

NOVÁ METODA STUDIA RADIAČNÍ BILANCE V POROSTU

Jiří Klabzuba, Věra Kožnarová

*Katedra agroekologie a biometeorologie
Česká zemědělská univerzita v Praze
165 21 Praha 6 – Suchbátka
e-mail: koznarova@af.czu.cz*

Abstract:

The radiation balance is basic the climatogenous factor and it presents the result from incoming and outgoing energy in the radiation form. It is not only the insolation but also the longwave radiation of active surface (include all subjects located on the surface) and the atmosphere irradiation. We reminded that refrigeration of the surface by the radiation balance is on principle as important as its warming by solar radiation. It has the rate of increase in biometeorological branches, because it relates with favourable or unfavourable thermal environmental conditions. Therefore radiation balance becomes dominant factor composed global climate of the Earth, but it is the macroclimatic, mesoclimatic and microclimatic factor as well. An exact measurement of components of radiation balance (incoming, absorbed, reflected, emitting and transmitting) is very difficult and so it needs the suitable technical equipment, methods, instrument calibrations, data treatment and the interpretation of results.

Two new sensors were developed in Department of Agroecology and Biometeorology of University of Life and Food Sciences in Prague for monitoring energy of radiation. They measure "space insolation" (shortwave solar radiation) and "space radiation balance" (shortwave solar radiation and longwave radiation of active surface and the atmosphere).

We prepared the thermoelectric sensors in the form long tube for the experiment. It proceeds in a few horizons inside the plant stand of maize. The sensors for the measurement radiation on the horizontal surface were used simultaneously.

Data set was analysed by the statistical programme and the results are presented in graphs and tables.

Keywords: phytoactinometry, thermoelectric sensor, insolation, radiation balance, net radiation, space insolation, space radiation balance

1. Úvod

Radiační bilance zemského povrchu nebo jeho části je základní klimatogenní faktor jak z pohledu celoplanetárního, tak i makro, mezo i mikroklimatického. Zpravidla se radiační bilance definuje jako výsledek současného působení všech toků energie ve formě záření k určitému tělesu přicházejících (které v případě částečné absorpce povrch ohřívají) a toků od tělesa odcházejících (které povrch ochlazují).

Nerovnoměrný ohřev a ochlazování povrchu během dne i roku se pak stává hnacím motorem krátkodobých změn v troposféře, který nazýváme souborně počasím a dlouhodobých změn určujících

režim meteorologických prvků (včetně jejich proměnlivosti), který nazýváme podnebím.

V biometeorologii a agrometeorologii přistupuje navíc i problém tzv. aktivního povrchu, který je v případě porostů zelených rostlin rozšířen i o složité interakce navazující na vodní režim rostlin (včetně výparu a kondenzačních jevů) a předávání tepla kondukcí, konvekcí a turbulencí do přilehlé vrstvy vzduchu. Významnou složku energetické bilance porostu představuje i ohřívání, resp. ochlazování půdy, úzce související s řadou fyziologických a agronomických důsledků. Studium radiačních poměrů porostů zemědělských plodin proto považujeme za jeden ze stěžejních úkolů zemědělského a agrometeorologického

výzkumu pro nejbližší období i do vzdálené budoucnosti.

Navzdory této zmiňované skutečnosti jsme toho názoru, že znalosti o radiačním klimatu rostlinného pokryvu nejsou adekvátní jeho významu, a proto se touto problematikou na našem pracovišti zabýváme již dlouhodobě.

Jako hlavní příčinu obtíží spojených s poznáním vidíme v tom, že měření radiačního pole porostu jsou velmi komplikovaná. Důvody jsou určeny:

- značnou variabilitou intenzity radiačních toků v čase i v prostoru porostu,
- proměnlivým spektrálním složením záření v důsledku selektivní absorpce, transmise a reflexe,
- nestejným pronikáním přímého záření a difúzního záření do porostu,
- velkou heterogenitou pole zářivé energie uvnitř porostu; k výrazným změnám dochází s měnící se výškou porostu, charakteristikou olistění, změnou barvy během vegetace,
- nutností zachování původní struktury porostu v průběhu měření,
- nutností měřit při bilančních studiích nejméně na čtyřech místech v případě slunečního záření a nejméně na dvou místech u celkové radiační bilance pro každou variantu nebo vrstvu sledovaného porostu,
- potřebou mnohdy neúnosného množství snímačů v případě porovnávání více variant s opakováními a při měření v několika výškách (např. u polních pokusů),
- nezbytností snímání středních (efektivních) hodnot všech složek uvnitř porostu a to jak v ambulantních měřeních, tak ze-

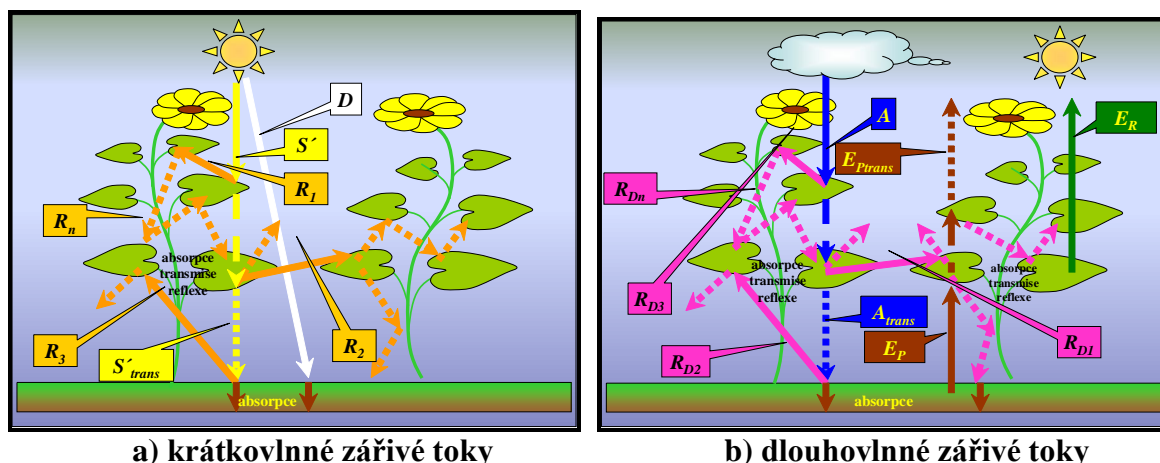
jména při registraci nebo integraci sum energie,

- požadavkem spolehlivého rozlišení kladných a záporných hodnot v případě měření složek celkové radiační bilance,
- nutností respektovat reprodukovatelnost a srovnatelnost jednotlivých měření.

