

Saulės energijos transformavimo į mechaninę energiją augalo lapo žioteliniame variklyje principas

Povilas Algimantas Sirvydas¹,

Vidmantas Kučinskas¹,

Paulius Kerpauskas¹,

Tomas Ūksas²

¹ *Integruoto mokslo, studijų ir verslo Asociacija „Slėnis Nemunas“
Universiteto g. 8a,
LT-53341 Akademija, Kauno r.
El. paštas: algimantas.sirvydas@asu.lt*

² *Aleksandro Stulginskio
universitetas, Studentų g. 11,
LT-53361 Akademija, Kauno r.
El. paštas: tomas.uksas@asu.lt*

Saulė spinduliuavimo būdu teikia Žemei šilumos energiją, kurią augalija panaudoja biomasės kūrimui. Augaluose sukurta biomasė gali išskirti energijos tik tiek, kiek biomasės gamybos procese augalija įsisavino Saulės spindulinės energijos. Gamtoje sukurto biomasės kiekis (energetikai ir maistui) tiesiogiai priklauso nuo augalijoje vykstančio asimiliacijos proceso ir augalų energinio produktyvumo. CO₂ asimiliacijos procese vyksta sudėtingi biologiniai ir fiziniai energinės apykaitos procesai. Straipsnyje pateikiama informacija, kaip augalas augimvietėje kintančius terminius veiksnius ir procesus panaudoja asimiliacijos procesui intensyvinti. Analizuojami augalo lapo žiotelinio variklio termodinaminiai procesai, lemiantys energijų virsmus. Pateikiamas Saulės energijos transformavimo į mechaninę energiją augalo lapo žioteliniame variklyje principas.

Raktažodžiai: augalo energinė apykaita, lapo žiotelinis variklis, biomasės energetika, augalo temperatūra

ĮVADAS

Šiuolaikinių technologijų amžiuje šiluma, mechaninė (dažnai susijusi su transportu) ir elektros energija, kaip ir ankščiau, gaminama naudojant pirminius energijos šaltinius. Didžioji dalis energetikoje ir transporte naudojamų pirminių energijos šaltinių yra organinės kilmės (anglis, nafta, dujos, biomasė ir kt.). Tačiau žmonijos laimėjimai naujų technologijų srityje iš esmės pakeitė mūsų planetoje gyvenimo sąlygas ir iškėlė naujus reikalavimus pačiam žmogui. Šiuo metu gamtoje vykstantys antropogeniniai pokyčiai yra žmogaus veiklos padarinys, kartu ir vienas iš didžiausių išbandymų žmonijai. Jie gamtoje vyksta visose žmogaus veiklos srityse [1–3]. Didžiausią aplinkos

antropogeninę taršą energetikoje sukelia iškastinio kuro (anglis, nafta ir kt.) deginimas. Tai visų mokslo sričių kompleksinė pasaulinio masto problema kuriant naujas žmogaus sveikatai nekenksmingas technologijas, tausojant gamtą ir jos biologinę įvairovę [4–6]. Šiuo požiūriu perspektyvus biomasės, kaip atsinaujinančio energijos šaltinio, panaudojimas [7].

Spinduliuavimo būdu Saulės teikiama šilumos energija Žemei jos paviršiuje yra nekoncentruota. Biologiniuose procesuose, tiesiogiai susijusiuose su augalija, panaudojama ši nekoncentruota energija ir sukuriamas biomasė. Nepriklausomai nuo augalo sukurto biomasės panaudojimo tikslo (maistui ar energetikai), naudojama ji gali išskirti energijos tik tiek, kiek įsisavino Saulės spindulinės

energijos biomasės gamybos procese. Todėl biomasės, kaip atsinaujinančio energijos šaltinio, panaudojimo plėtra tiesiogiai priklauso nuo augalijoje vykstančio asimiliacijos proceso, augalų energetinio produktyvumo.

Augalų absorbuotos saulės energijos išnaudojimo koeficientas organinės medžiagos kūrimui teoriškai galėtų būti apie 20–25 % [8]. Praktiškai fotosintezei tesunaudojama tik apie 1–2 % absorbuotos saulės energijos. Matomame šviesos spektre augalai absorbuoja 80–85 %, apie 10 % atspindi, apie 5–10 % praleidžia pro lapus [9]. Minimumo (limituojančio veiksnio) dėsnis teigia, kad gyvybinius procesus augalų pasaulyje, iš jų ir derlių, esant kitoms vienodoms sąlygoms apsprendžia veiksnys, esantis minimume. Vertinant augalo asimiliacinio aparato energetinius pajėgumus ir darančius įtaką veiksnius, būtina žinoti augalo energinę apykaitą su aplinka.

Termodinaminiu požiūriu augalas prastas spinduliuavimo būdu teikiamos Saulės šilumos energijos vartotojas organinių junginių sintezei (labai mažai panaudoja). Kitu požiūriu augalo lapas yra unikali, pigi ir labai sudėtinga laboratorija. Augalas sugeba panaudoti nekoncentruotą Saulės spindulinę energiją, sukurti organinę medžiagą, sunaudoti didžiąją dalį į aplinką išmetamų technologinių teršalų, tiekti deguonį aplinkai, sukurti Žemėje sąlygas gyvybei. Žemės rutulio augalija per metus asimiluoja apie 640 mlrd. tonų anglies dioksido ir išskiria apie 500 mlrd. tonų laisvo deguonies, taip mažina teršalų kiekį aplinkoje [8], transpiruoja apie 65 200 km³ vandens [6, 10].

