

MAASIKATAIME TEMPERATUURI MÄÄRAMINE ÖÖKÜLMA TINGIMUSTES

V. Palge, M. Pennar

Eesti Maaülikool

Sissejuhatus

Praktikute ringis räägitakse igal kevadel öökülma kahjustustest maasikaistandustes. Aiandusteadlased on püüdnud ka määrata öökülma ajal õhutemperatuure, kuid saadud tulemused on vasturääkivad. Mõnikord on temperatuuriskaalal kõrgem öökülmatemperatuur tekitanud suuremaid kahjustusi kui madalam öökülma-temperatuur. Insenerid näevad olukorda abstraktsemalt ning toovad välja kaks puudujääki senistes uuringutes:

- 1) temperatuuriväli ei ole ühtlane;
- 2) õhutemperatuuri fikseerimine öökülma tingimustes ei väljenda tegelikku protsessi, vaid esitab kaudselt selle kulgu.

Käesoleva uurimistöö käigus on püütud käsitleda olukorda soojuslevi teooriast lähtuvalt, koostada mõõtesüsteemid ja konkreetsetl mõõta temperatuure öökülma ajal või öökülmälähedastes situatsioonides.

Võtmesõnad: maasikataimed, öökülm, temperatuur, mõõtmine.

Materjal ja meetodika

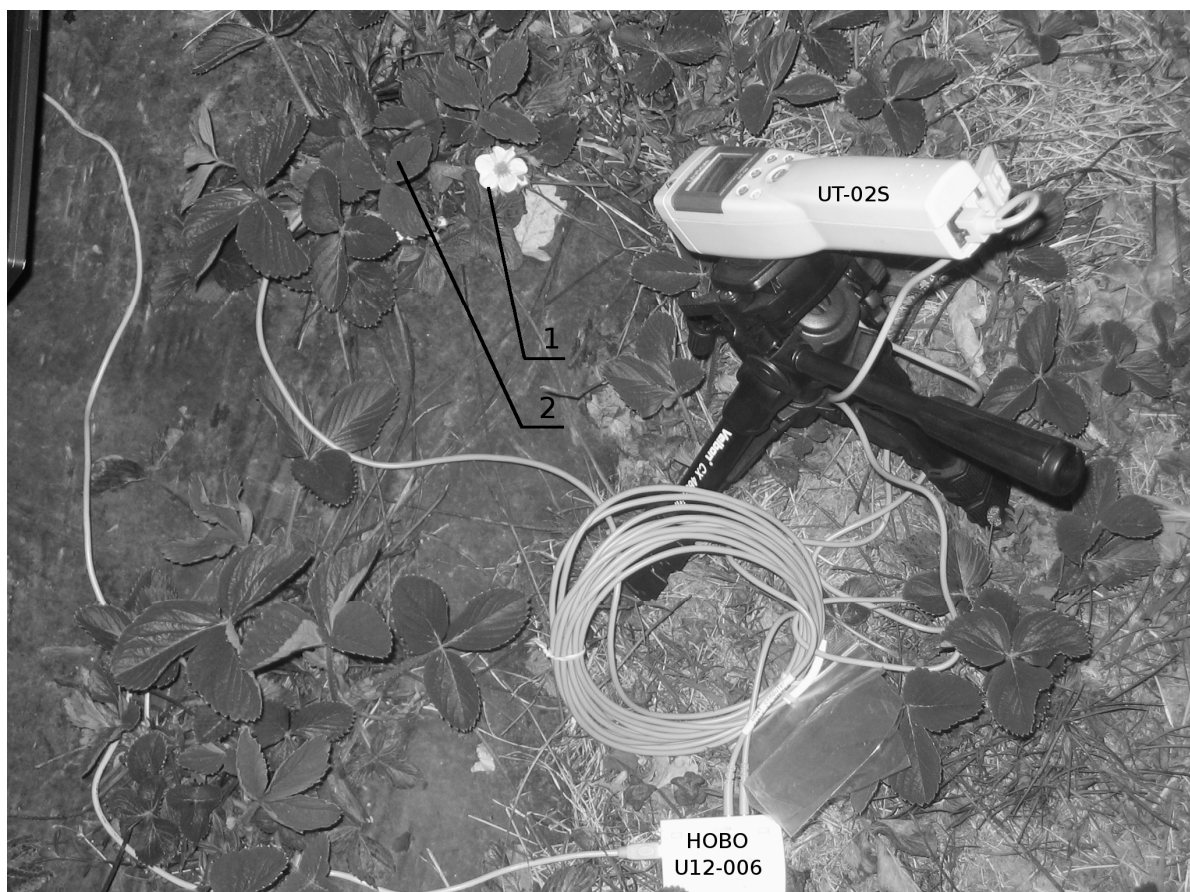
Vaadeldaval juhul lähenetakse taimede kasvutingimuste kirjeldamisel inseneride seisukohast, võttes arvesse soojuslevi seaduspärasusi. Soojuslevi põhimõtete järgi levib soojus kiirguse, konvektsiooni ja soojusjuhtivuse teel. Igal konkreetset juhul esineb vähemalt üks soojuslevi viis, enamasti kaks või kõik viisid. Sõltuvalt konkreetset juhust on mingi soojusvahetuse viis prevaleeriv, kusjuures ajas võib ühel hetkel olla valitsev kiirgussoojusvahetus (näiteks taimelehtedel selge taeva ja vähese veeauru sisaldusega atmosfääri korral toimub soojusvahetus nii öösel kui ka päeval valdavalt kiirgussoojusvahetusena), teisel ajahetkel võib olla prevaleeriv konvektiivne soojusvahetus (näiteks taimelehtedel öösel või päeval tuulise ilmaga). Kui taimed asuvad avamaal väliskeskkonnas, siis vaatamata näiliselt stabiilsete olukorrale toimub igal ajahetkel mingis geograafilises punktis asuvate kehade lakkamatu soojusvahetus selles paikkonnas asuvate teiste kehade ja keskkonna vahel. Selle kirjelduse paremaks arusaamiseks tuleks meelde tuletada mõisteid (Rohsenow, 1998) erisoojus, soojusmahtuvus, soojusjuhtivus, soojusülekanedegur, mustvärvusaste, kiirguse neeldumistegur, soojusvahetuses osalev keha ja selle soojustehnilised parameetrid, atmosfääri spektraalne läbipaistvus, ümbritsevate kehade ekvivalentne temperatuur, kiirguse spektraaljaotus jt.