Současný stav řešení jmenovaných obtíží při studiu radiačního mikroklimatu je možno rozdělit do tří oblastí:

1. využívání většího počtu standardních aktinometrických snímačů umožňujících měření jednotlivých požadovaných radiačních složek. Metoda je vhodná pro méně náročná ambulantní měření. S ohledem na cenu snímačů, není tento přístup příliš využíván, protože zpravidla neumožňuje jejich rozmístění v porostu v dostatečném množství. Jejich přenášení způsobuje následné mechanické poškození porostu a tím i porušení struktury sledovaného radiačního pole.
2. metoda založená na periodickém, přiměřeně rychlém pohybu snímače po příslušně dlouhé dráze. Tento postup je vhodný při měření ve vysokých a mohutných porostech jako jsou lesy nebo chmelnice, kde umožňuje opakovat monitoring v delším časovém období.
3. zvětšení citlivé plochy snímačů do tvaru protáhlého obdélníka, čímž je možné snímat přímo střední efektivní hodnotu i v případě plynulé registrace. Zatím nejčastěji používaná metoda při mikroklimatických měřeních polních plodin.

Složitost uplatňování jednotlivých energetických toků tvořících radiační bilanci dokumentujeme na obr. 1a, b.



obr. 1 Schéma jednotlivých energetických toků radičního režimu porostu

Rovnice celkové radiční bilance:

$$B_C = S' + D - R + A - E - R_D$$

v případě porostu nabývá tvaru:

$$B_C = S' + D - (R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n) + A - (E_{Ptrans} + E_R) - (R_{D1} + R_{D2} + R_{D3} + \dots R_{Dn}), \text{ kde}$$

S' – přímé sluneční záření dopadající na vodorovný povrch,

D – difúzní záření,

$R_{1,2,3,\dots,n}$ – odražené krátkovlnné záření,

A – zpětné záření atmosféry,

E_{Ptrans} – vyzařování půdy po transmissi částečně propustnou vrstvou,

E_R – vyzařování rostlin,

$R_{D1,2,3,\dots,n}$ – dlouhovlnné odražené záření.

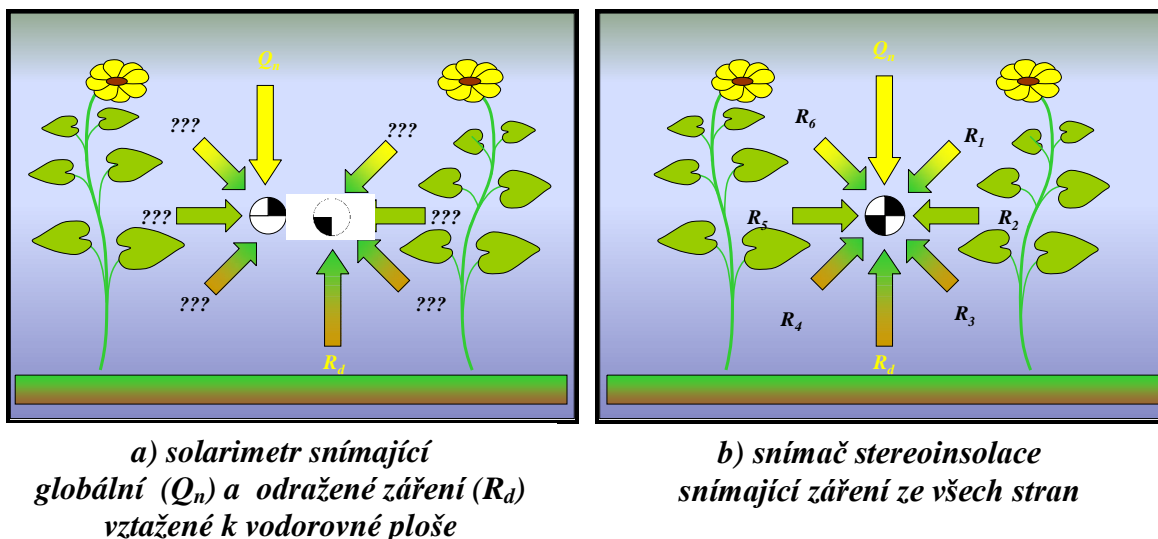
2. Metodika

S postupem získaných zkušeností v oblasti studia radičních podmínek mikroklimatu různých typů porostů jsme vypracovali komplexní metodiku měření a určili sestavu snímačů zajišťující reprezentativnost získaných dat. Navržená metodika dodržuje základní požadavky:

- možnost ambulantních měření i případnou plynulou registraci dat,
- dostatečnou přesnost měření,
- jednoznačnou reprodukovatelnost výsledků,
- možnost vzájemného porovnání s výsledky získanými v jiných aktinometrických studiích (na aktinometrických stanicích),
- používání platných jednotek soustavy SI,

- používání pravého místního času,
- respektování doporučení WMO.

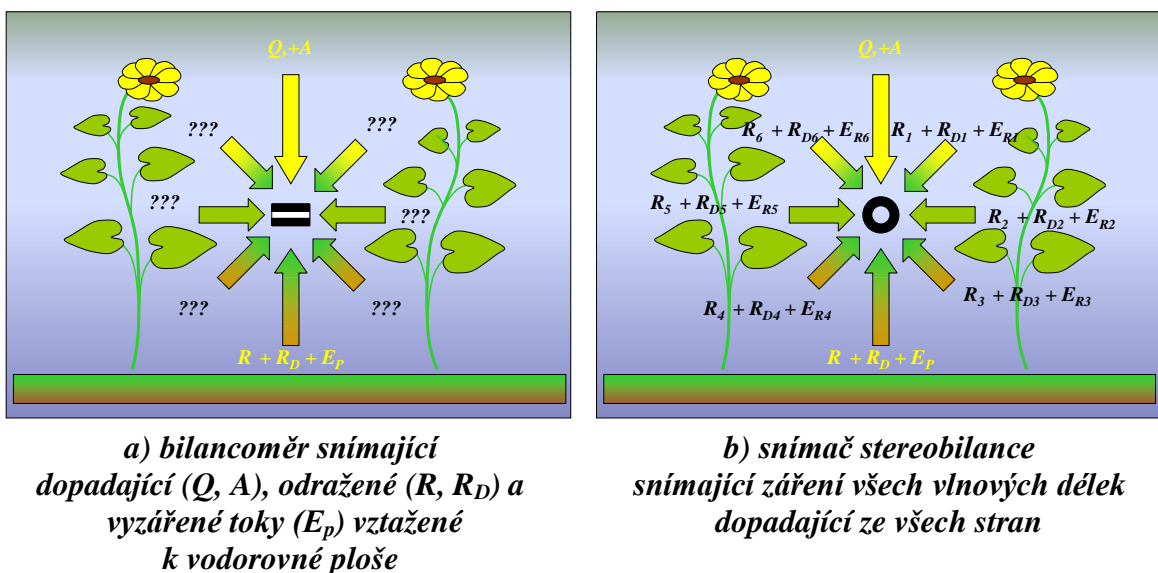
Detailním zpracováním získaného materiálu a následnou analýzou jsme dospěli k poznání, že aktinometrické i fytoaktinometrické přístroje snímající radiaci na vodorovnou plochu opomíjejí opakovanou reflexi v porostu, která přichází ze všech stran (obr. 2a). Proto jsme přistoupili ke konstrukci snímače nového typu, který tento nedostatek odstraňuje. Zářivý tok, který měříme, je krátkovlnný, tj. snímá sluneční záření dopadající ze všech směrů – insolaci, difúzní záření a odražené záření přicházející také ze všech stran (obr. 2b). Tato vlastnost, že snímá záření ze všech směrů, nás vedla k názvu **stereoinsolace (SI)**.



