

## TALIRUKKI ARENGUFAASID JA TEMPERATUURISUMMAD

T. Saue, J. Kadaja

**ABSTRACT.** *Growth stages of winter rye and accumulated temperatures.* A calculating scheme to determine temperature constants (mean accumulated temperatures between plants growth stages) was elaborated. It was applied on the example of rye. Accumulated active and effective temperatures above different threshold temperatures were calculated. The optimum threshold temperatures and summarizing methods were selected on the basis of minimum errors discovered in using these constants in the forecast of next stages. Data of phenological observations from 11 stations of Estonian agrometeorological network from 1965 to 2001 were utilized.

*In describing of plant development the most appropriate ones were positive accumulated temperatures and accumulated active temperatures above 5 °C. Widely used accumulated effective temperatures above 5 °C and active temperatures over 10 °C did not give acceptable results for winter rye. Conveniently chosen accumulated temperatures described the development ever better than calendar time, excepted for the period between new vegetation and spearing. Some differences occurred between varieties. Less heat is needed for 'Jõgeva 112', more for 'Kustro', which requirement grows especially at the time of ripening. No essential trends were observed for the temperature constants.*

**Keywords:** *winter rye, growth stages, accumulated temperatures.*

### Sissejuhatus

Taimedega nende eluea jooksul toimuvaid kvalitatiivseid muutusi kajastab taimede areng, mis kulgeb üheaegselt kasvuga ja on olulises sõltuvuses aastaegade vaheldumisest. Taimede areng kulgeb üksikute, erineva kvaliteediga etappide – arenemisstaadiumide kaupa. Arenemise väliseid tunnuseid nimetatakse fenoloogilisteks ehk arengufaasideks. Igal kultuuril on iseloomulikud, teistest erinevad arengufaasid.

Ajavahemikku kahe teineteisele järgneva arengufaasi saabumise vahel nimetatakse arengufaaside vaheliseks perioodiks. Nende pikkuse teadmine on oluline nii praktilise põllutöö kui ka teoreetiliste uurimuste läbiviimise seisukohalt. Selle informatsiooni baasil saab varasemate arengufaaside ilmumise alusel ennustada järgnevate saabumist. Näiteks on teraviljakasvatuse seisukohalt oluline vahaküpsuse saabumise kui koristusperioodi alguse täpne prognoosimine, kiiresti riknevate kultuuride ja lõikelilledel puhul on suure tähtsusega nende koristusaja täpne määramine. Samuti võimaldab arengu prognoos õigeaegselt läbi viia mitmesuguseid hooldus- ja taimekaitseteid. Arengufaaside vaheliste perioodide pikkused on põllukultuuride mudelites ja teistes arvutusskeemides taimede arengu kirjeldamise üheks võimalikuks aluseks.

Arengufaaside vahelisi perioode saab iseloomustada ja uue faasi ilmumist prognoosida, kasutades selleks faasidevahelise perioodi pikkust päevades. Üldjuhul annab aga paremaid tulemusi samal perioodil kogunenud temperatuuride summa kasutamine. Temperatuurisummad näitavad kultuuride kindlustatust soojusega ning on seetõttu sobivaks iseloomustajaks nn bioloogilisele ajale. Taimede arengu ja kasvu ajalise iseloomustajana on temperatuurisummad laialdaselt kasutusel põllukultuuride mudelites (nt Kadaja, 2004). Temperatuurisummasid erinevate arengufaaside saabumise vahel nimetatakse ka temperatuurikonstantideks (Aruksaar jt, 1964), samuti on nende tähistamiseks kasutatud kraadpäeva mõistet (Kivi, 2001). Viimane pärineb ilmselt inglise keeles kasutatavast ühikust *degree-day*.

Kui summeeritakse üle 0 °C ulatuvaid temperatuure, nimetatakse summat positiivsete temperatuuride summaks. Sageli kasutatakse temperatuuride akumulatsiooni iseloomustamiseks aktiivsete ja efektiivsete temperatuurisummade mõistet (Aruksaar jt, 1964; Tširkov, 1986). Aktiivsete temperatuuride summa arvutamiseks liidetakse kõik need ööpäeva keskmised õhutemperatuurid, mis ületavad vaadeldaval perioodil lävitemperatuuri. Üldjuhul valitakse lävitemperatuuriks antud kultuurile omane bioloogiline miinimumtemperatuur, s.o temperatuur, millest allpool kasvu- ja arenguprotsessid seiskuvad. Aktiivsete temperatuuride summa puhul läheb liitmisel arvesse ka see osa õhutemperatuurist, mis jääb alla bioloogilise miinimumi. Selliselt defineeritakse aktiivsete temperatuuride summa laiemas tähenduses. Selle mõiste kitsamas tähenduses vaadeldakse temperatuuride summasid, kui temperatuuriläveks on võetud 10 °C.

Efektiivsete temperatuuride summasse liidetakse ainult see osa ööpäeva keskmisest temperatuurist, mis otseselt ületab bioloogilise miinimumtemperatuuri. Teiste sõnadega, efektiivne temperatuur on aktiivse temperatuuri ja bioloogilise miinimumi vahe. Kõige sagedamini on kasutatud efektiivsete temperatuuride summasid üle 5 °C, mida jällegi võib nimetada selle mõiste kasutamiseks kitsamas tähenduses. Seega, kui

mingis allikas räägitakse efektiivsetest temperatuurisummadest ilma lävitemperatuuri näitamata, tuleb arvestada lävitemperatuuriga 5 °C.

Käesoleva töö eesmärgiks oli arvutuskeemi väljatöötamine taimede arengut kirjeldavate temperatuurisummade määramiseks erinevate lävitemperatuuride korral ning optimaalsete lävitemperatuuride ja summeerimismeetodi leidmine talirukki näitel. Arvutuskeemi koostamisel lähtusime põhimõttest, et seda oleks hiljem praktikas lihtne kohaldada ka teiste kultuuride jaoks.