Käesolev artikkel käsitleb maasikataime temperatuuri määramist öökülma tingimustes. Öökülma all mõistetakse siinkohal ilmastikunähtust, mis esineb selge taeva, vähese veesisaldusega atmosfääri ja tuulevaihke ilma korral ning seisneb maapinna temperatuuri alanemises negatiivsetele väärtustele. Olukorra kirjeldus, lähtudes soojuslevi teooriast, nõuab taimede erinevate osade eristamist soojusvahetuse objektidena. Taimel saame eristada lehti, varsi, õisi ning samuti ka neid ümbritsevat õhku. Selle artikli seisukohast on just õhu temperatuur probleemidega seotud, sest traditsioonilisel on õhu temperatuuri järgi siiani kirjeldatud taimekahjustusi öökülma olukordades.

Soojuslevi erinevad viisid esinevad taimede soojusvahetuses erisugustes olukordades. Konvektiivsete soojusülekanedele on sageli omistatud määramat tähtsust traditsioonilistes mõõtemetodites, kuna öökülma esinemise ajal mõõdetakse õhu temperatuuri. On levinud arvamus, et öökülmaeagne madal temperatuur mõjutab taimi just konvektiivsete soojusülekaned tulemusel taimeosakeste ja õhu vahel. Määrava tähtsusega on aga kiirguslik soojusvahetus taimeosa ja maailmaruumi vahel. Enamasti on maapinna ja sellel asuva taimeestiku soojusvahetus maailmaruumiga väike atmosfääris sisalduva CO₂ ja veeauru tõttu. Kui maakera ümbritseva atmosfääri veeauru sisaldus mingis geograafilises punktis muutub, siis muutub ka optilise kiirguse läbilaskvuse spekter. Atmosfääri kiirguse läbilaskvus suureneb oluliselt veesisalduse vähenemise korral. Pärast päikese loojumist, kui maapinnale langev päikese kiirgus väheneb praktiliselt nullini, alaneb maapinnal asuvate suure mustvärvusastmega kehade temperatuur kiirgusliku soojusvahetuse tõttu kiiresti uuele tasakaaluolukorra väärtusele. Seejuures temperatuuri alanemise kiirus ja uus tasakaaluolukorra temperatuur sõltub iga üksiku keha soojusmahtuvusest, mis sõltuvad tema veesisaldusest, massist ja konkreetset asukohast taimeestikus.