obr. 2 Porovnání směrové citlivosti při měření slunečního záření v porostu pomocí solarimetru (a) a snímače stereoinsolace (b)

Obdobně jsme řešili i problém snímání záření bez ohledu na vlnovou délku radičních toků dopadajících na snímač ze všech stran (obr. 3), které by umožnily

vyjádřit i prostorovou celkovou radiační bilanci celého porostu nebo v jeho patrech. Zářivý tok jsme pro přehlednost nazvali **stereobalance (SB)**.



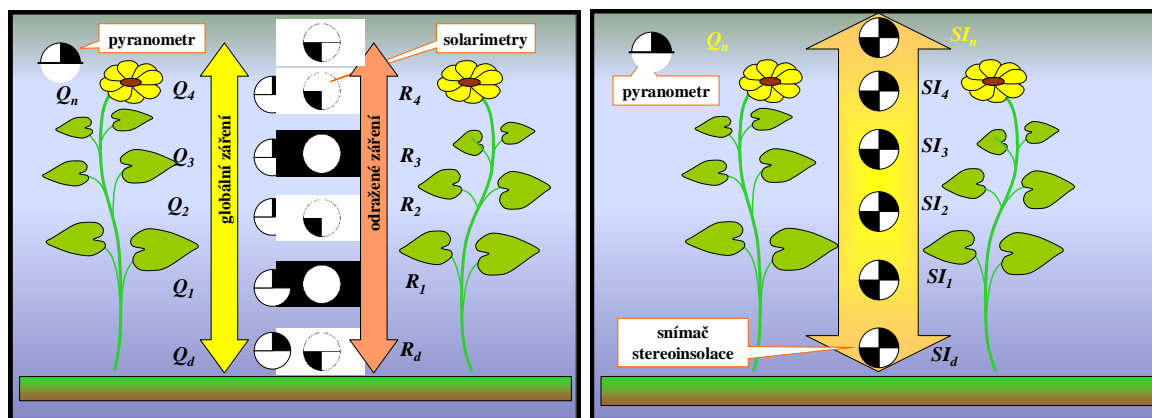
obr. 3 Porovnání směrové citlivosti při měření záření všech vlnových délek v porostu pomocí bilancoměru (a) a snímače stereobalance (b)

Za velmi významné považujeme skutečnost, že obě nově navržené konstrukce

snímačů snižují množství sensorů v porostu (obr. 4 a 5) a tím i narušení při-

rozené struktury rostlinného společenstva, zejména při studiu vyšších porostů, kde je nutné měřit v jednotlivých patrech. Zís-

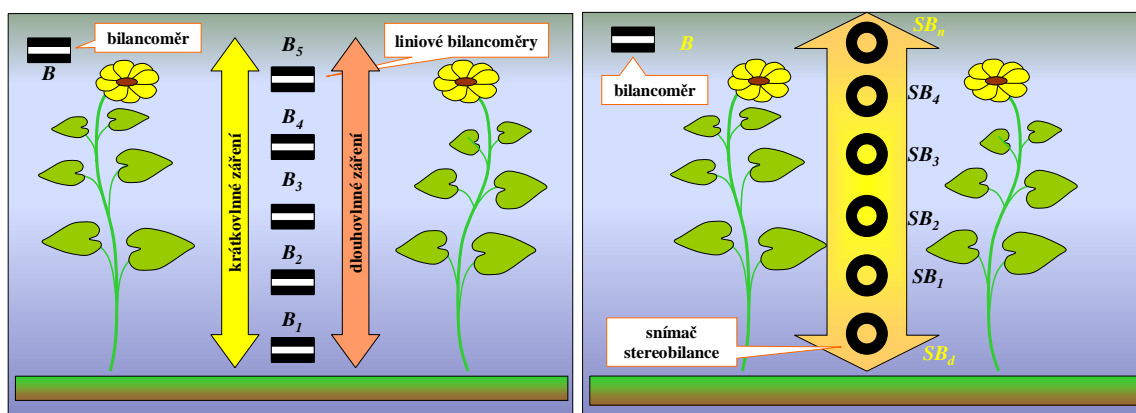
kané hodnoty poskytují reprezentativnější popis radičního pole v porostu.



**a) solarimetry
v jednotlivých patrech porostu
snímající záření na vodorovnou
plochu**

**b) snímače stereoinsolace
snímající záření přicházející
ze všech směrů**

obr. 4 Schéma umístění snímačů krátkovlnné radiace v porostu



**bilancoměry
v jednotlivých patrech porostu
snímající radiaci vztahenou
k horizontální ploše**

**snímače stereobilance
snímající záření ze všech stran**

obr. 5 Schéma umístění snímačů celkové radiční bilance v porostu

Vlastní práce spočívala v simultánním komplexním ambulantním měření radičního pole uvnitř porostu kukuřice, doplněného o základní meteorologická měření teploty vzduchu a půdy, rychlosti a směru větru, slunečního svitu a oblačnosti.

K měření záření jsme použili:

- standardní termoelektrický pyranometr s galvanoměrem,
- standardní termoelektrický bilancoměr,

- liniový termoelektrický solarimetr (AO 170402)
- liniový termoelektrický bilancoměr (AO 205918)
- trubicový termoelektrický snímač stereoinsolace (UV 18667)
- trubicový termoelektrický snímač stereobilance (UV 18669).

Snímače umístěné v porostu kukuřice jsou na obr. 6a, b

Před testovacím měřením jsme všechny snímače kalibrovali metodou slunce-stín podle aktinometru AT50 s galvanoměrem GSA1 (sloužící jako interní srovnávací etalon našeho pracoviště); počasí, kalibrace i způsob výpočtu odpovídal mezinárodním požadavkům.