Didžioji absorbuotos saulės energijos dalis (96–98 %) augalo lape virsta šilumos pavidalo energija. Saulės energija, augalo lapuose virtusi šiluma, turi būti atiduota aplinkai arba kaupiama augalo audiniuose didinant jų temperatūrą. Gyvų augalo audinių maksimali temperatūra ribojama. Augalų audinius staigiai įkaitinus daugiau kaip 58 °C, ląstelėse koaguluoja baltymai, suyra ląstelių membranos ir audinius ištinka letali baigtis [11–13]. Ploni augalo lapų audiniai dėl mažos jų masės ir biologiškai ribojamos maksimalios temperatūros ne visuomet gali kaupti išskirtą šilumą. Todėl saulės energija, augalo lapuose virtusi šiluma, turi būti atiduota aplinkai kaip metabolitas. Augalų atiduota aplinkai menkavertė, žemo potencialo šiluminė energija, toliau dalyvauja vandens ir oro apytakos cikliuose, formuoja Žemėje klimatinės sąlygas.

Nė vienas procesas, vykstantis gyvojoje ir negyvojoje gamtoje, negali vykti be judėjimo. Augalo lape (asimiliacijos procesas) CO₂ ir metabolitų judėjimas tarp augalo lapo ir aplinkos galimas tik veikiant varomajai jėgai. Bet kuri energijos forma niekad nepraranda gebėjimo virsti kitomis energijos formomis. Dėsninga, kad visos energijos formos galiausiai virsta pačia paprasčiausia energijos forma – šiluma. Šilumos transformavimas į mechaninį darbą šiluminiuose varikliuose yra cikliškas vystant ati-

tinkamiems termodinaminiam procesams [14–16]. Technikoje žemo potencialo (žemos temperatūros) šilumos energijos transformavimas į kitas energijos formas (be kompensavimo) praktiškai negalimas.

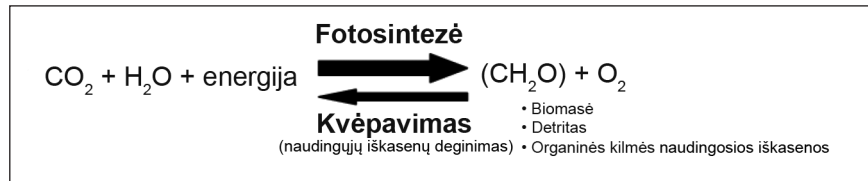
Augalas per ilgą savo vystymosi kelią maksimaliai prisitaikė prie augimvietės gamtinių sąlygų. Skirtingos biologinės paskirties augalo organai anatominė struktūra maksimaliai prisitaikė prie juose vykstančių biologinių ir aplinkos fizinių veiksnių, leidžiančių augalo gyvybinėms funkcijoms panaudoti visas galimas varomąsias jėgas. Augalas panaudoja vėjo ir gravitacines jėgas, kurias aplink augalą sukuria temperatūros, drėgmės, dujų koncentracijos gradientai. Augalo lapo žiotelių darinyje gali vykti šilumos apykaitos procesai, kai žemo potencialo šilumos energija transformuojama į mechaninę. Ji sukuria varomąją jėgą intensyvinant augalo lape gyvybinius procesus, būtinus asimiliacijos procesui saulėtu paros metu [5].

Technikoje, sukūrus energijos transformavimo kanalų, buvo pagamintos turbinos, reaktyviniai ir raketiniai varikliai. Gamta per ilgą vystymosi laikotarpį, vykdydama ir intensyvindama gyvybines funkcijas, labai seniai naudoja analogiškais energijos transformacijos kanalais [5, 8, 17].

Šio straipsnio tikslas – pateikti saulės energijos transformavimo į mechaninę energiją augalo lapo žioteliniame variklyje (šiluminio variklio biologinis prototipas) ciklą ir veikimo principą.

AUGALAS, JO SANDARA IR APYKAITA SU APLINKA

Tyrimo objektas yra terminiai-termodinaminiai procesai, vykstantys augalo lape CO₂ asimiliacijos proceso metu. Augale vykstantys fiziniai medžiagų ir energijos apykaitos procesai yra tiesiogiai susieti su augalo gyvybiniais procesais. Pagrindinis skirtumas tarp gyvūnų ir augalų – pastarųjų gebėjimas gaminti savo maistą (cukrus, krakmolą, angliavandenius ir baltymus), t. y. vykdyti fotosintezę. Augalams būtina, kad augalo energijos-masės apykaitą lemiantys fiziniai procesai saulėtu paros metu tenkintų asimiliacijos, o tamsiuoju paros metu – bioenerginis poreikis palaikant augalo gyvybinius procesus [18]. Procesų, vykstančių apykaitos sistemoje augalo lapas ↔ aplinka, analizę galima atlikti tik išsiaiškinus augalo lapo sandarą ir jame vykstančius procesus (fizikinius ir biologinius). Atliekant literatūros analizę akivaizdžiai pastebima, kad augalo lape vykstantys fiziniai procesai yra nepakankamai išnagrinėti [8, 19–22]. Principinė augalo energinės ir medžiagų apykaitos schema pateikta 1 pav. Ji parodo augalo energinės apykaitos su aplinka būtinumą transformuojant aplinkos dioksidą į organinius junginius ir teikiamą aplinkai deguonį.



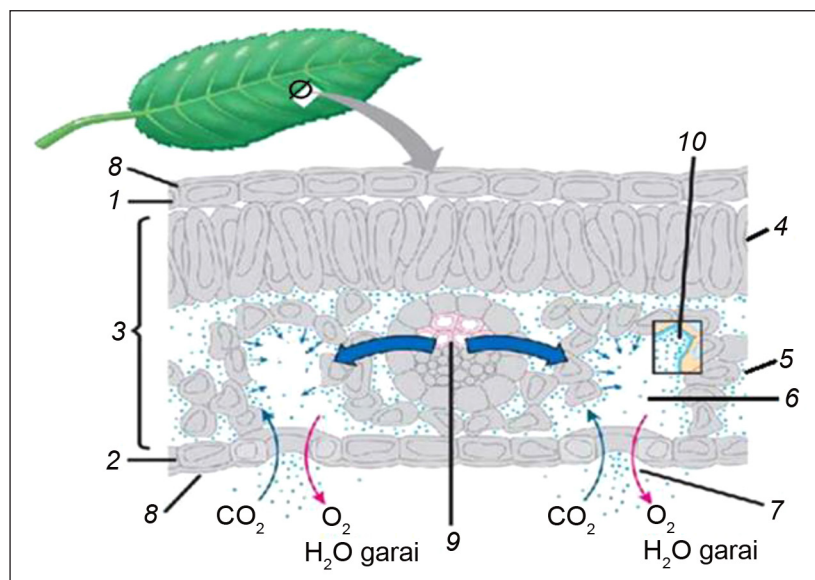
1 pav. Augalo energinės, medžiagų apykaitos bei poveikio aplinkai schema

