

KARTULI PRODUKTSIOONIPROTSSESI MUDEL POMOD

J. Kadaja

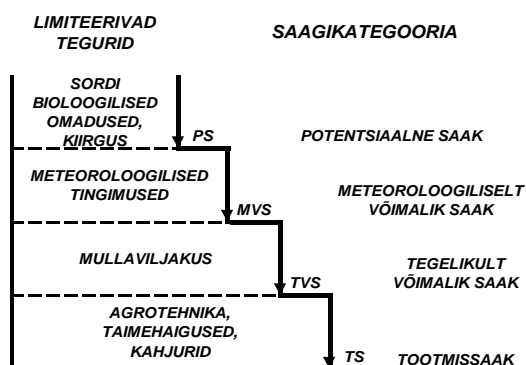
Üheks oluliseks abivahendiks keerukate ja aeganõudvate protsesside käitumise uurimisel ja prognoosimisel on tänapäeva teaduses kujunenud matemaatilised mudelid. Mudelid on küll tegeliku süsteemi lihtsustused, kuid võimaldavad lühikese ajaga läbi mängida palju erinevaid versioone väga erinevates tingimustes, milles saadud tulemuste tõesust on võimalik kontrollida sihipäraselt püstitatud katsetega.

Põllukultuuride saagi arvutamiseks loodud matemaatilisi mudeleid võib üldjoontes jaotada kolme gruppi: statistilisteks, füüsikalisteks ja dünaamilisteks. Kaks esimest gruppi kujutavad endast lihtsaid matemaatilisi seoseid, mida omavahel eristab nende parameetrite loodusseaduslik põhjendatus. Kõige rohkem võimalusi pakkuva, aga ka kõige töömahukama grupi moodustavad dünaamilisteks nimetatavad mudelid. Tegemist on mudelitega, mis kirjeldavad uuritava objekti ajalist arengut. Modelleerimise objektiks ei ole siin ainult lõppsaak, vaid kogu produktsiooniprotsess, s.o. taimedes ja nende koosluses toimuvate protsesside kogum olemasolevate keskkonnatingimuste mõju all. Seetõttu nimetatakse neid mudeleid ka produktsiooniprotsessi mudeliteks.

Käesoleva artikli eesmärgiks on anda lühiülevaade ühest kontseptsioonist dünaamilise mudeli ülesehitamiseks, selle rakendusest kartuli produktsiooniprotsessi mudelis POMOD ning saadud tulemustest.

Kontseptuaalne lähtealus

Produktsiooniprotsess ja selle tulemiks olev saak sõltuvad väga paljudest erinevatest faktoritest, mille limiteerivad mõjud on omavahel tihedalt läbi põimunud. Seepärast on välja töötatud lähenemissuund, mis jaotab limiteerivad faktorid erinevatesse gruppidesse, näiteks bioloogilisteks, meteoroloogilisteks, mullastikulisteks ja agrotehnilisteks, ning nende mõju võetakse arvesse järk-järgult. Piirväärtusi üleminekul ühe mõjurite grupi arvestamiselt teisele vaadeldakse kindlate saagikategooriatena, mida nimetatakse etalonsaakideks.



Joonis 1. Etalonsaagid ja nendes arvesse võetavad limiteerivad tegurid

Figure 1. Reference yields and taken into account in each limiting factors

Etalonsaakide meetodi on algselt välja töötanud H. Tooming (1984) ning seda on täiendatud tema, E. Žukovski ja käesoleva artikli autori koostöös (Žukovski, Sepp, Tooming, 1989). Saakide põhikategooriad on järgmised.

Potentsiaalne saak (PS) on maksimaalne saak, mida on võimalik saada mingilt kultuurilt või sordilt olemasolevates kiirgustingimustes. Seega määravad PS sordi bioloogilised omadused ja kasutada olevad kiirgusressursid (joonis 1). Kõigi teiste faktorite mõju on loetud optimaalseks. Sisuliselt väljendab see saagikategooria kiirgusressursse mingi kultuuri või sordi kasvatamiseks, esitatuna saagi ühikutes.

Meteoroloogiliselt võimalik saak (MVS) on saak, mille taseme määravad ära meteoroloogilised tingimused. Seega on tegemist maksimaalse saagiga, mida mingilt sordilt on võimalik olemasoleva kiirguse ja teiste meteoroloogiliste tingimuste korral saada. Optimaalseteks loetakse kõik mullaviljakuse ja agrotehnikaga seotud mõjurid. Seega väljendab MVS saagi ühikutes avaldatud

agrometeoroloogilisi, pikemas perspektiivis agroklimaatilisi ressursse.