Souborně lze konstatovat, že jsme zjistili:

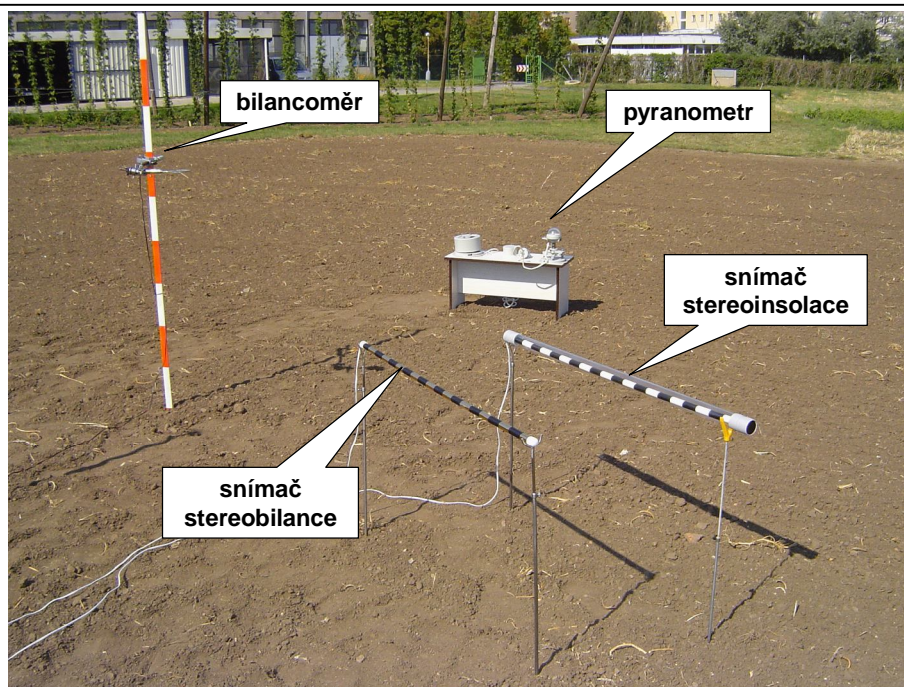
- velké rozdíly mezi naměřenými hodnotami bilance slunečního záření vztažené na vodorovný povrch a stereoinsolace, zejména ve vyšších patrech porostu,
- stereoinsolace je podstatně vyšší než globální záření a má během dne zřetelný bimodální denní chod ve všech výškách porostu; tento jev je zřejmě způsobený specifickou reflexí slunečního záření závislou na výšce Slunce nad obzorem (se subjektivně odhadovaným maximem kolem 30°, tzn. v dopoledních a odpoledních hodinách,
- určitý význam má nesporně i pohyb svrchních listů působený větrem; nabízí se známá analogie zvýšené reflexe pro sluneční záření zrcadlením zvlhčené hladiny vody (působící silný erytemální efekt citlivých osob na pobřeží i při celodenním pobytu ve stínu,
- výrazný tlumící efekt porostu pro dlouhovělné složky radiační bilance související nepochybně

s odlišnou teplotou povrchů rostlin a půdy,

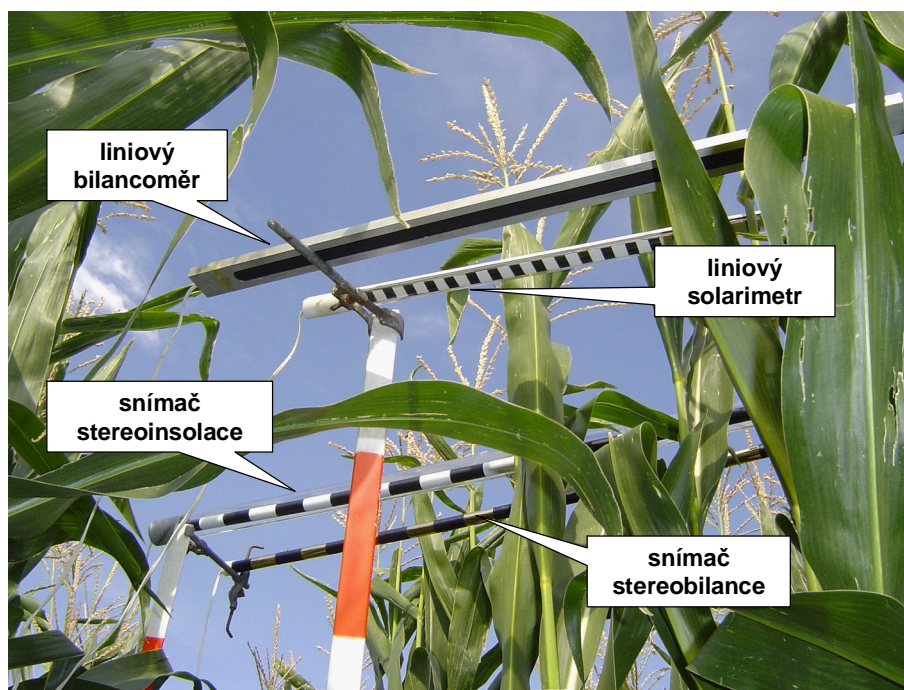
- pozoruhodné změny v denním chodu dlouhovělných složek radiační bilance v porostu, zvl. ráno a v odpoledních hodinách, které jsou pravděpodobně výsledkem komplexního působení více meteorologických faktorů ovlivňujících ohřívání a ochlazování povrchů rostlin (kdy se uplatňují změny evapotranspirace, rychlost větru, mění se výška Slunce nad obzorem a změny teploty vzduchu uvnitř porostu a ve volném ovzduší). Připomínáme, že tento jev není nahodilý a byl zjištěn i při opakování měření u jiných typů porostů.

3. Závěr

Předložená práce dokumentuje obtížné možnosti formulace obecných zákonitostí na základě několika, byť podrobných ambulantních měření mikroklimatu porostu s akcentem na radiační poměry. Výsledky však považujeme za významné a inspirující pro budoucí studia tak důležité a složité problematiky. Podle našeho názoru jsou pozitivní i výsledky testování nově konstruovaných snímačů vhodných pro trojrozměrné analýzy vlivu všech složek celkové radiační bilance porostů. Termoelektrický princip umožňuje jejich přímé spojení s moderními registračními metodami pomocí měřících ústředí nebo datalogerů v terénních podmínkách. Stěžejním úkolem pro nejbližší budoucnost spatřujeme proto v získání rozsáhlejších souborů dat naměřených během vegetačního období u různých typů porostů za různých povětrnostních situací. Analýza získaných údajů umožní adekvátní interpretaci výsledků a v budoucnu i formulování obecně platných závěrů.