**Võtmesõnad:** talirukis, arengufaasid, temperatuurisummad.

## Andmed ja metoodika

Töö tegemiseks vajati talirukki arengufaaside saabumise andmeid ning keskmisi ööpäevaseid õhutemperatuure. Põllukultuuride arengufaase on Eestis registreeritud alates neljakümnendate aastate lõpust agrometeoroloogilises vaatlusvõrgus, mis töötas ühe osana meteoroloogilisest vaatlusvõrgust, olles varasemal perioodil Vabariikliku Hüdrometeoroloogiaavalitsuse ja alates 1992. aastast Eesti Meteoroloogia ja Hüdroloogia Instituudi (EMHI) koosseisus. Selles vaatlusvõrgus kogutud agrofenooloogilist andmebaasi on hinnatud Eesti kvaliteetseimaks (Aasa, 2001) ja kindlasti on ta ka mahukaim. Käesolevas töös kasutasime talirukki fenoloogiliste vaatluste andmeid üheteistkümnest agrometeoroloogiajaamast ja -postist ajavahemikus septembrist 1965 kuni septembrini 2001. Nii vaatluse alla võetud perioodi alguse kui jaamade valiku määras digitaalselt kasutada olnud igapäevaste temperatuurandmete olemasolu. Seetõttu tulid arvesse ainult meteoroloogiajaamade lähikonnas olnud vaatluskohad. Nendeks olid Jõgeva, Jõhvi, Karja, Kuusiku, Pärnu, Tartu, Türi, Valga, Viljandi, Võru ja Väike-Maarja. Vaatamata osa agrometeoroloogia-postide väljajäämisele olid vaatluskohad paigutatud suhteliselt ühtlaselt üle Eesti. Ööpäeva keskmised temperatuurid olid mõõdetud meteoroloogiajaama vaatlusväljakult, millest vaatlusalused põllud ei tohtinud vastavalt eeskirjale jääda kaugemale kui 5 km, erandjuhtudel võidi lubada kaugust 10–12 km (Agrometeoroloogilised..., 1987). Vaatlusalune periood lõppes 2001. aastaga, sest järgnevast aastast lõpetati enamikus jaamades põllukultuuride fenoloogiliste vaatluste tegemine. Kui mõne jaama kohta puudusid mingil lühemal perioodil ööpäeva keskmise temperatuuri andmed, on need asendatud võimalikult sarnastes meteoroloogilistes tingimustes asuva naaberjaama andmetega.

Agrometeoroloogilises vaatlusvõrgus registreeriti talirukki külv ning järgnevate arengufaaside algus (vähemalt 10% taimi jõudnud sellesse faasi) ja massiline saabumine (50%):

- 1) tärkamine – taimedel avanevad esimese lehe tipud,
- 2) kolmas leht – kolmanda lehe avanemine,
- 3) võrsumine – peavõrse lehetupest ilmuvad kõrvalvõrsete esimesed lehetipud,
- 4) vegetatsiooni lõpp sügisel – temperatuuri püsiv langus alla 5 °C,
- 5) vegetatsiooni algus kevadel – värske roheline värvuse ilmumine,
- 6) kõrsumine – võrsumissõlme peal asuvate alumiste kõrresõlmede vahe piknemise algus – alumine kõrresõlm on tõusnud 3–5 mm võrsumissõlmest kõrgemale ja 10-kordse suurendusega luubi abil on kõrre tipus näha viljapea alge,
- 7) alumise kõrresõlme ilmumine mullapinnale – peavõrse kompimisel on tunda kõrresõlme paksenenud koht 0,5 cm kõrgusel mullapinnast,
- 8) loomine – pool viljapead on väljunud ülemisest lehetupest,
- 9) õitsemine – avanevad õiesõklad ja nähtavale ilmuvad tolmukapead,
- 10) piimküpsus – tera peaaegu lõpliku suurusega, pigistamisel tuleb kestast tervelt välja, kollaka värvusega ja konsistentsilt sarnaneb keedetud munavalgega, taimed veel rohelised, kolletumist võib märgata alumistel lehtedel,
- 11) vahaküpsus – viljapea muutumine kollaseks ja lehtede kolletumine, tera kaotab oma elastsuse, kortsus, teda on võimalik sõrmeküünega lõigata ja murda, tera on kestast raske välja pigistada, kuid muljumisel ta ei kleepu sõrmede külge,
- 12) täisküpsus – tera muutub kõvaks, noaga vajutamisel lõikub pooleks.

Arengufaaside määramise detailne kirjeldus on toodud agrometeoroloogiliste vaatluste juhendis (Agrometeoroloogilised..., 1987). Käesolevas töös on kasutatud arengufaaside massilise saabumise andmeid. Vaatluse alt on välja jäetud vegetatsiooni lõpp sügisel, sest see pole otseselt saadud taimede vaatluse tulemusena, ning täisküpsus, mille andmeid esines suhteliselt vähe, kuna vili koristati sageli enne selle saabumist.

Esmalt tehti arengufaaside andmestiku kriitiline kontroll. Selle käigus lülitati välja kuupäevad, mis andsid ülemäära suuri kõrvalekaldeid. Välja jäeti juhtumid, kus eelnev faas oli märgitud saabuma pärast järgmist, kuna

see viitab ebanormaalsele arengule (nt kahjurite tõttu) või veale. Samuti ei ole töös kasutatud andmeid, mille kohaselt mõni reeglipäraselt sügisene faas (3. leht, võrsumine) on lükkunud kevadesse.