Nagrinėjant augalo lapo pjūvio struktūrą matome, kad jį iš viršaus ir apačios dengia viršutinis 1 ir apatinis 2 epidermis (2 pav.). Šviesinių ir paunksminių (plonesni) lapų storis skiriasi (pav., bukų (*Fagus sylvatica*) lapų storis 210–90 μm). Pagrindinis lapo audinys, esantis tarp epidermio sluoksnelių, yra mezofilis 3, vykdamas asimiliacijos procesą. Mezofilis sudarytas iš dviejų sluoksnių: statinio 4 ir puriojo 5 audinio. Statinis audinys (statinė parenchima) yra geriausiai prisitaikęs fotosintezei vykdyti audinys. Daugiau kaip 80 % lape esančių chloroplastų (vykdančių asimiliacijos procesą) susitelkę statiniame audinyje, viršutiniame mezofilio sluoksnyje [23]. Šio sluoksniu sudaro tik apie 30 % lapo storio.

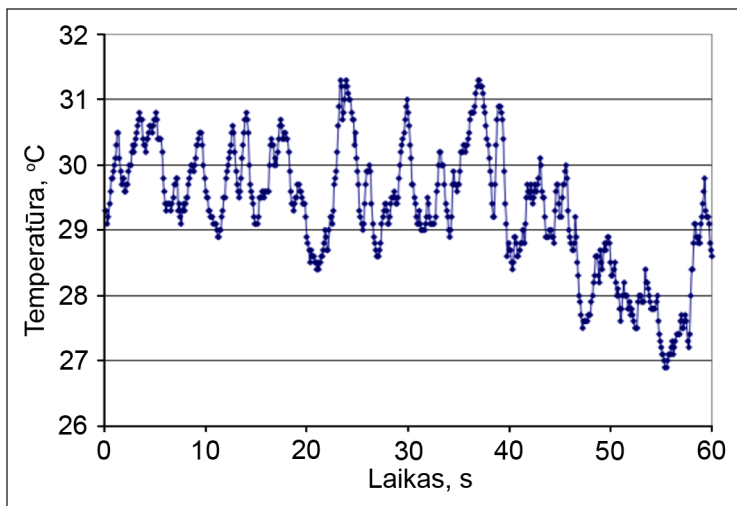
Tarp puriosios parenchimos ląstelių susidaro dideli tarpuląščiai, kurie suformuoja lapo dujinės apykaitos sistemą iš žiotelių 7 (2 pav.), mini-, makro- ir nanokanalų. Tarpuląščiai sudaro didelį mezofilio ląstelių paviršiaus plotą, kuriuo jos betarpiškai liečiasi su dujinės apykaitos sistemoje cirkuliuojančiu oru. Tas paviršius yra vadinamas vidiniu lapo paviršiumi. Išorinio ir vidinio lapo paviršiaus santykis įvairių ekologinių grupių augalų yra nevienodas. Yra žinoma, kad paunksminių (ūksminių) augalų vidinio lapo paviršiaus plotas yra 6,8–9,9 karto, mezofitų – 11,0–20,0, o gerai apšviestų

lapų – 17,2–31,3 karto didesnis už jų išorinį paviršių. Mezofilio ląstelės, turėdamos didelį sąlyčio plotą su oru, gali absorbuoti iš jo anglies dioksidą. Kadangi lapą iš abiejų pusių dengia epidermis su kutikula, kuri beveik nepraleidžia nei vandens garų, nei dujų, oras, o kartu ir anglies dioksidas, į lapo vidų patenka pro žioteles [3, 8, 23].

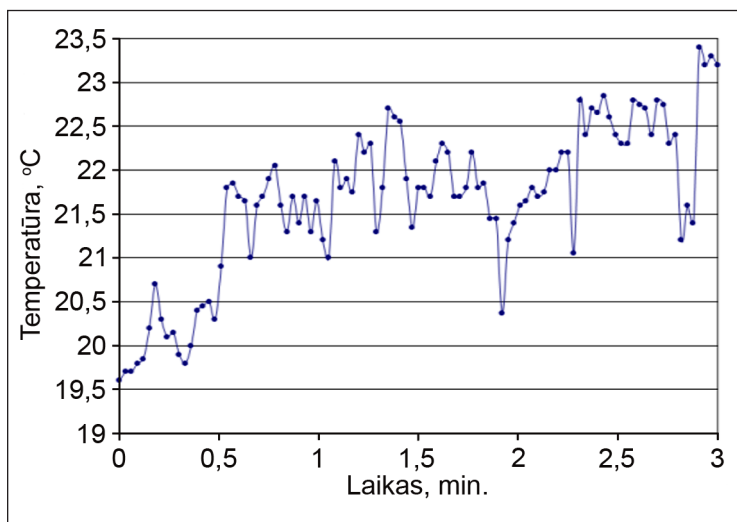
Žiotelių yra labai daug: lapo 1 mm² jų būna nuo 23 iki 400 vnt. Jos yra labai mažos. Skirtingų augalų lapuose žiotelės plyšio plotas kinta nuo 0,17 iki 239 μm², o bendras jų angelių plotas sudaro 0,52–5,28 % lapo paviršiaus. Vis dėlto apie 90–95 % CO₂ į lapą patenka kaip tik pro žioteles, o pro epidermį ir kutikulą difunduoja vos 5–10 % [3, 8, 23]. Nagrinėjant augalo lapo puriojo mezofilio anatominę struktūrą, literatūroje pateikiamos vandens garų judėjimo ir anglies dioksido patekimo į augalo lapą per žioteles schemas skiriasi [8, 19–22]. Tačiau aišku, kad pro atdaras augalo lapo žioteles su aplinkos oru į purųjį lapo audinį patenka CO₂, pro jas į aplinką pašalinami augalo metabolitai (O₂ ir vandens garai). Dažnai pateikiama, kad kiekviena žiotelė aptarnauja savąją dujinės apykaitos sistemą. Mūsų manymu, tiksliausiai ir išsamiausiai apibūdinta lapo dujinės apykaitos sistema, susijusi su lapo anatominė sandara, pateikta 2 pav.