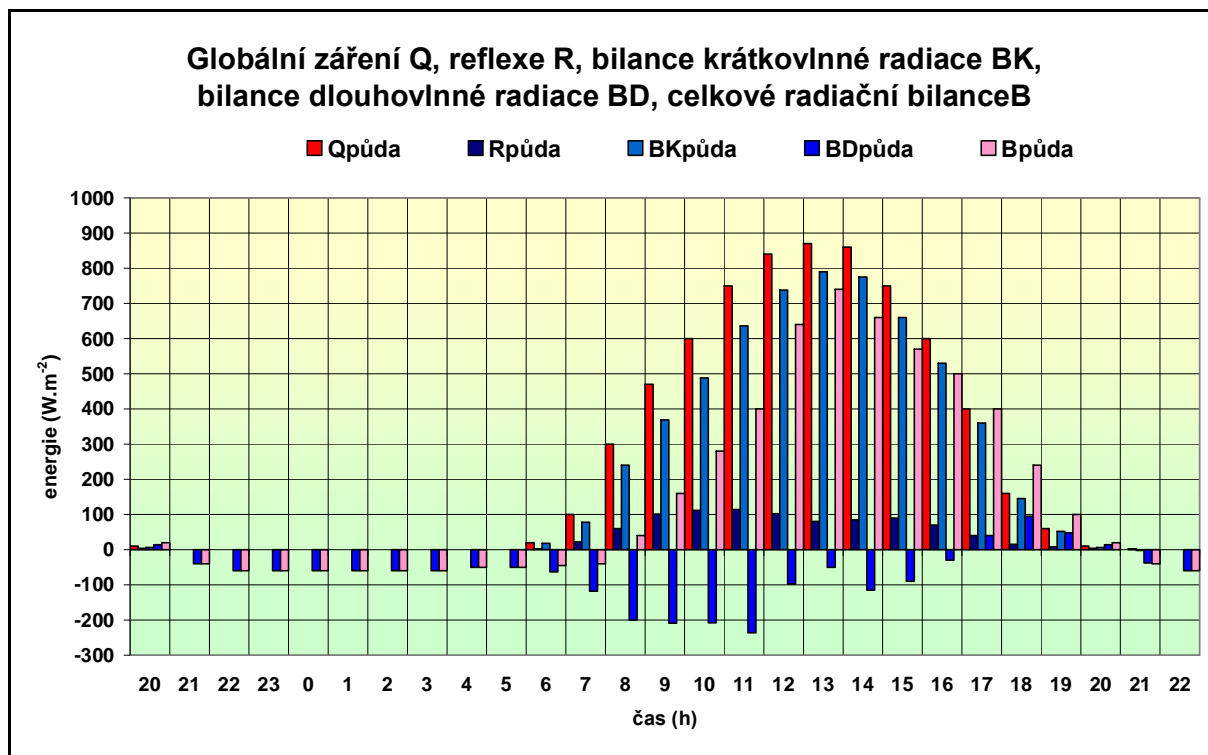
obr. 6a Umístění snímačů nad povrchem půdy bez porostu



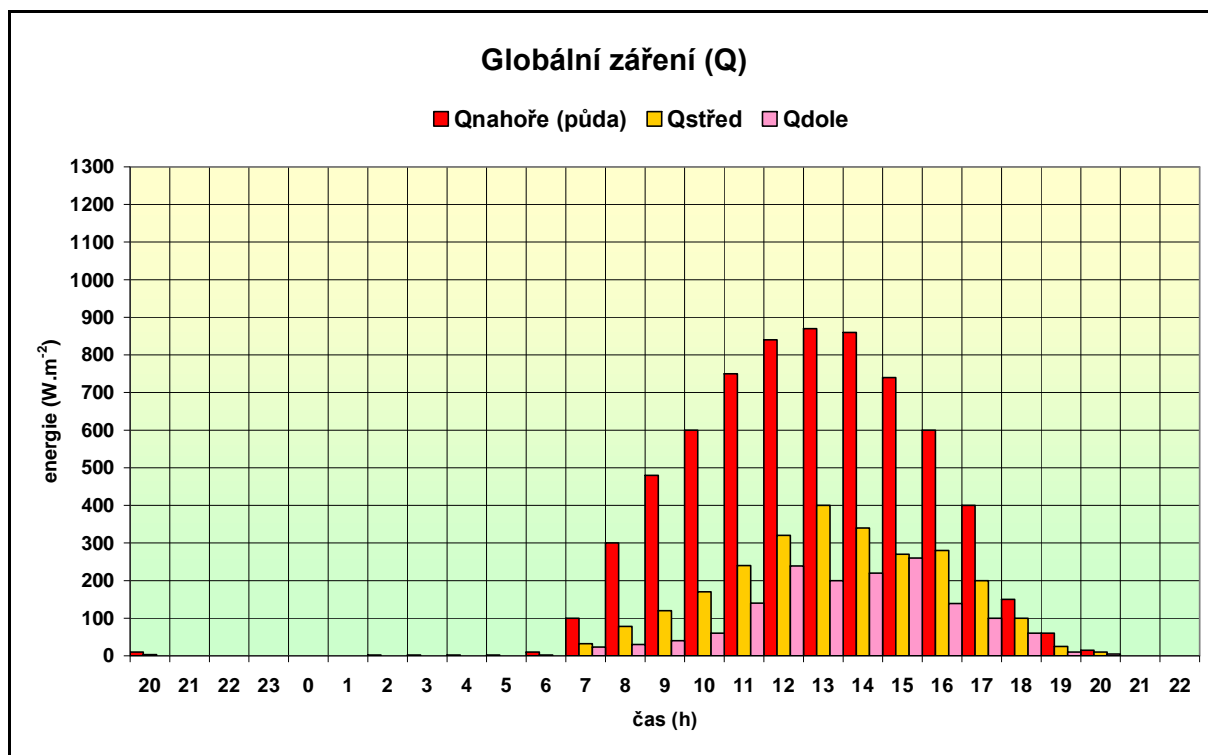
obr. 6b Umístění snímačů v horním patře porostu kukuřice