Temperatuurisummad arvatati nii kõigi järjestikuste arengufaaside vahel kuni vahaküpsuseni kui ka mõne mitut arengufaasi kaasava perioodi kohta. Selliste perioodidena on vaatluse all külv–võrsumine (iseloomustab sügisest vegetatsiooniperioodi), kõrsumine–loomine, loomine–vahaküpsus ja vegetatsiooni algus–vahaküpsus. Prognoosi seisukohalt kõige huvipakkumamat faasi – vahaküpsust – iseloomustab seega 3 erinevat summeerimisperioodi, mis algavad vegetatsiooni uuenemisest, loomisest ja piimküpsusest. Töö pidi andma vastuse ka küsimusele, kas selline mitut faasi sisaldav summeerimine õigustab ennast või võimenduvad prognoosivead liigselt. Soovitused summeeritavate perioodide valikuks on saadud töö alustamisel pr Kulla Kivilt EMHI agrometeoroloogia osakonnast.

Arengufaaside vaheliste temperatuurisummade leidmiseks tabelarvutussüsteemis EXCEL välja töötatud arvutusskeem lähtub faaside saabumise kuupäevade tabelist ja keskmiste ööpäevaste õhutemperatuuride andmebaasist. Koostatud skeem on lihtsalt rakendatav erinevate lävitemperatuuride korral. Antud töös valisime lävitemperatuurideks 0, 5, 10 ja 15 °C, mis agrometeoroloogias on kasutusel agrokliima ressurside (Agroklimatitšeskie..., 1974) ja fenoloogiliste aastaaegade (Kivi, 2001) iseloomustamisel. Paralleelselt arvutatakse aktiivsed ja efektiivsed temperatuurisummad. Järjestikuste arvutuste läbiviimine erinevate lävitemperatuuride korral ning võrdlustabelite koostamine on lahendatud EXCEL'i Visual Basicus koostatud programmide abil. Iseloomustamiseks temperatuurisummade varieeruvust, arvutatakse iga vaadeldava perioodi keskmistele temperatuurisummadele lisaks nende standardhälbed ja variatsioonikoeffitsiendid.

Sobivaima lävitemperatuuri valimiseks arvutatakse vead, mis tekiks temperatuurisummade kasutamisel arengufaasi saabumise prognoosiks. Viga leitakse päevade arvuna, mille võrra temperatuurisummade kaudu prognoositud arengufaasi saabumine erineb tegelikust. Veahinnang on sellisel kujul kõige otstarbekam, kuna nii on võimalik saada võrreldavaid tulemusi efektiivsete ja ka aktiivsete temperatuurisummade hindamisel. Samuti on niisugust tulemust võimalik võrrelda veaga, mis tekib arengufaaside vaheliste päevade arvu kasutamisel prognoosiks. Vea arvutamiseks jagatakse antud aasta temperatuurisumma absoluutne erinevus paljuaastasest keskmisest antud perioodi keskmise ööpäevase lävitemperatuuri ületava õhutemperatuuriga:

$$\Delta N = \left| (\Sigma T - \overline{\Sigma T}) \right| / \left[ \Sigma T / (n_2 - n_1) \right], \quad (1)$$

- kus  $\Delta N$  on prognoosiviga päevades,  
 $\Sigma T$  – konkreetse aasta temperatuurisumma,  
 $\overline{\Sigma T}$  – üle aastate keskmistatud temperatuurisumma ehk temperatuurikonstant,  
 $n_1$  – prognoosi aluseks oleva faasi saabumise kuupäev,  
 $n_2$  – prognoositava faasi saabumise kuupäev.

Et hinnata temperatuurisummade kasutamise otstarbekust, leitakse ka arengufaaside vahele jäävate päevade arv ning nende prognoosiks kasutamisel tekkiv keskmine absoluutne viga  $\Delta n$ , mis avaldub kujul:

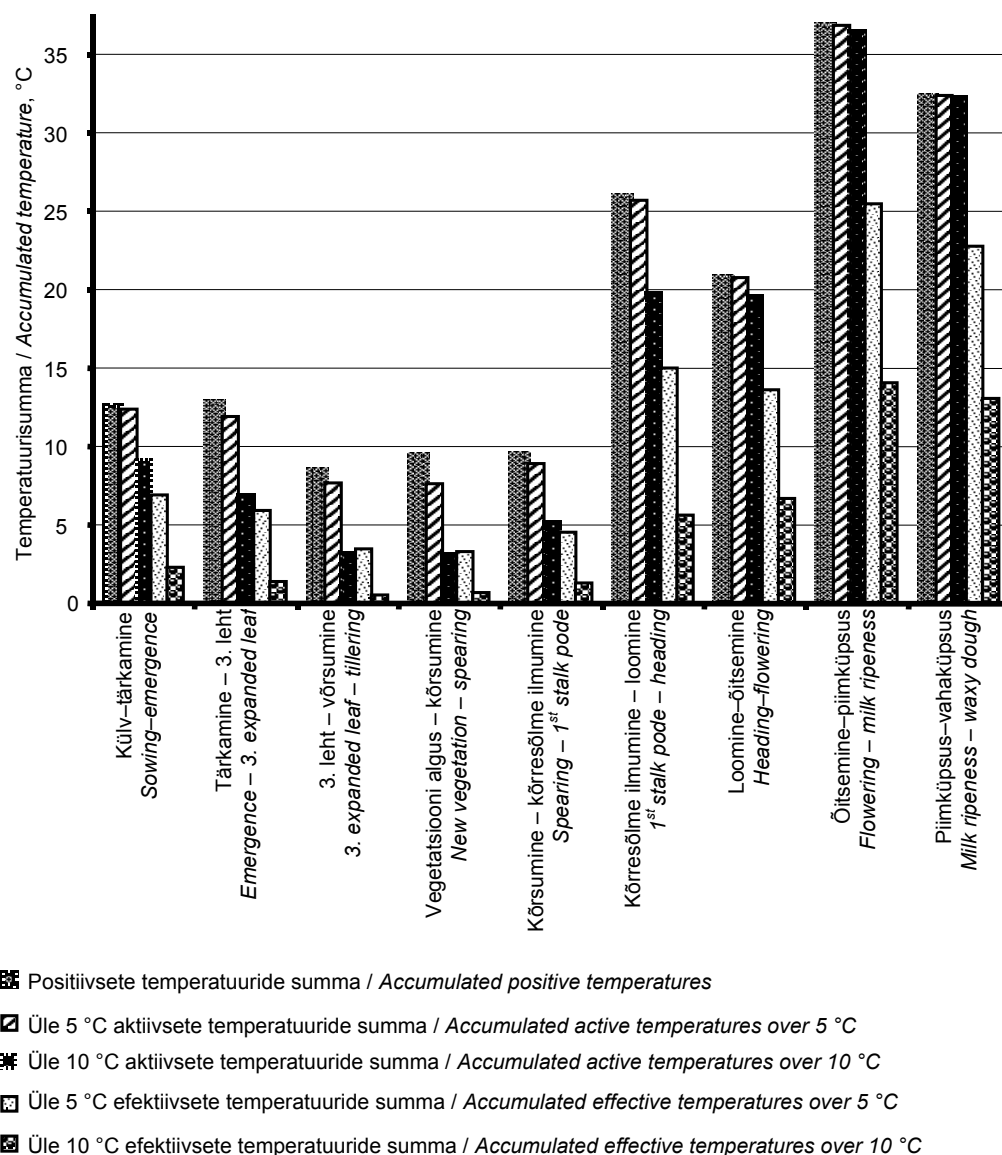
$$\Delta n = \left| (n - \overline{n}) \right|, \quad (2)$$