Tegelikult võimaliku saagi (TVS) väärtuse määramisel osalevad peale eelpool nimetatud mõjurite veel mullaviljakusest tingitud faktorid. Optimaalseks loetakse selle saagikategooria korral agrotehnik, puuduvaks taimehaiguste, -kahjurite ja umbrohtude mõju. TVS näol on tegemist mullastiku ressursse väljendava näitajaga tegelike meteoroloogiliste või kliimatingimuste korral.

Tootmissaak (TS) on saagikategooria, mille korral tulevad arvesse kõik saagi kujunemist mõjutavad faktorid. Lisaks eelnevalt sissetoodutele võetakse arvesse puudulikust agrotehnikast, taimehaigustest, kahjuritest, umbrohtudest jms. tingitud saagi vähenemine. TS on saak, mida saadakse reaalsetes põllutingimustes.

Etalonsaakide meetodi eeliseks on see, et ta võimaldab läheneda terviklikule produktsiooniprotsessile n.-ö. ülaltpoolt, alustades kõige kõrgematelt saagi tasemetelt ja võttes esmalt arvesse need tegurid, mille mõju ei sõltu või sõltub vähe teistest mõjuritest. Sellisteks on sordi bioloogilised omadused, samuti päikesekiirgus. Edasi võetakse selle skeemi kohaselt arvesse meteoroloogilised faktorid, järgnevalt mullaviljakus ja lõpuks agrotehnikast tingitud piirangud. Loomulikult on etalonsaakide süsteemi võimalik edasi diferentseerida, abstraheerides mõne eelpool vaadeldud grupi raames kokku võetud faktorite mõju veel omakorda.

Kartuli poduksiooniprotsessi mudel POMOD

Kartuli poduksiooniprotsessi mudel POMOD (POtato MODe) on esialgselt koostatud suunitlusega agrometeoroloogiliseks uurimistööks ja prognooside andmiseks (Sepp, Tooming, 1991). POMOD on üles ehitatud lähtuvalt etalonsaakide meetodist ning on praeguses seisus võimeline arvutama potentsiaalset ja meteoroloogilist võimalikku saaki. Kui lugeda saagi iga-aastaste kõikumiste peapõhjuseks ilmastikku, on teda võimalik kasutada ka tegelike saakide prognoosiks.

Mudeli struktuur. Potentsiaalse saagi arvutamine. Nagu enamik looduslike protsesside dünaamikat kirjeldavatest mudelitest, nii põhinevad ka poduksiooniprotsessi mudelid bilansivõrranditel, millest seda tüüpi mudelite korral moodustavad tuumiku biomassi bilansi võrrandid, mille järgi üldine biomass M avaldub kujul:

$$M_j = M_{j-1} + \Delta M_j, \quad (1)$$

kus j on sammu jrk. nr. (mudelis POMOD on sammu pikkuseks üks ööpäev) ja ΔM_j biomassi juurdekasv sammul j . Analooone arvutus viiakse läbi ka taime erinevate organite, nagu lehtede, varte, juurte ja mugulate jaoks.

Biomassi üldine juurdekasv arvutatakse valemiga:

$$\Delta M_j = \int_0^L \int_0^t \varepsilon (\Phi - R_1) dL d\tau - R_2, \quad (2)$$

kus Φ on fotosünteesi intensiivsus, R_1 kasvuhingamise intensiivsus, R_2 säilitushingamine, ε on ülemineku tegur gaasivahetusel biomassile, τ aga tunninurk. Integreerimine ajas toimub valemis (3) numbriliselt, kasutades tunnist sammu. Integreerimine üle lehepinna indeksi L toimub suunaga lehestiku ülapiirilt alla

Üldise biomassi juurdekasv jaotub taime erinevate organite vahel vastavalt kasvufunktsioonidele. Vegetatiivse kasvu funktsioonid A_i näitavad üldise juurdekasvu ΔM jaotumist osadeks erinevate organite i vahel. Reproduktiivse kasvu funktsioonid B_i iseloomustavad seda teiste organite biomassi osa, mis läheb pärast vastava organi vegetatiivse kasvu lõppu üle mugulatesse. Kasvufunktsioonid tulenevad kasvuvõrrandist (Ross, 1966)

$$\frac{\Delta m_i}{\Delta t} = A_i \frac{\Delta M}{\Delta t} + MB_i \quad (3)$$

ning nende väärtused A_i ja B_i on määratavad katsetulemuste baasil. Joonisel 2 on toodud vegetatiivse kasvu funktsioonid kartulisordile 'Sulev', kusjuures kalendaarne aeg t on asendatud nn. bioloogilise ajaga, mille väljendajaks kasutatakse temperatuuride summat üle 0°C (Sepp, 1983). Reproduktiivsete kasvufunktsioonide analüüsil leiti nende väärtuseks $B_{ij} = 0,0003 \text{ deg}^{-1}$ kui $A_{ij} = 0$.