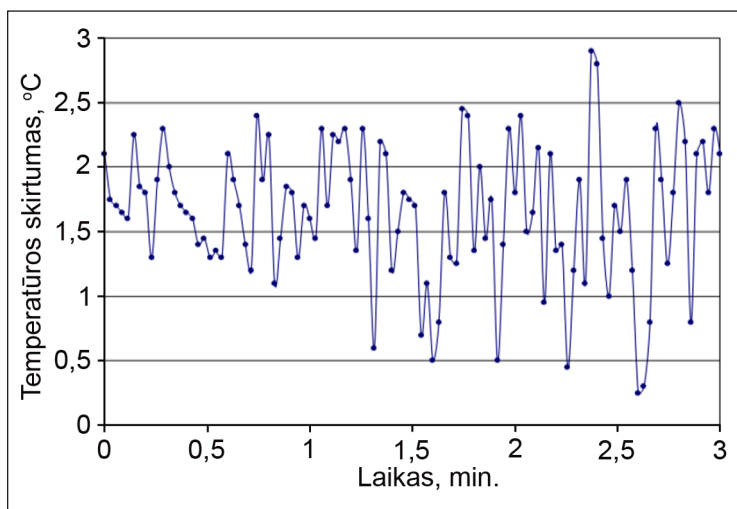
2 pav. Augalo lapo anatominė sandara ir dujinės apykaitos (CO₂, O₂, H₂O garai) su aplinka schema [24]: 1 – viršutinis epidermis; 2 – apatinis epidermis; 3 – mezofilis; 4 – statinis audinys; 5 – purusis audinys; 6 – tarpuląstis su kanalėlių sistema; 7 – žiotelės plyšys; 8 – kutikula; 9 – vandens indų kūlelis; 10 – išryškintas garuojantis paviršius



3 pav. Augalų supančio oro temperatūros svyravimai saulėtu paros metu natūraliomis aplinkos sąlygomis. Vėjo greitis $v_{\text{vid.}} = 1,1$ m/s



4 pav. Augalo lapo temperatūros svyravimai saulėtu paros metu natūraliomis aplinkos sąlygomis. Vėjo greitis $v_{\text{vid.}} = 5,3$ m/s



5 pav. Augalo lapo ir aplinkos temperatūros skirtumo svyravimai saulėtu paros metu natūraliomis aplinkos sąlygomis. Vėjo greitis $v_{\text{vid.}} = 5,8$ m/s

Augalo lapo anatominė sandara su mini-, makro- ir nanokanalais bei juose vykstančiais fiziologiniais procesais yra aktuali visoms gyvosios gamtos ir technologijų mokslo sritims [5, 8, 25]. Augalo lape vykstantys procesai yra lydimi energijos ir masės apykaitos dujiniame būvyje (CO_2 , O_2 , H_2O garai). Jie yra sudėtingesni nei technikoje tiriami pavieniai fiziniai procesai mini-, makro- ir nanokanaluose. Tiriant procesus mini-, makro- ir nanokanaluose, didžiausias dėmesys koncentruojamas į energiją pernešančių fluidų savybes [26], jų greičius kanaluose [27], priklausomybę nuo kanalų parametrų [25], šilumos mainus [28–30]. Šios krypties tyrimai ypač aktualūs naujos kartos, kompaktiškos, didelės galios elektronikai [25]. Tikslinga atkreipti dėmesį, kad augalo lapo temperatūros reguliavimo sistema gali būti teorinė prielaida efektyviai mikroschemų aušinimo sistemai sukurti. Pastaruoju metu mažai nagrinėjami terminiai-termodinaminiai procesai, vykstantys augalo lapo kanaluose – ertmėse, ir galimybės juose šilumą transformuoti į mechaninę energiją [5, 31].

Augalo lapo anatominės sandaros ir dujinės apykaitos (CO_2 , O_2 , H_2O garai) su aplinka analizė leidžia teigti, kad augalo lapo paviršiuje tarp lapo ir aplinkos vyksta sudėtingi termohidromechaniniai procesai. Lapą supančio oro sluoksnyje iš aplinkos augalo lapo paviršiaus kryptimi juda CO_2 dujų masė. Tame pačiame augalo lapo paviršiniame oro sluoksnyje, tik priešinga kryptimi, vyksta šilumos, H_2O garų ir O_2 judėjimas. Taigi tuo pačiu metu augalo lapo paviršiuje susidaro du labai sudėtingi, priešingos krypties srautai.

Ekspirimentiniai tyrimai prisilaikant temperatūros matavimo augaluose ir jų aplinkoje metodikos [32, 33] rodo, kad saulėtu paros metu oro, esančio aplink augalus, temperatūra augimvietėje yra kintanti (3 pav.). Stebimi augalo lapo temperatūros (4 pav.) ir temperatūros skirtumo (5 pav.) svyravimai saulėtu paros metu natūraliomis aplinkos sąlygomis. Esame nustatę, kad augalo lape ir aplinkoje temperatūros kitimus sąlygoja daugelis energinės apykaitos ir aplinkoje vykstančių procesų, aprašytų publikacijose [34–36].