- kus  $n$  on arengufaaside vahele jääv päevade arv konkreetsel aastal,  
 $\overline{n}$  – arengufaaside vahelise perioodi pikaajaline keskmine päevade arv.

Et eri aastatel ja erinevates jaamades on külvatud erinevaid sorte, mis võivad mingisse arengufaasi jõuda keskmisest tunduvalt suurema või väiksema temperatuurisummaga, võrreldi omavahel ka 4 vaatlustes enam esinenud sorti: 'Vambo', 'Sangaste', 'Jõgeva 112' ja 'Kustro'.

## Tulemused

Kogunenud temperatuurisummadest erinevatel talirukki arengufaaside vahelistel perioodidel annab ülevaate joonis 1. Võrreldud on kogu andmestiku baasil arvutatud positiivsete temperatuuride summade ning efektiivsete ja aktiivsete temperatuuride summade keskmisi väärtusi.



**Joonis 1.** Erinevatel talirukki arengufaaside vahelistel perioodidel kogunenud keskmised temperatuurisummad  
**Figure 1.** Mean accumulated temperatures during different periods between successive phenophases of winter rye

Järgnevalt vaatleme, millise täpsusega on võimalik määrata erinevate arengufaaside vaheliste perioodide pikkust keskmiste temperatuurisummade või faasidevahelise perioodi keskmise pikkuse abil. Tabelis 1 on võrreldud erinevate summeerimismeetodite ja lävitemperatuuride kasutamisel tekkivaid keskmisi vigu päevades. Tabeli viimases reas on toodud vead, mis tekivad faasidevahelise perioodi keskmise päevade arvu kasutamisel. Kui kasutada neid andmeid arengufaasi ilmumise prognoosiks, näitab ennustatavat faasi päises toodud vahemikku lõpetav faas, prediktoriks on keskmised temperatuurisummad sel perioodil või selle perioodi keskmine pikkus päevades.

Ilmneb, et kasvu varasemates staadiumides sügisel külvist kuni võrsumiseni ja kevadel kuni esimese kõrresõlme ilmumiseni, annab kõige väiksema vea positiivsete temperatuuride summa kasutamine. Kõrgemate lävitemperatuuride kasutamine, nii aktiivsete kui efektiivsete temperatuurisummade kujul annab nendel perioodidel märgatavalt suurema vea. Sama võib öelda ka päevades arvatud perioodi keskmise pikkuse kohta.

Teistest perioodidest märgatavalt suuremate vigadega hakkab silma kevadel esimesena vaadeldud faasidevaheline periood vegetatsiooni algusest kõrsumiseni. Selle peamiseks põhjuseks on asjaolu, et osadel aastatel on võrsumise faas nihkunud kevadesse ning ka võrsumise ja kõrsumise vahel on taimed läinud talvituma erinevas seisus. Lisaks suurendavad vigu raskused vegetatsiooni alguse tähtaja täpsel määramisel, kuna juba alanud vegetatsioon võib ilmaolude muutumisel uuesti katkeda. See on ka üldse ainuke faasidevaheline periood, mille puhul temperatuurisummade kasutamine annab kõigi lävitemperatuuride korral suuremad vead kui

päevade arvu kasutamine. Samas väärib tähelepanu, et vahaküpsuse saabumine on vegetatsiooni algusest lähtudes siiski veidi täpsemini määratav kui kõrsumise momendist lähtudes.

Pärast kõrresõlme ilmumist muutuvad vead kõige väiksemaks üle 5 °C summeeritud aktiivsete temperatuuride korral. Sellest võib järeldada, et alates kõrresõlme ilmumise faasist ei edene rukkitaime areng enam juhul, kui ööpäeva keskmine temperatuur on alla 5 °C, või vähemalt on tugevasti pärsitud. Erinevused ei ole siiski eriti suured.