Õhk jahtub samuti, et kuna õhk on kiirguse suhtes läbipaistev ja mustvärvusaste on väike, siis ei jahtu õhk mitte kiirgussoojusvahetuse tõttu maailmaruumiga, vaid konvektiivsete soojusvahetuse tõttu maapinnal asuvate taimedega või palja maapinnaga. Kõiki loetletud parameetreid saab väljendada numbrilisel ja iga eristatud objekti jaoks saab koostada soojusbilansi võrrandi. Soojusbilansi igas võrrandis peaksid sisalduma liikmed, mis

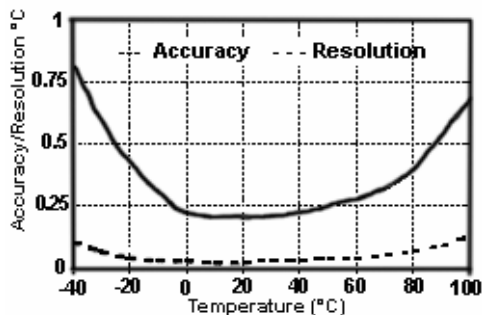
kirjeldavad uuritava keha soojusvahetust teda ümbritsevate kehadega. Et vaadeldud situatsioonis saab eristada suure hulga kehasid, siis tuleb soojusbilansi võrrand koostada iga keha kohta ja igas võrrandis oleks suur hulk liikmeid. Selles olukorras on selge, et vaatamata kaasaegsete arvutusvahendite suurele võimsusele, ei suuda nad sellegipoolest väga keerulisi võrrandisüsteeme lahendada ja tuleb kasutada olukorra lihtsustusi. Nende valik tuleb soojusvahetuse teoreetilisi kaalutlusi aluseks võttes põhjendada ja lõppkokkuvõttes ei mahuks need vaadeldava kirjatüki raamidesse. Seetõttu piirdume antud olukorras konkreetsete mõõtmistulemuste kokkuvõttega. Mõõtmised tehti maasikapõllul. Maasikapõllu peenar on multšitud musta kilega, selle sisse on tehtud auk, millest kasvab välja maasikataim. Kevadisel ajal on maasikataim veel suhteliselt väike. Mõõdetaval taimel oli 7 lehte ning kolm viljaraagu avanenud ja avanemata erinevat järku õitega. Mõõteaparatuurina kasutati temperatuuriandurit TMCx-HA ja distantstermomeetrit UT-02S. Mõõtetulemused salvestati datalogeriga HOBO U12-006 iga minuti järel. Mõõteaparatuuri asetus põllul on näha joonisel 1.



Joonis 1. Temperatuuri mõõtmise vahendite paigutus: temperatuuriandur TMCx-HA mõõdab maasikataimede lehtede alust temperatuuri punktis 2 ja UT-02S mõõdab numbriga 1 näidatud õie pinna temperatuuri. Pildi alumises servas on näha dataloger HOBO U12-006

Temperatuurianduriga TMCx-HA (Onset, 2006b) saab HOBO U12-006 (Onset, 2006a) kaasabil registreerida temperatuure vahemikus $-40 \dots +100$ °C. Täpsus sõltub mõõdetavast temperatuurist vastavalt joonisele 2 (Onset, 2006b) ja vaadeldaval juhul jääb mõõtmisviga 0,25 K piiridesse. Vaadeldaval mõõtmisel asus temperatuuriandur maasikalehe all peenra kattedekilest 2 cm kõrgemal (anduri asukoht on näidatud joonisel 1 numbriga 2, andur asetseb osutatud lehe all).

Datalogeri HOBO U12-006 mälu mahub 43 000 12-bitist mõõtmistulemust, neid on võimalik fikseerida 1 s kuni 1 h tagant. Vaadeldaval mõõtmisjuhul registreeriti mõõtmistulemus üks kord minutis. Toiteallika maht võimaldab andmeid registreerida autonoomses režiimis ühe aasta kestel, kuid mälu piiratud mahu tõttu tuleb logerist andmeid sagedamini maha lugeda. Andmeid saab logerist maha lugeda arvutisse USB kanali kaudu firma Onset eriprogrammi abil.