4. Výsledky

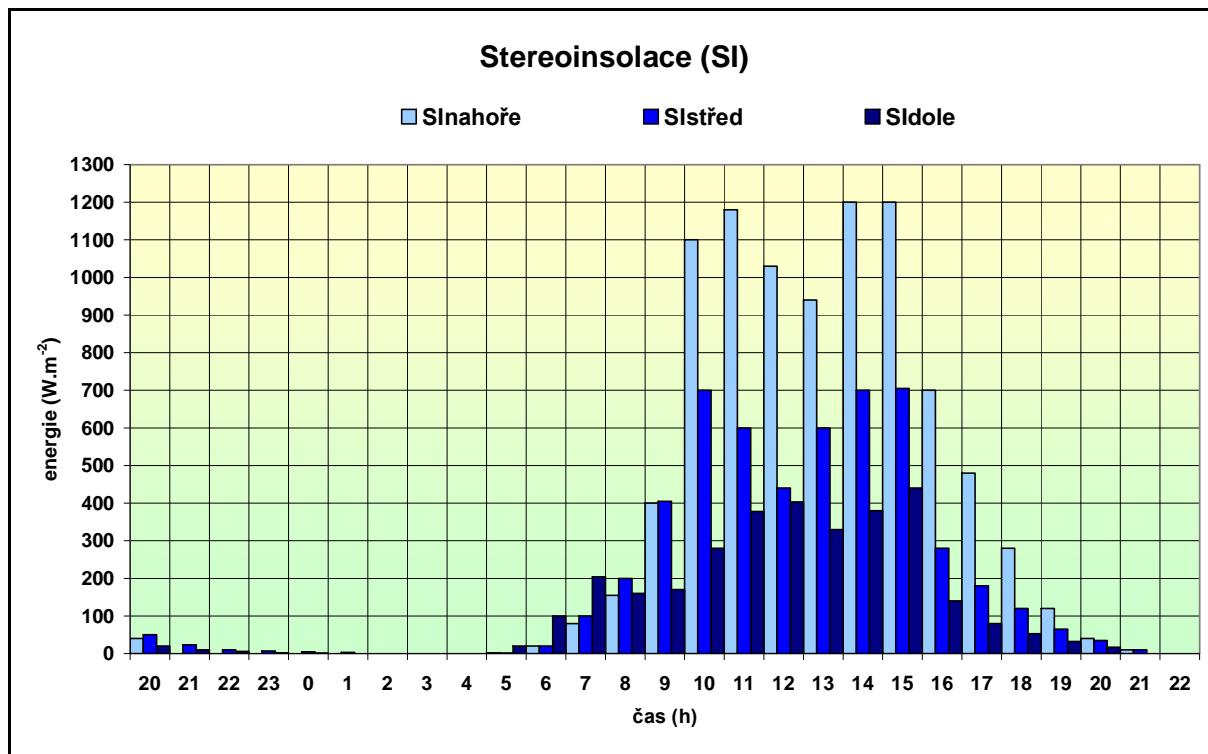
Získané výsledky uvádíme v přehledné grafické podobě (obr. 7 až 12).



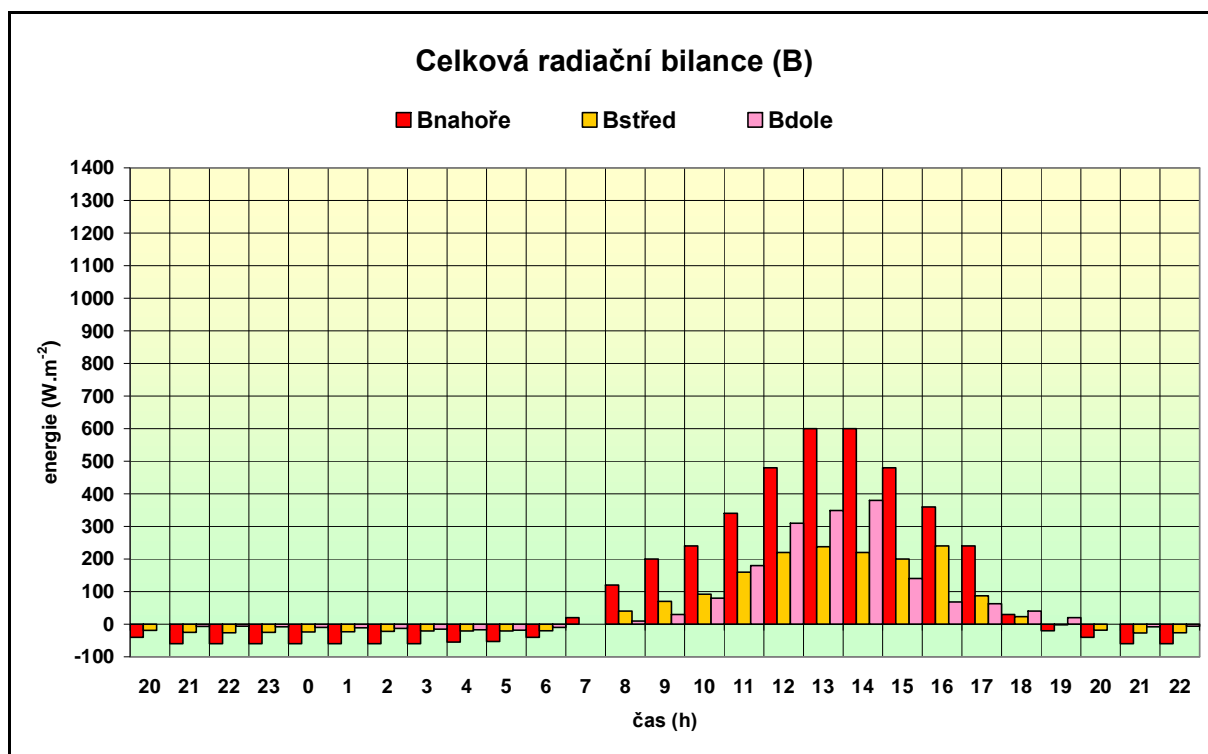
obr. 7 Zářivé toky nad půdou bez porostu



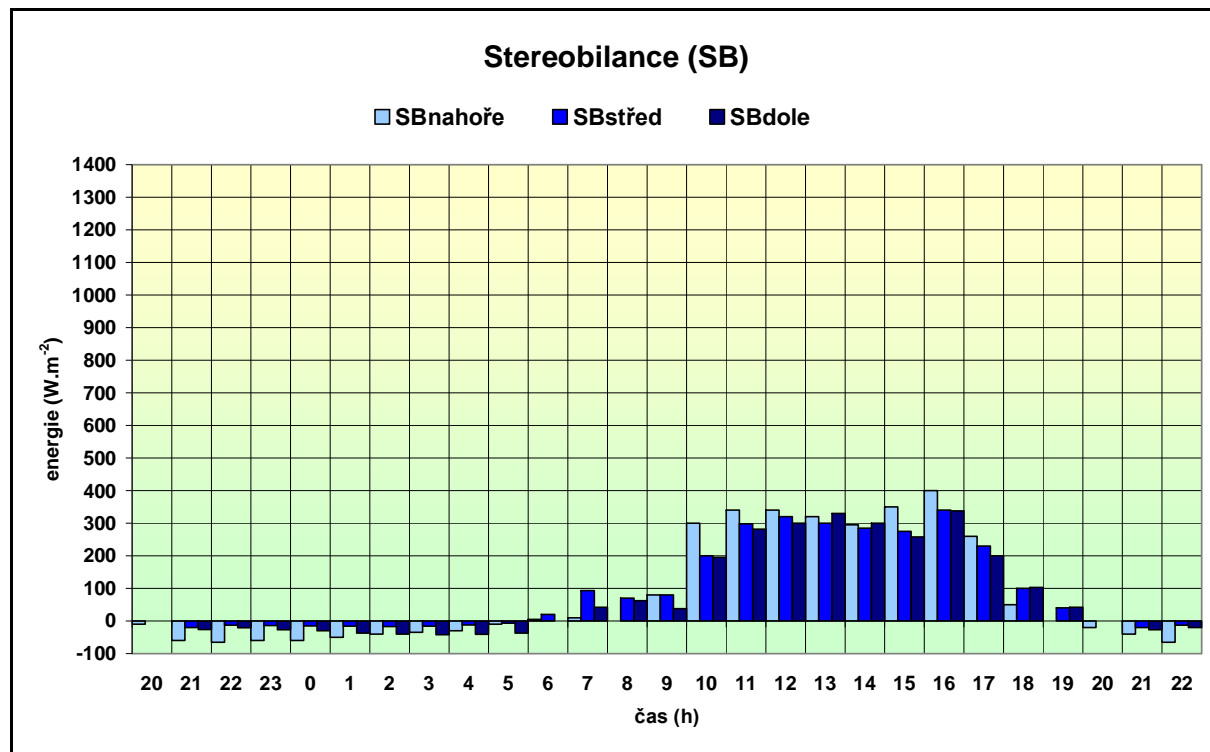
obr. 8 Globální záření dopadající na vodorovnou plochu v jednotlivých patrech porostu