Augalo lape vykstantys biologiniai procesai priklauso nuo augalo audinių temperatūros. Kaip matome iš tyrimo duomenų, augalo lapo ir jį supančio oro temperatūra saulėtu paros metu yra nuolat kintanti. Augalija per ilgą vystymosi

periodą maksimaliai prisitaikė prie aplinkos veiksnių, panaudodama juos savo gyvybinėms funkcijoms. Tikslinga aiškintis augalo lapo ir aplinkos temperatūros kitimo poveikį (kaip terminį veiksni) asimiliacijos procesui, kuris lemia gyvybės egzistenciją Žemėje.

KINTANČIOS ENERGIJOS APYKAITOS AUGALO LAPE ANALIZĖ

Lokali augalo lapo temperatūra yra augalo lapo energijų balanso pasekmė [36]. Saulėtu paros metu, nestacionarių energinės apykaitos procesų atveju, augalo lapo energijų balanso lygtį galime užrašyti taip:

$$\pm Q_{ak.} \pm Q_{sp.} \pm Q_{konv.} = 0. \quad (1)$$

Bendru atveju saulėtu paros metu augalo lapas gaus pulsuojančią spindulinės energijos srautą $Q_{sp.}$ ir pulsuojančią konvekcinį šilumos srautą $Q_{konv.}$. Pulsuojantys $Q_{sp.}$ ir $Q_{konv.}$ sukels akumuliuojamo šilumos srauto augalo lape $Q_{ak.}$ pulsacijas. Pulsuojantis šilumos akumuliacijos procesas sukels augalo lapo audiniuose temperatūros pulsacijas dydžiu Δt . Lapo temperatūros kitimas dydžiu Δt išreikš energijos trūkumą (arba perteklių), kurį lygtyje padengia šiluma, akumuliuota augalo lapo audiniuose. Kintanti augalo lapo temperatūra jo dujinėse ertmėse, mini-, makro- ir nanokanaluose sukels atitinkamus termodinaminius procesus. Termodinaminiai procesai augalo lape gali dalyvauti šilumos virsme į mechaninę energiją, jei bus patenkinti šie antrojo termodinamikos dėsnio reikalavimai:

1. Šilumos virsmo mechaniniu darbu procesui būtinas periodiškai kintantis procesų pobūdis. Ši sąlyga saulėtu paros metu kintant augalo lapo temperatūrai yra tenkinama. Kaip matėme iš anksčiau pateiktų tyrimo duomenų, augalo lapo ir jį supančio oro temperatūra saulėtu paros metu yra nuolat kintanti. Kintant augalo lapo audinių temperatūrai lapo dujinėse ertmėse vyksta temperatūros ir slėgio svyravimai.

2. Šilumos virsme į mechaninę turi dalyvauti du skirtingų temperatūrų šilumos šaltiniai. Ši sąlyga saulėtu paros metu augalo lape (vykstant intensyvią asimiliacijos procesui) yra įvykdyta. Augalo lapo aplinkoje yra aukštos temperatūros šaltinis, teikiantis augalo lapui spindulinę energiją – Saulė. Augalo lape 98 % sugertos Saulės spindulinės energijos virsta šiluma [7–9]. Augalo lapo temperatūra padidėja, tampa aukštesnė už augalo apsupties temperatūrą. Saulės spindulinė energija, absorbuojama augalo audiniuose, ir juos supantis aplinkos oras yra du skirtingų temperatūrų šilumos šaltiniai, dalyvaujantys augalo lapo energijos apykaitoje.

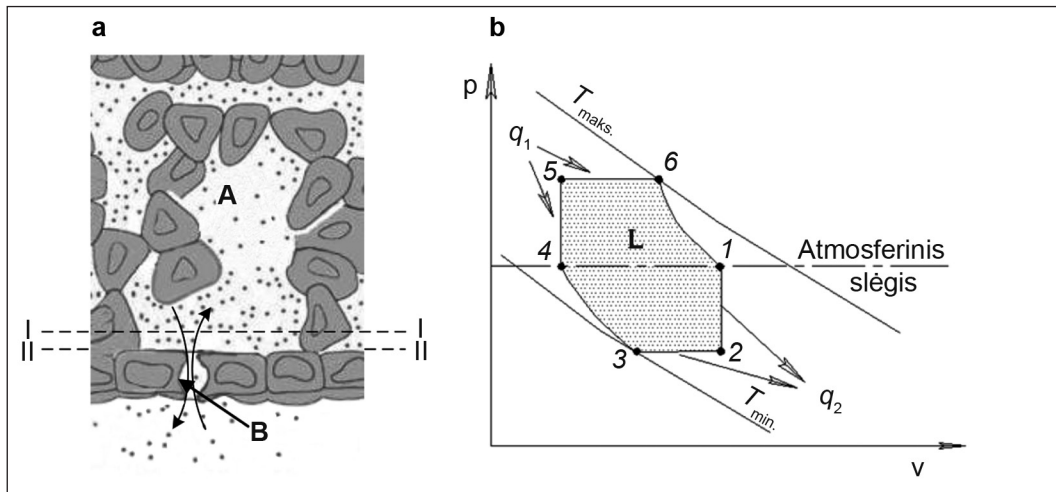
Mažėjant augalo lapo temperatūrai vyksta šilumos išskyrimo į aplinką procesas. Šio proceso metu lapo ertmėse mažėja dujų tūris. Tai sąlygoja aplinkos oro priverstinį

įsiurbimą. Didėjant augalo lapo temperatūrai vyksta šilumos teikimo lapui procesas. Šio proceso metu didėja temperatūra ir slėgis augalo lapo dujinėse ertmėse. Vyksta dujų plėtimosi procesas. Pro lapo žioteles į aplinką išmetama dalis dujų, esančių augalo lapo ertmėse. Kartojantis augalo lapo temperatūros kitimams, procesai kartojasi, gaunamas ciklas. Termodinamiškai – augalo lape kintant jo temperatūrai galimas energijų virsmas. Tai reiškia, kad augalo lape egzistuoja šiluminio variklio biologinis prototipas, kuris šilumos sąskaita sukuria mechaninę energiją dujų judėjimui pro žioteles ir pasienio sluoksnių (šilumos ir masės apykaitos) lapo paviršiuje ardymui. Jis dirba saulėtu paros metu. Augalo lape sukurta mechaninė energija panaudojama asimiliacijos proceso intensyvinimui aktyvinant dujinę apykaitą su aplinka.