Alates õitsemise faasist, kui alla 5 °C keskmisi ööpäeva temperatuure enam ei esine, annavad positiivsete temperatuuride ja aktiivsete üle 5 °C temperatuuride summa samu tulemusi. Ka aktiivsete üle 10 °C temperatuurisummade kasutamine vead ei ole õitsemisest kuni vahaküpsuseni oluliselt suuremad, kuid tendents on siiski kindlalt üle 5 °C temperatuurisummade kasuks. Kõige pikem summeeritav periood vegetatsiooni algusest vahaküpsuseni hõlmab ka varakevadist madalamate temperatuuridega perioodi ja sel puhul annab taas veidi paremaid tulemusi positiivsete temperatuurisummade kasutamine. Efektiivsete temperatuurisummade, samuti kronoloogilise aja (päevade arvu) kasutamisel tekivad suuremad prognoosivead. Nagu saadud tulemused näitavad, ei sobi seni laialdaselt kasutatud üle 10 °C aktiivsete ja üle 5 °C efektiivsete temperatuuride summadest kumbki, eriti kasvu varasemates staadiumides. Lähedasi tulemusi on varem saadud ka kartuli idanemis- ja tärkamisaegete perioodide iseloomustamisel (Sepp, 1983). Keskvisel perioodil annavad need traditsioonilised temperatuurisummad siiski päevade arvu kasutamisest pisut paremaid tulemusi.

**Tabel 1.** Keskmised vead talirukki arengufaaside vaheliste perioodide pikkuse määramisel erinevalt arvatud temperatuurisummade ja perioodi pikkuse alusel

**Table 1.** Mean errors of arrival of rye phenophases (days) calculated by the mean values of differently accumulated temperatures and duration of the period

Lävitemperatuur Threshold temperature	Külv-tärkamine Sowing-emergence	Tärkamine – 3. lehe ilmumine Emergence – 3-expanded leaf	3. lehe ilmumine – võrsumine 3-expanded leaf – tillering	Külv-võrsumine Sowing-tillering	Vegetatsiooni algus – kõrsumine New vegetation – spearing	Kõrsumine – kõrresõlme ilmumine Spearing – 1 <sup>st</sup> stalk node	Kõrresõlme ilmumine – loomine 1 <sup>st</sup> stalk node heading	Kõrsumine-loomine Spearing-heading	Loomine-õitsemine Heading-flowering	Õitsemine-piimküpsus Flowering – milk ripeness	Piimküpsus-vahaküpsus Milk ripeness – waxy dough	Loomine-vahaküpsus Heading – waxy dough	Vegetatsiooni algus – vahaküpsus New vegetation – waxy dough
Vead positiivsete temperatuurisummade korral / Errors for accumulated positive temperatures													
0	2,17	3,04	3,29	3,87	7,42	3,94	3,45	3,63	2,42	3,31	3,96	4,19	4,97
Vead aktiivsete temperatuurisummade korral / Errors for accumulated active temperatures													
5	2,49	3,55	3,92	4,35	12,88	5,33	3,41	3,47	2,41	3,31	3,96	4,19	5,12
10	12,58	14,85	7,64	24,33	13,51	9,06	7,35	8,28	2,85	3,38	3,97	4,24	7,13
15	5,93	7,39	6,78	23,84	11,48	6,20	17,62	26,04	11,01	9,47	11,07	12,72	20,28
Vead efektiivsete temperatuurisummade korral / Errors for accumulated effective temperatures													
5	4,79	6,15	6,10	6,37	36,26	17,17	4,15	4,56	2,42	3,60	4,12	4,48	6,38
10	66,50	60,14	32,48	68,1	57,98	37,64	19,12	18,26	4,97	5,11	5,27	7,55	12,34
15	15,17	8,06	5,73	104,8	13,93	8,25	100,4	160,7	43,29	26,30	31,56	24,22	40,14
Vead faasidevahelise perioodi pikkuse kasutamisel päevades / Errors for periods between phases													
	2,86	4,81	3,87	6,81	5,38	4,33	4,02	6,07	4,05	3,53	4,27	5,55	8,43

Vaatlusaluse ajavahemiku pikendamisel üle mitme faasidevahelise perioodi (külv-võrsumine, vegetatsiooni algus – vahaküpsus) suureneb arvutusviga võrreldes tema sisse jäävate lühemate perioodide vigadega suhteliselt vähe. Näiteks suureneb viga perioodilt piimküpsus-vahaküpsus perioodile vegetatsiooni algus – vahaküpsus üleminekul ainult 25%. Samade perioodide võrdlemine päevade alusel annab vea kahekordistumise.

Keskmised positiivsete temperatuuride summad on sortide lõikes toodud tabelis 2. Kõige rohkem on vaadeldaval perioodil olnud esindatud sort 'Vambo' – 144 korda. 'Sangastet' esineb 64, 'Kustrot' 17 ja 'Jõgeva 112' 19 korral, ülejäänud sorte vaid üksikutel aastatel ja üksikutes jaamades. Kogu valimi ja nelja enam

esinenud sordi puhul ilmsid temperatuurisummades teatavad erinevused. Suurima soojusnõudlusega sordiks osutus 'Kustro', väiksemaga 'Jõgeva 112'. Kogu kasvuperioodi jooksul kogutud positiivsete temperatuuride summad erinesid neil sortidel 7,4% võrra. Mõnevõrra erinevad tulemused andis nende sortide suhtes kevadine periood enne loomist, mil teistest rohkem soojust nõuavad 'Sangaste' ja 'Jõgeva 112', 'Kustro' vajab sel ajal vähem soojust. Võib öelda, et 'Kustro' läbib varakevadise arengu suhteliselt kiiresti, kuid vajab õitsemise ja valmimise perioodil rohkem soojust.