Fotosünteesi intensiivsus on avaldatud valemiga, mis lähtub maksimaalse produktiivsuse printsiibist, mille kohaselt taime adaptatsioon on suunatud taime maksimaalse efektiivsuse ja nende koosluse maksimaalse produktiivsuse tagamisele (Tooming, 1977):

$$\Phi = a\Pi(L, \tau) / (1 + \frac{\sqrt{c}}{1 - \sqrt{c}} \cdot \frac{\Pi(L, \tau)}{\Pi}), \quad (4)$$

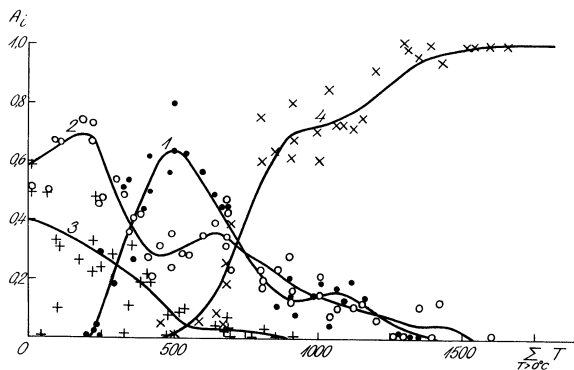
kus $\Pi(L, \tau)$ on taime sees neeldunud fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse (FAR) intensiivsus, ning a , $\bar{\Pi}$ ja c fotosünteesi ja gaasivahetuse valguskõverate parameetrid.

Kasvuhingamine loetakse võrdeliseks fotosünteesiga, säilitushingamine aga vastava organi massiga.

Nagu fotosünteesi valemist (4) selgub, mängib fotosünteesi seisukohalt olulist rolli kiirguse jaotus külvi sees. Viimane on omakorda lehepinna indeksi L funktsioon, mis arvutatakse lehtede biomassi alusel. Valem koosluse sees neeldunud FAR arvutamiseks tuletati kartuli lehestiku arhitektuuri arvesse võttes (Tammets, 1984).

Meteoroloogiliselt võimaliku saagi arvutamine. Üleminekul MVS arvutusele võtab POMOD arvesse õhutemperatuuri mõju fotosünteesile ja hingamisele ning mullaniiskuse mõju fotosünteesile. Kummagi faktori mõju fotosünteesile on avaldatud funktsiooniga, mille maksimum asub faktori optimaalses piirkonnas. Faktorite koosmõju arvestamisel on lähtutud miinimumi reeglist, mille järgi määrab lõpliku limiteerimise see faktor, mille mõjufunktsiooni väärtus on kõige väiksem. Hingamise komponentidest sõltub temperatuurist säilitushingamine, mis kahekordistub, kui temperatuur tõuseb 10°C võrra.

Mullaniiskuse mõjufunktsiooni arvutamiseks vajalik produktiivne veevaru määratakse mulla veebilansi võrrandist, viimasesse minev evapotranspiratsioon empiirilise valemiga summaarse kiirguse, lehepinna indeksi



Joonis 2. Vegetatiivse kasvu funktsioonid keskhilisele kartulisordile 'Sulev' (1.● – lehed, 2.o – varred, 3.+ – juured, 4.× – mugulad)

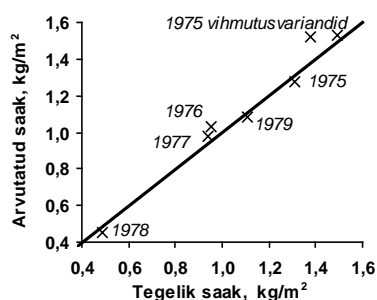
Figure 2. Functions of vegetative growth for medium late variety of potato 'Sulev' (1.● – leaves, 2.o – stems, 3.+ – roots, 4.× – tubers)

ja mulla veevaru funktsioonina. Äravoolu hakatakse arvutama, kui ööpäevased sademed ületava 20 mm.