Kai kalbama apie šilumos energijos pavertimą mechanine energija, paprastai suprantama, kad tam reikalingas atitinkamos konstrukcijos mechaninis variklis. Tačiau yra variklių, kuriuose mechaninę energiją sukuria dujų srautas. Slėgio potencinė energija verčiama kinetine, o ši – mechaniniu darbu. Toks potencinės energijos virsmas kinetine energija technikoje vyksta specialiuose (Lavalio) kanaluose. Augalo lapo ertmių, kanalėlių ir žiotelių derinys artimas raketos (reaktyvinio) variklio konstrukcijai ir veikimo principui.

Energijų virsmai augalo lape galimi tik saulėtu paros metu esant lapo temperatūros pulsacijoms, t. y. tada, kai vyksta intensyvus CO_2 asimiliacijos procesas. Augalo lape šilumos virsmo mechanine energija termodinaminius procesus tiksliai apibūdinti ir sudaryti termodinaminį ciklą yra problemiška, nes augalo lapas yra gyvas augalo organas, kuriame vienu metu vyksta sudėtingi biologiniai ir fiziniai procesai. Aplinka ir biologiniai (asimiliacijos) procesai augalo lape, jų intensyvumas veikia fizinių procesų vyksmą lapo ertmėse, kanalėliuose, žiotelėse, pasireiškia biologinis žiotelių plyšio varstymo mechanizmams. Todėl aiškinantis fizinius procesus, vykstančius lapo dujinėse ertmėse, tenka juos idealizuoti, schematizuoti, kaip dažnai daroma termodinamikoje. Tikslinga nagrinėti augalo lapo dujinių ertmių, kanalų ir žiotelių sistemoje vykstančius termodinaminius procesus ir veikimo principą. Pateikiame augalo lapo ertmių ir kanalų schemą (6 pav.).

Termodinamiškai nagrinėjant ciklus yra laikoma, kad cikle dalyvauja vienoda, šiuo atveju – absoliučiai sauso oro masė augalo lapo dujinėse ertmėse. Lapo ertmėse vykstančių termodinaminių procesų analizei naudojama tariama membrana, kuri augalo lape tiriamą dujų ertmės tūrį padalina į dvi dalis. A ertmėje, vykstant termodinaminiam procesams, oro masė išlieka pastovi. Jos tūris gali kisti priklausomai nuo slėgio ir temperatūros. B ertmė žiotelės kanalu susisiekiama su aplinkos oru. Keičiantis A tūriui, aplinkos oras per lapo žiotelę patenka į B ertmę arba yra iš šūstumiamas į aplinką (6a pav.). Pastovios



6 pav. a – augalo lapo dujinės ertmės, (mini-, makro- ir nano-) kanalų ir žiotelių sistema; **b** – termodinaminis ciklas $p-v$ (p – slėgis, v – tūris) koordinačių sistemoje. A – ertmė augalo lape; B – augalo lapą supanti aplinka; I–I, II–II – kraštinės tariamos membranos padėties; L – ciklo plotas; 1, 2, 3, 4, 5, 6 – būdingi termodinaminio būsenų taškai, apibūdinantys augalo lapo ertmių parametrus (paaiškinimas tekste)

energijos apykaitos atveju, esant maksimaliai augalo lapo temperatūrai, A ertmėje (6a pav.) bus maksimalus oro tūris, o B ertmėje – minimalus (ertmė B = 0). Šiuo momentu slėgis lapo ertmėje lygus aplinkos oro slėgiui, tariamoji membrana bus II–II padėtyje. Oro, esančio A ertmėje, termodinaminę būklę $p-v$ (slėgis–tūris) koordinačių sistemoje vaizduoja 1 taškas (6b pav.). A ertmės tūris 1 taške maksimalus, slėgis p lygus atmosferos slėgiui.

Mažėjant augalo lapo temperatūrai A ertmėje krinta slėgis, susidaro vakuumas. Slėgis B aplinkoje tampa didesnis nei augalo lapo A ertmės sistemoje. Susidarius slėgių skirtumui, aplinkos oras pro žiotelę patenka į augalo lapo ertmę stumdama tariamąją membraną iš II–II padėties į I–I padėtį. Aplinkos orui patenkant į lapo vidų, vakuumas A ertmėje nepasiekia maksimalios reikšmės, bet palaikomas tam tikrame $p_2 = const$ lygyje, kuris priklauso nuo lapo ertmės sistemos dydžio ir lapo žiotelių kanalo hidraulinio pasipriešinimo. Priklausomai nuo vykstančių biologinių procesų, augalo lapas žiotelių kanalo matmenis gali keisti (šiuo požiūriu biologiniai kanalai yra tobulesni už naudojamus technikoje nekintančius energijos transformavimo kanalus). Todėl mažėjant temperatūrai A ertmėje (vykstant aušinimo procesui), slėgių skirtumas tarp A ertmės ir aplinkos išlieka pastovus ($p_1 - p_2 = const$), A ertmės tūris mažėja. A ertmėje pasiekus minimalią temperatūrą (3 taškas), didesnio aplinkos slėgio dėka A ertmėje toliau vyksta suspaudimo procesas augalo lapo ertmėje. Tai politropinis suspaudimo procesas. Jis vyksta tol, kol slėgis A ertmėje susilygina su slėgiu aplinkoje (4 taškas).