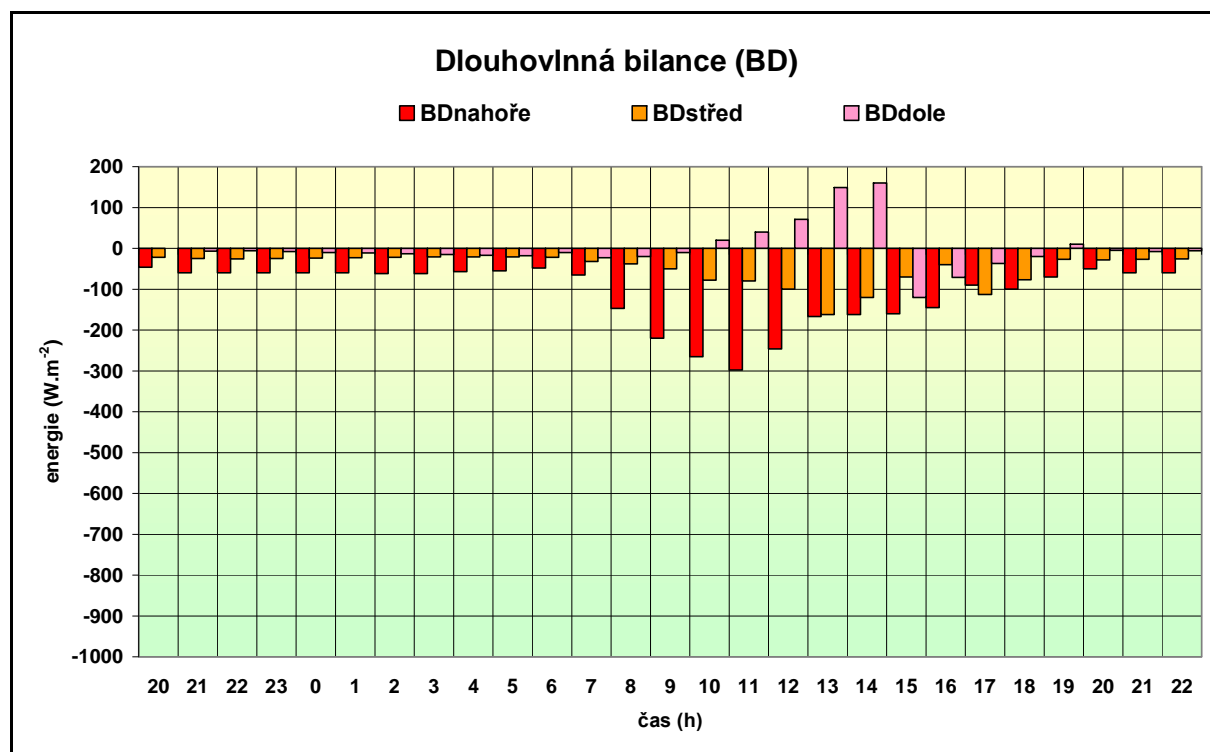
obr. 9 Krátkovlnné záření dopadající ze všech stran na snímač v jednotlivých patrech porostu kukuřice



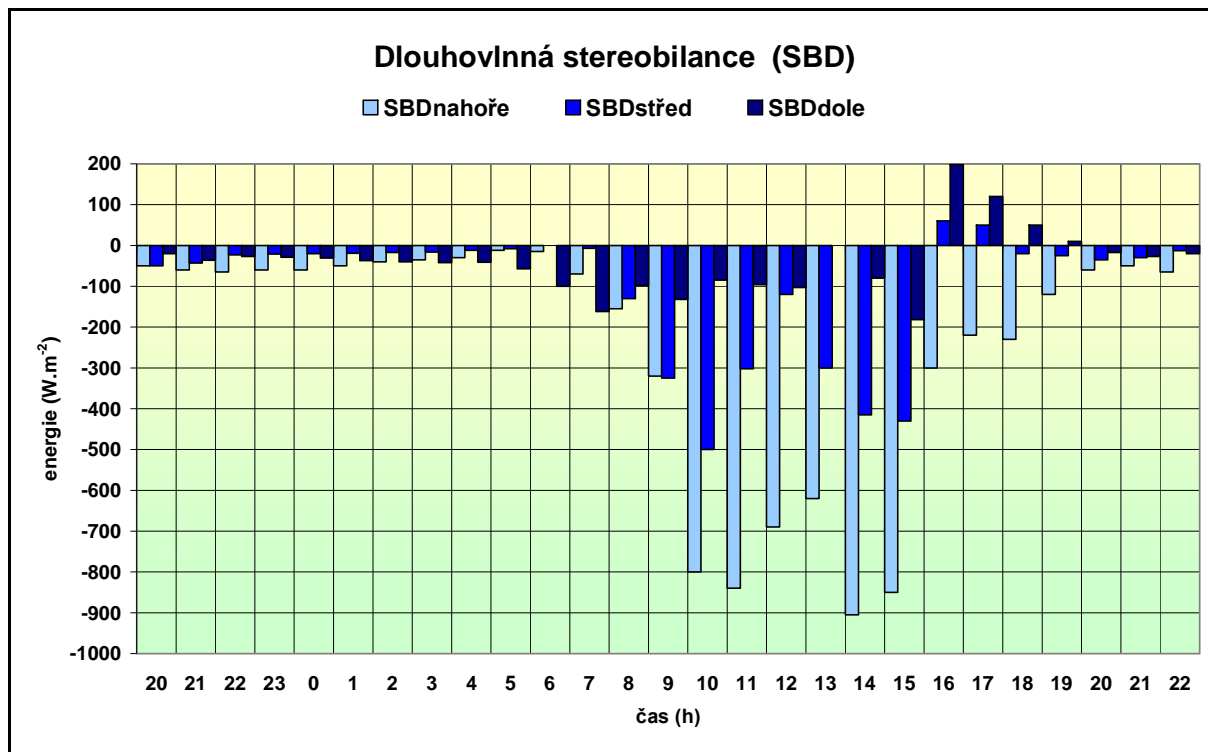
obr. 10 Záření všech vlnových délek dopadající na vodorovnou plochu v jednotlivých patrech porostu kukuřice