**Tabel 2.** Positiivsed temperatuurisummad, nende standardhälbed ja vead päevades keskmise suhtes erinevatel sortidel

**Table 2.** Positive accumulated temperatures, their standard deviations and errors in relation to mean values in days in case of different sorts of winter rye

Rukkisort Sort of rye	Külv-tärkamine Sowing-emergence	Tärkamine – 3. lehe ilumine Emergence – 3-expanded leaf	3. lehe ilumine – võrsumine 3-expanded leaf – tillering	Külv-võrsumine Sowing-tillering	Vegetatsiooni algus – kõrsumine New vegetation – spearing	Kõrsumine – kõrresõlme ilumine Spearing – 1 <sup>st</sup> stalk node	Kõrresõlme ilumine – loomine 1 <sup>st</sup> stalk node – creation	Kõrsumine-loomine Spearing-heading	Loomine-õitsemine Heading-flowering	Õitsemine-piimküpsus Flowering – milk ripeness	Piimküpsus-vahaküpsus Milk ripeness – waxy dough	Loomine-vahaküpsus Creation – waxy dough	Vegetatsiooni algus – vahaküpsus New vegetation – waxy dough
Positiivsed temperatuurisummad, °C / Accumulated positive temperatures, degree-days													
Keskmine/Mean	126	128	85	337	94	91	263	356	208	368	323	900	1348
'Jõgeva 112'	120	125	69	316	72	84	294	379	205	349	339	893	1343
'Sangaste'	127	137	88	345	90	111	276	387	205	365	315	885	1362
'Kustro'	136	130	93	361	112	90	257	348	221	410	336	963	1428
'Vambo'	124	127	87	337	96	88	253	342	211	380	318	909	1344
Standardhälbed, °C / Standard deviations, degree-days													
Keskmine/Mean	32,5	34,1	34,0	47,8	51,7	53,1	63,4	60,7	50,1	78,9	89,6	99,5	99,5
'Jõgeva 112'	23,9	30,0	20,4	45,4	47,1	48,5	74,3	69,9	35,1	69,0	66,8	63,9	72,1
'Sangaste'	33,8	40,4	33,1	48,9	44,2	62,7	65,5	57,3	37,4	76,5	88,4	95,3	116,0
'Kustro'	31,5	30,9	36,5	44,2	48,7	38,4	51,4	58,6	41,4	69,0	70,3	70,4	68,7
'Vambo'	32,9	34,5	34,6	46,0	49,7	50,4	62,1	56,8	56,7	81,5	92,7	102,8	94,1
Veahinnang päevades / Errors in days													
Keskmine/Mean	2,17	3,04	3,29	3,87	7,42	3,94	3,45	3,63	2,42	3,31	3,96	4,19	4,97
'Jõgeva 112'	1,47	2,08	2,90	3,75	10,16	5,80	4,48	4,64	1,87	3,14	3,68	3,00	3,66
'Sangaste'	2,20	3,43	3,30	3,87	6,20	4,74	3,45	3,94	1,96	3,00	3,65	3,53	4,86
'Kustro'	2,08	3,11	4,04	3,92	7,63	3,38	4,19	3,94	2,51	3,30	3,09	3,19	4,26
'Vambo'	2,32	3,07	3,27	3,74	7,31	3,83	3,37	3,47	2,83	3,44	4,04	4,71	5,12

Võrreldes standardhälbeid ja vigu, näeme, et väikseima vajaliku soojussumma sort 'Jõgeva 112' annab ka mõlemal vegetatsioonipoolel tervikuna väikseima varieeruvuse, kuigi varakevadel tekib suurem prognoosiviga. Loomise faasist alates näitab suurimat prognoosiviga enim esindatud sort 'Vambo'.

Lisaks juhuslikule muutlikkusele, mida hindab standardhälve, arvutasime leitud temperatuurisummade trendid, hindamaks nende võimalikku kindlasuunalist muutumist. Kasutasime selleks lineaarset regressioonivõrrandit. Arvutused tegime kogu valimi baasil ning eraldi enam esinenud sordiga 'Vambo'. Enamiku vaatluse all olnud perioodide korral temperatuurisummade kindlasuunalist muutumist ei toimunud. Positiivne 99% usaldatav trend esines nii kogu valimi kui ka sordi 'Vambo' puhul ainult perioodil vegetatsiooni algus – kõrsumine. Negatiivne trend perioodidel kõrresõlme ilumine – loomine ja kõrsumine – loomine andis sama usaldatavuse piiri kogu valimi korral, kuid nõrgenes 'Vambo' puhul tunduvalt. Seega võib oletada, et viimastel juhtudel põhjustas temperatuurisummade vähenemise sortide vahetus. Perioodi vegetatsiooni algus – kõrsumine temperatuurisumma suurenemise põhjust umbes 50 °C võrra on raske välja tuua, kuid mõlema tähtja saabumine on viimastel aastatel mõnevõrra hilisemaks lükkunud. Nõrka, tõenäosusega 95% usaldatavat trendi võis veel kohata perioodil piimküpsus–vahaküpsus.

Tabelis 3 on iga vaatluse all olnud arengufaasi vahelise perioodi kohta välja toodud sobivaim summeerimismeetod ja lävitemperatuur, nendele vastavad temperatuurikonstandid ja nende kasutamisel prognoosiks tekkivad keskmised vead. Samuti on tabelis ära toodud vastavate perioodide keskmine kestus päevades. Et andmestikus esines tühikuid (seda nii algselt kui ka mõnede tähtaegade väljapraakimise tõttu kriitilise kontrolli käigus), ei kattu valim, mille põhjal keskmistati pikemad perioodid, täpselt nendega, mida kasutati lühemate perioodide määramisel. Seetõttu võib ka pikema perioodi pikkus erineda temas sisalduvate lühemate perioodide pikkuste summast. Tugevamini avaldusid need erinevused päevades arvatatud vahemike pikkuse, vähem temperatuurisummade korral.

