozdíly teplot thermistoru lze odečítat na stupnici zapojeného mikroampérmetru s přesností $\pm 0,1^\circ \text{C}$.

Sonda s čidlem je upravena do formy kleští z plexiskla a hodí se jak pro měření nezpevněných orgánů rostlin (např. listů) tak i pro měření pevných povrchů velkých objektů; přitlačení thermistoru na zkoumaný povrch je při aplikaci nezávislé na stisknutí kleští.

Měření může provádět i v terénních podmínkách jediný pracovník.

Adresa autorů: J. JENÍK—Z. KOSINA, Praha 2, Benátská 2.

Použitá literatura

- BECKER, J. A., GREEN, C. B. et PEARSON, G. L. (1947): Properties and uses of thermistors—Thermally sensitive resistors. — *Bell Syst. Techn. Journal*, 26, p. 170—212.
- BOWDEN, B. N. (1958): The radiation error of air temperature measurement by Stantel Type F thermistors and simple methods to reduce it. — *Journal of Ecology*, 46, p. 143—148.
- CASPERSON, G. (1957): Untersuchungen über das thermische Verhalten der Pflanzen unter dem Einfluss von Wind und Windschutz. — *Zeitschrift f. Botanik*, 45, p. 433—473.
- DMITRIJEV, E. I. (1945): Izmerenije malých pemeščenij induktivnym metodom. — Moskva—Leningrad, ed. Izd. AN SSSR. (Sec. ANONYMUS, 1951, Měření Wheatstoneovým můstkem. — *Slaboproudý obzor*, 12 (9), T 31—34.
- DÖRR, M. (1941): Temperaturmessungen an Pflanzen des Frauensteins bei Mödling. — *Beih. z. Bot. Zentralbl.*, 60, A, p. 679—728.
- EKELÖF, S. et KIHLEBERG, G. (1954): Theory of the thermistor as an electric circuit element. — Göteborg.
- FRANK, H. (1955): Polovodiče v teorii a praxi. — Praha, ed. Stát. nakl. tech. literatury.
- FRITSCH, G. (1933): Untersuchungen über die Gewebetemperaturen von Strandpflanzen unter dem Einflusse der Insolation. — *Beih. z. Bot. Zentralbl.*, 50, (1), p. 251—322.
- KLIKA, J., NOVÁK, V. et GREGOR, A. [red.] (1954): Praktikum fytoecologie, ekologie, klimatologie a půdoznalství. — Praha, ed. Naklad. ČSAV.
- LACINA, B. (1955): Provozní měření teplot odporovými teploměry. — Ústí nad Labem, ed. Chemická a hutní společnost.
- MÄDE, A. (1939): Der Einfachnwidderstandsthermometer als Messgerät zu Bestimmung der Oberflächentemperatur von Blättern. — *Bioklimat. Beibl.*, 6, p. 11—13.

- MICHAELIS, P. (1932): Ökologische Studien an der Baumgrenze. I. Das Klima und die Temperatur der Pflanzenorgane. — Ber. d. Deutsch. Bot. Ges., 50, p. 31—42.
- MICHAELIS, P. (1934): Ökologische Studien an der Baumgrenze. III. Über die winterlichen Temperaturen der pflanzlichen Organe, insbesondere der Fichte. — Beih. z. Bot. Zentralbl., 52, B, p. 333—377.
- POSIL, Z. (1956): Vlastnosti a použití termistorů. — Technické informace 1956, Praha.
- RIEGER, F. (1949): Elektrické čtyřpóly symetrické. — Praha, ed. Spolek posl. a absol. stroj. a elektrotech. inž. v Praze.
- SLAVÍK, B., SLAVÍKOVÁ, J. et JENÍK, J. (1957): Ekologie kotlíkové obnovy smíšeného lesa. — Rozpravy ČSAV, řada mat.-přír. věd, 67 (2), p. 1—155.
- STRUŽKA, V. (1956): Meteorologické přístroje a měření v přírodě. — Praha, ed. Stát. pedagog. nakl.
- WALTER, H. (1951): Grundlagen der Pflanzenverbreitung. I. Teil, Standortslehre. — Stuttgart/Ludwigsburg, ed. E. Ulmer.
- WARREN Wilson J. (1957): Observations on the temperatures of arctic plants and their environment. — Journal of Ecology, 45, p. 499—531.

J. Jeník—Zd. Kosina:

Thermistor-Thermometer für phytoökologische Zwecke

In dem Artikel ist die Konstruktion eines für phytoökologische Messungen bestimmten Thermometers beschrieben (für Messungen der Temperatur der Oberfläche von Pflanzen, Boden, Felsen und der Grenzluftschichten, gegebenenfalls des Bodens in der Nähe der Pflanze).

Der Apparat misst die Temperatur mit Hilfe der Widerstandsänderungen eines Halbleiter-(Thermistor-) Fühlorganes. Dank dem hohen Temperaturkoeffizienten des Thermistorwiderstandes konnte die Auswertungsvorrichtung im Vergleich zu den bisjetzt in der Ökologie verwendeten elektrischen Thermometern einfacher ausgebildet werden. Diese Vorrichtung wurde mit Rücksicht auf die genügende Messgenauigkeit, Messbereitschaft und leichte Bedienung in den Terrainbedingungen als unausgeglichene Wheatstone'sche Brücke entworfen. Durch geeignete Wahl der Bestandteile wurde eine lineare Abhängigkeit der Messamplitude von der Temperatur erreicht, so dass man keine Berechnungstabelle verwenden muss.

Die Temperaturdifferenzen des Thermistors liest man an der Mikroamperemeterskala mit einer Genauigkeit von $\pm 0,1^\circ \text{C}$ ab.

Die das Fühlorgan tragende Sonde ist in Zangenform aus Plexiglas ausgebildet und für Messungen an freien Pflanzenorganen (z. B. an Pflanzenblättern) ebenso wie für Messungen an festen Oberflächen von grossen Objekten geeignet; die Kraft, mit welcher der Thermistor beim Messen an die geprüfte Oberfläche angeedrückt wird, hängt nicht von der Schliesskraft der Zangenbacken ab.

Das Messen kann selbst unter Terrainbedingungen von einer einzigen Person ausgeführt werden.