Kartuli mahapaneku ajaks võetakse MVS arutamisel künnikihi temperatuuri püsiv üleminek üle 8 °C, mulla liigniiskuse juhul aga väliveemahutavuse saavutamise moment. Hiliste kevadiste öökülmade korral nihutatakse mahapaneku aega veelgi edasi nii, et hilised öökülmad ei kahjustaks tõusmeid. Biomassi dünaamika arvutus algab momendist, mil uue kuivaine produktsioon ületab kuivaine vähenemise emamugulas. Arvutus lõpetatakse esimese sügise öökülmaga alla –2 °C või keskmise ööpäevase temperatuuri langusega alla 7 °C.

Mudeli sisendinformatsioon. Mudeli poolt kasutatava sisendinformatsiooni võib jagada nelja gruppi: igapäevane meteoroloogiline informatsioon (summaarne kiirus või päikesepaiste kestus, temperatuur ja sademed), ühekordne iga-aastane informatsioon (mulla kevadine algveevaru, mahapaneku kuupäev jt. daatumid), koha parameetrid (geograafiline laius, meteoroloogiajaama identifikaator, mulla agrohüdrooloogilised parameetrid) ja sordi parameetrid (kasvufunktsioonid, fotosünteesi jt. seoste parameetrid ning külvi albedo).

Mudeli kontroll. Mudeli POMOD kontroll viidi läbi kaheetapilisena (Sepp, Tooming, 1991). Esmalt võrreldi arvutustulemusi perioodil 1974–1979 läbiviidud põldkatsete andmetega. Küllalt suurelt osalt oli see siiski sõltuv materjal, kuna nende katsete andmeid kasutati mudeli parameetrite identifitseerimisel. Sõltumatud olid 1975. vihmutusvariandid ja 1978. a. andmed. Arvutatud MVS ja katses määratud saakide kokkulangevust võib pidada heaks (joonis 3), seda eriti arvestades, et sõltumatud variandid kujutasid endast ülejäänud valimi suhtes ekstreemseid väärtusi.



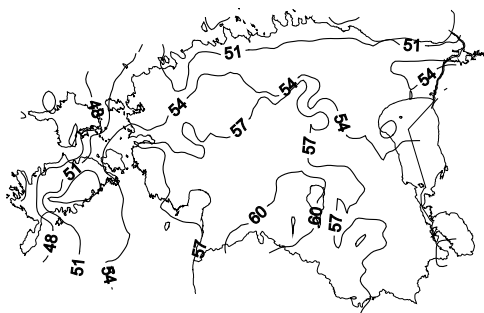
Joonis 3. Mudeliga arvutatud MVS kuivkaalus funktsioonina põldkatsetel saadud saakidest

Figure 3. *MPY computed by model in dry weight as function of real yields in field experiments*

Teiseks võrreldi nelja sordikatsepunkti (Suure-Jaani, Võru, Saare ja Saue) andmetel kartulisordi ‘Sulev’ sordikatsetest saadud ja arvutatud saagi kõikumisi 20 aastal. Sordikatsepunktides ei ole otseselt tagatud MVS, kuid agrotehnika ja väetamine on läbi aastate ligikaudu ühtlasel tasemel. Arvutustes kasutati tegelikke mahapaneku, tõusmete tärkamise ja koristuse aegasid. Lisaks arvestati lehepinna kahanemist fütoftoroosi tõttu. Saadud korrelatsioonikoefitsientidest nähtub, et tulemusi võib pidada heaks Suure-Jaanis ($r=0,85$), rahuldavaks Võrus ($r=0,64$) ning Saarel ($r=0,70$). Saue sordikatsepunkti kohta ei õnnestunud usaldatavat korrelatsiooni saada. Põhjuseks võib siin pidada siiski mudeliväliseid faktoreid: täieliku viljavaheldussüsteemi puudumist, põhjavee mõju ning aruannete vormistuse põhjal võibolla ka katsetööde kvaliteeti.

Mudeli POMOD rakendused

Kiirgusressursside ning agrometeoroloogiliste ja agrokliimatiliste ressursside hinnang kartuli-kasvatuseks. Meteoroloogiliselt võimaliku saagi mõiste võimaldab vaadelda tema pikemas perspektiivis keskmistatud väärtust kui agrokliimatiliste ressursside hinnangut konkreetse kultuuri kasvatamiseks, kusjuures ressursid on esitatud ühe kvantitatiivse näitajana saagi ühikutes. Veelgi enam, MVS definitsioon



1923. a. ja Belogorkas (Leningradi oblast) alates 1894. a. (Sepp, Tooming, 1991).