**Tabel 3.** Temperatuurikonstandid talirukki arengufaaside prognoosimiseks sobivaimal lävitemperatuuril ja faasidevahelised pikkused päevades

**Table 3.** Temperature constants on appropriate threshold temperatures for winter rye and duration of periods in days

Arengufaaside vaheline periood <i>Period between phenophases</i>	Lävitemperatuur °C <i>Threshold temperature</i>	Temperatuurikonstant °C <i>Temperature constant, degree-days</i>	Keskmine prognoosiviga päevades <i>Mean prognosis error (days)</i>	Perioodi keskmine pikkus päevades <i>Period in days</i>
Külv–tärgamine / <i>Sowing–emergence</i>	0	126	2,17	11,6
Tärgamine – 3. leht / <i>Springing – 3-expanded leaf</i>	0	128	3,04	14,7
3. leht – võrsumine / <i>3-expanded leaf – tillering</i>	0	85	3,29	11,2
Külv–võrsumine / <i>Sowing–tillering</i>	0	337	3,87	35,2
Vegetatsiooni algus – kõrsumine <i>New vegetation – spearing</i>	–	–	–	16,0
Kõrsumine – kõrresõlme ilmumine <i>Spearing – 1st stalk node</i>	0	94	3,94	10,6
Kõrresõlme ilmumine – loomine <i>1st stalk node – creation</i>	Aktiivsed temperatuurid 5°	257	3,49	22,6
Kõrsumine–loomine / <i>Spearing–heading</i>	Aktiivsed temperatuurid 5°	346	3,47	33,2
Loomine–õitsemine / <i>Heading–flowering</i>	Aktiivsed temperatuurid 5°	208	2,41	16,2
Õitsemine–piimküpsus / <i>Flowering – milk ripeness</i>	0 või 5° (aktiivsed)	368	3,31	22,8
Piimküpsus – vahaküpsus / <i>Milk ripeness – waxy dough</i>	0 või 5° (aktiivsed)	324	3,96	19,3
Loomine–vahaküpsus / <i>Heading – waxy dough</i>	0 või 5° (aktiivsed)	900	4,19	56,4
Vegetatsiooni algus – vahaküpsus <i>New vegetation – waxy dough</i>	0	1348	4,97	105,7

### Järeldused

Talirukki arengufaaside vaheliste perioodide pikkuse iseloomustamiseks ja arengufaaside saabumise ennustamiseks on otstarbekas kasutada positiivsete temperatuuride või aktiivsete üle 5 °C temperatuuride summat, olenevalt konkreetsest perioodist (tabel 3). Temperatuuri andmed jäeti tabelist 3 välja perioodi vegetatsiooni algus – kõrsumine korral, sest sel perioodil annab parima tulemuse päevade arvu kasutamine. Efektiivsete või kõrgemate lävitemperatuuridega aktiivsete temperatuuride summade kasutamisel tekivad suuremad vead. Seega, seni laialdaselt kasutatud aktiivsete temperatuuride summad üle 10 °C ja efektiivsete temperatuuride summad üle 5 °C ei sobi talirukki arengu iseloomustamiseks. Üldjuhul annab sobivalt valitud

temperatuurisummade kasutamine päevade arvust märgatavalt paremaid tulemusi. Erandiks oli ainult periood vegetatsiooni algusest kõrsumiseni.

Vahaküpsuse saabumiseks vajalike temperatuurisummade leidmiseks on täiesti sobiv kasutada mitut arengufaasi hõlmavaid perioode loomisest vahaküpsuseni või vegetatsiooni algusest vahaküpsuseni. Pikemate perioodide temperatuurisummadele üleminekul kasvab viga suhteliselt aeglaselt, päevade arvu kasutamisel märgatavalt kiiremini.

Teatavad erinevused taimede arenguks vajalikes temperatuurisummades ilmsid eri sortide puhul. Väiksemate soojussummadega on kohanenud sort 'Jõgeva 112', soojanõudlikum on sort 'Kustro'. Samas läbib sort 'Kustro' esimesed kevadised faasid kiiremini kui 'Jõgeva 112', kuid vajab märgatavalt rohkem soojust valmimise perioodil. Temperatuurisummade suurema varieeruvuse ja seega ka suuremate võimalike vigadega paistis silma 'Vambo', kõige stabiilsemad olid tulemused 'Jõgeva 112' korral.

Üldiselt ei täheldatud temperatuuride summas avaldatud talirukki faasidevaheliste perioodide pikkuse kindlasuunalisi muutusi ajas. Usaldatav positiivne trend esines nii kogu valimi kui enam levinud sordi 'Vambo' puhul ainult perioodi vegetatsiooni algus – kõrsumine korral. Kogu valimi korral esineb negatiivseid trende veel mõnel kevadisel faasidevahelisel perioodil, kuid need on ilmselt seotud sortide vaheldumisega.

### Tänuavaldus

Artikkel on valminud ETF grandil nr 5020 toetusel.