obr. 11 Záření všech vlnových délek dopadající ze všech stran na snímač v jednotlivých patrech porostu kukuřice



obr. 12 Vypočtená bilance dlouhovlnné radiace dopadající na vodorovnou plochu v jednotlivých patrech porostu kukuřice



obr. 13 Vypočtená bilance dlouhovlnné radiace dopadající ze všech stran na snímač v jednotlivých patrech porostu kukuřice

Základní statistické charakteristiky všech naměřených souborů jsou v tab. 1a, b, c.

tab. 1a Základní statistické charakteristiky globálního záření (Q) a stereoinsolace (SI) naměřené v porostu kukuřice

	<i>Qnahore</i>	<i>Qstřed</i>	<i>Qdole</i>	<i>SInahore</i>	<i>SISTřed</i>	<i>SIdole</i>
Střední hodnota	251,6	95,9	56,5	332,5	194,8	119,5
Chyba střední hodnoty	63,6	25,0	16,3	88,1	49,4	28,8
Medián	15,0	10,0	5,0	40,0	50,0	32,0
Modus	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Směrodatná odchylka	330,5	130,0	84,6	457,8	256,8	149,7
Rozptyl výběru	109233,6	16907,6	7159,6	209597,8	65949,1	22397,1
Špičatost	-0,9	-0,3	0,6	-0,6	-0,3	-0,4
Šikmost	0,9	1,1	1,4	1,1	1,1	1,0
Rozdíl max.-minimum	870,0	400,0	260,0	1200,0	705,0	440,0
Minimum	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Maximum	870,0	400,0	260,0	1200,0	705,0	440,0

tab. 1b Základní statistické charakteristiky bilance záření (B) a stereobilance (SB) naměřené v porostu kukuřice

	<i>Bnahoře</i>	<i>Bstřed</i>	<i>Bdole</i>	<i>SBnahoře</i>	<i>SBstřed</i>	<i>SBdole</i>
Střední hodnota	108,2	47,0	57,1	81,7	92,1	79,3
Chyba střední hodnoty	43,4	18,8	22,2	32,0	25,4	26,4
Medián	-40,0	-18,0	0,0	0,0	20,0	0,0
Modus	-60,0	-21,0	0,0	-60,0	0,0	0,0
Směrodatná odchylka	225,7	97,5	115,3	166,1	131,8	137,1
Rozptyl výběru	50927,3	9511,6	13304,6	27590,4	17376,6	18784,9
Špičatost	-0,1	-0,4	2,9	-1,1	-1,0	-0,9
Šikmost	1,1	1,1	2,0	0,9	0,8	0,9
Rozdíl max.-minimum	660,0	267,0	398,0	465,0	360,0	380,0
Minimum	-60,0	-27,0	-18,0	-65,0	-20,0	-42,0
Maximum	600,0	240,0	380,0	400,0	340,0	338,0

tab. 1c Základní statistické charakteristiky globálního záření (Q), stereobilance (SI), bilance záření (B) a stereobilance (SB) naměřené nad půdou bez porostu

	<i>Qpůda</i>	<i>SIpůda</i>	<i>Bpůda</i>	<i>SBpůda</i>
Střední hodnota	251,6	388,9	151,3	354,4
Chyba střední hodnoty	63,6	78,0	51,8	93,8
Medián	15,0	160,0	20,0	50,0
Modus	0,0	0,0	-60,0	50,0
Směrodatná odchylka	330,5	405,5	268,9	487,2
Rozptyl výběru	109233,6	164425,6	72333,8	237355,6
Špičatost	-0,9	-1,6	-0,4	-1,3
Šikmost	0,9	0,4	1,0	0,6
Rozdíl max.-minimum	870,0	1040,0	800,0	1400,0
Minimum	0,0	0,0	-60,0	-100,0
Maximum	870,0	1040,0	740,0	1300,0

5. Literatura:

- Klabzuba, J. (1977): Termoelektrický snímač slunečního záření pro trubcové solarimetry, AO 170402, Úřad pro vynálezy a objevy, Praha
- Klabzuba, J. (1983): Termoelektrický bilancoměr, AO 205918, Úřad pro vynálezy a objevy, Praha
- Klabzuba, J., Kožnarová, V. (1991): Zářivá energie jako faktor mikroklimatu porostu, VŠZ, Praha, ISBN 80-213-0117-1, 118 s.
- Klabzuba, J., Kožnarová, V. (1997): Radiation balance and study of energetic efficiency of plant stands, Pamietnik Pulawski, Pulawy, ISSN 0552-9778
- Klabzuba J., Kožnarová V.(2003): New Method of Spatial Insolation Measurement by Means Of Special Thermoelectric Sensor,, International Bioclimatological Workshop 2003, Račkova dolina, SR
- Klabzuba, J., Kožnarová, V. (2005): Absorption and utilisation of solar radiation within crop stands, X. Seminárium fitoaktyvnometrii, Pulawy

Klabzuba, J., Kožnarová, V. (2008): Termoelektrický snímač efektivní hodnoty stereoinsole, UV 18667, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha

Klabzuba, J., Kožnarová, V. (2008): Termoelektrický snímač efektivní hodnoty prostorové radiační bilance UV 18669, Úřad průmyslového vlastnictví, Praha

Kožnarová, V. (1986): Celková radiační bilance porostů zemědělských plodin, kandidátská disertační práce, VŠZ, Praha

Kožnarová V., Klabzuba J.(2003): Diurnal Changes of The Spatial Insolation within High-grown Plant Canopies, International Bioclimatological Workshop , Račkova dolina, SR

Kožnarová, V., Klabzuba, J. (2007): Contribution of Radiation Balance in High Plant Stands, Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference Klíma lesa, Křtiny 11. -12. 4. 2007, ISBN 978-80-86690-40-7

Poděkování:

Příspěvek byl zpracován a publikován s podporou výzkumného záměru MSM No. 6046070901 „Setrvalé zemědělství, kvalita zemědělské produkce, krajinné a přírodní zdroje“.