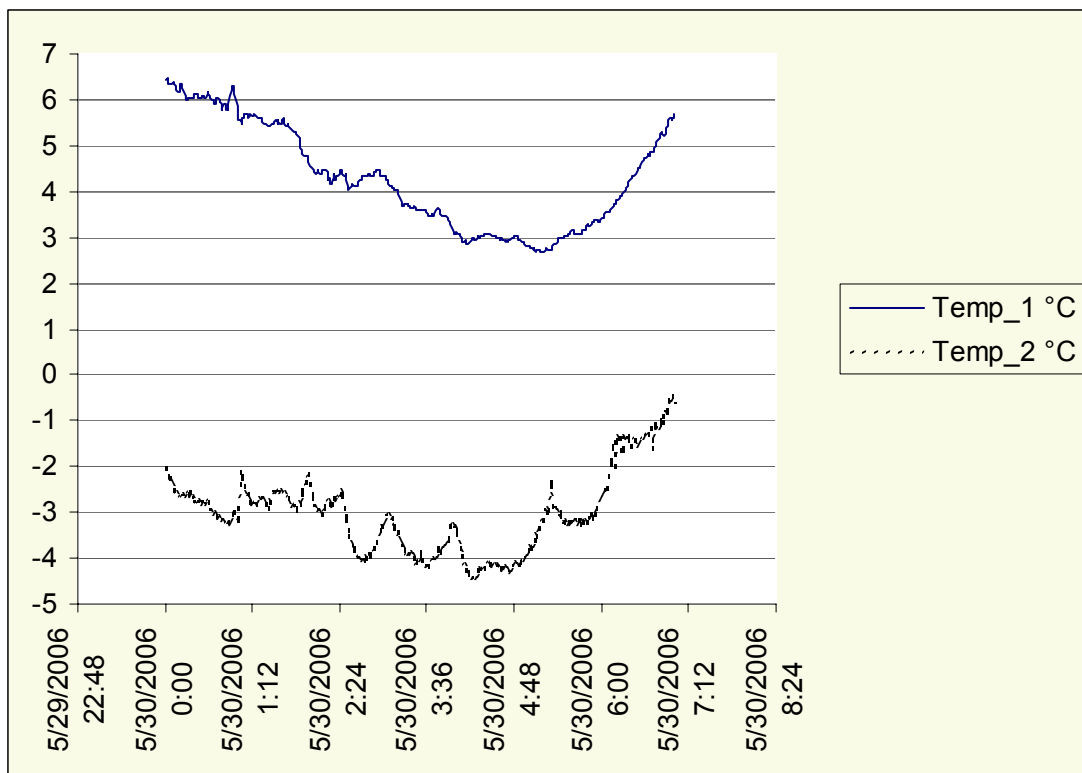


Joonis 2. Andmelogerite U12 mõõtmistäpsuse ja eraldusvõime sõltuvus temperatuurist (Onset, 2006b)

Distantstermomeetri UT-02S (Tech-Jam, 2006) mõõtetulemused fikseeriti datalogeriga HOBO U12-006. Nimetatud seade reageerib mõõdetavalt objektilt kiiritava soojuse intensiivsusele. Kõrgema temperatuuriga kehade kiirgus on tugevam ja seega näit suurem. Selleks, et mõõta maasikaõie pinna temperatuuri, tuleb UT-02S paigutada õiest ligikaudu 20 cm kaugusele (kiire hajumine 1:30), nagu näha jooniselt 1. UT-20S häälestamiseks pole vaja lisaseadmeid, kuid mõõtmistulemuste registreerimiseks pika aja kestel on see samuti vaja ühendada datalogeriga HOBO U12-006. Distantstermomeetri UT-20S maksimaalne mõõtepiirkond on $-50 \dots +500$ °C ja neid piire saab kasutaja muuta 10 K intervalli tagant. Vaadeldava mõõtejuhu tingimuste korral valiti mõõtepiirkonna alumiseks piiriks -10 °C ja ülemiseks $+30$ °C. Sel puhul oli distantstermomeetril tehniliste andmete alusel temperatuuri eraldusvõimeks 1 K (Tech-Jam, 2006). Mõõdeti selgel maiööl: 30. mai 2006 kell 00:00 kuni 30. mai 2006 kell 7:00. Kokku fikseeriti temperatuurid 436 ajahetkel.

Uurimistulemused

Mõõtetulemused on esitatud jooniselt 3. Nendest on näha, et selge taeva ja kiirgusele läbipaistva atmosfääri korral maailmaruumiga intensiivses soojusvahetuses oleva maasikaõie temperatuur langeb madalamale isegi vahetus naabruses, kuid siiski taimelehe all asuva temperatuuranduri temperatuurist.