Politropinio spaudimo (3–4 procesas) pabaigoje 4 taške augalo lapo dujų A ertmės tūris pasiekia ribinę minimalią reikšmę. Tariamoji membrana pasiekia kraštinę minimalaus tūrio I–I padėtį.

Didėjant augalo lapo temperatūrai (absorbuojant saulės energiją), slėgis augalo lapo A ertmėje didėja, 5 taške pasiekia maksimalią reikšmę. Toliau didėjant temperatūrai A ertmėje, slėgių skirtumas tarp A ertmės ir aplinkos išlieka pastovus, $p_5 - p_4 = const$. A ertmės tūris didėja stumdama menamą membraną link II–II padėties. Pasiekus maksimalią temperatūrą (6 taškas), toliau didesnio slėgio dėka augalo lapo dujinėse A ertmėse mažėjant slėgiui vyksta politropinis plėtimosi procesas, kol slėgiai susilygina 1 taške. Politropinio (6–1 procesas) plėtimosi pabaigoje 1 taške lapo ertmės tūris pasiekia maksimalią reikšmę. Tariamoji membrana pasiekia kraštinę maksimalaus tūrio II–II padėtį.

Ciklas įvykdytas, grįžtama į pradinę padėtį. Nauja augalo lapo temperatūros kitimo banga pakartos aptartą ciklą dujinėje augalo lapo sistemoje.

Augalo lapo dujinėse ertmėse vykstantys procesai schematizuoti. Tai palengvina nagrinėjimą siekiant įrodyti, kad augalo lapo dujinių ertmių sistemoje saulėtu paros metu egzistuoja mini-, mikrodydžių šiluminis variklis, gaminantis mechaninę energiją. Realūs procesai, vykstantys šio ciklo metu, nukrypsta nuo aptartų teorinių procesų, tačiau faktas, kad toks variklis augalo lape egzistuoja, paaiškintas. Pasinaudojant termodinamikos dėsniais galima teigti, kad mechaninį darbą L, kurį atlieka augalo lape dujų apykaitos ertmėse saulėtu paros metu vykstantys procesai, $p-v$ (slėgis–tūris) koordinačių sistemoje atspindi ciklo 1–2–3–4–5–6–1 plotas (6b pav.).

Šiame straipsnyje pateiktas paties mažiausio pasaulyje šiluminio variklio termodinaminis nagrinėjimas, kuris saulėtu paros metu veikia gyvame augalo lape. 1 mm² jų yra tiek, kiek yra žiotelių augalo lapo dujų apykaitos sistemoje (iki 400 vnt.).

IŠVADOS

1. Augalo lapo ir jį supančio oro temperatūra saulėtu paros metu yra nuolat kintanti.

2. Kintanti augalo lapo temperatūra lapo dujinėse ertmėse (mini-, makro- ir nanokanaluose) sukelia atitinkamus termodinaminius procesus, kurie dalyvauja šilumos į mechaninę energiją transformacijos procese.

3. Saulėtu paros metu augalo lape dirba šiluminis žiotelinis variklis (šiluminio variklio biologinis prototipas), kuris šilumos sąskaita sukuria mechaninę energiją.

4. Augalo lape sukurta mechaninė energija panaudojama asimiliacijos proceso intensyvinimui aktyvinant energinį ir dujinę lapo apykaitą su aplinka.