### Kirjandus

- Aasa, A. 2001. Eesti agrofenoogiline kalender. – Eesti Looduse Kalender, Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis. Toim. R. Ahas, Tartu, lk 139–163.
- Agroklimatitšeskie: Агроклиматические ресурсы Эстонской ССР. 1974. Ленинград: Гидрометеиздат, 174 с.
- Agrometeoroloogilised vaatlused hüdrometeoroloogiajaamades ja -postides, I osa: Põhilised agrometeoroloogilised vaatlused, 1987. Juhend hüdrometeoroloogiajaamadele ja -postidele. Tallinn: Eesti Vabariigi Hüdrometeoroloogia ja Looduskeskkonna Kontrolli Valitsus, 272 lk.
- Aruksaar, H., Liidema, H., Martin, I., Mürk, H., Nei, I., Põiklik, K. 1964. Üld- ja agrometeoroloogia. Tallinn: Eesti Raamat, 766 lk.
- Kadaja, J. 2004. Kartuli produktiooniprotsessi dünaamiline mudel ja selle rakendused. – Agraarteadus, nr 2, lk 74–89.
- Kivi, K. 2001. Fenoloogiliste aastaegade ilmastikulisest omapärasest aastatel 1989–1998. – Eesti Looduse Kalender, Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis. Toim R. Ahas, Tartu, lk 26–47.
- Сепп: Сепп Ю. В. 1983. Экспериментальное определение функции роста картофеля. – Агроклиматические условия и продуктивность сельскохозяйственных культур. Труды ВНИИСХМ. Вып. 11, с. 36–40.
- Тširkov: Чирков Ю. И. 1986. Агrometeorология. Ленинград: Гидрометеиздат, 296 с.

### Growth stages of winter rye and accumulated temperatures

T. Saue, J. Kadaja

#### Summary

The object of the present work was to elaborate a calculating scheme to determine temperature constants (mean accumulated temperatures between plants growth stages) describing the development of field crops. Calculations are made for different threshold temperatures and summarizing methods to determine their suitability for given crop. Simultaneously errors, rising from using these constants in prognosis of following growth stages are calculated. The scheme is composed to fit easily for any other crop.

Accumulation of heat can be characterized by summarizing positive daily mean temperatures of the observed period. Different, more often used conceptions are the accumulated active and effective temperatures. Accumulated active temperatures are calculated by summarizing all mean daily air temperatures of the period surpassing chosen threshold temperature. In addition, for determination of accumulated effective temperatures the threshold temperature is being departed from each daily mean temperature exceeding this value, accumulating so only the part of air temperature above threshold.

Data from the agrometeorological observatory network of Estonian Meteorological and Hydrological Institute were used. This network carried out phenological observations of field crops for years, before it was terminated at 2001. For winter crops growth stages such as sowing, emergence, 3 – expanded leaf, tillering, spearing, appearance of first stalk node, heading, flowering, milk ripeness and waxy dough stage were observed.



The first 3 of them usually take place in autumn. Additionally, the beginning of vegetation period was determined in spring. Phenological data from 11 observational stations and posts for period 1965–2001 were used. The mean air temperature data came for each from the closest meteorological station. Given data were critically verified and dates with large deviation ejected. Accumulated temperatures were calculated for all successive phases as well as for certain longer periods including several stages, like sowing – tillering, spearing – heading, heading – waxy dough and new vegetation – waxy dough.

The calculating scheme was composed to be used both for active and effective temperatures as well as for different threshold temperatures. Threshold temperatures of 0, 5, 10 and 15 °C were chosen. In addition to mean accumulated temperatures their standard deviations and variation coefficients were calculated. Errors, rising from using calculated constants in prognosis were estimated to find most appropriate threshold temperature. Formula (1) expresses these errors in days, therefore results are easily comparable. Also mean errors for using days between phases were calculated (2).

As different varieties of rye had been sowed in different years and stations, a comparison was carried out for more represented varieties 'Vambo', 'Jõgeva 112', 'Kustro' and 'Sangaste'.

Mean accumulated temperatures between successive developmental phases of winter rye for whole sample on different threshold temperatures are compared on Figure 1.

For early stages of development – for autumn as well as for spring before the appearance of the 1<sup>st</sup> stalk the positive accumulated temperatures provide best prognosis results (Table 1). Exceptional is the period from new vegetation to spearing, when best results are provided by using period in days, while all accumulated temperatures give great errors. There could be several reasons for that, including the fact that shoots reach different stages before winter in different years, different hibernating conditions as well as difficulties in proper fixing of new vegetation in the spring.

After the appearance of the first stalk node, active accumulated temperatures over 5 °C appear to be the most appropriate. It could be concluded that after the appearance of the first stalk node rye plants need temperatures over 5 °C to keep developing. The differences in errors for positive and active over 5 °C temperatures though are not very large.

After arriving to flowering stage, when there are no daily mean air temperatures below 5 °C, active over 5 °C and positive temperature summaries provide similar errors. Although mean errors for accumulated active temperatures over 10 °C are not very great at that period either, the tendencies still show the advantage of lower threshold temperatures. Results evidence that so far widely used active over 10 °C and effective over 5 °C accumulated temperatures are not suitable for evaluating heat accumulation for winter rye, especially at the early stages of development.

For longer periods, including several phases (e.g. sowing – tillering etc.) the mean error compared to forecasting the same phase by shorter period (e.g. 3<sup>rd</sup> leaf – tillering) does not increase much. Meanwhile switching to longer periods when using days between periods increases mean error up to 50%.

Some differences in temperature constants occurred for whole sample and different varieties (Table 2). 'Kustro' requires more heat, 'Jõgeva 112' goes through development with lower temperature summaries. Although 'Kustro' goes fast through early spring phases, its heat requirement increases at the time of flowering and ripening. The sort with smallest heat summaries – 'Jõgeva 112' – is also the one with the smallest variability. The most represented sort 'Vambo' has the greatest prognosis error for all periods since heading.

To evaluate periods between phases the possible trend was calculated for accumulated temperatures by linear regression equation. Calculations were made both for whole sample and for 'Vambo'. 99% reliable positive correlation for both selections occurs only for the period from new vegetation to spearing. It is difficult to offer a simple explanation for that, although both stages have become more belated. Changing sorts could explain some other spring periods with trends for the whole sample, as they don't occur for 'Vambo'.

Table 3 gives suggestions for every examined period about summarising method and proper threshold temperature, shows corresponding temperature constants and mean errors while using them. Additionally the mean duration of given periods has been calculated.