Tõenäosuslikud saagiprognosid. Üheks olulisemaks mudeli POMOD alusel saadud tulemuseks võib pidada tõenäosusliku saagiprognosi meetodika väljatöötamist. Tõenäosuslik saagiprognos põhineb skeemil, kus prognoosi andmise momendini toimub arvutus tegelikult eksisteerinud andmete baasil, edasi aga jätkub erinevates variantides, näiteks eelnevate aastate andmete baasil. Saadud erinevad väärtused võimaldavad esitada oodatava saagi tõenäosusliku jaotusena (Žukovski, Sepp, Tooming, 1989). Seda prognoosimeetodit on kasutatud ka tegeliku saagi prognoosimiseks, arvestades sealjuures asjaolu, et konkreetse aasta MVS suhe tema paljuaastasessesse keskmisse näitab saagi suhtelist kõrvalekallet tema keskmisest väärtusest või trendist.

Lisaks eelpool toodule on mudelit POMOD kasutatud hindamiseks külviaja, maapinna kallakuse, meteoroloogilise lähteinformatsiooni keskmistatuse ning võimalike kliimamuutuste mõju. Arvutusi on tehtud ka Komimaa tingimuste jaoks, kus kartul kasvab oma põhjapoolse areaali piiril.

Edasistest perspektiividest

Praeguses seisus võimaldab mudel POMOD arvutada potentsiaalset ja meteoroloogiliselt võimalikku saaki, st. võtta arvesse sordi bioloogilisi omadusi ning meteoroloogilisi tingimusi. Mudel on seni identifitseeritud keskilise sordi 'Sulev' ja varase sordi 'Valgevene varane' jaoks.

Mudeli edasiseks rakendamiseks nii uurimistöös kui prognooside andmisel on esmajärjekorras oluline määrata mudelis vajalikud bioloogilised parameetrid (kasvufunktsioonid, fotosünteesi parameetrid jt.) praegu enam levinud ja perspektiivsetele sortidele.

Teiseks oluliseks etapiks mudeli edasiarendamisel on täiendavate plokkide sisseviimine TVS arvutamiseks, st. mullaviljakuse arvessevõtuks mudelis. Edasises perspektiivis oleks tootmissaagi kategooria alla paigutatud mõjurite järkjärguline sissetoomine. Ilmselt kujuneb see etapp kõige keerukamaks, kuna seal arvesse tulevad tegurid, nagu taimehaigused, umbrohud, mulla struktuursus jt., on omakorda sõltuvad ilmastikust ja mullastikust ning nõuavad seetõttu igauks oma alamudeli koostamist.

Kokkuvõtteks võib öelda, et märkimisväärne töö kartuli mudeli arendamisel on tehtud, kuid suurem töö seisab veel ees. Nagu aga senised tulemused näitavad, tasub see töö vaeva, sest üks korralik mudel võimaldab lahendada paljusid erinevaid ülesandeid, nii uurimuslikust kui praktilisest valdkonnast.

Kirjandus

- Ross: Росс Ю. К математическому описанию роста растений. – ДАН СССР, 171, № 26, с. 481...483, 1966.
- Sepp*: Сепп Ю. Экспериментальное определение функции роста картофеля. – Тр. ВНИИСХМ, 11, с. 36...40, 1983.
- Sepp, Tooming: Сепп Ю., Тооминг Х. Ресурсы продуктивности картофеля. – Ленинград, Гидрометеиздат., 1991. – 261 с.
- Žukovski, Sepp, Tooming: Жуковский Е. Е., Сепп Ю., Тооминг Х. О вероятностной концепции расчета и прогноза эталонных урожаев. – Вестник с.-х. науки. № 5 (393), с. 68...79, 1989.
- Tammets: Тамметс Т. Архитектура и радиационный режим посевов картофеля. – С.-х. биология. № 10, с. 16...22, 1984.
- Tooming: Тооминг Х. Солнечная радиация и формирование урожая. – Ленинград, Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
- Tooming: Тооминг Х. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. – Ленинград, Гидрометеиздат., 1984. – 264 с.

* *Autori enne 1992. a. ilmunud tööd on avaldatud nime Sepp all.*

Model of Production Process of Potato POMOD

Jüri Kadaja

Summary

Method of reference yields (model yields) is described as a conceptual basis for building models of agricultural crops. This concept is applied in dynamic model POMOD composed for modeling of potato production process. The model allows computing of potential yield (PY) and meteorologically possible yield (MPY). A short description about model structure and verification is given.

The model has been used to evaluate agrometeorological, agroclimatic and radiation resources for potato cultivation on the territory of Estonia and other Baltic Republics. It has been as instrument for different model experiments and basis in working out the method of probabilistic yield forecasts.

The tasks for future developing of the model are discussed.