Gauta 2013 11 20
Priimta 2014 02 28

Literatūra

- Baltrėnas P., Butkus D., Oškiniš V., Vasarevičius S., Zigmontienė A. *Aplinkos apsauga*. Vilnius, 2008. 576 p.
- Stravinskienė V. *Aplinkos bioindikacija*. Kaunas, 2009. 332 p.
- Nobel P. S. *Physiological and Environmental Plant Physiology*. Academic Press, 1991. 635 p.
- Martin J., Henrichs T. *The European Environment*. European Environment Agency, 2010. 222 p.
- Sirvydas A., Kerpauskas P., Kučinskas V. *Augalų energinė apykaita*. Kaunas: Lietuvos žemės ūkio universitetas. Akademija, 2011. 224 p.
- Brazauskienė D. M. *Agroekologija ir chemija*. Kaunas, 2004. 207 p.
- Dzenajavičienė E., Pedišius N., Škėma R. *Darni bioenergetika*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas. 2011. 136 p.
- Šlapakauskas V. *Augalų ekofiziologija*. Kaunas: Lututė. 2006. 413 p.
- Fitte A., Hay R. *Environmental Physiology of Plants*. Academic Press, 2002. 367 p.
- Ozolinčius R. *Aplinkos išteklių*. Kaunas: VDU, 2005. 212 p.
- Stašauskaitė S. *Augalų vystymosi fiziologija*. Vilnius, 1995. 226 p.
- Ellwagner T. C., Bingham S. W., Chapell W. E., Tolin S. A. Cytological effects of ultra-high temperatures on Corn. *Weed Science*. 1973. Vol. 21(4). P. 299–303.
- Levitt J. *Response of Plants to Environmental Stresses*. Vol. 2. New York: Academic Press, 1980. 607 p.
- Draganov B. X. *Teplotehnika*. Moskva: Energoatomizdat. 2006. 432 p.
- Heywood J. *Internal Combustion Engine Fundamentals*. McGraw Hill Science, 1988. 930 p.
- Stone R. *Introduction to Internal Combustion Engines*. SAE International, 1999. 641 p.
- Aleksyna N. D. *Fyzyologiya rasteniya*. Moskva: Akademiya. 2007. 634 s.
- Sirvydas A., Kerpauskas P. Energinių procesų agrofito aplinkoje aspektai. *Energetika*. 2006. Nr. 4. P. 9–15.
- Mott K. A., Buckley T. N. Patchy stomatal conductance: emergent collective behaviour of stomata. *Trends in Plant Science*. 2000. Vol. 5(6). P. 258–262.
- Gas Exchange in Plants*. <http://www.cartage.org.lb/en/themes/sciences/botanicalsciences/photosynthesis/GasExchange/GasExchange.htm>
- Colorado State University. CMG Garden Notes*. <http://www.ext.colostate.edu/mg/Gardennotes/144.html>
- New AP Biology Curriculum Units 2013*. <http://supercoolandawesome.blogspot.com/2013/05/gas-exchange-in-aquatic-and-terrestrial.html>
- Dagys J., Bluzmanas P., Borusas V., Šlapakauskas V. *Augalų fiziologija*. Vilnius, 1974. 389 p.
- Water Movement*. http://www.bio.miami.edu/dana/226/226F09_10
- Sajith V., Haridas D., Sobhan C. B., Reddy G. R. C. Convective heat transfer studies in macro and mini channels. *International Journal of Thermal Sciences*. 2011. Vol. 50(3). P. 239–249.
- Ide H., Kariyasaki A., Fukano T. Fundamental data on the gas-liquid two-phase flow in mini-channels. *International Journal of Thermal Sciences*. 2007. Vol. 46(1). P. 519–530.
- Sobhan C. B., Garimella S. V. Transport in microchannels – a critical review. *Annual Review of Heat Transfer*. 2003. Vol. 13. P. 1–50.
- Sobhan C. B., Garimella S. V. Comparative analysis of studies on heat transfer and fluid flow in microchannels. *Microscale Thermophysical Engineering*. 2001. Vol. 5. P. 293–311.
- Boye H., Staate Y., Schmidt J. Experimental investigation and modeling of heat transfer during convective boiling in a mini-channel. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2006. Vol. 35. P. 1237–1248.
- Miliauskas G., Šinkūnas S. Interaction of the transient heat and mass transfer processes through evaporation of sprayed liquid droplets. *Heat Transfer Research*. 2009. Vol. 40(5). P. 473–483.
- Sirvydas A., Nadzeikienė J., Kerpauskas P., Ūskas T. The principle of heat conversion into mechanical work. *Mechanika*. 2013. Vol. 19(3). P. 358–362.
- Sirvydas A., Juška V. Izmerenie temperaturi rastenii v mikroklimatecheskikh i fiziologicheskikh issledovaniyakh. Lit. *NII les-novo khoz-va*. Kaunas, 1973. 34 s.
- Sirvydas A., Kerpauskas P., Nadzeikienė J., Stepanas A., Tereščiuik V. S. Temperature measurements in research of thermal weed extermination. *Proceedings of the*

International Conference on Development of Agricultural Technologies and Technical Means in Ecological and Energetic Aspects. Raudondvaris, Lithuania, 2006. No. 11. P. 321–331.

34. Sirvydas A., Kučinskas V., Kerpauskas P., Nadzeikienė J., Kusta A. Solar radiation energy pulsations in a plant leaf. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2010. No. 18(3). P. 188–195.
35. Sirvydas A., Kučinskas V., Kerpauskas P., Nadzeikienė J. Theoretical modeling of temperature pulsations in plant leaf which are caused by leaf swing with respect to the sun. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2011. Vol. 19(3). P. 251–259.
36. Sirvydas A., Kučinskas V. Augalų energinės apykaitos balansas ir jo vertinimas. *Energetika*. 2013. Nr. 1. P. 42–49.

Povilas Algimantas Sirvydas, Vidmantas Kučinskas,
Paulius Kerpauskas, Tomas Ūksas

THE PRINCIPLE OF TRANSFORMING THE SOLAR ENERGY INTO MECHANICAL ENERGY IN THE PLANT LEAF STOMATA ENGINE

Summary

Sun provides energy to the Earth in the form of rays, which plants use for biomass development. Biomass developed by plants can emit energy to the extent that plants absorb solar radiation energy in the biomass production process. Therefore biomass production (for energy and food purposes) depends on the ongoing process of assimilation in the plant and plant energy productivity. In the CO₂ assimilation process complex biological and physical processes of energy metabolism are going on. Plant energy exchange with the environment is an inevitable and important part of the nature creative-recoverable system. The article presents information on how the plant uses changing thermal factors and processes in the production area for intensifying the assimilation process. It was found that in the daylight the thermal plant leaf stomata engine (a biological prototype of heat engine) is working in the plant leaf, which generates mechanical energy at the expense of heat. Mechanical energy developed in the plant leaf is used to intensify the process of assimilation, by activation of energetic and gaseous leaf metabolism in the environment. Leaf stomata engine thermodynamic processes involved in energy transformations are analyzed. The principle of the solar energy conversion into mechanical energy in the plant leaf stomata engine and the thermodynamic cycle are presented.

Key words: plant energy exchange, engine of the leaf stomata, biomass energetics, temperature changes

Повилас Альгимантас Сирвидас, Видмантас Кучинскас,
Паулюс Керпаускас, Томас Уксас

ПРИНЦИП ТРАНСФОРМАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКУЮ ЭНЕРГИЮ В УСТЬИЧНОМ ДВИГАТЕЛЕ ЛИСТА РАСТЕНИЯ

Резюме

Солнце путем теплообмена излучением обеспечивает Землю энергией, часть которой растительность использует для развития биомассы. Биомасса растения может выделить энергии только в той степени, сколько растительность использовала энергии солнечного излучения для развития биомассы. Процессы ассимиляции CO₂ происходят сложные биологические и физические процессы энергетического обмена. В статье приводятся сведения о том, как растения используют термические факторы и процессы в окружающей среде для активизации процесса ассимиляции. Анализируются термодинамические процессы и цикл устьичного двигателя листа растения. Анализируются принцип трансформации солнечной энергии в механическую энергию в устьичном двигателе листа растения.

Ключевые слова: устьичный двигатель листа растения, энергетический обмен растений, энергетика биомассы, колебания температуры