Joonis 3. Mõõtetulemuste graafik. 1 – temperatuur lehtede ja kattekile vahel; 2 – temperatuur maasikaõiel

Mõõtetulemusi interpreteerides peab teadma, et lehe alla paigaldatud temperatuuriandur edastab andmeid just nimelt anduri temperatuuri kohta, mitte aga lehealuse õhu või taimeosade temperatuuri kohta. Anduri temperatuur on üsna lähedane lehtede all oleva õhu temperatuurile. Lehtedealuse õhu temperatuur ei ole samuti taimeosade temperatuuriga võrdne. See temperatuuride erinevus on tingitud erinevate taimeosade temperatuuri kujundavate soojusvoogude vahekorras. Erinevatele taimeosadele liigub soojus kiirgussoojusvahetusest tingitud öökülma olukorras erineval määral maapinnalt soojusjuhtivuse ja kiirgussoojusvahetuse teel, taimeosi ümbritsevalt õhult konvektsiooni teel ja lahkub maailmaruumi kiirgussoojusvahetuse teel. Nagu kirjeldusest näha, on tasakaaluolukorda äärmiselt keeruline hinnata. Lihtsustatult saab siiski öelda, et taimelehtede aluste taimeosade temperatuuri erinevus anduri temperatuurist pole suur. Need temperatuuride erinevuse muutumised on taimele füsioloogiliste protsesside toimumise juhtsignaalideks. Mõõtmise ajavahemikus langes maasikaõie temperatuur lehtedealuse anduri temperatuurist 5...9 K võrra madalamale ja absoluutsel temperatuuriskaalal langes õie temperatuur kuni $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ni. Samas see temperatuur ei kahjustanud mõõtmisele allutatud maasikaõie tervist. Sama koha peal mõõdeti varem lehtede all temperatuur $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mis kahjustas õisi tugevalt. Varahommikul päikesetõusu ajal hakkas esmalt tõusma õie temperatuur ja alles ligi tunni aja pärast selle tagajärjena ka temperatuur maasikalehe all.

Kokkuvõte

Selge taeva ja kiirgusele läbipaistva atmosfääri korral ehk öökülma tingimustes maailmaruumiga intensiivses soojusvahetuses oleva maasikaõie temperatuur langeb madalamale isegi vahetus naabruses, kuigi taimelehe all asuva temperatuurianduri temperatuurist.

Lehe alla paigaldatud temperatuuriandur edastab andmeid anduri enda temperatuuri kohta, mitte aga lehealuse õhu või taimeosade temperatuuri kohta. Anduri temperatuur on üsna vähe erinev lehtede all oleva õhu ja taimeosade temperatuurist, kuid ei ole nendega samasugune.

Mõõtmise ajavahemikus langes maasikaõie temperatuur lehtedealuse anduri temperatuurist 5...9 K võrra madalamale ja absoluutsel temperatuuriskaalal langes vahepeal kuni $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ni.

Mõõdetud negatiivne temperatuur ei kahjustanud mõõtmisele allutatud maasikaõie tervist. Sama koha peal mõõdeti varem lehtede all temperatuur $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, mis kahjustas õisi tugevalt.

Varahommikul päikesetõusu ajal hakkas esmalt tõusma õie temperatuur ja alles mõningase aja pärast selle tagajärjena temperatuur maasikalehe all. Kuid viimane oli siiski kogu aeg kõrgem kui maasikaõie temperatuur. See annab tunnistust asjaolust, et esialgu toimub lehealuse ruumi soojenemine maapinnast eralduva soojuse arvel.

Taimede olukorra kirjeldamiseks ei piisa ainult õhutemperatuuri väärtusest, tuleks kasutada ka taimkatte soojusvahetust kirjeldavaid parameetreid.

Kasutatud kirjandus

- Rohsenow, W. M. 1998. Handbook of Heat Transfer. Eds. W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho – 3rd ed. McGraw-Hill, 1506 pp.
- Onset, 2006a. http://www.onsetcomp.com/Products/Product_Pages/hobo_u12_loggers/U12_family_data_loggers.html, juuli 2006.
- Onset, 2006b. http://www.onsetcomp.com/Products/Product_Pages/HOBO_H08/external_sensors.html, juuli 2006.
- Tech-Jam, 2006. <http://www.tech-jam.com/items/ut-02s.phtml>, juuli 2006.